

**UNIVERSITAT DE BARCELONA**

Departament de Teoria i Història de l'Educació

TESI DOCTORAL

**VALORACIÓ FUNCIONAL  
I BIOENERGÈTICA  
DE LA RESISTÈNCIA  
ESPECÍFICA  
EN JUGADORS DE TENNIS**

**ERNEST BAIGET I VIDAL**

**BARCELONA 2008**

**DIRECTORS**

**Dr. Ferran Rodríguez i Guisado  
Dr. Xavier Iglesias i Reig**



UNIVERSITAT DE BARCELONA



**INEFC**

Institut Nacional  
d'Educació Física  
de Catalunya



**UNIVERSITAT DE BARCELONA**  
Departament de Teoria i Història de l'Educació

---

**INSTITUT NACIONAL D'EDUCACIÓ FÍSICA DE CATALUNYA**  
Centre de Barcelona

Programa de Doctorat  
ACTIVITAT FÍSICA I ESPORT  
Bienni 2001-2003

# **VALORACIÓ FUNCIONAL I BIOENERGÈTICA DE LA RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS**

Tesi doctoral presentada per  
**ERNEST BAIGET I VIDAL**

Per optar al títol de  
**Doctor per la Universitat de Barcelona**

Dirigida per  
**DR. FERRAN A. RODRÍGUEZ I GUIADO**  
**DR. XAVIER IGLESIAS I REIG**

Barcelona, juny de 2008



Aquesta tesi ha estat subvencionada parcialment mitjançant un ajut de la convocatòria “Ajuts per a la formació complementària en camps o àrees professionals específiques relacionades amb l’educació física i l’esport (2004)” per a alumnes postgraduats atorgat per l’Institut Nacional d’Educació Física de Catalunya, i s’emmarca dins el Projecte d’investigació i recerca preferencial de l’INEFC de Barcelona “Valoració funcional i bioenergètica en esports individuals: aplicació al tennis”, dirigit pel Dr. Ferran A. Rodríguez.

**BAIGET, E.** (2008): *Valoració funcional i bioenergètica de la resistència específica en jugadors de tennis*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona, Institut Nacional d’Educació Física de Catalunya. Barcelona.



Tan sols el camí de la investigació objectiva ens portarà progressivament a l'anàlisi completa d'aquesta adaptació il·limitada que és, en tota la seva amplitud, la vida sobre la terra. (Iván Pávlov. *Fisiología y Psicología*, 1968)





# **DEDICATÒRIA**



Als meus pares per l'educació rebuda i pel seu recolzament durant tots els anys d'estudi i pràctica esportiva.

A la Roser, per la seva ajuda diària, pel seu recolzament incondicional i per acceptar de la millor manera el temps de dedicació a la recerca.



# **AGRAÏMENTS**



## AGRAÏMENTS PERSONALS

Al **Dr. Ferran A. Rodríguez Guisado** i al **Dr. Xavier Iglesias i Reig** co-directors d'aquesta tesi doctoral, per iniciar-me i formar-me en la recerca científica transmetent el seu entusiasme i rigor professional i per la seva implicació i esforç al llarg del procés.

Al **Dr. Lisímaco Vallejo** per la seva col·laboració constant i la seva inestimable aportació en tasques de presa i anàlisi de dades.

Als companys i becaris de recerca de l'INEFC de Barcelona col·laboradors en la realització de les proves i la presa de dades: **Peter J.C. Zierof** i **Valery Kryvaruchka**.

Al **Dr. Gerard Moras**, Sots-director de Postgrau i Recerca de l'INEFC de Barcelona, com a guia i referent en aquest procés.

A tots els **tennistes de competició i tècnics** que han participat directament en l'estudi ja que sense ells no s'hagués pogut portar a terme la recerca.

Als **professors i companys** dels estudis de **Ciències de l'Activitat Física i l'Esport de la Universitat de Vic** pel seu suport professional.

A tots els **professors de l'INEFC de Barcelona** i dels cursos de Doctorat com a protagonistes de la meva formació acadèmica.

A **Maribel Pérez Ballano** Cap del Negociat de Postgrau i Convalidacions de l'INEFC de Barcelona per la seva orientació durant les diferents fases del curs de doctorat.

A **Natividad Arnaiz** del Negociat de Recerca de l'INEFC de Barcelona per la seva ajuda en la utilització de material de recerca.

Als directors dels centres d'entrenament que ens han acollit de la millor manera : **Emilio Sánchez Vicario**, director de l'Acadèmia Sánchez - Casal, **Lluís Bruguera**, director de la *Bruguera Tennis Academy Top Team*, **Jofre Porta**, director del Centre d'entrenament de tennis de l'Escola Balear de l'Esport (Palma de Mallorca), **Jordi Arresse**, director del Centre Internacional de Tennis (CIT) de la Federació Catalana de

Tennis (Cornellà de Llobregat) i **Martín Villar**, director del Grup de competició del Club Tennis Ciutat Diagonal (Barcelona).

Als responsables de les institucions i empreses que han cregut en el nostre projecte i han col·laborat desinteressadament aportant material a la recerca: **Dr. David Sanz**, director de la *Área de Docencia e Investigación de la Federación Española de Tenis* i **Dr. Francesc Solanellas**, director de l'empresa Babolat a Espanya i Portugal.

Als diferents preparadors físics de tennistes de competició que han col·laborat en la recerca amb la seva participació activa i amb les seves reflexions per a millorar el seu contingut: **José Salvat, Andreu Fuster, Jordi Manzanas, Jayne Morley, Joan Forcades, Francisco Varo i Miquel Escoda**.

Als **bibliotecaris de la Universitat de Vic i l'INEFC** de Barcelona per la seva col·laboració en la recerca bibliogràfica.

Als **entrenadors i preparadors físics** de tennis que han contribuït a la meva formació com a jugador de tennis.

A tots els meus **companys en el món de l'esport** competitiu i popular que m'han ajudat a adquirir un esperit de superació i una actitud esportiva.



## AGRAÏMENTS INSTITUCIONALS

A l'**Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya**, centre de Barcelona, pels ajuts econòmics, materials i de recursos humans rebuts, imprescindibles per a realitzar aquesta recerca.

A la **Universitat de Vic** per donar-me l'oportunitat d'iniciar-me en la docència universitària.

A l'**Escola Professional de Medicina de l'Educació Física i l'Esport** de la **Universitat de Barcelona** per comptar amb mi com a docent col·laborador.

A la *Real Federación Española de Tenis* i especialment a la *Área de Docencia e Investigación* pel seu suport.

A la **Federació Catalana de Tennis** pel seu recolzament al tennis.

A l'**Acadèmia Sánchez – Casal** de Barcelona per la seva col·laboració en la tasca de presa de dades aportant jugadors de competició i cedint les seves instal·lacions.

A la *Bruguera Tennis Academy* Top Team per les facilitats donades en l'avaluació dels seus jugadors de competició i cedir les seves instal·lacions.

Al centre d'entrenament de tennis de l'**Escola Balear de l'Esport (EBE)** de Palma de Mallorca per les facilitats donades en l'avaluació dels seus jugadors i per acollir-nos de la millor manera a l'illa.

Al **Centre Internacional de Tennis (CIT)** de la Federació Catalana de Tennis de Cornellà de Llobregat per la seva col·laboració en la tasca de presa de dades aportant jugadors de competició.

Al **Club Tennis Reus Monterols** com a testimoni dels meus inicis en el tennis tant en l'àmbit de jugador com a tènic.

A l'empresa **Babolat** pel seu recolzament amb el material de recerca.

## **GLOSSARI I ABREVIATURES**



<b>%</b>	percentatge
<b>0,95 IC</b>	interval de confiança del 95%
<b>ANOVA</b>	anàlisi de la variància
<b>ATP</b>	trifosfat d'adenosina
<b>bat</b>	batecs
<b>°C</b>	graus centígrads
<b>CIT</b>	Centre Internacional de Tennis
<b>cm</b>	centímetres
<b>CV</b>	coeficient de variació
<b>dif</b>	diferència
<b>DP</b>	durada mitjana dels punts
<b>EBE</b>	Escola Balear de l'Esport
<b>EEE</b>	error típic d'estimació
<b>En</b>	encerts
<b>eq</b>	equivalent
<b>esg</b>	esglaó
<b>ET</b>	efectivitat tècnica
<b>FC</b>	freqüència cardíaca
<b>FCmax</b>	freqüència cardíaca màxima
<b>Fcops</b>	freqüència dels cops
<b>FCT</b>	Federació Catalana de Tennis
<b>FECO<sub>2</sub></b>	fracció espirada de diòxid de carboni
<b>FEO<sub>2</sub></b>	fracció espirada d'oxigen
<b>FLI<sub>p</sub></b>	freqüència de llançament de pilotes
<b>g</b>	grams
<b>h</b>	hora
<b>Hg</b>	mercuri
<b>HR</b>	<i>heart rate</i>
<b>HRDP</b>	<i>heart rate deflection point</i>
<b>ICC</b>	índex de correlació intraclasse
<b>IMC</b>	índex de massa corporal
<b>ITF</b>	<i>International Tennis Federation</i>
<b>ITN</b>	<i>International Tennis Number</i>

<b>JJO</b>	Jocs Olímpics
<b>km</b>	quilòmetres
<b>L</b>	litres
<b>La</b>	concentració de lactat
<b>LAB</b>	laboratori
<b>LTPT</b>	<i>Leuven Tennis Performance Test</i>
<b>LIV1</b>	primer llindar ventilatori
<b>LIV2</b>	segon llindar ventilatori
<b>m</b>	metres
<b>màx</b>	valor màxim de la variable
<b>mín</b>	valor mínim de la variable
<b>mL</b>	mil·lilitres
<b>mm</b>	mil·límetres
<b>mmol</b>	mil·limols
<b>n</b>	grandària de la mostra
<b>ns</b>	diferència no significativa
<b>núm.</b>	número
<b>O<sub>2</sub></b>	oxigen
<b>p</b>	probabilitat
<b>Pc</b>	fosfat de creatina
<b>PC</b>	ordinador personal
<b>PDET</b>	punt de deflexió de l'efectivitat tècnica
<b>PDFC</b>	punt de deflexió de la freqüència cardíaca
<b>PEC</b>	prova específica de camp
<b>PETCO<sub>2</sub></b>	pressió de diòxid de carboni al final d'una espiració (tele-espiratòria)
<b>PETO<sub>2</sub></b>	pressió d'oxigen al final de la respiració (tele-espiratòria)
<b>R</b>	quocient respiratori
<b>r</b>	coeficient de correlació lineal de Pearson o de correlació interclasse
<b>r<sup>2</sup></b>	coeficient de determinació de Pearson
<b>RFET</b>	<i>Real Federación Española de Tenis</i>
<b>s</b>	segons
<b>SET – Test</b>	<i>Specific Endurance Tennis Test</i>
<b>sup</b>	superfície

<b>T:D</b>	proporció entre temps de treball i temps de descans
<b>T1</b>	primer test
<b>T2</b>	segon test
<b>T3</b>	tercer test
<b>TD</b>	temps de descans
<b>TP</b>	tipus de prova
<b>TRJ</b>	temps real de joc
<b>UP</b>	últim període assolit
<b>VCO<sub>2</sub></b>	producció de diòxid de carboni*
<b>Vd</b>	velocitat de deflexió
<b>VE</b>	ventilació pulmonar o volum minut respiratori*
<b>VO<sub>2</sub></b>	consum d'oxigen*
<b>VO<sub>2max</sub></b>	consum màxim d'oxigen*
<b>VT1</b>	<i>first ventilatory threshold</i>
<b>VT2</b>	<i>second ventilatory threshold</i>
<b>v<sub>vent</sub></b>	velocitat del vent
<b>WTA</b>	<i>Women's Tennis Association</i>
$\bar{x}$	mitjana
s	desviació típica

\* Per raons de claredat tipogràfica hem obviat la notació científica convencional en que el volum espirat/inspirat per unitat de temps ve indicat com a  $\dot{V}$  i els gasos o el temps respiratori en subíndex (per exemple  $\dot{V}_{O_2 \max}$  ).





## **ÍNDIX DE CONTINGUTS**



<b>DEDICATÒRIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRAÏMENTS.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSSARI I ABREVIATURES .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDIX DE CONTINGUTS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDIX DE FIGURES .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>ÍNDIX DE TAULES.....</b>	<b>XXXIII</b>
<b>RESUM.....</b>	<b>XXXIX</b>
<b>INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>1</b>
<b>FACTORS DETERMINANTS DEL RENDIMENT EN EL TENNIS.....</b>	<b>7</b>
Factors tècnics .....	7
Factors tàctics i estratègics .....	9
Factors psicològics .....	11
Factors funcionals.....	11
Factors condicionals .....	12
<b>ANÀLISI BIOENERGÈTICA DEL TENNIS.....</b>	<b>17</b>
Anàlisi del temps–acció en tennis .....	17
Bioenergètica del tennis .....	21
Bioenergètica del tennis en funció de les característiques del joc.....	22
<b>AVALUACIÓ FUNCIONAL DE LA RESISTÈNCIA EN EL TENNIS .....</b>	<b>26</b>
La resistència en el tennis, una capacitat determinant.....	26
Proves de valoració de la resistència en tennis.....	31
<b>OBJECTIUS GENERALS .....</b>	<b>37</b>
<b>DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ.....</b>	<b>41</b>
PROCEDIMENT.....	43
SUBJECTES.....	45
CRITERIS D’INCLUSIÓ.....	48

<b>CAPÍTOL I. PROPOSTA DE PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS: “SET – TEST”</b> .....	<b>49</b>
I.1. OBJECTIUS .....	53
I.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ .....	54
I.3. MATERIAL I MÈTODES.....	56
I.3.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “ SET – TEST ”	56
I.3.1.1. Disseny de la prova .....	56
I.3.1.2. Material .....	57
I.3.1.3. Protocol de la prova .....	60
I.3.1.4. Paràmetres .....	65
I.3.2. FIABILITAT DE LA PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA .....	79
I.3.2.1. Fiabilitat externa.....	79
I.3.2.2. Fiabilitat interna .....	80
I.3.2.3. Estudi de repetitivitat .....	81
I.3.2.4. Subjectes .....	82
I.3.2.5. Material .....	82
I.3.2.6. Paràmetres funcionals .....	83
I.3.2.7. Anàlisi estadística.....	84
I.3.3. VALIDESA DE LA PROVA.....	85
I.3.3.1. Validesa de contingut.....	85
I.3.3.2. Validesa ecològica .....	85
I.3.3.3. Validesa interna.....	85
I.3.3.4. Validesa predictiva.....	88
I.3.3.5. Subjectes .....	89
I.3.3.6. Material .....	90
I.3.3.7. Paràmetres .....	90
I.3.3.8. Anàlisi estadística.....	90
I.4. RESULTATS .....	91
I.4.1. FIABILITAT DE LA PROVA ESPECÍFICA .....	91
I.4.1.1. Fiabilitat externa.....	91
I.4.1.2. Estudi de repetitivitat .....	93
I.4.2. VALIDESA DE LA PROVA.....	106
I.4.2.1. Maximalitat de la prova.....	106

I.4.2.2. Validesa predictiva.....	108
I.5. DISCUSSIÓ .....	114
I.5.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”	114
I.5.2. FIABILITAT DE LA PROVA.....	118
I.5.2.1. Fiabilitat externa.....	118
I.5.2.2. Estudi de repetitivitat .....	118
I.5.3. VALIDESA DE LA PROVA.....	121
I.5.3.1. Validesa de contingut i ecològica.....	121
I.5.3.2. Validesa interna.....	122
I.5.3.3. Validesa predictiva.....	122
I.6. CONCLUSIONS .....	131
I.6.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”	131
I.6.2. FIABILITAT DE LA PROVA.....	131
I.6.3. VALIDESA DE LA PROVA.....	131
<b>CAPÍTOL II. CARACTERÍSTIQUES FUNCIONALS DELS TENNISTES D’ALT</b>	
<b>RENDIMENT .....</b>	<b>133</b>
II.1. OBJECTIUS.....	136
II.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ.....	137
II.3. MATERIAL I MÈTODES .....	138
II.3.1. Subjectes .....	138
II.3.2. Material.....	138
II.3.3. Procediment .....	138
II.3.4. Paràmetres funcionals .....	139
II.3.5. Anàlisi estadística .....	139
II.4. RESULTATS .....	140
II.4.1. Característiques fisiològiques dels tennistes.....	140
II.4.2. Resultats d’efectivitat tècnica .....	151
II.5. DISCUSSIÓ .....	158
II.5.1. Característiques fisiològiques i de càrrega .....	158
II.5.2. Resultats d’efectivitat tècnica .....	166
II.6. CONCLUSIONS.....	168

<b>CAPÍTOL III. ANÀLISI DE LES DEMANDES BIOENERGÈTIQUES DE LA COMPETICIÓ INDIVIDUAL.....</b>	<b>169</b>
III.1. OBJECTIUS .....	172
III.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ .....	173
III.3. MATERIAL I MÈTODES .....	175
III.3.1. Subjectes.....	175
III.3.2. Material.....	175
III.3.3. Procediment .....	176
III.3.4. Paràmetres .....	177
III.3.5. Anàlisi estadística .....	178
III.4. RESULTATS.....	179
III.4.1. Resultats dels partits .....	179
III.4.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics.....	180
III.4.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició .....	189
III.5. DISCUSSIÓ.....	192
III.5.1. Resultats dels partits .....	192
III.5.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics.....	193
III.5.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició .....	197
III.6. CONCLUSIONS .....	200
<b>CONCLUSIONS GENERALS.....</b>	<b>201</b>
<b>PERSPECTIVES D'INVESTIGACIÓ.....</b>	<b>205</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>209</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>229</b>
ANNEX 1: Full d'observació d'efectivitat tècnica .....	231
ANNEX 2: Resum de les deu categories de l'International Tennis Number (ITF, 2005).....	235
ANNEX 3: Quadre de comparació de l'International Tennis Number (ITF, 2007) .....	239
ANNEX 4: Full d'observació d'incidències del registre amb l'analitzador de gasos K4b <sup>2</sup> .....	242

## **ÍNDIX DE FIGURES**





Figura 1. Jugadores de diferents èpoques, il·lustratives de l'evolució del tennis del segle XX (A) al segle XXI (B). .....	6
Figura 2. Raqueta de fusta dels anys 60 i raqueta actual representatives de l'evolució del material (ITF, 2007).....	6
Figura 3. Fase d'impacte entre la raqueta i la pilota en un cop de revés a dues mans en una jugadora (A) i volea de dreta en un jugador (B), ambdós de nivell professional.....	8
Figura 4. Recorregut de la raqueta en el servei (ITF, 2007).....	9
Figura 5. Esquema de la relació entre estratègia, tàctica i tècnica en el tennis (Adaptat d'Arranz et al., 1993).....	10
Figura 6. Exemples d'accions amb elevats components d'agilitat (A) i potència (B) en tennistes professionals. ....	13
Figura 7. Habilitats físiques i components rellevants del rendiment en tennis (Kovacs, 2007).....	15
Figura 8. Mitjana de les proporcions entre temps real de joc (TRJ) i temps de descans (TD) recollides en la literatura.....	19
Figura 9. Mitjana de la durada dels punts segons diferents superfícies de joc (terra batuda, pista dura i herba) recollides en la literatura. Les dades utilitzades són a partir de l'any 2000.....	19
Figura 10. Característiques del bot en funció del tipus de pilota (ITF, 2007).....	23
Figura 11. Factors que influeixen en la potència i la capacitat de l'activitat muscular aeròbica (Åstrand i Rodahl, 1986 en Åstrand, 1996) .....	28
Figura 12. Quadre de joc individual masculí de l'Open Seat Godó de Barcelona 2007 (ATP, 2007). .....	30
Figura 13. Esquema descriptiu dels tres estudis de que consta la recerca, seqüència temporal i relació entre ells i amb el rendiment en tennistes de competició. ....	44

Figura I.1. Esquema descriptiu del primer estudi de que consta la recerca.....	54
Figura I.2. Cronograma de l'estudi de repetitivitat del SET – Test. ....	55
Figura I.3. Esquema del protocol de la prova SET – Test.....	56
Figura I.4. Màquina llançapilotes (A) i la seva disposició a la pista de tennis (B). ....	57
Figura I.5. Visió frontal (A) i lateral (B) d'un jugador amb l'analitzador de gasos portàtil col·locat a l'esquena mitjançant un arnés. ....	58
Figura I.6. Cardiotacòmetre utilitzat per a la mesura de freqüència cardíaca en les proves i la competició simulada. ....	58
Figura I.7. Pilotes de tennis utilitzades durant les proves. ....	59
Figura I.8. Radar utilitzat per mesurar la velocitat de llançament de pilotes de la màquina llançapilotes. ....	60
Figura I.9. Figura il·lustrativa de la prova (SET – Test).....	61
Figura I.10. Jugador realitzant la prova, després de copejar un revés i en desplaçament lateral. ....	63
Figura I.11. Investigadors responsables del registre de l'efectivitat tècnica (A) i del funcionament de la màquina llançapilotes (B). ....	63
Figura I.12. Investigadors responsables del funcionament de l'analitzador de gasos (A) i del funcionament general de la prova (B).....	64
Figura I.13. Cronograma de l'administració del SET – Test. ....	65
Figura I.14. $VCO_2$ i $VO_2$ en funció del temps durant una de les proves SET – Test en un subjecte. S'hi indica el LIV1. ....	68
Figura I.15. Relació entre la $VCO_2$ i el $VO_2$ en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV1.....	69
Figura I.16. Relació entre el $VCO_2$ i el $VO_2$ amb el $V_E$ (equivalent respiratori del $CO_2$ i de l' $O_2$ ) en un subjecte durant la prova. S'hi indica el LIV1.....	69

Figura I.17. FEO <sub>2</sub> (%) i FECO <sub>2</sub> (%) en funció del VO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV1.....	69
Figura I.18. Evolució del VO <sub>2</sub> i VCO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2.....	71
Figura I.19. Relació entre la VCO <sub>2</sub> i el VO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2.....	72
Figura I.20. Relació entre el VCO <sub>2</sub> i el VO <sub>2</sub> amb el V <sub>E</sub> (equivalent respiratori del CO <sub>2</sub> i de l’O <sub>2</sub> ) en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2. ....	72
Figura I.21. FEO <sub>2</sub> (%) i FECO <sub>2</sub> (%) en funció del VO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2. ....	72
Figura I.22. Evolució de la mitjana de FC cada minut en un subjecte durant la prova (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S’hi indica el PDFC.....	75
Figura I.23. Evolució de la mitjana de FC cada 2 minuts en un subjecte durant el test (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S’hi indica el PDFC.....	75
Figura I.24. Evolució de la mitjana d’ET per període en un subjecte durant el test. S’hi indica el valor mitjà d’ET del subjecte i el PDET en un cas en que després de la deflexió no es torna a superar el valor mitjà.....	77
Figura I.25. Evolució de la mitjana d’ET per període en un subjecte durant el test. S’hi indica el valor mitjà d’ET del subjecte i el PDET en un cas en que després d’una deflexió es torna a superar el valor mitjà.....	77
Figura I.26. Evolució del consum d’oxigen durant una prova progressiva. S’observa l’anivellament (‘plateau’) del VO <sub>2</sub> a la fi de la prova. ....	88
Figura I.27. Corbes velocitat – temps de diferents tirs de pilota mesurats amb un radar i en condicions atmosfèriques estables. ....	92
Figura I.28. Angle i alçada de sortida de la pilota pel tub de llançament de la màquina llançapilotes. ....	92

Figura I.29. Correlació i diferències entre la durada de la prova en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). .....	96
Figura I.30. Correlació i diferències entre l'últim període assolit (UP) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). *3 = coincideixen tres punts, *2 = coincideixen dos punts. ....	97
Figura I.31. Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). .....	98
Figura I.32. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). *5 = coincideixen tres punts, *2 = coincideixen dos punts. ....	99
Figura I.33. Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). ....	100
Figura I.34. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). ....	101
Figura I.35. Correlació i diferències entre la durada de la prova (temps) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). ....	103
Figura I.36. Correlació i diferències entre l'últim període assolit (UP) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). ....	103
Figura I.37. Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). ....	103
Figura I.38. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). ....	104
Figura I.39. Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). ....	104
Figura I.40. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). ....	104

Figura I.41. Correlació entre l'últim període assolit a la prova (UP) i el consum màxim d'oxigen màxim $VO_{2max}$ (n = 38). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.....	108
Figura I.42. Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i la freqüència cardíaca en el segon llindar ventilatori (FC LIV2). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.....	110
Figura I.43. Correlació entre el temps en que apareix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el temps en que apareix el segon llindar ventilatori (Temps LIV2). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació. ....	110
Figura II.1. Esquema descriptiu del segon estudi de que consta la recerca.....	137
Figura II.2. Accions de cop de revés (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant la realització del SET-Test.....	138
Figura II.3. Consum d'oxigen ( $VO_2$ ), ventilació pulmonar ( $V_E$ ), freqüència cardíaca i període (FC, període) durant la realització de la prova en un subjecte. Es presenten els valors mitjans a intervals de 15 segons.....	141
Figura II.4. Evolució del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) i la producció de diòxid de carboni ( $VCO_2$ ) en un subjecte durant l'aplicació del SET-Test. S'hi indiquen el final i l'inici de la prova i els punts corresponents al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).....	142
Figura II.5. Valors màxims de consum d'oxigen ( $VO_2$ ).....	144
Figura II.6. Màxima càrrega assolida expressada com a últim període (UP).....	144
Figura II.7. Valors màxims de freqüència cardíaca (FC). ....	144
Figura II.8. Consum d'oxigen relatiu al pes en el primer ( $VO_2$ LIV1) i segon ( $VO_2$ LIV2) llindars ventilatoris. ....	147
Figura II.9. Número de període en el primer (Període LIV1) i segon (Període LIV2) llindars ventilatoris. ....	147

Figura II.10. Freqüència cardíaca (FC) en el primer (FC LIV1) i segon (FC LIV2) llindars ventilatoris. ....	148
Figura II.11. Punt de deflexió de la freqüència cardíaca observat (PDFC) (n = 35)....	150
Figura II.12. Període en que s'assoleix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35).....	150
Figura II.13. Efectivitat tècnica (ET) global avaluada amb percentatge d'encerts. ....	153
Figura II.14. Evolució de l'efectivitat tècnica (ET) avaluada com a percentatge d'encerts, en funció dels períodes del SET – Test. S'hi indica la línia de tendència i les diferents fases en la seva evolució. ....	155
Figura II.15. Punt de disminució d'efectivitat tècnica (PDET) en relació amb el període de càrrega.....	156
Figura III.1. Esquema descriptiu del tercer estudi de que consta la recerca.....	173
Figura III.2. Cronograma de l'administració de les proves i avaluació dels partits. ....	174
Figura III.3. Imatges de les accions de servei (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant el registre ergoespiromètric dels partits.....	177
Figura III.4. Valors mitjans de consum d'oxigen (VO <sub>2</sub> ) registrats durant els sets disputats (n = 20). ....	182
Figura III.5. Valors mitjans de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats (n = 20). ....	182
Figura III.6. Distribució percentual dels valors mitjans de VO <sub>2</sub> registrat durant els sets disputats (n = 20) respecte del consum màxim d'oxigen (VO <sub>2max</sub> ) i del primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2 ) determinats en el SET –Test.....	183
Figura III.7. Distribució percentual dels valor mitjans de FC registrada durant els sets disputats (n = 20), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC VO <sub>2max</sub> ) i al primer i segon llindars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2 ) determinats en el SET –Test. ....	183

Figura III.8. Valors màxims de consum d'oxigen ( $VO_2$ ) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ). .....	185
Figura III.9. Valors màxims de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ). .....	185
Figura III.10. Distribució percentual dels valors màxims de $VO_2$ registrat durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte del consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) i el primer i segon llandars ventilatoris (LIV1 i LIV2 ) determinats en el SET –Test.....	186
Figura III.11. Distribució percentual dels valors màxims de FC registrada durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC $VO_{2max}$ ) i al primer i segon llandars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2 ) determinats en el SET – Test. ....	186
Figura III.12. Evolució de la freqüència cardíaca (FC) i del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) en un jugador durant la disputa d'un set. S'indiquen els descansos corresponents als canvis de camp i els intervals de joc definits pels descansos. ....	188
Figura III.13. Evolució del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) d'un subjecte durant un set. S'indiquen les zones de $VO_2$ intensitat relatives al primer i segon llandars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. ....	190
Figura III.14. Distribució percentual de la durada total dels sets segons els intervals definits pel $VO_2$ en el primer i segon llandars ventilatoris (LIV1 i LIV2) (A), i la FC per aquests dos llandars (FC LIV1 i FC LIV2) (B). ....	191





**ÍNDIX DE TAULES**



Taula 1. Capacitats físiques i manifestacions determinants en el tennis. ....	16
Taula 2. Recull de diversos estudis sobre temps real de joc i proporció entre temps de treball i de descans (T:D) segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Fernández et al., 2006).....	18
Taula 3. Recull de la durada mitjana dels punts i temps de descans entre punts segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Kovacs, 2007) .....	20
Taula 4. Número i distribució de cops en jocs al servei en tres competicions (Johnson i McHugh, 2006).....	24
Taula 5. Consum d'oxigen (VO <sub>2</sub> ), freqüència cardíaca (FC), ventilació pulmonar (VE), concentració de lactat (La), temps efectiu de joc, durada mitjana per punt i freqüència dels cops en dos grups de jugadors, ofensius i defensius (Smekal et al., 2001). ....	25
Taula 6. Proves de camp inespecífiques per avaluar la resistència utilitzades en el tennis.....	33
Taula 7. Nacionalitats dels subjectes estudiats.....	46
Taula 8. Dades generals dels subjectes estudiats.....	47
Taula 9. Origen dels subjectes de la mostra. ....	47
Taula I.1. Temporalització de les tasques durant l'administració del SET – Test. ....	64
Taula I.2. Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV1 en un subjecte. ...	68
Taula I.3. Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV2 en un subjecte.....	71
Taula I.4. Valors d'efectivitat tècnica d'un subjecte.....	77
Taula I.5. Valors d'efectivitat tècnica del subjecte. ....	77
Taula I.6. Freqüències de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat (CV)...	91
Taula I.7. Velocitat de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat.....	91

Taula I.8. Resultats de la realització dels tres test consecutius: T1, T2 i T3 (K4b <sup>2</sup> ).....	94
Taula I.9. Repetitivitat del SET – Test: comparació entre la primera i la segona administració de la prova (T1 i T2) realitzades amb dos dies de diferència (n = 12).....	95
Taula I.10. Influència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T2 i T3 (K4b <sup>2</sup> ) realitzats en un interval de 7 dies (n = 12).....	102
Taula I.11. Influència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T1 i T3 (K4b <sup>2</sup> ) realitzats en un interval de 9 dies (n = 12).....	105
Taula I.12. Número i percentatge de subjectes que van complir cadascun dels criteris de maximalitat de la prova (n=38).....	106
Taula I.13. Quocient respiratori (R) màxim registrat durant la prova progressiva (n = 38).....	106
Taula I.14. Freqüència cardíaca màxima registrada durant la prova progressiva (n = 38). Es mostra el percentatge de la freqüència cardíaca màxima teòrica (220 - edat).....	107
Taula I.15. Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el segon llinzar ventilatori (LIV2) valorats amb temps, període i FC corresponents. ....	109
Taula I.16. Coeficients de correlació (r) entre la càrrega corresponent al punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) i paràmetres fisiològics (LIV2 i PDFC).....	111
Taula I.17. Coeficients de correlació (r) entre el nivell competitiu (ITN) i les diferents variables que resulten del SET – Test.....	112
Taula I.18. Resultat de les anàlisis multivariants de regressió múltiple. S'indiquen els valors del coeficient de correlació ( $r_m$ ) i de determinació múltiple ( $r_m^2$ ), així com l'error estàndard d'estimació (EEE).....	113
Taula I.19. Estadístics dels models de regressió múltiple. ....	113

Taula II.1. Valors màxims assolits durant la prova (n = 38).....	143
Taula II.2. Valors corresponents a la intensitat en que s'assoleix el consum màxim d'oxigen (VO <sub>2max</sub> ) (n = 38).....	145
Taula II.3. Variables fisiològiques i de càrrega corresponents al primer (LIV1) i segon (LIV2) llindars ventilatoris (n = 38). S'indiquen els percentatges respecte dels valors màxims de cada variable.....	146
Taula II. 4. Valors corresponents al punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35). S'indica els percentatges respecte els valors màxims.....	149
Taula II.5. Dades d'efectivitat tècnica (ET) en un subjecte. ....	152
Taula II.6. Efectivitat tècnica (ET) durant el SET – Test (n = 38).....	153
Taula II.7. Resultats d'efectivitat tècnica (ET) per període (n = 38). S'hi indica el percentatge d'efectivitat tècnica en relació a la mitjana d'encerts global. ....	154
Taula II.8. Període en que es produeix la disminució d'efectivitat tècnica (PDET). S'hi indica el percentatge en relació al període màxim (n = 38).....	156
Taula II.9. Taula de percentils dels principals paràmetres funcionals avaluats amb el SET – Test (n = 38). ....	157
Taula II.10. Recull de valors de consum màxim d'oxigen (VO <sub>2max</sub> ) i consum d'oxigen en el primer i segon llindar ventilatori (VO <sub>2</sub> LIV1 i VO <sub>2</sub> LIV2) en jugadors de competició.....	161
Taula II.11. Valors de consum màxim d'oxigen en grups d'esportistes i no esportistes de gènere masculí (Adaptat de Costill i Willmore, 2007). ....	162
Taula II.12. Recull de valors de freqüència cardíaca màxima (FCmax) i freqüència cardíaca en el primer i segon llindar ventilatori (FC LIV1 i FC LIV2) en tennistes masculins de competició.....	163
Taula III.1. Dades generals dels subjectes.....	175

Taula III.2. Esquema de la distribució de l'analitzador de gasos i cardiotacòmetre en els partits avaluats. ....	176
Taula III.3. Resultats dels partits i durada dels sets disputats amb i sense analitzador de gasos portàtil. ....	179
Taula III.4. Valors ergoespiromètrics mitjans registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. .	181
Taula III.5. Valors ergoespiromètrics màxims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. .	184
Taula III.6. Valors ergoespiromètrics mínims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. .	187
Taula III.7. Distribució temporal i percentual de la intensitat durant els sets disputats (n = 20) en relació al $VO_2$ en els llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).....	189
Taula III.8. Recull de diferents registres de consum d'oxigen ( $VO_2$ ) absolut i relatiu al consum màxim d'oxigen (% $VO_{2max}$ ) i al segon llindar ventilatori (% LIV2) durant un partit de tennis en jugadors masculins. ....	196
Taula III.9. Recull de diferents registres de freqüència cardíaca (FC) absoluta i relativa a la freqüència cardíaca màxima (% FCmax) durant un partit de tennis en jugadors masculins. ....	197

## **RESUM**





En el present estudi es proposa, aplica i valida una prova per avaluar la resistència específica en jugadors de tennis de competició i es realitza una anàlisi de les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals.

La recerca consta de tres estudis interrelacionats: un primer estudi es va centrar en el disseny d'una prova de resistència específica en tennis (SET – Test, *Specific Endurance Tennis Test*), que es valida mitjançant una anàlisi de la seva fiabilitat –en 12 jugadors de competició– i validesa –amb una mostra de 38 jugadors–. En un segon estudi es descriuen les característiques funcionals dels tennistes de competició derivades de l'aplicació de la prova proposada en la mostra de 38 jugadors. Per últim, en el tercer estudi s'examinen les demandes bioenergètiques d'un partit d'individuals mitjançant el registre de paràmetres ergoespiromètrics en competició simulada al llarg de 20 sets i en 20 jugadors.

Del disseny i validació de la prova es destaca que el SET–Test és una prova de camp objectiva, fiable i vàlida per avaluar la resistència específica en tennistes, permet realitzar una avaluació directa de paràmetres ergoespiromètrics sense que això afecti significativament els paràmetres estudiats i es vàlida per determinar de manera indirecta el segon llindar ventilatori en tennistes. La variable d'efectivitat tècnica (ET) es va mostrar com el millor indicador de rendiment seguit dels paràmetres fisiològics de resistència i potència aeròbica (LIV2 i  $VO_{2max}$ ); aquests mateixos paràmetres expliquen bona part de la variància en el nivell competitiu dels jugadors (56 i 53%, respectivament); possiblement la resta de la variabilitat pugui ser explicada pel nivell en habilitats tàctiques, estratègiques o psicològiques, no avaluades amb el SET – Test.

Es va aplicar de manera novedosa una prova de resistència específica realitzada a la pista de tennis a una mostra àmplia de jugadors de competició d'abast internacional i es va comprovar que els valors de  $VO_{2max}$  ( $57,0 \pm 6,0 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) dels tennistes són entre moderats i alts d'acord amb la naturalesa aeròbica de l'esport, tot i que el nivell de potència aeròbica no representa el paràmetre més determinant pel rendiment. L'efectivitat tècnica evoluciona de manera inversament proporcional a la intensitat de l'esforç durant la prova; els valors globals registrats ( $63,1 \%$  d'encerts  $\pm 9,1$ ) mostren un elevat nivell de precisió i potència.

De l'anàlisi de la competició simulada es destaca que els moderats valors mitjans observats durant el joc ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $51,6 \pm 8,6 \%$  del  $VO_{2max}$ ) i l'elevat percentatge de temps ( $77,2 \pm 24,5 \%$ ) en que els jugadors participen a

un nivell d'intensitat baixa o moderada ( $\text{VO}_2 < \text{LIV2}$ ) confirmen que el sistema de transport d'oxigen no es un factor limitant del rendiment en aquest esport.

# **INTRODUCCIÓ**



## **INTRODUCCIÓ**

### **Factors determinants del rendiment en el tennis**

Factors tècnics

Factors tàctics i estratègics

Factors psicològics

Factors funcionals

Factors condicionals

### **Anàlisi bioenergètica del tennis**

Anàlisi de temps–acció de la competició en tennis

Bioenergètica del tennis

Bioenergètica del tennis en funció de les diferents característiques del joc

### **Avaluació funcional de la resistència en el tennis**

La resistència en el tennis, una capacitat determinant

Proves de valoració de la resistència en tennis

## INTRODUCCIÓ

El tennis és un esport practicat arreu del món, amb milions de seguidors i practicants aficionats i professionals. Durant tot l'any es juguen diferents competicions professionals d'una o dues setmanes de durada, distribuïdes per diferents països i en diferents continents. Els circuits de la *Association of Tennis Professionals* (ATP) i la *Women's Tennis Association* (WTA) inclouen més de 140 competicions internacionals disputades en més de 40 països diferents. Aquestes competicions són de caràcter professional i es classifiquen per nivells (*Grand Slam*, *Tennis Masters Series*, *International Series Gold*, *International Series*, *Challengers ATP*, *Futures ATP* i *Satellites ATP*), en funció de la seva dotació econòmica i repartiment de punts per a la classificació ATP o WTA. També existeixen competicions mundials per equips nacionals masculins (*Davis Cup*, *World Team Championship*) i femenins (*Fed Cup*) així com un campionat del món individual (*Tennis Masters Cup*). Finalment, el tennis ha format part del programa Olímpic des de l'any 1986 fins el 1924, desapareixent per raó del seu professionalisme i reincorporant-se des del l'any 1988 durant els JJOO de Seúl.

Al marge del tennis com a esport competitiu i altament professionalitzat, també està plenament instaurat a nivell mundial com a esport recreatiu per al temps de lleure i com a pràctica en l'àmbit de l'activitat física i la salut. Segons la *International Tennis Federation* (ITF) (2007) el tennis es juga en més de 200 països; aquesta organització destaca el joc del tennis com un mitjà per desenvolupar diversos àmbits personals: social, afectiu, intel·lectual, físic i lúdic. Marks (2005) descriu els amplis beneficis per a la salut –adaptacions aeròbiques, augment de la densitat òssia, disminució del percentatge de greix corporal o augment de força– que aporta la pràctica d'aquest esport en jugadors sèniors i veterans. Per altra banda, i en contraposició amb la creença tradicional que el joc del tennis únicament es pot practicar en l'àmbit dels clubs i amb caràcter competitiu o lúdic, aquest esport s'està introduint progressivament en l'àmbit educatiu com a contingut d'iniciació esportiva. Fuentes (1999), Sanz (2004) i Torres (2005) destaquen les possibilitats educatives del tennis i el recomanen com a contingut idoni dins la programació d'aula de l'assignatura d'Educació Física.

A nivell competitiu, durant els últims 20 anys el tennis ha experimentat una gran evolució i la durada mitjana dels punts ha disminuït substancialment (Kovacs, 2007), conseqüència de l'augment de la velocitat de joc derivada d'una sensible millora del rendiment dels jugadors, una optimització en la seva preparació (Figura 1), així com una millora dels materials utilitzats (Figura 2). Aquesta evolució del tennis ha anat

acompanyada per un major interès en conèixer les característiques específiques del joc i per un augment de la producció científica relativa al mateix. Schönborn (1978, en Muntañola 1996) ja exposava que el tennis havia d'evolucionar cap a un estudi més científic. Per a Woods (1995) el futur de la medicina aplicada a l'esport i les ciències de l'activitat física és extremadament prometedor en el món del tennis, degut a que els jugadors i tècnics han reconegut l'important paper de la ciència com a suport per a l'entrenament i el desenvolupament en aquest esport. Maquirrian (2005) observa com el nombre de publicacions referents al tennis durant els últims 10 anys en revistes internacionals està quasi al nivell del futbol o la natació, i per sobre d'esports com el basquetbol.

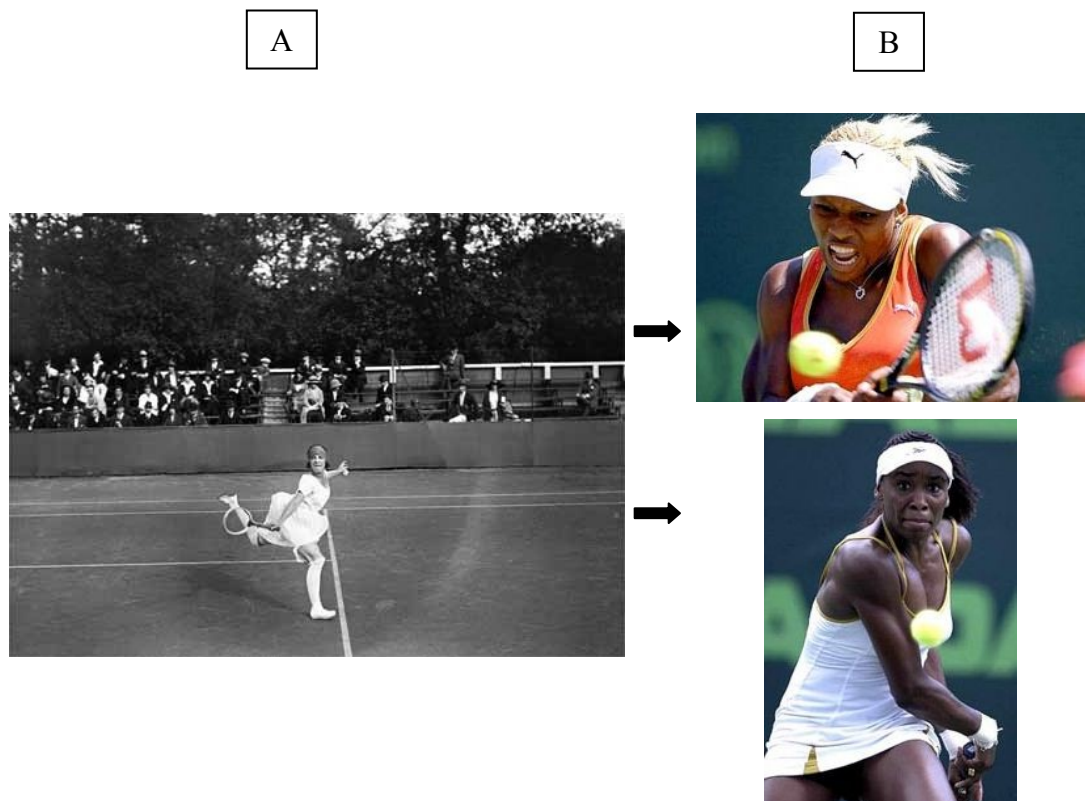
Durant els darrers anys Espanya ha esdevingut una potència mundial en competicions nacionals per equips<sup>1</sup>, i a partir de principis de la dècada dels anys 90 del segle passat, també en competicions individuals, especialment en superfície de terra batuda. Diversos jugadors i jugadores com Sergi Bruguera, Arantxa Sánchez, Conchita Martínez, Àlex Corretja, Carles Moya o Rafael Nadal han assolit importants victòries en les millors competicions a nivell mundial (Roland Garros, Wimbledon, US Open o Master's Cup). En relació a l'elevat rendiment competitiu i la gran evolució que ha experimentat el tennis al nostre país, el volum de la recerca científica al voltant d'aquest esport a casa nostra no es pot dir que hagi evolucionat de forma paral·lela. Es per aquesta raó que el present estudi pretén aportar nou coneixement científic, aprofitant en part el bon moment del tennis competitiu espanyol, la qual cosa ens ha permès accedir a una mostra internacional de jugadors de molt bon nivell, integrats en alguns dels centres d'entrenament de major prestigi mundial a Barcelona i a Palma de Mallorca.

Aquesta investigació no hauria estat possible sense el suport material i humà de l'INEFC de Barcelona, que ha posat a disposició dels investigadors les seves instal·lacions i material de recerca d'alta tecnologia. Així, la present investigació s'emmarca en la línia prioritària de recerca de l'INEFC de Barcelona "Valoració funcional i bioenergètica en esports intermitents", dirigida pel Dr. Ferran A. Rodríguez, director d'aquesta tesi conjuntament amb el Dr. Xavier Iglesias.

---

<sup>1</sup> L'equip espanyol masculí ha estat campió de la *Davis Cup* els anys 2000 i 2004, i finalista el 2003. L'equip femení ha estat campió de la *Fed Cup* els anys 1991, 1993, 1994, 1995 i 1998, i finalista els anys 1989, 1992, 1996, 2000 i 2002.

En aquesta introducció es descriuen succintament els factors determinants del rendiment en el tennis i s'analitzen amb més detall les demandes bionergètiques i funcionals, així com la resistència específica i els mètodes per a la seva avaluació.



**Figura 1.** Jugadores de diferents èpoques, il·lustratives de l'evolució del tennis del segle XX (A) al segle XXI (B).



**Figura 2.** Raqueta de fusta dels anys 60 i raqueta actual representatives de l'evolució del material (ITF, 2007).



## **FACTORS DETERMINANTS DEL RENDIMENT EN EL TENNIS**

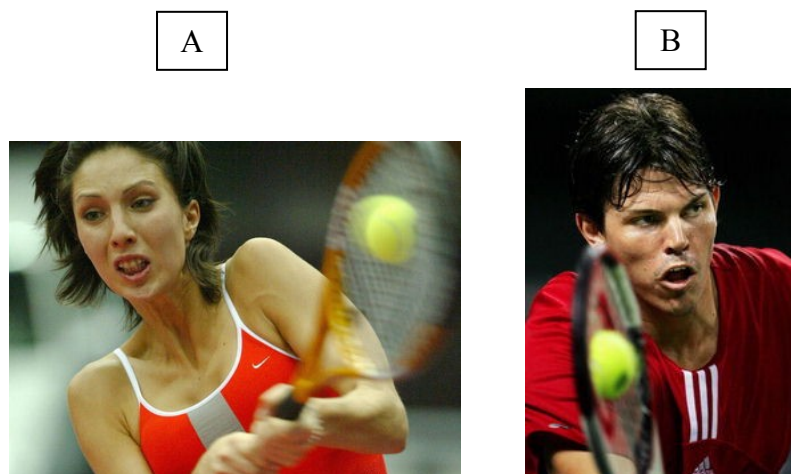
El tennis és un joc esportiu d'oposició sense col·laboració –amb col·laboració en partits de dobles–, amb contacte indirecte, que requereix per part de l'esportista un alt grau d'habilitat motriu, una gran implicació de les capacitats físiques i una bona interpretació de les situacions tàctiques i de l'estratègia general. El rendiment competitiu del tennista depèn de la interacció de diversos factors com són els genètics, estructurals, fisiològics, biomecànics, cognitius i psicològics, els quals es tradueixen en habilitats i capacitats tècniques i tàctiques específiques. Per tant, considerem que el rendiment en aquest esport és multifactorial i, en conseqüència, és important considerar al jugador de tennis com una entitat integral en que els diferents factors contribueixen de manera conjunta i relacionada al rendiment. Sembla lògic doncs que les noves metodologies d'entrenament per a aquest esport hagin d'anar encaminades al desenvolupament de diferents continguts en una mateixa tasca o sessió, on s'hi vegin involucrats elements tàctics, físics, tècnics o psicològics, tenint en compte que tots aquests elements interactuen entre ells mateixos i condicionen el rendiment del jugador. Tradicionalment, la preparació del tennista s'ha dut a terme sense tenir en consideració el conjunt d'aquests elements i les seves interaccions, és a dir, considerant-los de manera aïllada, independent, no relacionada, i sense atendre a una visió integral del procés d'entrenament. A continuació es descriuen de manera breu i enumerats en cinc apartats, els principals factors que determinen el rendiment en aquest esport.

### **Factors tècnics**

El tennis és un esport eminentment tècnic i presenta una gran diversitat de moviments, la majoria dels quals s'han d'executar amb un alt component de precisió. En aquesta línia Arellano (1999) observa que en els jocs esportius la tècnica assoleix nivells de gran varietat i complexitat, tenint diversos objectius com són augmentar la precisió, evitar l'anticipació defensiva del contrari o una execució adequada en condicions canviants. Segons la *Escuela Nacional de Maestría de Tenis* (1998), els principals fonaments tècnics del joc són la mecànica dels cops, el joc de peus, les empunyadures i els efectes. Els cops es diferencien entre cops bàsics (dreta, revés, esmaixada, volees i servei), cops especials (globus, deixada i sobrebot) i cops de situació (restada, “passing-shot”, contra deixada i pujada a la xarxa) i existeixen unes variants genèriques dels cops en funció de la seva profunditat, alçada, direcció, força i efecte. Per Arranz et al.

(1993) els principals components de la tècnica en tennis són la fluïdesa o naturalitat, l'economia i l'eficàcia.

El conjunt d'accions tècniques en el tennis es veuen condicionades per la velocitat de desplaçament de la pilota i aquesta representa un factor limitant de la tècnica. Per realitzar una acció cal que el jugador es trobi en un lloc i posició determinada que li permeti executar-la correctament. Una vegada el jugador està en situació de copejar, el temps de contacte entre la raqueta i la pilota és de 0,003 a 0,006 segons (Figura 3) i, en aquest interval de temps, la raqueta ha d'estar correctament orientada per a realitzar el cop desitjat (Renstrom, 2002). Durant aquest curt temps de contacte, la raqueta acompanya a la pilota de 0 a 10 cm, en funció de la força del cop (Federació Alemanya de Tennis, 1979).



**Figura 3.** Fase d'impacte entre la raqueta i la pilota en un cop de revés a dues mans en una jugadora (A) i volea de dreta en un jugador (B), ambdós de nivell professional.

Per altra banda, els cops es realitzen amb un elevat component de potència; en moltes accions el jugador intenta accelerar la raqueta per arribar al moment d'impacte amb una velocitat elevada. Chandler (1995) observa pics de velocitat de la raqueta en el servei de 100 a 116  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , que corresponen a velocitats de la pilota de 134 a 201  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (Figura 4).



**Figura 4.** Recorregut de la raqueta en el servei (ITF, 2007).

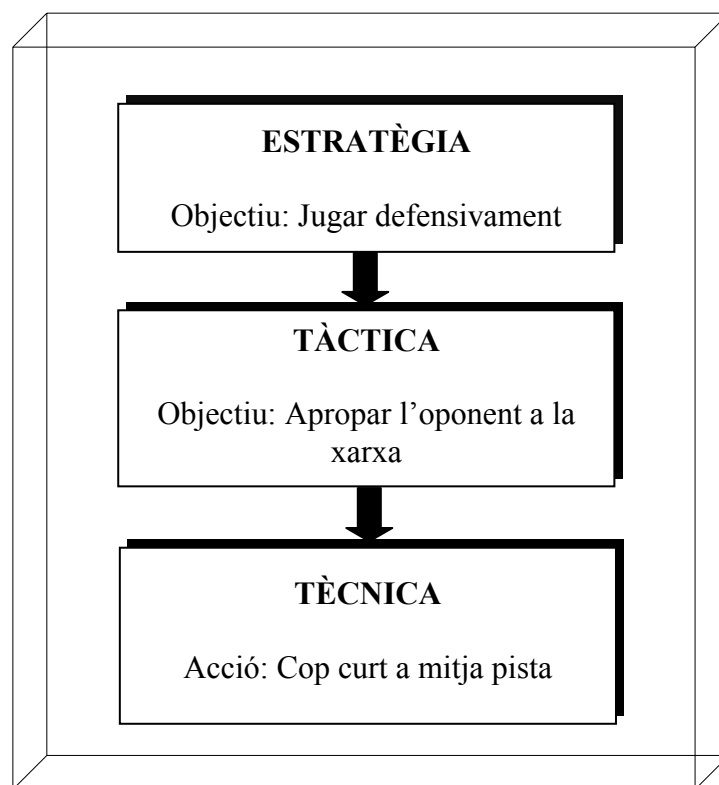
Tot i la gran complexitat i la importància del component tècnic en el tennis, cal emmarcar-lo dins un context global d'acord amb el caràcter situacional de l'esport. Segons Moreno (1999) cada cop i cada acció tècnica estarà condicionada i haurà d'ajustar-se a les necessitats peculiars de cada moment. Qualsevol d'aquestes accions es poden considerar com accions obertes i serà difícil observar-ne dos d'iguals degut a que també serà difícil que un jugador es trobi davant dos situacions idèntiques.

### **Factors tàctics i estratègics**

El tennis és un esport obert i durant el joc es donen un gran nombre i varietat de situacions, opcions i possibles solucions associades. En un partit d'individuals es produeix un enfrontament de contacte indirecte en que els dos subjectes actuen alternativament segons les seves possibilitats per intentar influir sobre les accions del contrari. Segons O'Donoghue (2001) el tennis és un joc dinàmic i complex en el que els jugadors prenen constantment decisions en relació al posicionament i els cops; el mateix autor observa que les estratègies dels jugadors per maximitzar les possibilitats de guanyar un partit es basen en el coneixement dels seus punts forts i febles, així com en els de l'oponent.

En aquest entorn el jugador es veu obligat a optimitzar les capacitats perceptives, ha de tenir una adequada capacitat analítica i realitzar una constant presa de decisions en

funció de les interpretacions tàctiques i estratègiques, la qual cosa exigeix un elevat desenvolupament de capacitats cognitives específiques. Segons Riera (1999) el tennis d'individuals és un esport d'oposició sense col·laboració on la tàctica individual constitueix l'essència del enfrontament; en aquest cas el jugador, per realitzar l'acció tècnica més adequada, ha de valorar les alternatives en funció de tres elements canviants: l'oponent (posició, situació, intencions, fatiga, recursos tècnics, etc.), la pilota i el propi jugador (posició, situació, intencions, fatiga, recursos tècnics, etc.) Segons el mateix autor, l'estratègia, la tàctica i la tècnica no impliquen tres accions diferents, sinó tres formes diferents de contemplar la mateixa acció. En aquesta mateixa línia, Weineck (2005) assenyala que la formació tàctica és un component integrador del procés d'entrenament i es troba en estreta relació amb les capacitats tècniques i psicològiques.



**Figura 5.** Esquema de la relació entre estratègia, tàctica i tècnica en el tennis (Adaptat d'Arranz et al., 1993).

### **Factors psicològics**

En el tennis de competició és habitual observar que un jugador de major nivell perd amb un jugador inferior, atribuint-se aquesta derrota a aspectes mentals o psicològics. Segons Cervelló (1999), quan es pregunta als entrenadors de tennis quins són els factors que determinen el rendiment en el joc, la majoria d'ells destaca la gran importància dels aspectes psicològics com a determinants en el resultat d'un partit. Actualment cada vegada es dóna més importància a aquest aspecte del rendiment i molts jugadors disposen d'un psicòleg esportiu integrat dins d'un equip tècnic multidisciplinar.

Per Riera (1985), el dèficit de concentració, juntament amb l'estrès competitiu i la manca de confiança, es presenta com un dels tres tipus de problemes més generals que es troben en els esportistes. Degut a les elevades dosis d'estrès que genera la competició, el tennis és un esport amb unes importants demandes a nivell psicològic. Loehr (1990) argumenta les següents raons com a responsables de l'estrès competitiu que genera el tennis: sovint es practica en modalitat d'individuals, no existeixen suplents ni temps morts, es disputa amb un adversari real (cara a cara), durant la competició no hi ha contacte amb l'entrenador, el sistema de puntuació implica que el jugador mai es troba fora de perill i es competeix amb un sistema eliminatori. Per Weinberg (1988) i Balaguer (1993), les principals variables psicològiques que conformen l'estat ideal d'execució en un tennista són la relaxació física, una baixa ansietat, calma mental, concentració, alta confiança, energia, optimisme, diversió, esforç, automatisme, alerta i control.

### **Factors funcionals**

Els factors funcionals determinen la capacitat del tennista d'efectuar i mantenir una determinada intensitat d'esforç durant un temps determinat. La present recerca es centra en aquests aspectes funcionals i es va realitzar mitjançant el registre de les respostes dels senyals fisiològics de jugadors de competició davant la pràctica específica del joc. Segons Terreros et al. (2003) durant els anys 80 i 90 es produeix una explosió d'investigacions sobre la valoració funcional de l'esportista, no obstant aquesta es realitzava majoritàriament al laboratori. En el present estudi, i amb consonància amb les actuals tendències (Rodríguez 1989, 1999), l'avaluació funcional i bioenergètica del jugador es va realitzar en el terreny esportiu, en situacions específiques i en condicions de joc. Degut a la seva importància en el context de la present recerca, aquests aspectes

es desenvolupen més extensament en apartats posteriors (veure Apartat 'Avaluació funcional de la resistència en el tennis').

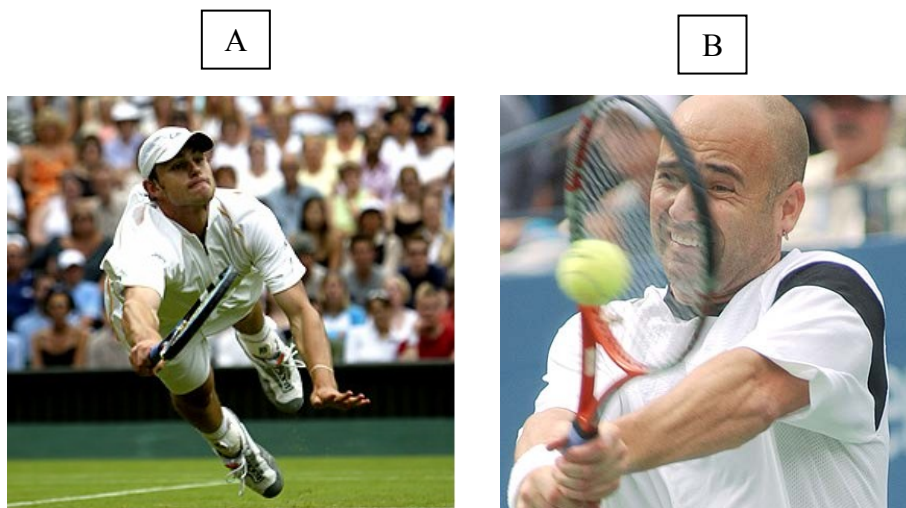
### **Factors condicionals**

El desenvolupament de les capacitats físiques ha adquirit un important paper en el tennis de competició; contràriament a com passava abans, els tècnics i jugadors consideren actualment que el rendiment dels tennistes està molt influenciat per la seva preparació física. Les adaptacions condicionals que necessita un jugador de competició no s'assoleixen únicament amb la pràctica específica de l'esport, sinó que necessita un entrenament addicional encaminat a la millora d'aquestes capacitats. Per Solanellas (1995), la durada dels partits, la seva intensitat i la repetició de la càrrega en pocs dies, així com els seus moviments asimètrics, plantegen la necessitat d'un entrenament específic de preparació física que avui en dia tot tennista considera i segueix. Gusi (1999) assenyala que la preparació física es caracteritza per ser la part de l'entrenament destinada a mantenir o desenvolupar el nivell de condició física requerit tant per la competició tennística com per al procés d'entrenament per a preparar-la.

Les exigències a nivell condicional del tennis venen determinades per les característiques específiques del joc. Així, el tennis es caracteritza per esforços curts d'exercici intensiu basats en una sèrie de moviments acíclics intermitents, amb molta intervenció de les capacitats de força i velocitat i que es donen durant un període de temps prolongat. Durant el joc es produeixen una gran quantitat de cops, sortides, frenades i canvis de direcció, accions tècniques que tenen una naturalesa explosiva i reactiva i estan determinades per la capacitat de velocitat acíclica i gestual. Durant el punt es recorren un total de 8 a 12 m, a una mitjana de 3 m per cop, i en un partit de tres sets de durada es realitzen un total de 300 a 500 esforços d'alta intensitat (Parsons, 1998 en Fernández et al., 2006). Méndez -Villanueva et al. (2007) observen sobre superfície de terra batuda  $2,7 \pm 2,2$  cops per intercanvi i Johnson i McHugh (2006) apunten que el guanyador del US Open del 2003 va realitzar 7 partits, jugant 120 jocs al servei amb una mitjana de  $7,8 \pm 3,2$  serveis per joc i aproximadament un total de 1000 serveis, tenint en compte que el servei és el cop més rotund i exigeix una gran aplicació de força per part del jugador.

Per tant, podem dir que la força explosiva del tren inferior és necessària per a la capacitat d'acceleració i la força explosiva del tren superior ho és per generar una òptima potència en els cops (Figura 6). Aquesta acció tècnica de copejament

normalment és unilateral i determina el caràcter asimètric de l'esport, fet que condiciona de manera important el treball de la condició física com a prevenció de lesions. Ellenbecker et al. (2005) observen adaptacions específiques de força significativament majors en l'extremitat dominant respecte la no dominant.



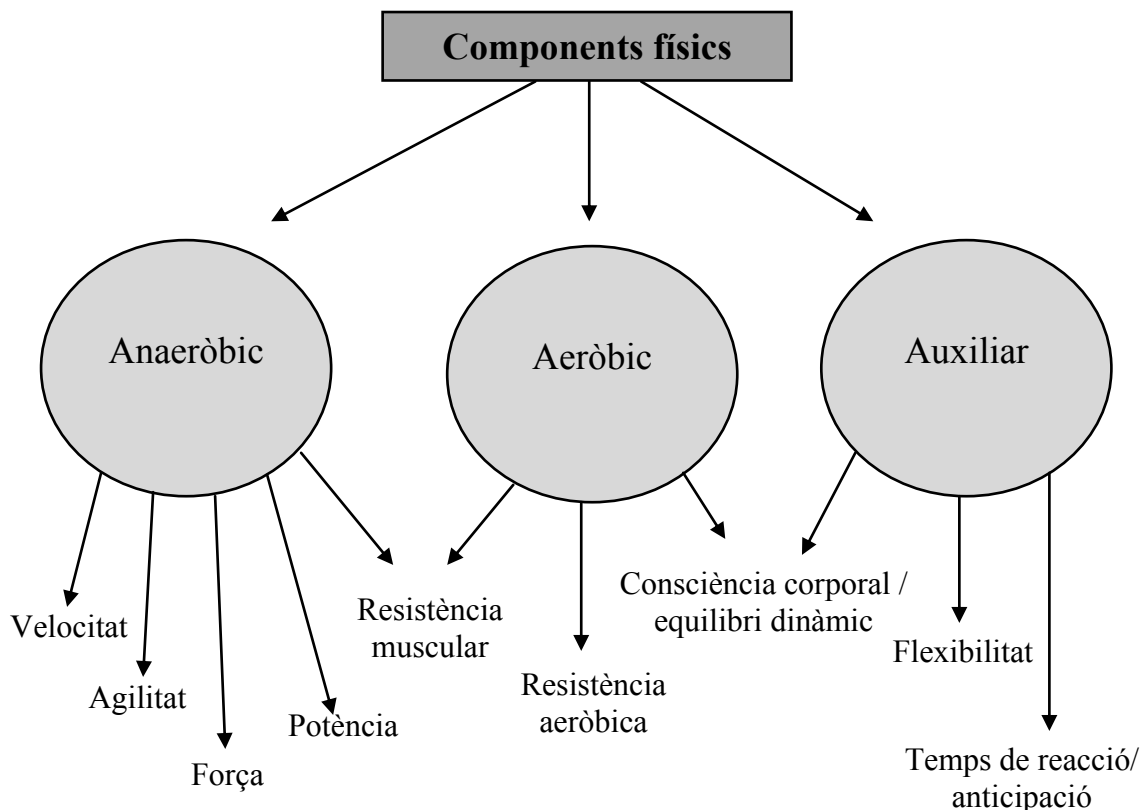
**Figura 6.** Exemples d'accions amb elevats components d'agilitat (A) i potència (B) en tennistes professionals.

Per altra banda, es tracta d'un esport amb una gran riquesa motriu on hi intervenen un ampli conjunt d'habilitats físiques i exigeix al jugador un gran bagatge coordinatiu degut a la gran riquesa d'elements tècnics. Un adequat nivell de coordinació permetrà al jugador realitzar els moviments tècnics específics de manera ràpida, sincronitzada, orientada i equilibrada amb l'objectiu d'impactar la pilota en el moment i amb la velocitat d'execució desitjats. De la mateixa manera, l'agilitat està present en quasi la totalitat de les accions –cops, desplaçaments, salts, canvis de sentit i direcció, etc. (Figura 6)– i integra les capacitats de velocitat, força, mobilitat articular i coordinació. Finalment totes aquestes manifestacions de capacitats físiques i l'elevada intensitat de joc d'un partit de tennis s'han de mantenir durant un temps prolongat (1 a 4 hores), amb la qual cosa la capacitat de resistència adquireix una paper determinant en el rendiment del jugador; segons Chandler (1995) la funció de la resistència aeròbica en el tennis és permetre una recuperació adequada entre els punts, la qual cosa permetrà participar de forma més intensa durant el joc. Aquesta capacitat condicional es

desenvolupa més extensament en següents apartats (veure ‘Avaluació funcional de la resistència en el tennis’).

La majoria d'autors identifiquen les necessitats condicionals diverses del jugador de tennis. Així, Kibler et al. (1988) i Chandler (1995) observen que el jugador necessita una barreja de capacitats anaeròbiques com són la velocitat, l'agilitat i la potència, combinades amb altes capacitats aeròbiques. Kovacs (2007) descriu tres components físics principals (aeròbic, anaeròbic i auxiliar) dels quals se'n deriven diferents habilitats físiques (Figura 7). En aquesta mateixa línia diferents autors (Gusi, 1999; Roetert i Ellenbecker, 2000; Vila, 1999; Ortiz, 2004; Aparicio, 1998; Gallach, 1993; Solanellas, 1995; Renström, 2002; Sanchis et al., 1994; Calvo, 2007) analitzen les capacitats físiques i les manifestacions que intervenen en el joc; estan tots ells d'acord en que velocitat, resistència, força, mobilitat articular, agilitat i coordinació són capacitats determinants des de la perspectiva de la condició física. Kibler et al. (1988) i Roetert et al. (1995) administren àmplies bateries de proves físiques a extenses mostres de jugadors júnior i a partir d'aquí descriuen els nivells d'aquests col·lectius i creen percentils en relació a les diferents capacitats físiques, amb l'objectiu de que els entrenadors coneguin quines són les àrees de condició física que han de millorar els seus jugadors o quines són les seves mancances.





**Figura 7.** Habilitats físiques i components rellevants del rendiment en tennis (Kovacs, 2007).

En la Taula 1 es mostra un recull de les capacitats condicionals i manifestacions que intervenen en el joc així com una breu descripció de les accions en que es veuen implicades.

**Taula 1.** Capacitats físiques i manifestacions determinants en el tennis.

<b>Capacitat</b>	<b>Tipus i manifestació</b>	<b>Accions en que es veu implicada</b>
<b>Resistència</b>	Resistència aeròbica	Recuperació ràpida entre els esforços, durada total del partit
	Resistència anaeròbica làctica	Es dona en menor mesura i en els punts de llarga durada
	Resistència anaeròbica alàctica	Successió d'esforços intermitents, curts i d'elevada intensitat
<b>Força</b>	Força explosiva	Execució dels cops i desplaçaments
	Força elàstica-explosiva	Execució dels cops i desplaçaments
	Força elàstica-explosiva-reflexa	Petits salts realitzats per recobrar la posició ("split-step") i per a la posterior carrera
	Força isomètrica	Membre superior executor: presa de la raqueta
	Resistència a les anteriors manifestacions	Manteniment del nivell de potència en els cops i desplaçaments durant tot el partit
<b>Velocitat</b>	Velocitat de reacció	Devolució dels cops
	Velocitat gestual o de moviment	Rapidesa del braç-raqueta en les accions de copejament
	Capacitat d'acceleració	Desplaçaments globals sobre distàncies curtes, i segmentaris del braç-raqueta en els cops
	Resistència a les anteriors manifestacions	Manteniment de la velocitat de desplaçament, moviment i reacció durant tot el partit
<b>Mobilitat articular</b>	Mobilitat articular dinàmica o activa	Participació de les masses musculars que realitzen els cops i desplaçaments
	Flexibilitat de treball i residual	Moviments de las articulacions en les posicions de copejament forçades
	Elasticitat	Recobrament de la posició neutra després d'un cop
<b>Coordinació</b>	Coordinació dinàmica general	Diferents tipus de desplaçament
	Coordinació òculo-manual	Tècnica dels cops: impacte entre cordes i pilota
<b>Agilitat</b>		Totalitat de desplaçaments i cops

## ANÀLISI BIOENERGÈTICA DEL TENNIS

L'habilitat del jugador de tennis per córrer, copejar la pilota i recuperar-se pel següent punt està en gran part determinada per la capacitat fisiològica d'adquirir, convertir i utilitzar energia (Renström, 2002). Segons Billat (2002), l'enfocament bioenergètic del rendiment esportiu no és exclusiu, però és essencial per aprendre les característiques energètiques, en particular la quantitat d'energia necessària per a la realització d'una prova esportiva i el tipus de transformació implicat en funció de la durada, intensitat i forma de l'exercici. La durada dels punts i la proporció entre el temps d'actuació i de descans determinen les demandes bioenergètiques del tennis; és per aquesta raó que a continuació i dins l'apartat de bioenergètica del tennis es realitza una anàlisi del temps-acció en funció del treball que recull la literatura.

### Anàlisi del temps-acció en tennis

Tal i com s'ha descrit anteriorment, el tennis és un joc intermitent en el qual la majoria d'accions són relativament curtes –actualment la mitjana de la durada dels punts sobre les diferents superfícies és netament inferior als 10 segons (Taula 3)– i s'observen diferents durades segons la superfície de joc (Figura 9). Aquesta durada mitjana ha disminuït respecte als anys 80 i 90, possiblement com a conseqüència d'un notable increment de la intensitat de joc. Els temps de descans entre punts, jocs i sets estan establerts per una normativa específica<sup>2</sup>, fet que determina que el temps efectiu de joc d'un partit de tennis sigui reduït (> 30%) (Figura 8) i que la proporció entre joc i descans sigui clarament favorable al temps de descans (Taula 2). Segons Ferrauti et al. (2001) la velocitat i qualitat dels cops durant els exercicis intermitents en el tennis és summament dependent de la durada dels temps de recuperació. El número de cops per punt, així com la durada dels mateixos, afecten les demandes bioenergètiques del joc, Smekal et al. (2001) realitzen una regressió lineal múltiple per passos per seleccionar les variables independents que expliquen millor el  $VO_2$  en un partit de tennis, trobant que la durada dels punts explica un 29,1% de la variància del  $VO_2$  en un partit. Méndez-Villanueva et al. (2007) van trobar que la concentració de lactat en sang durant el joc correlaciona significativament amb el número de cops per intercanvi i la durada dels

---

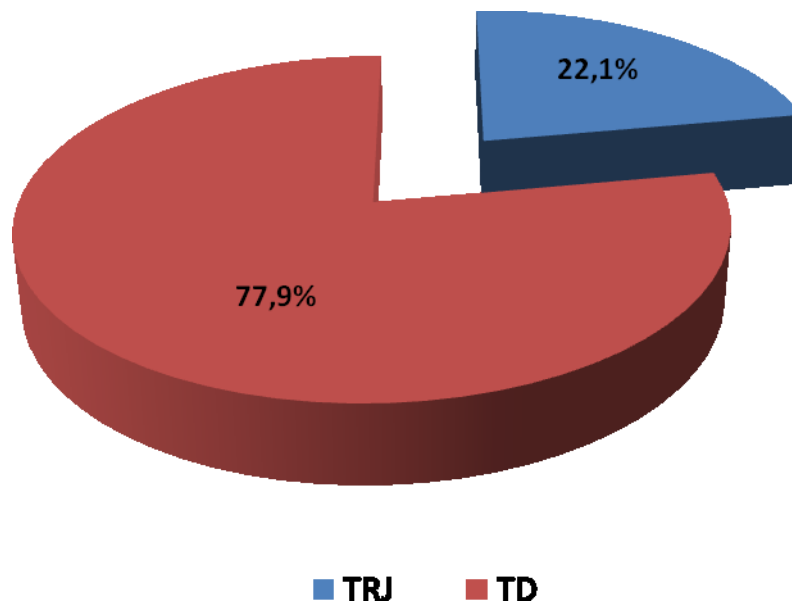
<sup>2</sup> Des de 2004 un màxim de 20 s entre punts (des del moment en que finalitza un punt fins el moment en que s'executa el següent servei). Un màxim de 90 s en els canvis de costat (des del moment en que s'acaba el joc fins el moment en que s'executa el primer servei del joc següent). Al final de cada set un màxim de 120 s (International Tennis Federation, 2007).

punts ( $r = 0,80$ ), i Christmass et al. (1998) troben que les variacions en la concentració de lactat observades durant el joc depenen directament dels temps de treball i descans (durada dels punts) i de la seva intensitat.

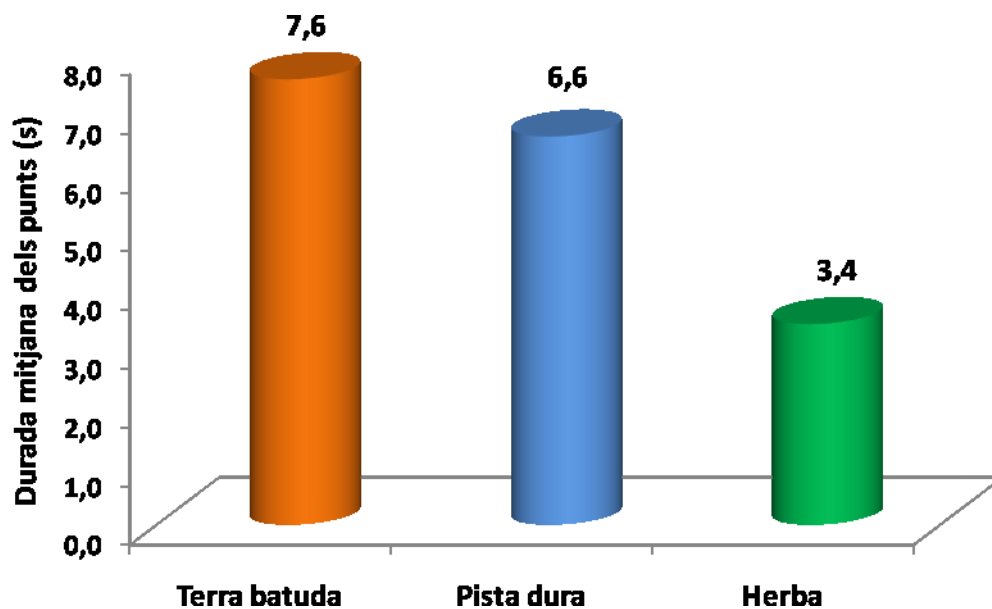
**Taula 2.** Recull de diversos estudis sobre temps real de joc i proporció entre temps de treball i de descans (T:D) segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Fernández et al., 2006).

Referència	Temps de joc (%)	T:D	Superfície	Classe
Fernández et al. (2005)	18,2 ± 5,8	1:2,2	Terra batuda	1
Ferrauti et al. (1998)	20,6 ± 8,2	-	Terra batuda	1
Smekal et al. (2001)	29,3 ± 12,1	-	Terra batuda	1
Méndez-Villanueva et al. (2007)	21,5 ± 4,9	1:2	Terra batuda	1
Smekal et al. (2003)	16,3 ± 6,6	-	Terra batuda	1
Murias et al. (2007)	-	1:2,2	Terra batuda	1
Reilly i Palmer (1994)	27,9 ± 3,9	1:2,5	Dura	2
Christmass et al. (1998)	23,3 ± 1,4	1:1,7	Dura	2
Elliot et al. (1985)	26,5 ± 3,5	1:2,9	Dura	2
Docherty (1982)	-	1:1,8	Dura	2
Weber et al. (1978)	16,4	-	Dura	2
Kovacs (2004)	-	1:2,6	Dura	2
Girard et al. (2005)	21,3 ± 3,6	-	Dura	2
Murias et al. (2007)	-	1:2,9	Dura	2

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Classe = Classificació de la superfície per la ITF: 1= lenta, 2 = mitjana/mitjana-ràpida.



**Figura 8.** Mitjana de les proporcions entre temps real de joc (TRJ) i temps de descans (TD) recollides en la literatura.



**Figura 9.** Mitjana de la durada dels punts segons diferents superfícies de joc (terra batuda, pista dura i herba) recollides en la literatura. Les dades utilitzades són a partir de l'any 2000.

**Taula 3.** Recull de la durada mitjana dels punts i temps de descans entre punts segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Kovacs, 2007).

Referència	Durada dels punts (s)	Temps de descans (s)	Superfície	Classe
Dawson et al. (1985)	10 ± 0,2	-	Dura	2
Elliott et al. (1985)	10 ± 0,8	-	Dura	2
Morgans et al. (1987)	7,5 ± 0,7	-	Dura	2
Therminarias et al. (1991)	12 ± 1	-	Dura	2
Chandler (1991)	12,2	-	Dura	2
Christmass et al. (1995)	10,2 ± 0,3	16,8 ± 0,2	Dura	2
Richard (1995)	8	-	Dura	2
Yoneyama et al. (1999)	6,6	-	Dura	2
König et al. (2001)	7 - 10	-	Dura	2
O'Donoghue i Ingram (2001)	5,8 ± 1,9*	-	Dura	2
O'Donoghue i Ingram (2001)	6,3 ± 1,8*	-	Dura	2
Kovacs (2004)	6,0	-	Dura	2
Kovacs et al. (2004)	6,2	-	Dura	2
Girard et al. (2005)	7,0 ± 1,3	-	Dura	2
Murias et al. (2007)	7,2 ± 4,4	20,2 ± 7,7	Dura	2
O'Donoghue i Ingram (2001)	7,7 ± 1,7*	-	Terra batuda	1
Smekal et al. (2001)	6,4 ± 4,1	-	Terra batuda	1
Mendez-Villanueva et al. (2007)	7,5 ± 7,3	16,2 ± 5,2	Terra batuda	1
Murias et al. (2007)	8,8 ± 5,3	19,4 ± 8,6	Terra batuda	1
O'Donoghue i Ingram (2001)	4,3 ± 1,6*	-	Herba	3
Hughes i Clark (1995)	2,52	-	Herba	3

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Classe = Classificació de la superfície per la ITF: 1= lenta, 2 = mitjana/mitjana-ràpida, 3 = ràpida. \*Dades de partits de categoria masculina i femenina jugats en tornejos de *Grand Slam*.

### Bioenergètica del tennis

La intensitat d'un partit de tennis i la seva bioenergètica han estat investigades per diversos mètodes com l'estudi del temps-acció o anàlisi global de l'especialitat (Fox, 1984), estimació indirecta amb la combinació d'una prova ergoespiromètrica en el laboratori i mesurament de la FC durant un partit (Elliot et al., 1985; Bergeron et al., 1991), mesurament directe del  $\text{VO}_2$  mitjançant un analitzador de gasos portàtil (Smekal et al., 2001) o mesurament de la concentració de lactat (Bergeron et al., 1991; Therminarias et al., 1991; Groppe et al., 1996). La majoria d'autors coincideixen en considerar el sistema dels fosfàgens com a proveïdor d'energia immediata (Groppe et al., 1992; Therminarias et al., 1991; Elliott et al., 1985; Smekal et al., 2001; Chandler, 1995; Renström, 2002) i que la resíntesi d'ATP i fosfocreatina (Pc) en tennistes entrenats s'assoleix principalment per mecanismes aeròbics (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985, Chandler, 1995; Renström, 2002). No obstant la coincidència en la participació de la via aeròbica i la via anaeròbica alàctica, no hi ha acord sobre en quines proporcions s'utilitza cadascuna d'aquestes vies metabòliques o quina és la naturalesa metabòlica essencial de l'esport. Seliger et al. (1973) indiquen que el 88% de la producció d'energia durant un partit de tennis prové de mecanismes aeròbics; per contra, Fox (1984) indica que aquesta participació és només del 30%. Elliot et al. (1985) consideren que la principal font energètica utilitzada durant els punts és la via dels fosfàgens, amb una resíntesi parcial de l'ATP i Pc mitjançant la via aeròbica durant la recuperació entre punts. Bergeron et al. (1991) assenyalen que, encara que el tennis està caracteritzat per períodes d'exercicis d'alta intensitat, el conjunt de respostes metabòliques s'assemblen a un exercici prolongat d'intensitat moderada. Christmass et al. (1998) observen que aquesta controvèrsia pot venir donada per les limitacions dels mètodes utilitzats per determinar la intensitat de l'exercici i les respostes metabòliques en un partit de tennis, fent notar que les prediccions del  $\text{VO}_2$  durant exercicis intermitents basades en la mesura de la freqüència cardíaca durant el joc sobreestimen la resposta aeròbica. Per altra banda, els estudis que realitzen una anàlisi de la intensitat del joc utilitzant com a indicador la concentració de lactat en sang coincideixen en que la lactatèmia durant un partit de tennis rarament supera els  $3\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Ferrauti et al., 2001; Therminarias et al., 1991; Groppe et al., 1996; Murias et al., 2007) i observen que la participació de la via glucolítica no és molt important. No obstant, Smekal et al. (2001) assenyalen que la mesura de la concentració de lactat és problemàtica quan s'associa a la intensitat de l'esforç, especialment en esports

intermitents com és el cas del tennis. En la mateixa línia Smekal et al. (2003) observen que la utilització de la concentració de lactat com a paràmetre per interpretar les demandes energètiques del tennis ens pot induir a pensar que és un esport aeròbic de intensitat mitjana o baixa, quan les intensitats són altes però intermitents i de curta durada. Per tant, pensem que actualment el millor mètode per determinar la intensitat i les demandes bioenergètiques del tennis és el registre directe de paràmetres ergoespiomètrics durant el joc, i és per això que el present estudi s'ha dut a terme utilitzant un analitzador de gasos portàtil en una mostra àmplia de tennistes de competició. Tot i que actualment hi ha estudis que també utilitzen la medicació de consum d'oxigen (Smekal et al., 2001), ho fan de forma indirecta, registrant la FC durant el joc i relacionant-ne els valor amb les dades d'una prova de laboratori i en base a la relació FC-VO<sub>2</sub> durant la cursa en cinta rodant. No s'ha trobat cap estudi que realitzi una anàlisi de la competició amb mesurament directe del VO<sub>2</sub>, relacionant aquests registres amb una prova màxima específica i amb una mostra de jugadors tant nombrosa.

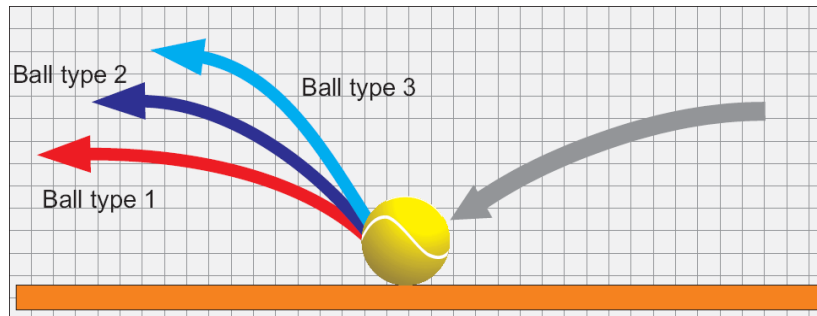
### **Bioenergètica del tennis en funció de les característiques del joc**

Les característiques específiques d'un partit de tennis poden ser diverses en funció d'una varietat d'aspectes. Es tracta d'un esport que es pot jugar sobre superfícies a l'aire lliure (terra batuda, herba i pista dura) o interiors (pista dura i moqueta), amb diferents tipus de pilota (tipus 1: velocitat ràpida, tipus 2: velocitat mitjana, tipus 3: velocitat lenta; ITF, 2007) i utilitzant diferents sistemes de puntuació (al millor de tres o cinc sets). Totes aquestes variables afecten al tipus de joc i a les demandes fisiològiques de la competició. Bona part dels jugadors de competició mostren diferents graus de rendiment competitiu en funció d'aquestes variables i segons el seu perfil tècnic, tàctic i estratègic o condicional. Alguns jugadors s'especialitzen en algun tipus de superfície en concret i la majoria d'ells realitzen entrenaments específics segons la superfície de la propera competició.

La superfície de joc afecta principalment la velocitat de bot de la pilota, degut a la fricció que es produeix entre la pilota i la superfície (coeficient de fricció). En superfícies lentes com la terra batuda, aquest coeficient de fricció és superior i el lliscament de pilota sobre la superfície, i per tant la seva velocitat, és menor, la qual cosa es tradueix en una menor velocitat de joc i en un augment de la durada dels punts. Es per aquesta raó que la ITF (2007) recomana que la pilota de tipus 1 (ràpida) s'hauria d'utilitzar per a jugar en superfícies de velocitat baixa, la pilota de tipus 2 (velocitat



mitjana) s'hauria d'utilitzar per a jugar en superfícies de velocitat mitjana o mitjana-alta i la pilota de tipus 3 (lenta) s'hauria d'utilitzar per a jugar en superfícies de velocitat alta (Figura 10).



**Figura 10.** Característiques del bot en funció del tipus de pilota (ITF, 2007).

O'Donoghue i Ingram (2001) analitzen les quatre competicions de *Grand Slam* jugades sobre diferents superfícies i troben que la durada dels punts és significativament més llarga en el torneig Roland Garros (terra batuda) que en la resta, i significativament més curts en el torneig de Wimbledon (herba); per altra banda observen que la proporció de punts jugats des del fons de la pista en el Roland Garros ( $51,9 \pm 14,2\%$  dels punts) és significativament superior a l'Open d'Austràlia ( $46,6 \pm 12,5\%$ ), Wimbledon ( $19,7 \pm 19,4\%$ ) i US Open ( $35,4 \pm 19,5\%$ ). Els mateixos autors conclouen que la superfície de joc influeix significativament sobre la naturalesa dels partits individuals en els tornejos de *Grand Slam*. Murias et al. (2007) constaten les diferents característiques del joc en funció de les diferents superfícies i que la major durada dels punts es correspon amb un increment de les demandes metabòliques. Aquests autors comparen les respostes metabòliques i funcionals en els mateixos jugadors sobre diferents superfícies (terra batuda i pista dura) i observen que el temps de joc per punt ( $8,8 \pm 5,3$  vs  $7,2 \pm 4,4$  s), la distància recorreguda per punt ( $11,6 \pm 1,5$  vs  $9,3 \pm 1,8$  m) i per joc ( $1.447 \pm 143$  vs  $1.199 \pm 168$  m), la FC ( $143 \pm 22$  vs  $135 \pm 21$  bat·min<sup>-1</sup>) i la concentració de lactat ( $1,65 \pm 0,60$  vs  $1,16 \pm 0,34$  mmol·L<sup>-1</sup>) són significativament més elevats sobre terra batuda que en pista dura. En aquest sentit, aquests autors assenyalen que el tipus de superfície s'ha de tenir en compte a l'hora de programar un treball de millora de la condició física dels jugadors. Johnson i McHugh (2006) analitzen el tipus i número de cops en tres competicions professionals de màxim nivell (US Open, Roland

Garros i Wimbledon) jugades sobre diferents superfícies (pista dura, terra, herba) durant el 2003. Van estudiar 22 jugadors diferents i un total de 616 jocs distribuïts en les tres competicions (186 Roland Garros, 206 Wimbledon, 225 US Open). El nombre total de cops per joc al servei oscil·lava entre 16,0 i 21,0; en la Taula 4 s'observa com en la competició sobre terra batuda (Roland Garros) es realitza un nombre superior de cops per joc, seguida de l'US Open (pista dura) i per Wimbledon (herba). Per altra banda s'observa com en la superfície de terra es realitzen més cops liftats de dreta i revés i en superfícies d'herba augmenten el nombre de cops de volea i mitja volea.

**Taula 4.** Número i distribució de cops en jocs al servei en tres competicions (Johnson i McHugh, 2006).

Tipus de cop		US Open	Roland Garros	Wimbledon
Total cops		17,9 ± 12,1	21,0 ± 10,2	16,0 ± 8,9
Servei	Primer	6,4 ± 3,2	6,5 ± 2,3	6,4 ± 2,9
	Segon	2,5 ± 2,1	2,4 ± 1,7	2,6 ± 2,0
Liftat	Dreta	4,3 ± 4,3	6,0 ± 4,2	2,9 ± 3,4
	Revés	3,4 ± 3,8	4,2 ± 4,0	1,3 ± 1,9
Tallat	Dreta	0,1 ± 0,3	0,4 ± 1,3	0,1 ± 0,3
	Revés	0,5 ± 1,0	0,7 ± 1,1	0,3 ± 0,7
Mitja volea	Dreta	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,5	0,3 ± 0,6
	Revés	0,1 ± 0,3	0,03 ± 0,2	0,2 ± 0,5
Volea	Dreta	0,2 ± 0,4	0,2 ± 0,4	0,6 ± 0,9
	Revés	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,4	0,9 ± 1,5
Esmaixada		0,1 ± 0,4	0,2 ± 0,6	0,2 ± 0,6

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ .

En el present estudi l'anàlisi bionergètica s'ha realitzat en superfície de pista dura; actualment aquesta superfície és molt utilitzada en les competicions més importants com els tornejos *Grand Slam* (Australian Open, US Open), *Masters Series* (Indian Wells, Miami Open, Roger Cup Montreal, Cincinnati) o la *Tennis Masters Cup*.

Smekal et al. (2001) van estudiar la influència que exercia el comportament tàctic i estratègic sobre les demandes energètiques del joc i observen com els paràmetres fisiològics i de temps-acció poden ser significativament diferents en funció de les característiques dels jugadors. Els autors van analitzar el comportament de diferents jugadors diferenciant-los entre jugadors defensius, els quals jugaven bàsicament des de la línia de fons, i jugadors ofensius, que utilitzaven més els recursos de servei-volea; van analitzar 10 partits i es van dividir en dos grups: 5 van ser jugats per dos jugadors defensius i 5 per dos jugadors ofensius. Van trobar diferències significatives (Taula 5) en diferents variables fisiològiques ( $VO_2$ , FC, VE, La) i variables de temps-acció (temps efectiu de joc i durada dels punts). Tant les variables fisiològiques com les variables de temps-acció eren més elevades en el cas dels partits jugats per jugadors defensius.

**Taula 5.** Consum d'oxigen ( $VO_2$ ), freqüència cardíaca (FC), ventilació pulmonar (VE), concentració de lactat (La), temps efectiu de joc, durada mitjana per punt i freqüència dels cops en dos grups de jugadors, ofensius i defensius (Smekal et al., 2001).

Variables	Jocs “defensius” (n = 126)	Jocs “ofensius” (n = 144)	Sig. (p)
$VO_2$ (mL·Kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	30,8 ± 5,7	27,5 ± 5,1	<0,001
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	158 ± 16	145 ± 19	<0,001
$V_E$ (L·min <sup>-1</sup> )	61,5 ± 13,3	57,0 ± 12,1	<0,01
La (mmol·L <sup>-1</sup> )	2,5 ± 0,9	1,7 ± 0,7	<0,001
Temps efectiu de joc (%)	29,3 ± 12,1	20,3 ± 8,2	<0,001
Durada per punt (s)	8,2 ± 5,1	4,8 ± 1,8	<0,001
Freqüència dels cops (·min <sup>-1</sup> )	42,6 ± 9,6	47,1 ± 6,9	<0,001

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ .

Per altra banda, també s'observen diferències en les demandes específiques del joc segons si el jugador es troba servint o restant. Johnson i McHugh (2006) observen que quan un jugador està servint el cop que més es realitza és el servei (8,9 ± 4,7 cops), seguits de la dreta liftada (4,4 ± 4,2 cops) i revés liftat (3,0 ± 3,6 cops); en canvi quan el jugador està restant, el cop que més es realitza és el revés liftat (3,0 ± 1,9 cops), seguit de la dreta liftada (2,6 ± 3,1 cops). Elliot et al. (1985) van observar que la FC es manté més elevada en els jocs en que el jugador està servint (80,4 - 82,5 % de la FC<sub>max</sub>) que

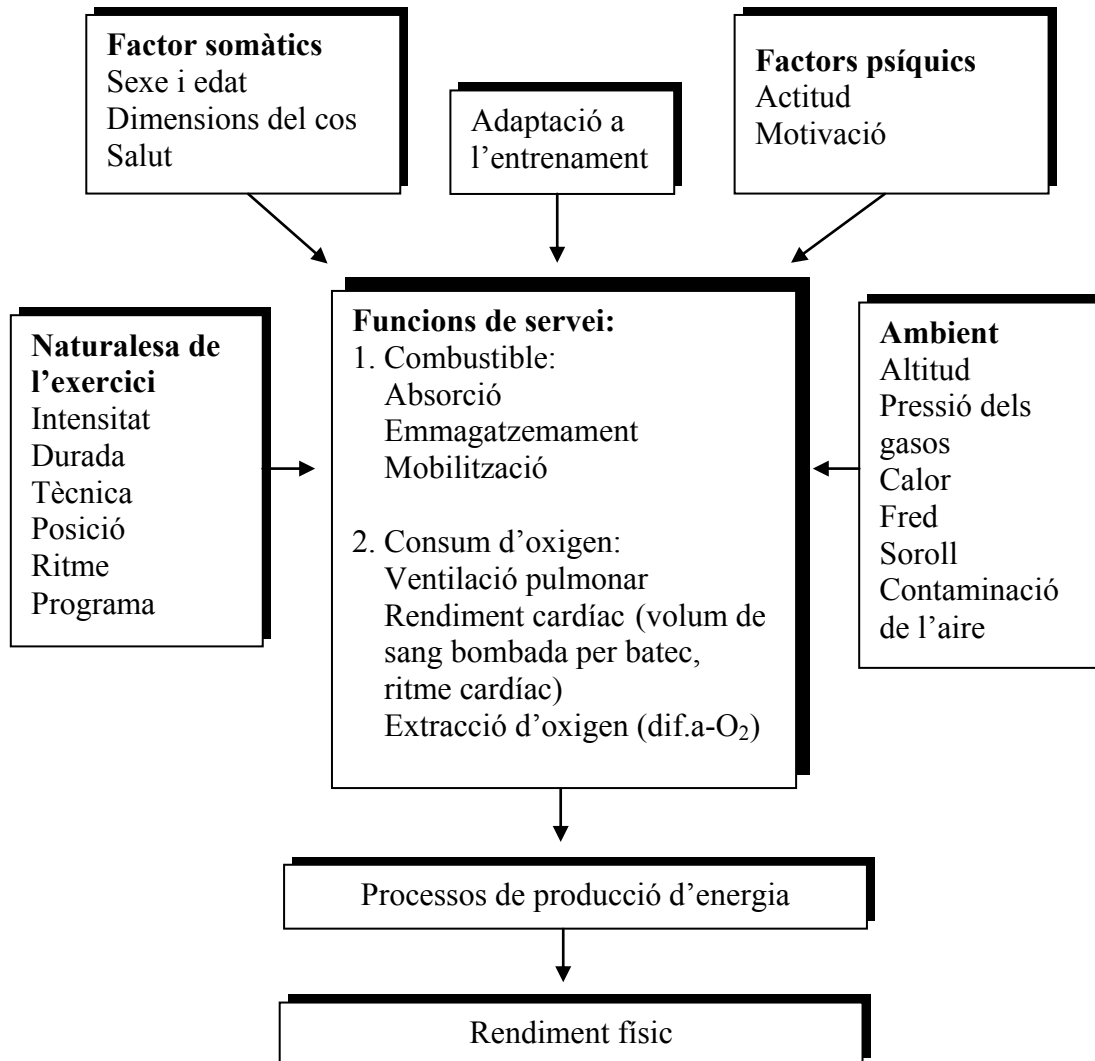
en els que està restant (74,6 - 77,4% de la FC<sub>max</sub>). En la mateixa línia, Méndez-Villanueva et al. (2007), en partits de competició reals jugats per 8 jugadors professionals, van trobar que la concentració de lactat és significativament més elevada després dels jocs en que el jugador serveix ( $n = 27$ ;  $4,6 \pm 2,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) que en els que resta ( $n = 26$ ;  $3,2 \pm 1,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Això indica que el servei és el cop en que es genera més potència i despesa energètica i que el jugador que es troba servint adquireix un rol dominant i més actiu en relació al jugador que resta. En contraposició amb aquest resultat, Smekal et al. (2001) no van trobar diferències significatives en els valors de diferents variables fisiològiques entre els jocs servint ( $\text{VO}_2$ :  $29,5 \pm 5,7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ; FC:  $152 \pm 18 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $V_E$ :  $59,2 \pm 12,9 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; La:  $2,1 \pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) i restant ( $\text{VO}_2$ :  $28,6 \pm 5,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ; FC:  $150 \pm 20 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $V_E$ :  $59,2 \pm 12,7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; La:  $2,0 \pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

## **AVALUACIÓ FUNCIONAL DE LA RESISTÈNCIA EN EL TENNIS**

### **La resistència en el tennis, una capacitat determinant**

Tot i que el rendiment competitiu en el tennis depèn en bona part de les capacitats tècniques, tàctiques, coordinatives, de potència, força i velocitat, el jugador necessita mantenir totes aquestes capacitats durant un temps prolongat. El principal objectiu del treball de la resistència en el tennis és mantenir la intensitat de joc durant la totalitat del partit i intentar evitar o retardar l'aparició de la fatiga; és per aquesta raó que un dels objectius estratègics del jugador és induir fatiga en l'oponent per tal de reduir la seva eficàcia tècnica i augmentar el nombre d'errors. Segons Lees (2003), la fatiga afecta el rendiment de les habilitats de raqueta i es manifesta amb un pobre joc de posició i amb una disminució de la precisió dels cops. Vergauwen et al. (1998) van trobar que després d'un partit intens d'entrenament de 2 hores incrementaven els errors dels cops de fons i el servei. En la mateixa línia, Davey et al. (2001) van observar que després d'induir fatiga al jugador mitjançant un test intermitent, els jugadors disminuïen la precisió dels seus cops. Girard et al. (2005) van estudiar els efectes que tenia un partit de tennis prolongat sobre la força màxima i explosiva, observant una disminució de la força màxima (-9%) i una disminució significativa de la força explosiva 30 minuts després del partit.

Åstrand i Rodahl (1986) en Åstrand (1996) resumeixen els factors que cal considerar a l'hora d'analitzar les demandes aeròbiques d'una prova i el potencial d'un individu per executar-les (Figura 11). En el cas del tennis, la durada mitjana de les accions durant el joc és reduïda (< 10 seg.) (Figura 9), no obstant això, la durada total d'un partit no té límits reglamentaris de temps i poden durar des d'una hora o menys en partits al millor de tres sets, fins a més de 5 hores en partits al millor de 5 sets. La final del *Masters Series* de Roma 2005 disputada entre l'espanyol Rafael Nadal i l'argentí Guillermo Coria va tenir una durada de 5 hores i 14 minuts amb un resultat de 6/4 3/6 6/3 4/6 7/6, essent la final més llarga de l'era *Open*. Per a König et al. (2000), tot i que la intensitat global durant els intercanvis es pot considerar modesta, la durada dels partits i dels tornejos, les diferents condicions climàtiques, així com la tensió mental i neuromuscular imposa als jugadors elevades demandes de resistència. La gran majoria de competicions es realitzen a l'aire lliure i en molts casos es realitzen en períodes de primavera i estiu i amb temperatures elevades; segons Lees (2003), en un partit de tennis la temperatura ambiental exerceix una influència directa sobre l'estrès fisiològic del jugador. Bergeron et al. (1995) constaten que a l'Open d'Austràlia de 1994 es va jugar a 38° C en la pista central, amb una temperatura a la superfície de la pista que freqüentment assolía els 54° C, el mateix autor assenyala que en aquests casos la taxa de pèrdua de líquids depèn, entre d'altres factors, de l'aptitud aeròbica del jugador.



**Figura 11.** Factors que influeixen en la potència i la capacitat de l'activitat muscular aeròbica (Åstrand i Rodahl, 1986 en Åstrand, 1996)

Per alta banda cal considerar la fatiga produïda per l'acumulació de partits al llarg de la setmana de competició<sup>3</sup>; el sistema de competició d'eliminatòria implica que el jugador haurà de competir gairebé diàriament disputant un partit diari, o més si juga dobles o dobles mixtes. En aquests casos, el nivell de fatiga generada en els partits disputats anteriorment influenciaran decisivament en els resultat dels partits en les últimes rondes de la competició. La Figura 12 mostra el quadre de joc de l'Open Seat Godó de Barcelona 2007 pertanyent al circuit oficial *ATP Tour* amb categoria de

<sup>3</sup> Normalment la competició tennística es realitza per sistema d'eliminatòria, de manera que el vencedor d'un aparellament s'enfrontarà amb el vencedor d'un altre i així successivament, fins que quedin només dos jugadors que jugaran la final (Real Federación Española de Tenis, 2007).

*International Series Gold* (ATP, 2007) i jugat per sistema d'eliminatòria. S'observa com Rafael Nadal (núm. 2 de la classificació ATP), per guanyar la competició, realitza 5 partits disputats en dies successius, de dimecres a diumenge; el mateix jugador va ser finalista en la categoria de dobles, jugant 4 partits més i sumant un total de 9 en un període de 6 dies. És evident que aquest jugador, per mantenir l'alt rendiment demostrat al llarg de la setmana de competició, ha de disposar d'un elevat nivell de resistència.

En funció de tots els aspectes descrits, podem afirmar que la resistència és determinant en el rendiment dels tennistes de competició i, en conseqüència, creiem que aquesta capacitat s'hauria d'avaluar de manera vàlida, fiable i objectiva. Aquestes avaluacions s'haurien de considerar com a part integral de l'entrenament, incloent-les amb la periodicitat corresponent en les planificacions a curt i a mig termini (Rodríguez, 1989). Segons König et al. (2000) en els tennistes de competició és molt important l'avaluació de la condició física i la conseqüent elaboració de programes específics de preparació física individualitzats. Per a Rodríguez (1999) i Muller et al. (2000) cal disposar d'una bateria de proves vàlida, fiable i estandarditzada que valori les principals habilitats motores implicades en l'esport, i aquestes proves han de formar part del pla d'entrenament i planificar en funció dels resultats. Segons Fuentes (1999), el jugador de tennis de competició és un dels esportistes que més requereix d'un control periòdic dels diferents nivells funcionals, ja que aquest esport imposa un gran nombre de variables (pistes, climes, etc.) i incerteses (nombre de partits que es disputaran, contrincants, etc.) que afecten les càrregues d'entrenament i la competició. L'aplicació sistemàtica i planificada d'una prova de resistència permet conèixer quin és l'estat de forma competitiva del jugador i conèixer l'efectivitat dels mètodes d'entrenament, a més d'oferir la possibilitat de controlar l'evolució de la resistència específica del jugador al llarg de la temporada, de la seva vida esportiva i obtenir dades que es puguin relacionar amb els resultats competitius.

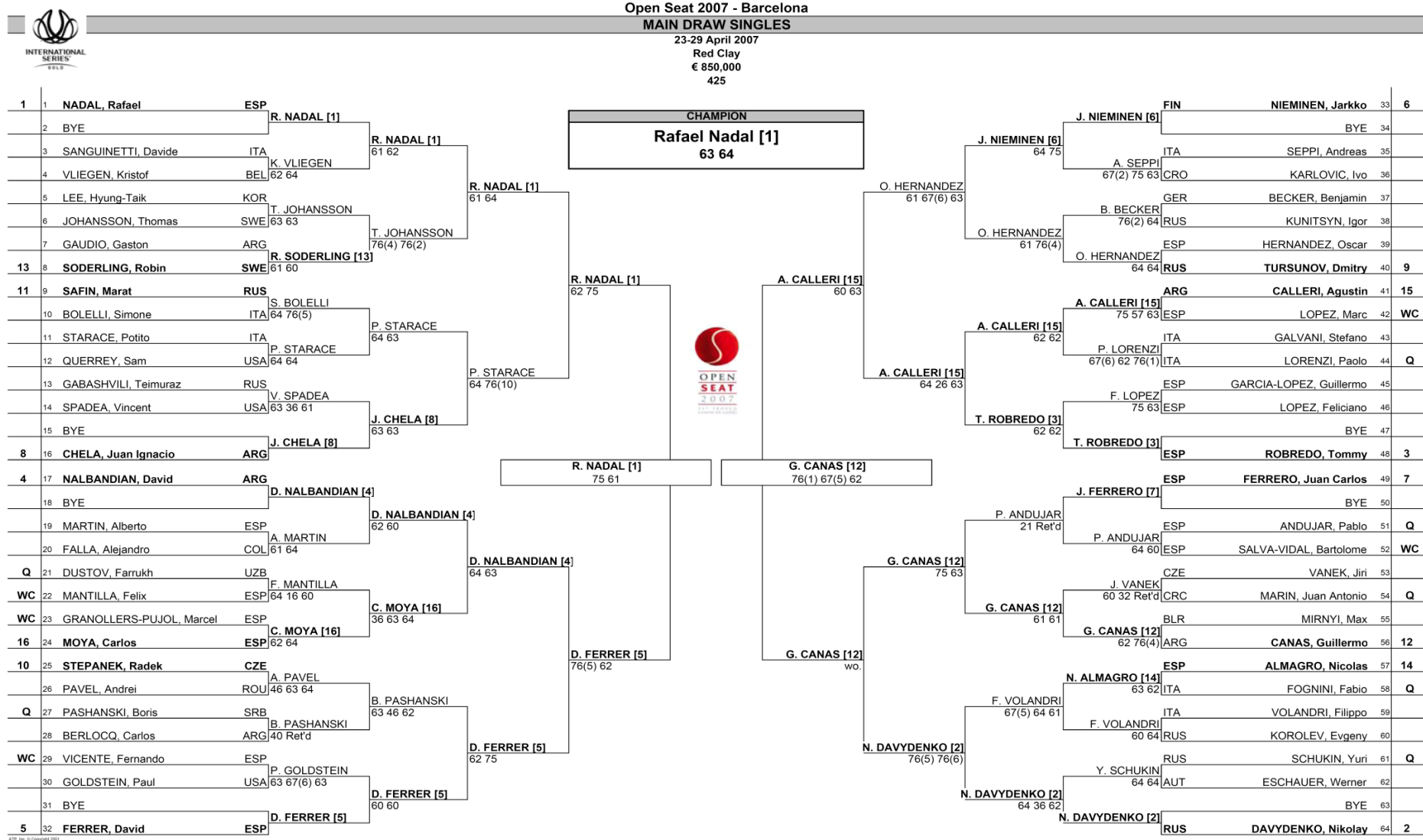


Figura 12. Quadre de joc individual masculí de l'Open Seat Godó de Barcelona 2007 (ATP, 2007).



### **Proves de valoració de la resistència en tennis**

La valoració funcional és l'avaluació objectiva de les capacitats funcionals d'un subjecte per realitzar una tasca esportiva, procés que requereix el registre i la quantificació d'una o més variables fisiològiques o físiques (Rodríguez i Aragonés, 1992). Per a Weineck (2005), si l'avaluació de l'entrenament no s'efectua, es fa de forma incompleta o sense el rigor necessari, el procés d'entrenament no es podrà dirigir de forma selectiva ni corregir en una mesura suficient.

Els *tests* o proves funcionals, són les eines fonamentals de la valoració funcional aplicada a l'activitat física i l'esport. Aquests mètodes de valoració poden ser genèrics o bé específics i es poden portar a terme en el terreny esportiu o bé en el laboratori. Els mètodes genèrics, especialment en el cas del tennis, permeten obtenir una informació global de baixa rellevància per a l'especialitat en concret o de baixa capacitat discriminativa en relació al rendiment esportiu, tot i que permeten utilitzar sistemes de mesura precisos i treballar en condicions més controlades (temperatura, humitat, etc.). Per contra, els mètodes específics són aquells que avaluen capacitats rellevants per a una modalitat esportiva concreta, tenint en compte factors com la cinemàtica, i la dinàmica, el cost energètic, les modificacions bioquímiques, els aparells o materials emprats en la competició, etc. Les proves de camp fan referència al registre d'aquests paràmetres fisiològics i funcionals durant l'esforç, en el mateix terreny esportiu i amb l'objectiu d'obtenir informació sobre la capacitat funcional específica tenint en compte l'especificitat de la resposta humana a un exercici determinat (Rodríguez i Aragonés, 1992; Rodríguez, 1999). La majoria de proves utilitzades en la valoració funcional aeròbica mitjançant mètodes directes<sup>4</sup> s'han portat a terme en condicions estandarditzades de laboratori (Balke i Ware, 1963; Naughton et al., 1964; Bruce et al., 1973; Ellestad et al., 1969; Åstrand i Rodahl, 1992), no obstant, actualment i de manera molt clara, la tendència de la valoració funcional aplicada al rendiment esportiu va encaminada a la utilització de proves específiques de camp, sempre i quan la tecnologia disponible ho permeti (Rodríguez, 1999). És per aquesta raó que la present recerca es centra en l'avaluació funcional i bioenergètica en condicions específiques i utilitzant una tecnologia d'última generació que permet la mesura directa de paràmetres ergoespiromètrics en el mateix terreny esportiu.

---

<sup>4</sup> Les proves d'esforç directes mesuren el  $VO_2$  i altres variables fisiològiques durant l'exercici a través d'analitzadors de gasos respiratoris i mitjançant l'aplicació de càrregues dosificables i reproduïbles.

Tradicionalment, la valoració funcional de la resistència en el tennis no s'ha realitzat amb exercicis semblants a situacions de joc reals i no s'ha respectat el principi d'especificitat<sup>5</sup>; la manca de proves de resistència específiques estandarditzades i validades existents a la literatura ha fet que, en la majoria de casos, els entrenadors hagin utilitzat proves de laboratori o de camp inespecífiques. Segons Smekal et al. (2000), les proves utilitzades en el laboratori o de cursa contínua són inadequades per avaluar les demandes específiques dels esports de pilota; aquests autors assenyalen que les respostes metabòliques, ventilatòries i cardiorespiratòries canvien quan són avaluades sota diferents condicions de moviment. Aquests canvis es poden atribuir a l'adaptació específica dels grups musculars a l'entrenament i la competició i a les diferències en la massa muscular activa implicada en cada tipus d'exercici. Segons Steininger et al. (1987) i Fernández (2005), el valor d'una prova de laboratori és inqüestionable en esports que impliquen moviments simples i rítmics com el ciclisme, el rem o la cursa, però, en canvi, no són adequades en esports caracteritzats per moviments complicats, no rítmics, en els quals es requereixen reaccions ràpides i el desenvolupament ràpid de la força. Cal tenir en compte que el tennis exigeix la capacitat de moure's ràpidament en totes direccions, les quals canvien constantment, amb aturades i arrancades constants, mentre que a la vegada s'exigeix un equilibri i control del cos per copejar la pilota amb eficàcia (Chandler, 1995).

En la Taula 6 es mostra un recull de les proves de resistència utilitzades en el tennis; s'observa com la majoria comparteixen característiques molt similars: no respecten les característiques específiques de l'esforç, no reflecteixen la participació muscular ni els moviments específics, ni tenen en compte el component tècnic i de precisió del joc. Els aspectes diferencials amb proves més específiques podrien resumir-se en els següents:

- Desplaçaments: haurien de ser curts, acíclics, amb canvis de sentit i direcció i amb acceleracions i desacceleracions constants, per contra de desplaçaments llargs i cíclics d'intensitat constant.

---

<sup>5</sup> Per preparar-se amb l'objectiu de rendiment en una especialitat determinada, tots els objectius, mètodes, continguts, eines i estructures de l'entrenament esportiu, en totes les etapes de la consolidació del rendiment, s'hauran d'orientar cap a les exigències de la futura estructura de rendiment de la modalitat o disciplina en qüestió (Weineck, 2005).

- Participació muscular: s'hauria de tenir en compte la participació muscular del tren superior amb l'acció de copejament, i els moviments, angles i velocitat de contracció propis de l'esport en el tren inferior.
- Component tècnic: les proves haurien de tenir en consideració els aspectes tècnics i de precisió de l'esport i no limitar-se a donar informació de caràcter condicional.

**Taula 6.** Proves de camp inespecífiques per avaluar la resistència utilitzades en el tennis.

Referència	Prova
Federació Alemanya de Tennis, 1979; Federació Txeca de Tennis (Höhm 1982, en Aparicio, 1998)	Temps de cursa en 1.000 m (homes) i 800 m (dones)
Birrer et al., 1986.; Filipic, 2000	Temps de cursa en 2.000 m
Birrer et al., 1986	Distància recorreguda en 30 minuts
Kibler et al., 1988	“Sharkey step test” (prova de l'esglaó)
Federació Francesa de Tennis, 1989	Prova de Cooper (distància recorreguda en 12 minuts)
Equip Nacional de Qatar (Aparicio, 1998)	Temps de cursa en 1.500 m
Roetert et al., 1995	Temps de cursa en 1,5 milles
USTA, United States Tennis Association (Roetert i Ellenbecker, 1998)	Temps de cursa en 440 iardes
USTA (Roetert et al., 2000)	Temps de cursa en 2.400 m
Solanellas i Rodríguez, 1991; Solanellas, 1995; Le Deuff, 2003; Hornery, 2006	Prova de cursa en 20 m (“course navette”)
Isnidarsi et al., 2005	Temps de cursa en una milla

Per tant, pensem que s'haurien d'utilitzar proves que tinguin en compte les manifestacions de resistència i els mecanismes de fatiga que es donen en l'activitat competitiva de l'esport en qüestió; en aquest sentit Platonov (2001) assenyala que el control de la resistència específica convé realitzar-lo tenint en compte factors que determinen la capacitat de treball i el desenvolupament de la fatiga, i que la localització i els mecanismes de fatiga en cada esport són específics i predeterminats pel caràcter de l'activitat muscular. En el cas del tennis, s'haurien d'utilitzar proves que prenguessin en consideració la resistència general i també la resistència local a nivell del segment dominant que copeja la pilota, la resistència a la capacitat d'acceleració implicada amb les constants frenades i acceleracions i la resistència a la força –explosivo-elàstica del tren superior amb l'acció de copejament de la pilota.

Actualment existeixen poques proves de resistència específiques en tennis i aquestes encara no s'han aplicat de manera generalitzada. Pilardeau (1985) i Van Dam i Pruijboom (1992) realitzen un primer intent d'avaluació específica i proposen dues proves realitzades a la pista utilitzant una màquina llançapilotes; no obstant aquestes proves no han estat administrades a mostres representatives de jugadors, no s'ha avaluat la seva validesa i fiabilitat i han estat publicades en revistes d'escassa difusió a nivell mundial, amb la qual cosa no han sigut gairebé aplicades. Posteriorment, Smekal et al. (2000) i Girard et al. (2006) proposen dues proves de camp específiques de resistència realitzades a la mateixa pista, avaluant directament paràmetres ergoespiromètrics mitjançant l'ús d'analitzadors de gasos portàtils (K2 i K4b<sup>2</sup>; Cosmed, Itàlia). Els estudis en que es proposen aquestes proves, les quals s'analitzen més àmpliament en l'apartat de “prova de resistència específica: SET – Test”, s'han aplicat a mostres reduïdes de jugadors (n=12) i tenen com a objectiu principal comparar les respostes metabòliques i cardiorespiratòries entre l'aplicació d'una prova de camp i una de laboratori, amb la qual cosa no es centren en l'anàlisi dels diferents tipus de validesa (interna i predictiva) i fiabilitat, encara que sí aporten dades en aquest sentit. Per altra banda, no determinen els efectes de l'ús d'un analitzador de gasos portàtil com a criteri de referència per a la realització d'aquestes avaluacions sense aquest equipament, d'altra banda molt costós i poc accessible.

Així doncs, si considerem la necessitat de conèixer les demandes bioenergètiques específiques del tennis de competició i contribuir en l'elaboració d'un model genèric de rendiment, i donada la gran importància de la condició aeròbica en el rendiment del jugador, pensem que la present recerca queda plenament justificada. És

necessari proposar una prova de resistència específica en tennis que estigui avalada per un ampli estudi de la seva fiabilitat i validesa i que sigui aplicada a una extensa mostra de jugadors de competició per tal de caracteritzar el seu perfil funcional específic.



## **OBJECTIUS GENERALS**





Els objectius primaris del conjunt d'estudis que conformen aquesta recerca són:

- Adaptar i estandarditzar una prova de camp específica de valoració de la resistència en tennis que tingui en compte aspectes tècnics i funcionals específics de l'esport.
- Establir un perfil funcional específic dels tennistes de competició en base a la prova proposada per tal de contribuir en l'elaboració d'un model genèric de rendiment.
- Caracteritzar les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals en jugadors de competició per tal d'establir un model de rendiment i, en conseqüència, d'entrenament específic en funció de les demandes funcionals de l'esport.



# **DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ**



## PROCEDIMENT

La recerca realitzada consisteix en una investigació de caire quasi-experimental que consta de tres estudis diferenciats, tal i com es descriu a continuació:

1) Un primer estudi consisteix en el disseny i validació d'una prova de resistència específica en tennis (SET – Test, *Specific Endurance Tennis Test*). Primerament i amb l'objectiu de comprovar la fiabilitat interna de la prova i examinar els possibles efectes que suposa la seva realització amb un analitzador de gasos portàtil, es va fer un estudi test-retest a una mostra de jugadors. També es va realitzar una anàlisi de la fiabilitat externa de la prova avaluant la fiabilitat i les possibles fonts d'error dels instruments d'avaluació. Posteriorment i amb l'objectiu d'examinar la validesa de la prova, per una banda es va administrar el SET – Test amb un analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment. Per altra banda i amb l'objectiu d'examinar la validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica avaluats amb el SET – Test, es va relacionar els resultats obtinguts en l'aplicació de la prova incremental amb el nivell competitiu dels jugadors i es van identificar variables explicatives amb l'objectiu de crear un model on es seleccionessin els paràmetres que poden influir en el nivell competitiu, descartant aquells que no aporten informació.

2) En un segon estudi, amb l'objectiu de descriure les característiques funcionals dels tennistes de competició, es va administrar el SET – Test amb l'analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment.

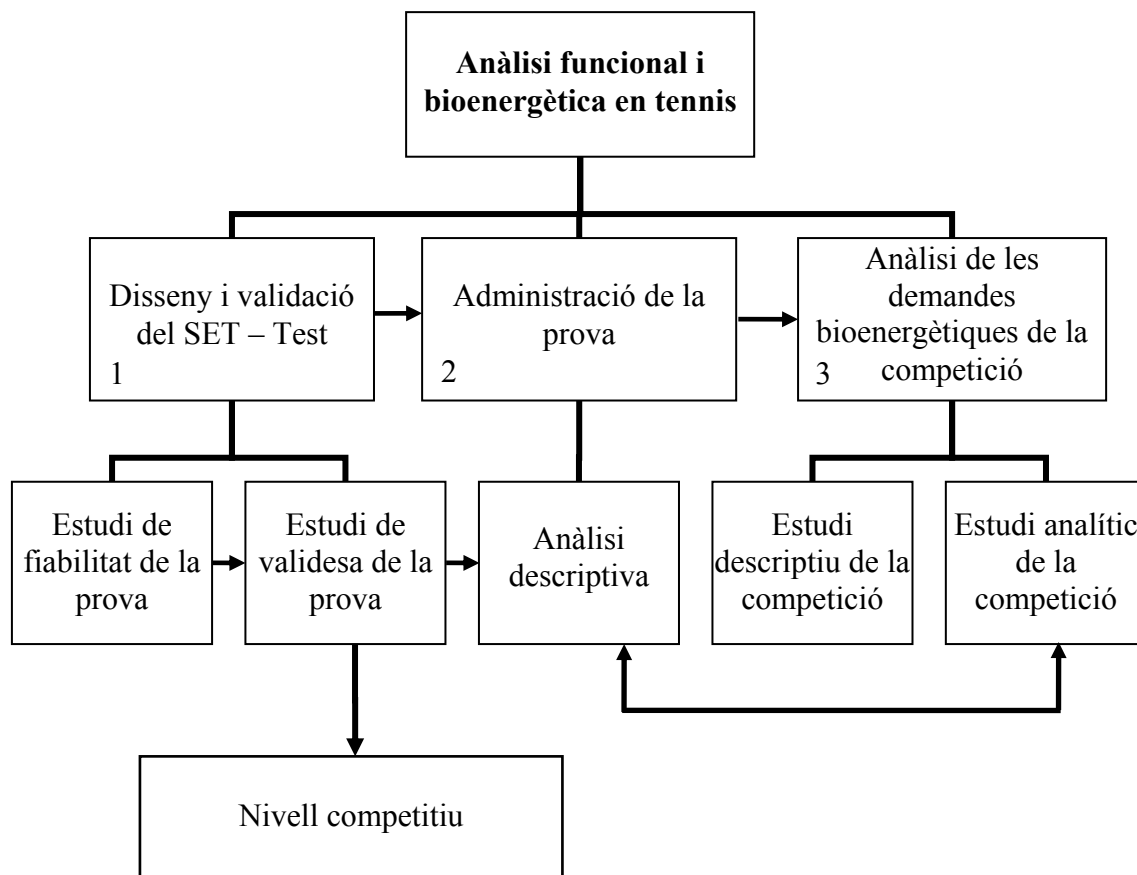
3) El tercer estudi examina les demandes bioenergètiques de la competició masculina d'individuals en tennis. A tal efecte, una submostra de tennistes va jugar un partit d'individuals de competició simulada mentre s'avaluaven paràmetres ergoespiromètrics mitjançant el mateix sistema d'anàlisi de gasos portàtil utilitzat en l'estudi anterior i es van relacionar els resultats obtinguts amb els paràmetres ergoespiromètrics obtinguts amb el SET – Test.

Es tracta, doncs, d'una investigació en tres etapes, de caire observacional, descriptiva i inferencial. És observacional perquè no s'intervé en el fenomen investigat, sinó que s'observa per extraure'n informació rellevant. És descriptiva perquè es realitza

una tasca d'organització, síntesi i presentació dels resultats obtinguts. És inferencial perquè s'extrauen conclusions presumptament vàlides per a la població estudiada a partir dels resultats observats, contrastant els resultats obtinguts amb les hipòtesis plantejades prèviament.

Al decurs dels tres estudis es van administrar un total de 63 proves de resistència específica (SET – Test), de les quals 39 es van fer amb l'analitzador de gasos portàtil i 24 sense el mateix. Durant l'aplicació de les proves es van colpejar un total de 12.000 pilotes amb una màquina llançapilotes, i es va analitzar un total de 10 partits de competició simulada, obtenint dades relatives a 20 sets administrats amb analitzador de gasos portàtil i 20 sense analitzador.

A continuació es mostra esquemàticament el conjunt dels tres estudis de que consta la recerca, així com la seqüència temporal i la relació entre ells i amb el rendiment en tennistes de competició (Figura 13).



**Figura 13.** Esquema descriptiu dels tres estudis de que consta la recerca, seqüència temporal i relació entre ells i amb el rendiment en tennistes de competició.

## SUBJECTES

Varen participar en la recerca 38 jugadors de tennis masculins de nivell competitiu nacional i internacional. Set dels jugadors eren professionals amb classificació internacional ATP (*Association of Tennis Professionals*) i la resta eren de nivell nacional i internacional, sense classificació ATP. Atès que la mostra era formada per jugadors de 19 nacionalitats diferents (Taula 7), i a fi i efecte d'establir un criteri únic i d'abast internacional, els subjectes es varen classificar seguint el criteri proposat per la ITF (*International Tennis Federation*) utilitzant l'anomenat ITN (*International Tennis Number*), en que els jugadors s'ordenen segons una escala de classificació de l'1 al 10, tal i com s'especifica en l'apartat de paràmetres (nivell competitiu dels jugadors). Tots els jugadors es trobaven entre el nivell 1 i 4 del ITN, pertanyent a la classificació d'elit a avançat, havent-hi 8 jugadors amb un ITN igual a 1, 10 jugadors amb un ITN igual a 2, 9 jugadors amb un ITN igual a 3 i 11 jugadors amb un ITN igual a 4. Els jugadors es van sotmetre voluntàriament a les proves amb el consentiment dels respectius directors tècnics dels centres d'entrenament i dels responsables de l'àrea de preparació física. Prèviament a la realització de l'estudi es va informar als responsables i als propis tennistes de les diferents valoracions a que serien sotmesos, consistentes en la realització de proves físiques o de joc i l'aplicació de tècniques no invasives ni agressives, així com sobre la confidencialitat i ús dels resultats obtinguts. La investigació es va dur a terme tot i complint els principis de la Declaració d'Helsinki d'investigació amb subjectes humans (Associació Mèdica Mundial, 1989).

Els tennistes estudiats duïen a terme una mitjana de 3,7 hores d'entrenament tècnic i 1,5 hores de preparació física diàries, 5 dies per setmana. L'edat mitjana era de 18,2 anys, amb una talla i pes mitjans de 180,1 cm i 72,7 kg (Taula 8). Totes les característiques esmentades s'ajustaven a la distribució normal (prova de Kolmogorov-Smirnov). Cinc dels 38 jugadors estudiats (13,2% de la mostra) tenien una dominància lateral esquerra i la resta (33 jugadors, 86,8%) eren dretans. La diversitat de la procedència dels jugadors estudiats es deu a que Barcelona era, en el moment de realitzar l'estudi, i és encara, un dels centres mundialment més reconeguts en l'entrenament de tennistes de competició.

**Taula 7.** Nacionalitats dels subjectes estudiats.

Nacionalitat	Núm. de subjectes
Alemanya	4
Anglaterra	3
Argentina	1
Croàcia	1
Espanya	12
Estònia	1
EUA	1
França	1
Grècia	3
Holanda	2
Índia	1
Itàlia	1
Mèxic	1
Noruega	1
Rússia	1
Suïssa	1
Tuníssia	1
Veneçuela	1
Vietnam	1



**Taula 8.** Dades generals dels subjectes estudiats.

	Edat (anys)	Talla (cm)	Pes (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Nivell competitiu (ITN)	Volum d'entrenament (h/setmana)	
						Tècnic	Físic
$\bar{x}$	18,2	180,1	72,7	22,3	2,7	3,7	1,5
s	1,3	7,9	8,6	1,4	1,3	0,5	0,4
màx	21,9	202,0	92	25,2	5	4,0	2,0
mín	16,0	167,0	56,2	18,4	1	2,5	1,0
rang	5,9	35,0	35,8	6,8	4	1,5	1,0

Els subjectes estudiats pertanyien a cinc dels més prestigiosos centres d'entrenament d'alta competició de Barcelona i Palma de Mallorca, dirigits per professionals d'un alt nivell de qualificació (Taula 9).

**Taula 9.** Origen dels subjectes de la mostra.

Centre d'entrenament	Responsable tècnic	Dades recollides	
		Núm. de proves	Núm. de sets
Bruguera Tennis Academy Top Team (Barcelona)	Lluís Bruguera	13	12
Acadèmia Sánchez – Casal (Barcelona)	Emilio Sánchez Vicario Sergio Casal	12	2
Centre d'entrenament de tennis de l'Escola Balear de l'Esport (Palma de Mallorca)	Jofre Porta	33*	6
Grup de competició del Club Tennis Ciutat Diagonal (Barcelona)	Martín Vilar	3	0
Centre Internacional de Tennis (CIT) de la Federació Catalana de Tennis (Cornellà de Llobregat)	Jordi Arrese	2	0

\*En aquest centre d'entrenament es va realitzar gran part de l'estudi test-retest, en que els mateixos onze subjectes van realitzar tres proves consecutives.

### **CRITERIS D'INCLUSIÓ**

Van participar en l'estudi un grup de subjectes suficientment ampli per tal d'obtenir una mostra homogènia que pogués ser considerada representativa dels tennistes de competició, tot i que no es va dur a terme un càlcul mostral previ. Els criteris de selecció de la mostra d'estudi van ser els següents:

- Participació a nivell competitiu absolut en l'àmbit nacional i internacional.
- Pertinença a algun centre d'entrenament especialitzat en l'esport que garantís un volum mínim d'entrenament de 4 hores diàries de manera controlada.
- Consentiment del responsable del centre d'entrenament, així com de l'entrenador i el preparador físic.
- Voluntarietat en la participació en l'estudi i en la realització de les diverses proves de camp i de joc.
- Absència de limitacions físiques.
- Edat mínima de 16 anys.
- Acceptació de les condicions concretes de les valoracions: portar un analitzador de gasos portàtil, observació i anotació durant l'execució de les proves i presa de diferents paràmetres fisiològics i de càrrega.

**Capítol I. PROPOSTA DE PROVA DE  
RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE  
TENNIS: “SET – TEST”**



## **I. PROPOSTA DE PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS: “SET – TEST”**

### **I.1. Objectius**

### **I.2. Disseny de la investigació**

### **I.3. Material i mètodes**

#### I.3.1. Prova de resistència específica en tennis: “ SET – Test ”

I.3.1.1. Disseny de la prova

I.3.1.2. Material

I.3.1.3. Protocol

I.3.1.4. Paràmetres

#### I.3.2. Fiabilitat de la prova de resistència específica

I.3.2.1. Fiabilitat externa

I.3.2.2. Fiabilitat interna

I.3.2.3. Estudi de repetitivitat

I.3.2.4. Subjectes

I.3.2.5. Material

I.3.2.6. Paràmetres

I.3.2.7. Anàlisi estadística

#### I.3.3. Validesa de la prova

I.3.3.1. Validesa de contingut

I.3.3.2. Validesa ecològica

I.3.3.3. Validesa interna

I.3.3.4. Validesa predictiva

I.3.3.5. Subjectes

I.3.3.6. Material

I.3.3.7. Paràmetres

I.3.3.8. Anàlisi estadística

**I.4. Resultats**

I.4.1. Fiabilitat de la prova específica

I.4.1.1. Fiabilitat externa

I.4.1.2. Estudi de repetitivitat

I.4.2. Validesa de la prova

I.4.2.1. Maximalitat de la prova

I.4.2.2. Validesa predictiva

**I.5. Discussió**

I.5.1. Prova de resistència específica en tennis: “SET – Test”

I.5.2. Fiabilitat de la prova

I.5.2.1. Fiabilitat externa

I.5.2.2. Estudi de repetitivitat

I.5.3. Validesa de la prova

I.5.3.1. Validesa lògica

I.5.3.2. Validesa ecològica

I.5.3.3. Validesa interna

I.5.3.4. Validesa predictiva

**I.6. Conclusions**

I.6.1. Prova de resistència específica en tennis: “SET – Test”

I.6.2. Fiabilitat de la prova

I.6.3. Validesa de la prova

### **I.1. OBJECTIUS**

Els objectius primaris de la recerca són:

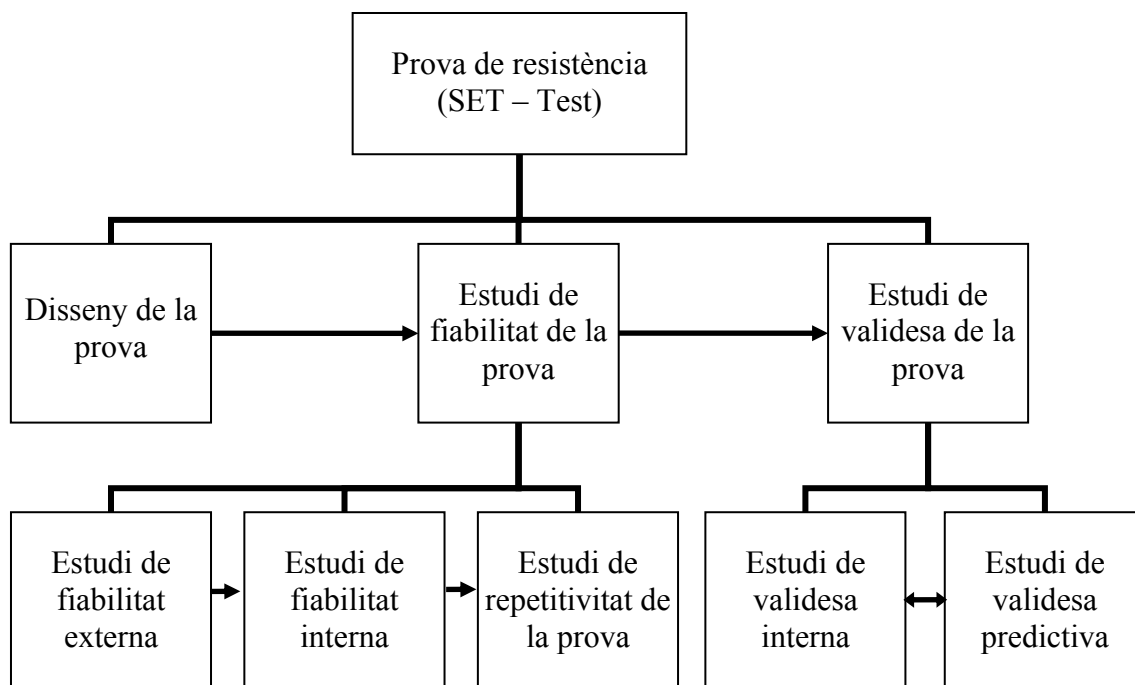
- Dissenyar una prova de camp específica de valoració de la resistència en tennis (SET – Test) que tingui en compte aspectes tècnics i funcionals específics de l'esport.
- Determinar la validesa i fiabilitat de la prova proposada.

Altres objectius secundaris són:

- Contrastar la hipòtesi de l'existència d'un punt de deflexió de la FC (PDFC) en relacionar la intensitat (I) i la freqüència cardíaca (FC) en l'aplicació del SET – Test, igualment com succeeix en els estudis en esports cíclics iniciats per Conconi et al. (1982).
- Contrastar la hipòtesi de l'existència d'una relació significativa entre la càrrega en que es dona el PDFC durant la prova i els llistats ventilatoris (LIV1 i LIV2) i, en el cas d'existir aquesta relació, validar el SET – Test com un mètode indirecte no invasiu per estimar el llistat anaeròbic en jugadors de tennis.
- Contrastar la hipòtesi de si la major disminució de l'eficiència tècnica (ET) es produeix a partir del PDFC i dels llistats ventilatoris.
- Determinar la validesa predictiva del SET – Test com una eina capaç d'estimar indirectament el  $VO_{2max}$  dels jugadors de tennis.
- Determinar la validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte el nivell competitiu dels jugadors i trobar indicadors de rendiment per a l'esport.

## I.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ

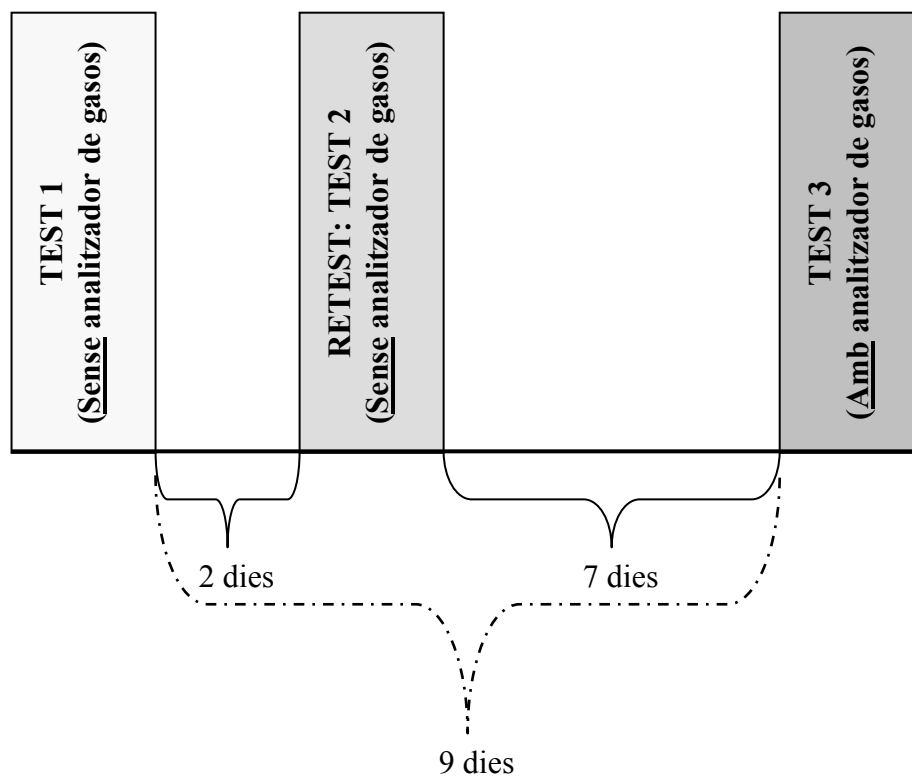
El primer capítol de la recerca consta del disseny i validació d'una prova de resistència específica en tennis (SET – Test, *Specific Endurance Tennis Test*).



**Figura I.1.** Esquema descriptiu del primer estudi de que consta la recerca.

Primerament es va dissenyar una prova específica de tennis adaptant la dinàmica i els paràmetres de referència utilitzats en la prova proposada per Smekal et al. (2000), posteriorment i amb l'objectiu de validar els instruments d'avaluació es va realitzar una anàlisi de la fiabilitat externa i interna de la prova. Un cop validats els instruments d'avaluació i amb l'objectiu de calcular el coeficient d'estabilitat de la prova proposada i els possibles efectes que suposa la seva realització amb un analitzador de gasos portàtil, una submostra de jugadors ( $n = 12$ ) van realitzar una prova de mesures repetides ('test-retest') consistent en realitzar tres SET – Test de manera consecutiva, en dies diferents (Figura I.2).





**Figura I.2.** Cronograma de l'estudi de repetitivitat del SET – Test.

Finalment i amb l'objectiu d'analitzar la validesa de la prova per avaluar la condició aeròbica en jugadors de competició mitjançant una tasca específica, es va administrar el SET – Test amb un analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment ( $n = 38$ ). Mitjançant el tractament de les dades i l'anàlisi estadística es van identificar les variables explicatives que ens ajudessin a crear un model on es seleccionessin les variables que poden influir en el nivell competitiu dels jugadors, descartant aquelles que no aporten informació.

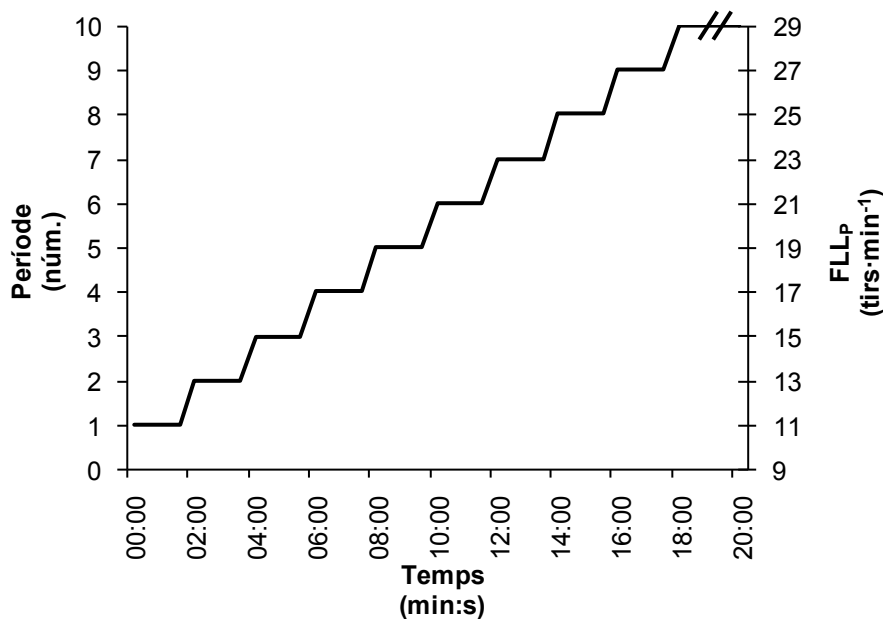
### I.3. MATERIAL I MÈTODES

#### I.3.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “ SET – TEST ”

##### I.3.1.1. Disseny de la prova

El SET – Test (*Specific Endurance Tennis Test*) es proposa com una prova de camp per valorar la resistència específica del tennista, realitzada a la pròpia pista i que inclou tasques motrius característiques del tennis, com ara desplaçaments i copejaments de pilota amb raqueta. La dinàmica de la prova i els paràmetres de referència han estat adaptats de la prova utilitzada per Smekal et al. (2000). Es tracta d'un protocol maximal, continu, esglaonat, amb càrregues determinades per la freqüència de llançament de pilotes mitjançant una màquina llançapilotes.

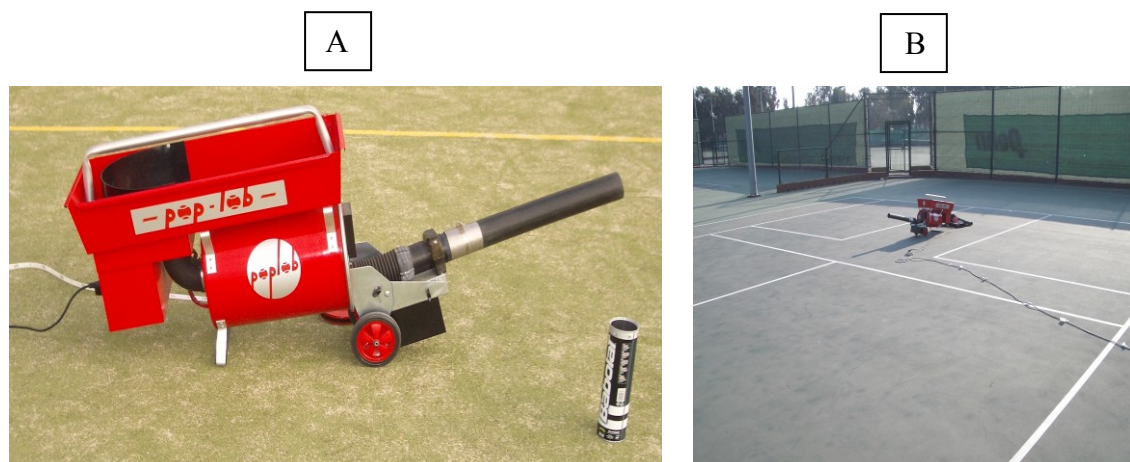
La prova comença amb una freqüència de llançament de pilotes ( $FLL_P$ ) de  $9 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ , que s'incrementa per períodes de 2 minuts a raó de  $2 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ , és a dir, 4 tirs per període, fins a l'exhauriment voluntari del subjecte (Figura I.3). El resultat ve determinat per la durada total de la prova i per l'últim període assolit. La velocitat de llançament de pilotes durant el test es manté constant i la prova es realitza en condicions ambientals i de vent estables ( $v_{\text{vent}} < 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).



**Figura I.3.** Esquema del protocol de la prova SET – Test.

### I.3.1.2. Material

- **Màquina llançapilotes de tennis** (Pop - Lob Airmatic 104, França). S'utilitza per al llançament de pilotes a velocitat creixent i amb un angle i abast protocol·litzat.



**Figura I.4.** Màquina llançapilotes (A) i la seva disposició a la pista de tennis (B).

- **Analitzador de gasos portàtil telemètric** (K4b<sup>2</sup> - Cosmed, Itàlia). S'utilitza per a l'anàlisi contínua respiració a respiració ('breath-by-breath') de la ventilació i els gasos respiratoris. Es tracta d'un aparell portàtil, miniaturitzat, que registra els paràmetres cardiorespiratoris i envia les dades telemètricament a una unitat receptora per al seu posterior tractament. L'equip es compon de dues unitats portàtils, una que conté els analitzadors de gasos, un equip transmissor i una bateria; aquestes unitats es col·loquen a l'esquena del subjecte mitjançant un arnés (Figura I.5). El subjecte respira a través d'una mascareta fixada al seu cap que porta acoblada una turbina que registra els fluxos ventilatoris. L'equip disposa d'una unitat receptora que rep els senyals de la unitat portàtil i els emmagatzema. Dues antenes, una connectada a la unitat emissora i una altra a la unitat receptora permeten la transmissió del senyal fins a 1000 m de distància. La unitat receptora estava connectada per un cable serial al PC, la qual cosa permetia visualitzar les dades en temps real en el monitor d'un PC, a més de ser capaç d'emmagatzemar fins a 16.000 respiracions per al seu posterior tractament. El pes total de l'equip sobre el subjecte (analitzador de gasos i bateria) es de 475 g i el seu disseny permet que el subjecte es desplaci i es mogui fàcilment. L'analitzador de gasos va ser calibrat abans de cada prova seguint estrictament les recomanacions del fabricant i utilitzant gasos de referència mesurats per cromatografia de gasos.



**Figura I.5.** Visió frontal (A) i lateral (B) d'un jugador amb l'analitzador de gasos portàtil col·locat a l'esquena mitjançant un arnés.

- **Cardiotacòmetres** (Polar S-810 i S-610, Finlàndia). El registre de la freqüència cardíaca es va realitzar telemètricament mitjançant cardiotacòmetres dotats d'un receptor que grava el senyal registrat per uns elèctrodes toràcics adossats al pit amb una banda ajustable. El senyal elèctric del cor és processat i transmès a la unitat receptora acoblada a l'analitzador de gasos i/o a un receptor de canell en forma de rellotge. El sistema permet registrar i emmagatzemar la freqüència de batecs cardíacs en fraccions de 5, 15 o 60 s.



**Figura I.6.** Cardiotacòmetre utilitzat per a la mesura de freqüència cardíaca en les proves i la competició simulada.

- **Pilotes de tennis** (Babolat Team, Japó). Pilotes homologades i aprovades per la ITF (*International Tennis Federation*).



**Figura I.7.** Pilotes de tennis utilitzades durant les proves.

- **Cronòmetres digitals** (Casio, Japó). Es van utilitzar per als registres temporals durant les proves.
- **Programari informàtic.** En la recerca es van utilitzar processadors de textos, fulls de càlcul, bases de dades, programari específic i d'integració i tractament de dades i sistemes operatius estàndard: Microsoft Office 2002, SPSS 13.0 per a Windows, Data Management Software K4b<sup>2</sup> versió 7.4b, Polar Precision Performance versió 4.03.043, Method Validator versió 1.19, i TCD (TwoCampsDisplay) Sport Suport 2006.
- **Ordinadors personals** (Acer TravelMate 290, Taiwan i Dell Inspiron, Irlanda). Utilitzats per a l'enregistrament i anàlisi posterior de les dades.
- **Anemòmetre digital** (Plastimo, França). Utilitzat per registrar la velocitat del vent a la pista on es realitzaven les proves o els partits.
- **Radar** (Stalker ATS 4.02, EUA). Utilitzat per mesurar la velocitat de llançament de la màquina llançapilotes.



**Figura I.8.** Radar utilitzat per mesurar la velocitat de llançament de la màquina llançapilotes.

### I.3.1.3. Protocol de la prova

#### Procediment

Abans d'administrar les proves es procedia a explicar detalladament el procediment als subjectes i donar les pertinents instruccions. La Figura I.9 il·lustra la situació de la màquina sobre la pista i les zones de recepció i diana sobre la pista de tennis.

Els jugadors es situaven al fons de la pista i realitzaven alternativament un cop de dreta a esquerra i d'esquerra a dreta de la pista (dreta-revés), desplaçant-se en sentit lateral d'una banda a l'altra. L'objectiu era intentar enviar la pilota per sobre de la xarxa i situar-la dins la zona marcada (diana). Es van donar instruccions als subjectes perquè ajustessin la seva velocitat de desplaçament, per que arribessin a la zona de copejament coincidint amb el bot de la pilota, la copegessin i giressin en sentit contrari per arribar a la banda contrària coincidint amb el bot de la següent pilota. Per tal d'assegurar un cost energètic homogeni dels cops en relació a la tècnica utilitzada, només es permetia realitzar l'element tècnic de cops liftats de dreta i revés.

La màquina llançapilotes s'ajustava abans de cada prova de forma que les pilotes llançades botessin en una zona determinada de la pista marcada prèviament (en cada un dels vèrtex de la pista sobre un quadrat de 2 m per cada costat situat a 0,5 metres de la línia de fons).

Es va realitzar una valoració objectiva de l'efectivitat tècnica (ET) dels subjectes mitjançant el càlcul del percentatge d'encerts i errors dels copejaments, avaluant tant la precisió com la potència dels cops mitjançant unes línies marcades a la pista i a càrrec d'un observador entrenat. Els cops dels jugadors s'avaluaven com a encerts o errors en

funció de criteris de precisió i de potència. Per tal que un cop es considerés com un encert havia de complir simultàniament dos criteris:

- *Criteri de precisió:* la pilota enviada pel jugador havia de botar en la zona marcada o diana (quadrat que es situa a 1 m de la línia de servei i 1 m sobre la prolongació de la línia central de servei).
- *Criteri de potència:* una vegada la pilota havia botat dins la diana, calia que sobrepassés la línia de potència (línia situada des de 5 m del centre de pista fins a 4 m des de la línia lateral), abans de realitzar el segon bot (Figura I.9).

La prova finalitzava quan el jugador no podia copejar dues pilotes seguides o bé quan, a criteri de l'examinador, el tennista no respectava una mínima correcció tècnica en els seus cops. Quan un jugador finalitzava la prova es registrava el temps i l'esglau final assolit, que constituïen el resultat del test.

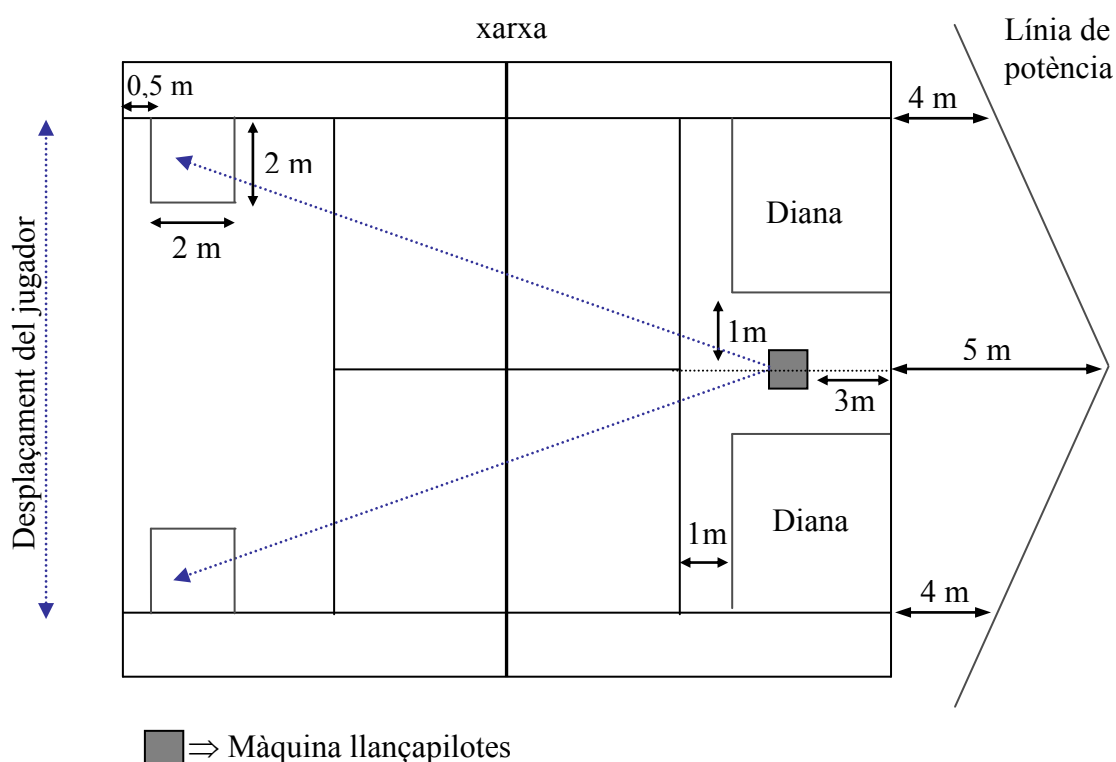


Figura I.9. Esquema il·lustratiu de la prova (SET – Test).

### Tasques prèvies a la prova

Per al correcte desenvolupament de les proves i de manera protocol·litzada es realitzaven les següents tasques abans de cada test:

- Registre i valoració de paràmetres ambientals: registre anemomètric (les proves només es realitzen si  $v_{\text{vent}} < 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ); col·locació del jugador a la pista o al costat de la pista en que no tingués el sol de cara.
- Mesurament i marcatge de les zones i dianes de la pista amb cinta adhesiva.
- Preparació, col·locació i calibratge de la màquina llançapilotes.
- Preparació i calibratge protocol·litzat de l'analitzador de gasos.
- Registre de dades dels subjectes.
- Supervisió de l'escalfament del jugador.

### Escalfament previ

L'escalfament previ era protocol·litzat i consistia en el següent:

- Escalfament general (10 min): cursa contínua, diferents tipus de desplaçament, acceleracions i moviments del tren superior i de mobilitat articular.
- Escalfament específic en pista (5 min): piloteig en pista amb un altre jugador.
- Familiarització amb el test (3 min): tres minuts seguint el protocol de la mateixa prova amb una freqüència de llançament de  $9 \text{ tir}\cdot\text{min}^{-1}$ .

### Recursos humans

Per tal d'assegurar un correcte funcionament durant la realització de les proves, aquestes es van realitzar amb un mínim de 3 jugadors i 4 investigadors, cadascú d'ells amb una tasca específica:

Jugadors (3): un tennista realitzava la prova i els dos restants recollien les pilotes i asseguraven el subministrament de pilotes a la màquina.





**Figura I.10.** Jugador realitzant la prova, després de copejar un revés i en desplaçament lateral.

Investigadors (4): un investigador era responsable del registre de les dades personals i antropomètriques dels subjectes, del registre de l'efectivitat tècnica mitjançant les anotacions d'encerts – errors, i de les possibles incidències durant la prova. Un segon era responsable del funcionament de la màquina llançapilotes: ajustar la freqüència de llançament en cada període (cronometratge dels intervals de 2 min), supervisió del correcte subministrament de pilotes i verificació de l'adequat funcionament de la màquina.

A



B



**Figura I.11.** Investigadors responsables del registre de l'efectivitat tècnica (A) i del funcionament de la màquina llançapilotes (B).

Un tercer investigador era responsable del funcionament de l'analitzador de gasos portàtil K4b<sup>2</sup>. Finalment, un quart investigador era responsable del funcionament general de la prova: temporalització de la prova i gestió dels subjectes.



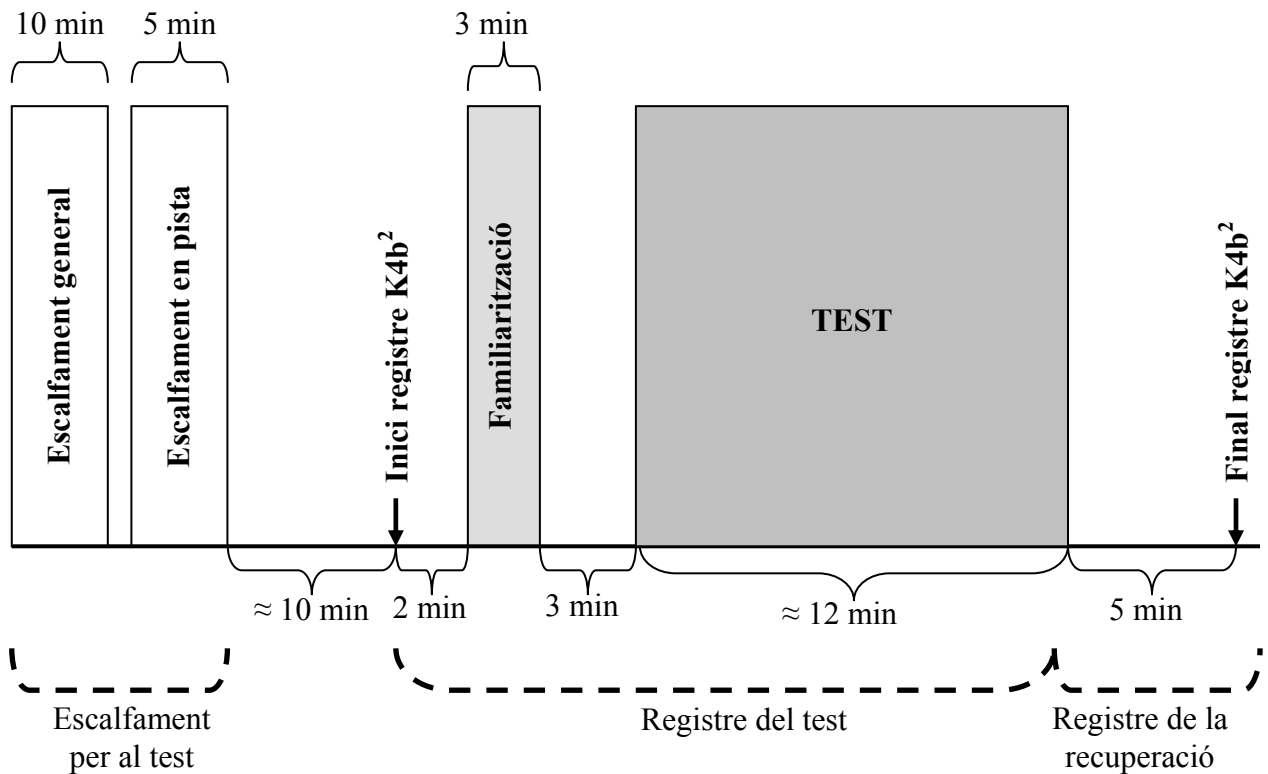
**Figura I.12.** Investigadors responsables del funcionament de l'analitzador de gasos (A) i del funcionament general de la prova (B).

### Temporalització de la prova

A la Taula I.1 i Figura I.13 es presenta la temporalització i cronograma de les diferents tasques durant les proves. La durada total de l'administració del SET – Test era, en funció de la càrrega assolida pel tennista, d'uns 40 minuts.

**Taula I.1.** Temporalització de les tasques durant l'administració del SET – Test.

Temps (min)	Tasca
10	Escalfament general
5	Escalfament específic en pista: piloteig
2	Inici i comprovació del registre de l'analitzador de gasos
3	Escalfament amb la màquina: familiarització
3	Pausa de recuperació
≈ 12	Prova
5	Recuperació
Total 40	Final del registre



**Figura I.13.** Cronograma de l'administració del SET – Test.

#### I.3.1.4. Paràmetres

##### *Paràmetres ergomètrics o de càrrega*

- **Durada de la prova (min:s):** la durada total de la prova en minuts i segons indica el temps que el tenista tarda en arribar a l'esgotament, o bé perquè el jugador no arriba a copejar dues pilotes seguides, o bé, perquè, a criteri de l'examinador, el tennista no respecta una mínima correcció tècnica en els seus cops.

- **Últim període assolit (UP):** indica el darrer període de 2 minuts que el subjecte és capaç de completar, amb una precisió de 0,5 períodes, fracció que equival a haver assolit el primer minut dins el període de 2 minuts corresponent.

- **FLL<sub>P</sub> (tir·min<sup>-1</sup>):** freqüència de llançament de pilotes durant la prova en tirs per minut. La FLL<sub>P</sub> inicial era de 9 tir·min<sup>-1</sup> i s'incrementava en 2 tirs·min<sup>-1</sup> per cada període de 2 minuts.

- **Núm. de període:** número de període assolit al llarg de la prova, corresponent al nombre de períodes de 2 minuts.

### *Paràmetres fisiològics*

Es van registrar paràmetres espiromètrics i electrocardiogràfics. Els paràmetres ergoespiromètrics es van obtenir mitjançant l'analitzador de gasos portàtil que mesura i registra la ventilació pulmonar i l'intercanvi de gasos durant la prova i elabora matemàticament un seguit de paràmetres derivats.

Les dades espiromètriques van ser enregistrades respiració a respiració i posteriorment tractades en valors mitjans cada 15 segons. El registre començava 2 minuts abans de l'escalfament específic i finalitzava 5 minuts després d'acabar la prova i es registrava en un full d'observació qualsevol incidència observada (annex 4). Els paràmetres registrats van ser els següents:

- **$\dot{V}O_2^6$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** consum d'oxigen.
- **$\dot{V}O_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** consum d'oxigen en relació al pes corporal actual del subjecte.
- **$\dot{V}O_{2\text{max}}$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** consum màxim d'oxigen en relació al pes del subjecte. S'ha considerat el valor màxim de  $\dot{V}O_2$  registrat durant un interval de 15 segons.
- **$\dot{V}CO_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** producció de diòxid de carboni.
- **$V_E$  ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** ventilació pulmonar o volum minut respiratori.
- **R:** quocient respiratori ( $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ).
- **$V_E / \dot{V}O_2$ :** equivalent respiratori de l'oxigen ( $\text{Eq}O_2$ ).
- **$V_E / \dot{V}CO_2$ :** equivalent respiratori del diòxid de carboni ( $\text{Eq}CO_2$ ).
- **$\text{FEO}_2$ :** fracció espirada d'oxigen (%). Indica la concentració d' $O_2$  en l'aire espirat (%).
- **$\text{PE}TO_2$  (mmHg):** pressió d'oxigen al final de la respiració (telespiratòria) en mmHg.
- **$\text{FE}CO_2$  (mmHg):** fracció espirada de diòxid de carboni (%). Indica la concentració de  $CO_2$  en l'aire espirat.
- **$\text{PE}TCO_2$  (mmHg):** pressió de diòxid de carboni al final de cada espiració en mmHg.

---

<sup>6</sup> Per raons tipogràfiques no s'utilitzarà la notació científica relativa als volums per unitat de temps ( $\dot{V}$ ), sinó l'abreujada V.

De l'anàlisi temporal de diversos paràmetres es van determinar els llindars ventilatoris (LIV). Es va utilitzar el model de Skinner i MacLellan (1980), amb detecció de dos llindars ventilatoris: LIV1 i LIV2. A aquests efectes es van analitzar els canvis temporals dels paràmetres ventilatoris i es van identificar els corresponents punts de canvi de pendent o de ruptura de la linealitat. Els paràmetres utilitzats van ser:  $V_E$ ,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ ,  $R$ ,  $V_E / VO_2$ ,  $V_E / VCO_2$  i  $PETCO_2$  (mmHg). Per a la detecció del LIV1 es va utilitzar l'aplicació informàtica de l'analitzador de gasos K4b<sup>2</sup> "Data Management Software 7.4 b" que utilitza el mètode de Beaver et al. (1986), basat en la pèrdua de linealitat de la relació entre  $VCO_2$  i  $VO_2$ ; no obstant això, en alguns casos la determinació del LIV1 i en tots els casos del LIV2 s'ha realitzat per inspecció visual dels gràfics amb el recolzament de l'aplicació informàtica. Per tal de disminuir els errors derivats de la subjectivitat en l'ús dels mètodes exposats, es va realitzar l'examen dels gràfics i de les dades numèriques a càrrec de dos examinadors experts diferents.

A continuació es descriuen criteris de detecció dels dos llindars ventilatoris:

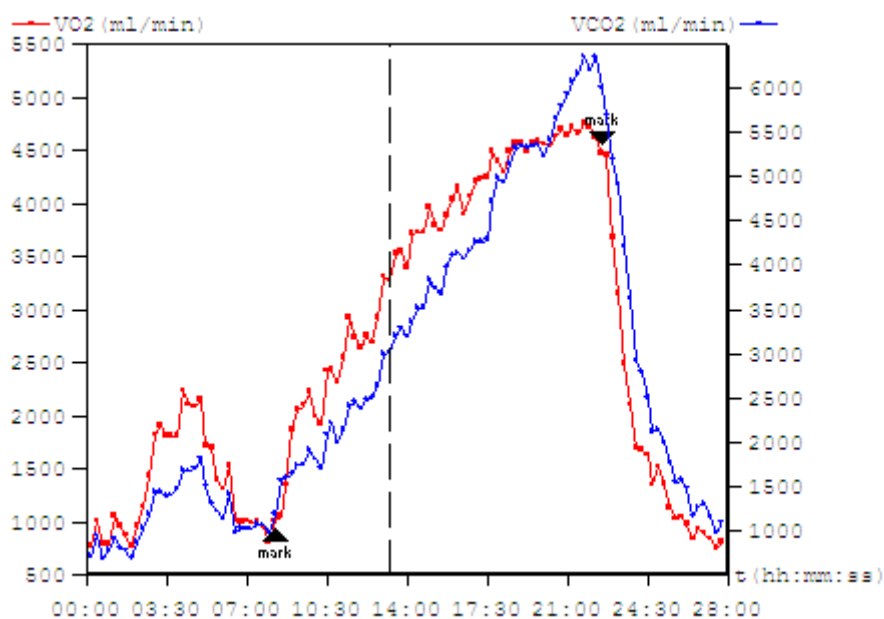
• **Primer llindar ventilatori (LIV1):** En el primer llindar ventilatori (*first ventilatory threshold, VTI*) es produeix un trencament en la relació directa entre el  $VO_2$  i  $VCO_2$ , es a dir, un increment no lineal de  $VCO_2$  respecte de  $VO_2$ , és una situació metabòlica d'acidosis compensada per una alcalosis respiratòria que es tradueix en els següents canvis:

- Increment no lineal de  $VE$  i  $VCO_2$  respecte la càrrega de treball.
- Increment de l'equivalent respiratori de l' $O_2$  ( $VE / VO_2$ ).

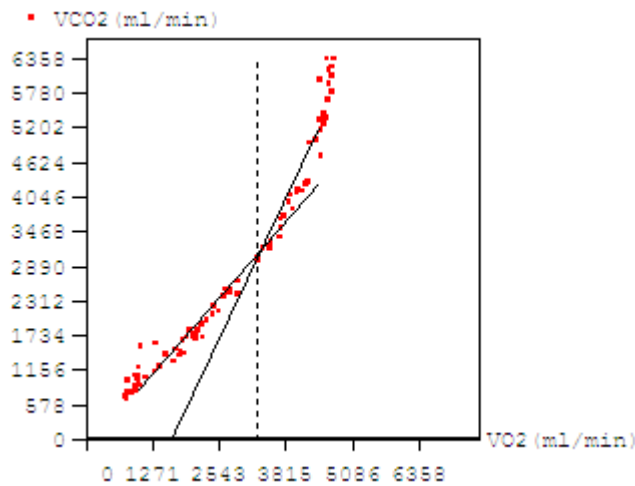
A continuació es mostren els resultats relatius a LIV1 en un subjecte (Taula I.2) i les gràfiques en que es basa (Figura I.15, Figura I.16 i Figura I.17).

**Taula I.2.** Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV1 en un subjecte.

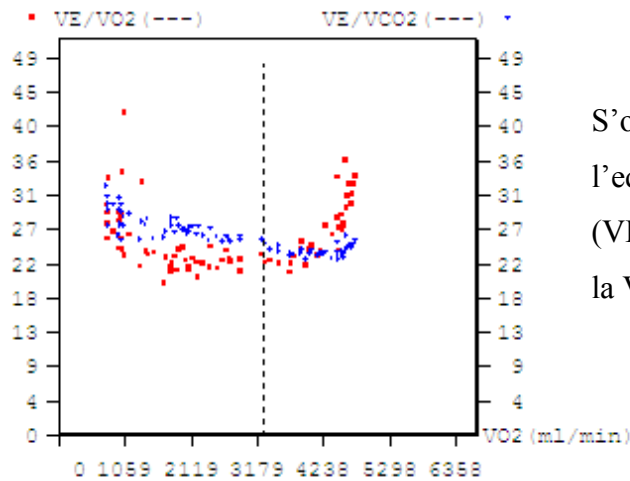
Paràmetre	Valors al LIV1	Valors màxims	% màxim
Temps inici test (min:s)	05:15	14:19	32,7
Temps total (min:s)	13:15	22:19	32,7
Període (núm.)	2,5	7	38,5
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	3267	4755	68,7
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40,3	58,7	68,7
VCO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	3008	6357	47,3
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	79,5	165	48,1
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	151	186	81,1
R	0,92	1,33	68,8



**Figura I.14.** VCO<sub>2</sub> i VO<sub>2</sub> en funció del temps durant una de les proves SET – Test en un subjecte. S’hi indica el LIV1.

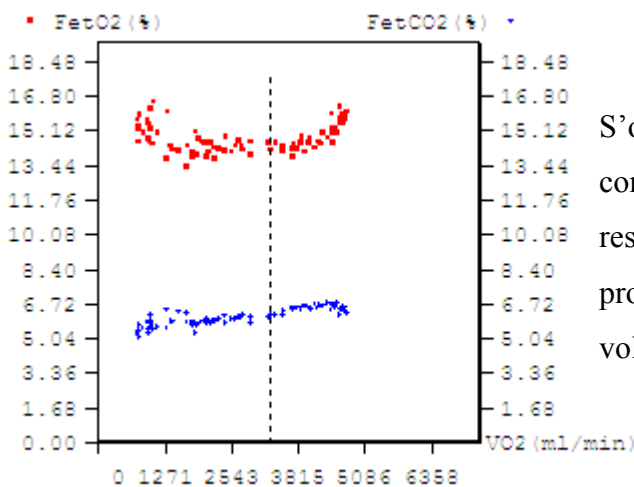


**Figura I.15.** Relació entre VCO<sub>2</sub> i VO<sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV1.



S’observa un primer increment de l’equivalent respiratori de l’oxigen (VE / VO<sub>2</sub>) ja que s’incrementa més la VE que el VO<sub>2</sub>.

**Figura I.16.** Relació entre VO<sub>2</sub> i el VCO<sub>2</sub> amb el V<sub>E</sub> (equivalent respiratori de l’O<sub>2</sub> i del CO<sub>2</sub>) en un subjecte durant la prova. S’hi indica el LIV1.



S’observa un primer increment del FEO<sub>2</sub> com a conseqüència de la hiperventilació respecte al VO<sub>2</sub>. L’augment de la V<sub>E</sub> provoca una menor extracció d’O<sub>2</sub> per volum d’aire ventilat.

**Figura I.17.** FetO<sub>2</sub> (%) i FetCO<sub>2</sub> (%) en funció del VO<sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV1.

• **Segon llindar ventilatori (LIV2):** Segon llindar ventilatori (*second ventilatory threshold, VT2*) corresponent al punt de compensació de l'acidosis metabòlica de Wasserman. Aquest autor el defineix com la intensitat d'exercici o treball físic per damunt del qual comença a augmentar de forma progressiva la concentració de lactat en sang a la vegada que la ventilació s'intensifica també de manera desproporcionada respecte l'oxigen consumit (Wasserman, 1967). Quan la capacitat de tamponament de l'àcid làctic és inferior al seu ritme de producció, la concentració en sang augmenta de forma no lineal. La resposta a aquesta situació d'acidosis metabòlica descompensada és incrementar la ventilació en un intent de compensar aquesta situació de desequilibri àcid-base. Per a detectar el LIV2 s'ha utilitzat els criteris de Skinner i McLellan (1980) que descriuen la transició del metabolisme aeròbic al metabolisme anaeròbic durant la realització d'una prova incremental:

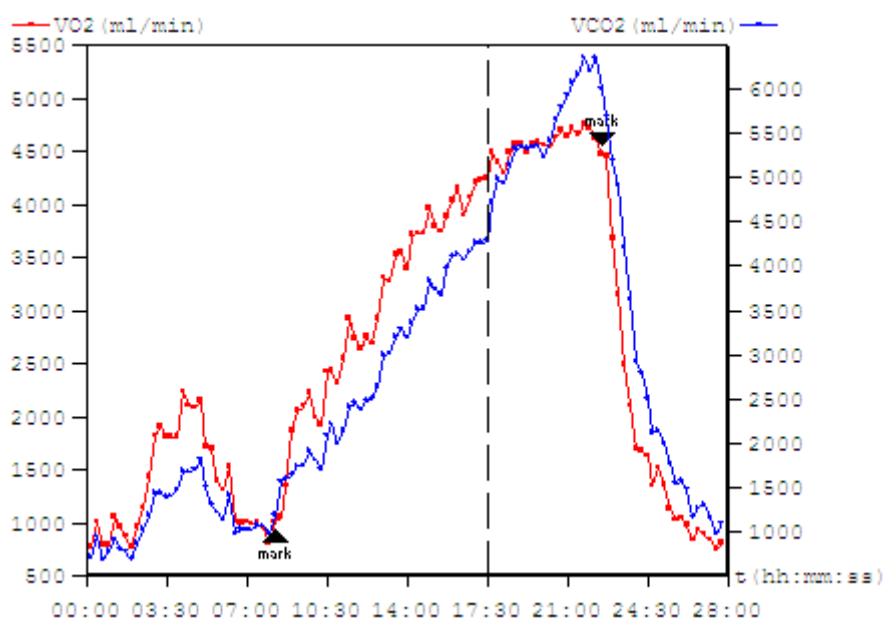
- Augment desproporcionat de VE.
- Accentuació de la no linealitat de  $VCO_2$  respecte la càrrega.
- Increments de l'equivalent respiratori de l' $O_2$  ( $VE/VO_2$ ) i del  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ).
- Descens de la fracció espirada de  $CO_2$  ( $FECO_2$ ) i ascens de la fracció espirada d' $O_2$  ( $FE O_2$ ).



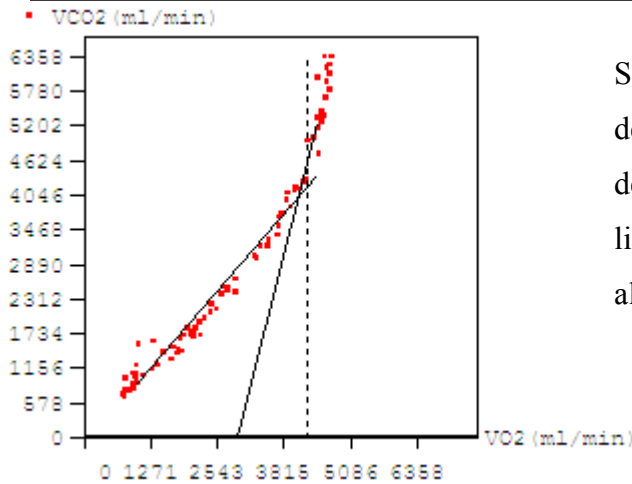
A continuació es mostren tres dels indicadors per detectar el segon llindar ventilatori en un subjecte:

**Taula I.3.** Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV2 en un subjecte.

Paràmetre	Valors al LIV2	Valors màxims	% màxim
Temps inici test (min:s)	09:30	14:19	66,4
Temps total (min:s)	17:30	22:19	66,4
Període (núm.)	4,5	7	64,3
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	4248	4755	89,3
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	52,4	58,7	89,3
VCO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	4293	6357	67,5
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	104	165	63
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	168	186	89,8
R	1,01	1,33	75,6

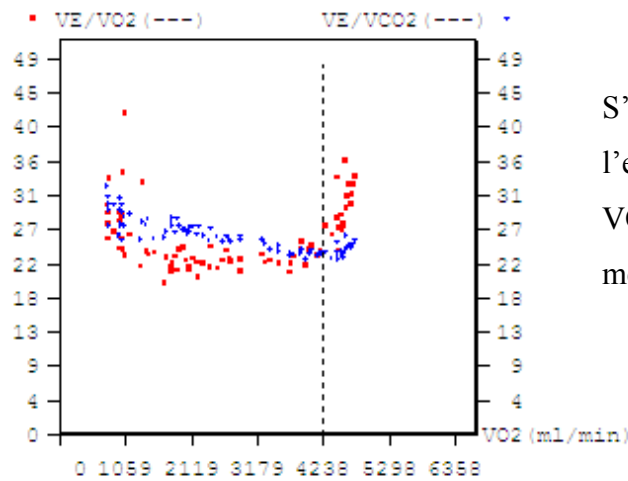


**Figura I.18.** Evolució del VO<sub>2</sub> i VCO<sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.



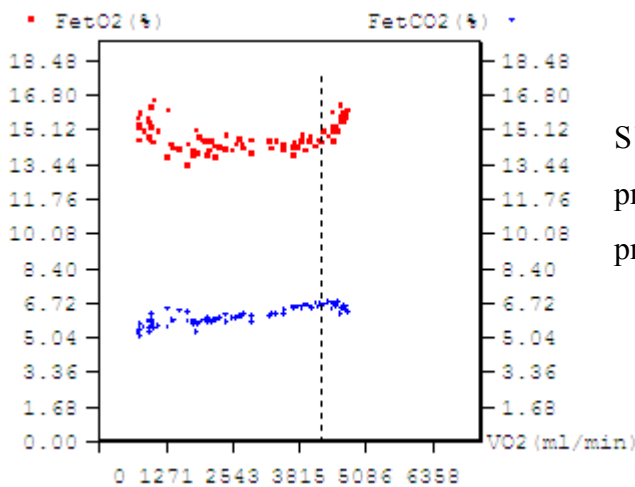
S'observa un segon augment no lineal de  $VCO_2$  respecte a  $VO_2$ , és a dir, s'ha detectat una accentuació de la no linealitat de producció de  $CO_2$  respecte al consum d' $O_2$ .

**Figura I.19.** Relació entre  $VCO_2$  i  $VO_2$  en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.



S'observa un segon increment de l'equivalent respiratori de l'oxigen ( $VE / VO_2$ ) ja que augmenta proporcionalment més VE que  $VO_2$ .

**Figura I.20.** Relació entre el  $VCO_2$  i el  $VO_2$  amb el  $V_E$  (equivalent respiratori del  $CO_2$  i de l' $O_2$ ) en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.



S'observa un segon ascens més pronunciat de la  $FEO_2$  i per contra es produeix un descens de la  $FECO_2$ .

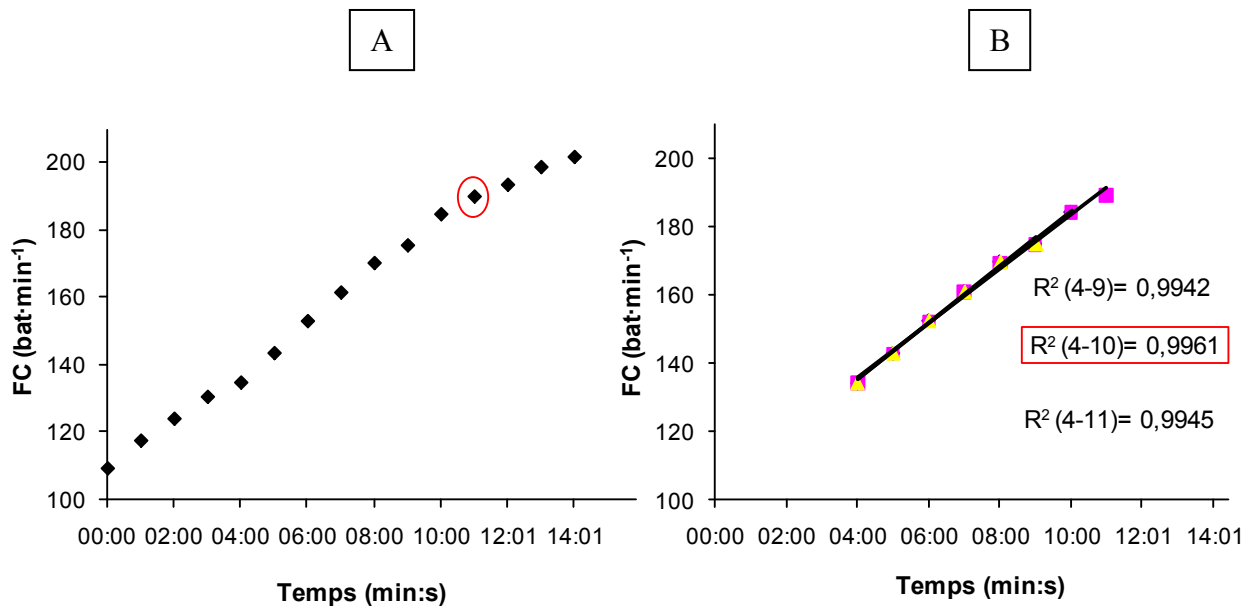
**Figura I.21.**  $FEO_2$  (%) i  $FECO_2$  (%) en funció del  $VO_2$  en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.

Per al registre dels paràmetres relatius a la freqüència cardíaca es van utilitzar els valors mitjans en 15 s. Les dades eren transmises telemètricament i gravades a intervals de 15 s en l'aparell per ser buidades posteriorment en un PC mitjançant el software Polar Precision Performance 4.03.043. El registre en la prova començava 2 minuts abans de l'escalfament específic i finalitzava 5 minuts després de finalitzada la prova. Els paràmetres electrocardiogràfics utilitzats van ser:

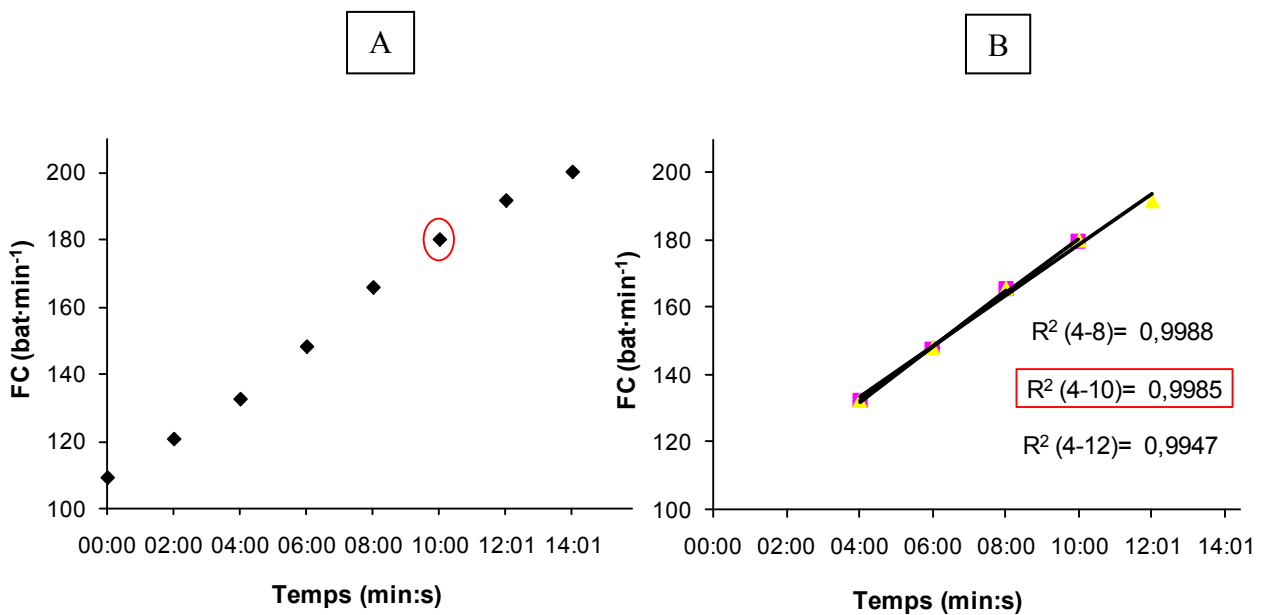
- **FC ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca en batecs per minut (*Heart rate, HR*) com a mesura indirecta de la càrrega interna del tennista i com a caracterització de la resposta cardiocirculatòria a l'esforç. Existeix una relació gairebé lineal entre els valors de freqüència cardíaca i el grau d'esforç realitzat en una prova.
- **FCmax ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca màxima en batecs per minut. És el nombre màxim de batecs per minut durant la prova i com a mesura de la intensitat màxima assolida pel subjecte. Per determinar la FCmax es van utilitzar valors mitjans cada 15 s i es va anotar el valor més alt assolit durant l'últim minut de la prova.
- **PDFC ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** punt de deflexió de la freqüència cardíaca (*Heart rate deflection point, HRDP*). La FC augmenta de forma gairebé lineal en relació a la intensitat de l'exercici que es realitza, fins arribar un punt a partir del qual s'estabilitza encara que segueix augmentant la intensitat de treball. Aquest punt l'anomenem PDFC (Conconi et al., 1982). El fenomen de la deflexió de FC es produeix quan es realitza un treball per sobre del llindar anaeròbic, quan augmenta més la intensitat de la càrrega que no pas la FC (Pendergast et al., 1979, en Conconi 1982). En la literatura revisada alguns autors defensen que el concepte de PDFC es controvertit, atès que alguns individus exhibeixen una resposta totalment lineal entre FC i càrrega de treball (Jones i Doust, 1995), no obstant aquests problemes en la detecció del PDFC poden venir donats per problemes de caire metodològic, ja que l'increment de la càrrega no hauria de provocar un increment superior a 8 batecs per minut, i es necessiten de 15 a 30 s per adaptar-se cardiològicament a l'esforç (Bodner i Rhodes, 2000). En el present estudi es van tenir en compte aquests dos aspectes metodològics i es va utilitzar com a paràmetre de càrrega la  $FLL_p$  i el temps, a diferència de l'estudi original de Conconi et al. que utilitza la velocitat de desplaçament.

Per tal de determinar aquest punt s'ha utilitzat l'anàlisi de regressió, amb detecció de la sèrie temporal amb un valor de coeficient de regressió lineal ( $r$ ) màxim. Les tècniques de regressió aplicades a la detecció del PDFC permeten mostrar aquest punt de manera més perceptible i objectiva (Bodner i Rhodes, 2000). Per tal de determinar-lo es va utilitzar la FC de cada minut completat en tots els subjectes, excepte en un subjecte en que es va utilitzar la mitjana en 2 minuts, i 4 subjectes en que es va utilitzar la mitjana en 30 s com a elements d'ajut per detectar la deflexió.

A la Figura I.22 i Figura I.23 es mostra el mètode utilitzat per detectar el PDFC en un subjecte mitjançant l'anàlisi de regressió de la FC mitjana d'un i dos minuts.



**Figura I.22.** Evolució de la mitjana de FC cada minut en un subjecte durant la prova (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S'hi indica el PDFC.



**Figura I.23.** Evolució de la mitjana de FC cada 2 minuts en un subjecte durant el test (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S'hi indica el PDFC.

***Paràmetres d'efectivitat tècnica (ET)***

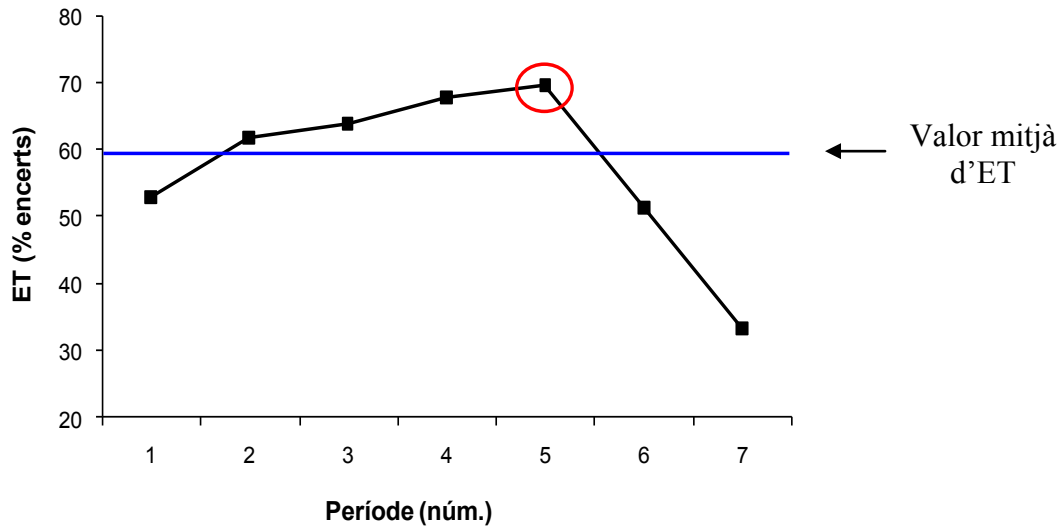
Els valors d'ET fan referència a la precisió i potència dels cops realitzats pel jugador. Els valors s'obtenen mitjançant l'avaluació objectiva d'encerts i errors durant la realització dels tests específics tal i com s'especifica en l'apartat I.3.1.3 (protocol de la prova). Les anotacions d'ET es realitzaven a intervals de 30 s per un observador entrenat mitjançant uns fulls d'observació (annex 1). Es van obtenir dades d'efectivitat tècnica globals de cada test representant el valor mitjà del total de cops i dades d'efectivitat tècnica per a cada esglaó de dos minuts. Els períodes que no van tenir una durada mínima de 45 s no es van tenir en compte les dades d'ET.

- **ET (percentatge d'encerts):** efectivitat tècnica. Càlcul objectiu del número i percentatge d'encerts dels jugadors durant la prova per un observador i en funció d'unes línies marcades a la pista tal com s'especifica en l'apartat I.3.1.3 (protocol de la prova).
- **PDET (període):** punt de deflexió de l'efectivitat tècnica. Una vegada obtinguts els percentatges d'encerts i errors totals i per esglaó, es va determinar un punt a partir del qual els subjectes disminuïen la seva ET. Es va utilitzar com a criteri de punt d'inflexió l'últim valor d'ET a partir del qual el subjecte està per sota de la seva mitjana d'efectivitat tècnica total i ja no torna a superar aquest valor mitjà (Figura I.24). L'últim període assolit es contemplava si es realitzava un mínim de 45 s, en cas que no s'assolís un mínim de 45 s aquest període no es tenia en compte per a valorar la disminució d'ET.

En el cas que algun subjecte durant la prova disminuís la seva ET per sota de la mitjana en un període i després tornés a superar aquest valor mitjà, es considerava el PDET aquell valor que disminuïa i ja no tornava a superar el valor mitjà (Figura I.25). En el cas que un subjecte acabés el test per sobre la mitjana d'ET es considerava aquell període com a PDET. A continuació es mostra el mètode de detecció del PDET en dos subjectes.

**Taula I.4.** Valors d'efectivitat tècnica d'un subjecte.

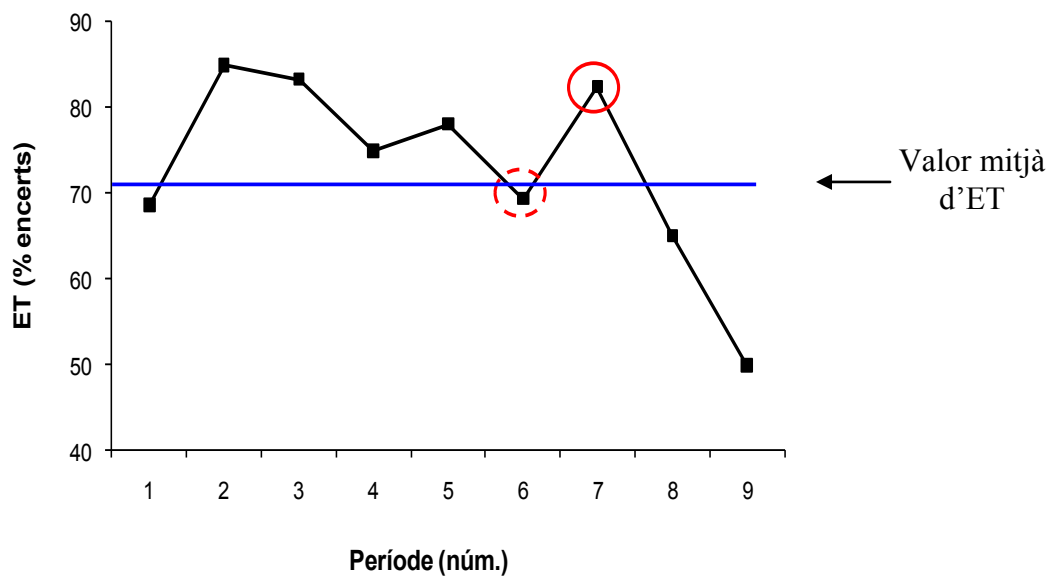
Total cops	ET			PDET (Període)
	Núm. Encerts	Núm. Errors	% Encerts	
173	103	70	59,6	5



**Figura I.24.** Evolució de la mitjana d'ET per període en un subjecte durant el test. S'hi indica el valor mitjà d'ET del subjecte i el PDET en un cas en que després de la deflexió no es torna a superar el valor mitjà.

**Taula I.5.** Valors d'efectivitat tècnica del subjecte.

Total cops	ET			PDET (Període)
	Núm. Encerts	Núm. Errors	% Encerts	
283	202	81	71,4	7



**Figura I.25.** Evolució de la mitjana d'ET per període en un subjecte durant el test. S'hi indica el valor mitjà d'ET del subjecte i el PDET en un cas en que després d'una deflexió es torna a superar el valor mitjà.

### *Nivell competitiu dels jugadors*

Amb l'objectiu d'establir el nivell competitiu de cada jugador per poder relacionar-lo amb la resta de variables de l'estudi es va realitzar una classificació dels jugadors. Degut a que en la mostra hi havia jugadors de nombroses nacionalitats, per tal de buscar un criteri únic i internacional de classificació es van classificar els subjectes amb el criteri proposat per la ITF (*International Tennis Federation*) utilitzant l'ITN (*International Tennis Number*) amb una escala de classificació de l'1 al 10.

• **ITN (escala de 1 a 10):** *Internacional Tennis Number*. És un número proposat per la *International Tennis Federation* (ITF) que representa el nivell general de joc d'un tennista. La ITF espera que amb el temps tots i cadascun dels jugadors de tennis del món tinguin un ITN. Amb aquest sistema els jugadors es classifiquen de 1 a 10, existint dins la categoria ITN 10 3 sub-categories (ITN 10.1, ITN 10.2 i ITN 10.3). El ITN 1 representa un jugador d'alt nivell (que posseeix una classificació ATP o un nivell de joc similar) i l'ITN 10 seria un jugador que es nou en l'esport (annex 2). Per poder classificar els jugadors de diferents nacionalitats i nivells l'ITN consta d'un "Quadre de comparació de l'ITN (ITF, 2005)" i una "Descripció del Nivell de Joc (ITF, 2004)". El mètode que es va utilitzar per classificar cada un dels jugador de la mostra ha estat diferent en funció dels següents casos:

- Jugadors que tenien una classificació en el seu país d'origen equiparable en el "Quadre de Comparació de l'ITN". La ITF té una taula de comparació (annex 3) per a aquells països que tenen sistemes nacionals de classificació en marxa. Aquesta taula compara les categories de classificació d'aquells països que compten amb tots el nivells ITN.
- En el cas que el jugador fos d'un país que no tenia en funcionament un sistema nacional de classificació, tenia una classificació en un país que no s'especifica en el Quadre de Comparació o bé no tenia classificació en cap país s'ha utilitzat la "Descripció del Nivell de Joc (ITF, 2005)" realitzada per 3 observadors amb la titulació d'Entrenador Nacional de Tennis. Aquesta escala de classificació s'utilitza per a descriure cada una de les deu categories de classificació. Aquesta descripció de nivells de joc ha estat elaborada i aprovada per la Comissió d'Entrenadors de la ITF i el Grup de treball de les Classificacions Internacionals de la ITF. Aquesta descripció del nivell de joc no utilitza únicament una avaluació de la tècnica de cada un dels cops sinó que utilitza els següents criteris:



- Les característiques generals de diversos nivells de joc.
- Les cinc situacions tàctiques de joc (servei, restada, fons contra fons, pujada a la xarxa i “passing”).
- Estil de joc del tennista.

### **I.3.2. FIABILITAT DE LA PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA**

La fiabilitat de la prova ve determinada pel grau de repetitivitat o reproductibilitat de les seves mesures, referint-nos al grau de consistència, estabilitat, objectivitat o constància d'aquestes. Per tal d'assegurar un adequat nivell de fiabilitat del SET – Test es van controlar possibles fonts de variabilitat en el resultat de les proves. Distingirem entre fiabilitat externa i interna.

#### **I.3.2.1. Fiabilitat externa**

La fiabilitat externa és el grau de concordança entre mesures consecutives que ve determinada per factors externs al subjecte, com ara els instruments de mesura, els examinadors, el protocol de la prova o les condicions ambientals (Rodríguez, 1999). Per tal d'assegurar un adequat control sobre les possibles fonts d'error de mesurament en el procés de recollida de dades es van controlar amb un alt grau d'exigència els següents factors:

#### ***Instruments d'avaluació: la màquina llançapilotes de tennis***

Abans de cada test es realitzava de manera manual un calibratge de les freqüències de llançament. Per altra banda, es va fer una anàlisi de la velocitat de llançament avaluada amb un radar en condicions ambientals estables. A aquests efectes, la màquina es situava a una distància de 3 metres de la línia de fons, centrada respecte la línia traçada per la prolongació de la línia central de servei tal i com s'especifica a la Figura I.9. Mitjançant un programa informàtic per al càlcul de valors cinemàtics es va determinar l'angle i l'alçada de sortida de la pilota de la màquina respecte la horitzontal del terra.

#### ***Material d'avaluació: pilotes de tennis***

Atès que la màquina llançapilotes expulsa pel tub de llançament les pilotes mitjançant aire comprimit, les diferents característiques i estats de conservació de les pilotes poden provocar una variació en la velocitat de llançament. Per tal d'assegurar la

homogeneïtat en la velocitat de llançament i per tant contribuir a la fiabilitat externa de la prova es van utilitzar un mínim de 40 pilotes de tennis (Babolat Team), amb un màxim de 100 cops per pilota i 15 dies d'utilització des de l'obertura del contenidor. Quan les pilotes deixaven de complir aquests criteris es substituïen per pilotes noves. Les pilotes van ser subministrades per la empresa Babolat i per l'àrea de docència de la "Real Federación Española de Tenis".

### ***Condicions ambientals***

Atès que totes les proves es van realitzar en pistes de tennis exteriors, la intensitat del vent podia modificar la velocitat de llançament de les pilotes i provocar un canvi en les càrregues programades. Per evitar aquest factor de variabilitat, les proves només es van realitzar amb condicions de vent estables, inferiors a una velocitat del vent de  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  mesurada amb un anemòmetre digital.

### ***Els examinadors: objectivitat i estabilitat de la prova***

Anomenem objectivitat o fiabilitat interobservador al grau de constància dels resultats entre diferents examinadors obtinguts en els mateixos subjectes, i estabilitat o fiabilitat intraobservador al grau de constància entre varies mesures repetides per un mateix observador en els mateixos subjectes. Per tal de minimitzar les fonts d'error de mesura inter- i intraobservador es van ensinistrar 4 investigadors (becaris de recerca de l'INEFC de Barcelona), cadascun dels quals realitzava una tasca concreta, amb un elevat coneixement del contingut de les observacions. Amb anterioritat a les avaluacions, els examinadors tenien un grau elevat de familiarització amb la prova i disposaven d'un protocol escrit de les tasques i accions concretes a realitzar.

### **I.3.2.2. Fiabilitat interna**

La fiabilitat interna reflecteix el grau de variabilitat biològica; és el grau de concordança que ve determinat per factors interns relatius als propis subjectes de la recerca (Rodríguez, 1999). Per tal de minimitzar l'impacte de les possibles fonts d'error deguda als mateixos participants en la recerca es van controlar els següents factors:

- Motivació dels jugadors. Varen participar a l'estudi únicament aquells jugadors que van acceptar voluntàriament i amb interès la realització de les proves. Els

subjectes van rebre instruccions molt concretes i se'ls va animar a que s'esforcessin al màxim en cada prova.

- Estat de fatiga dels jugadors. Els subjectes no van participar en cap competició o entrenament de càrrega elevada en un període mínim de 48 hores abans de les valoracions.
- Coneixements específics sobre la prova. Es van facilitar als jugadors unes instruccions estandarditzades abans de cada prova.
- Escalfament i familiarització amb la prova. Tots els subjectes van realitzar el mateix escalfament estandarditzat i de familiarització abans de cada prova.

### **I.3.2.3. Estudi de repetitivitat**

L'estabilitat de les mesures durant la prova de resistència és un aspecte cabdal en el desenvolupament de la present investigació. Un cop validats els instruments d'avaluació i amb l'objectiu d'avaluar la repetitivitat i el coeficient d'estabilitat de la prova proposada, una submostra de 12 jugadors van realitzar una prova de mesures repetides ('test-retest') consistent en realitzar tres SET – Test de manera consecutiva, en dies diferents i seguint les directrius d'administració de la prova explicades en el punt anterior (I.3.1). Els dotze subjectes van realitzar els dos primers SET – Test amb idèntiques condicions i amb 48 hores d'interval. Durant els dos primers tests es va enregistrar la FC ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) com a paràmetre de càrrega interna (adaptació cardiovascular a l'esforç), la durada de la prova i l'últim període assolit en el test (UP) com a paràmetres de càrrega externa. Al mateix temps es va realitzar una valoració de l'efectivitat tècnica (ET). Posteriorment, amb un interval de 7 dies respecte la realització de la segona prova, i amb l'objectiu d'explorar els efectes sobre les variables estudiades de l'analitzador de gasos portàtil, es va dur a terme el tercer SET – Test enregistrant els paràmetres ergoespiromètrics mitjançant un analitzador de gasos portàtil K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Itàlia). Les tres proves es van realitzar dins d'un interval de 9 dies per tal que no es produïssin possibles modificacions de la condició aeròbica dels jugadors per efecte de l'entrenament o altres factors. Els jugadors de la mostra no van participar en cap competició, prova o entrenament d'alta exigència en un període mínim de 48 hores abans del test.

#### I.3.2.4. Subjectes

Per a l'estudi de repetitivitat es va utilitzar una mostra de 12 jugadors amb una mitjana d'edat de 17,2 anys ( $\pm 1,0$ ; 16,0 – 18,7); alçada 176,7 cm ( $\pm 7,4$ ; 167,0 – 190,0); pes 71,8 kg ( $\pm 9,0$ ; 55,0 – 83,0). Els subjectes dedicaven una mitjana de 3,5 h ( $\pm 0,1$ ; 3,5 – 4,0) a l'entrenament tècnic i 1,0 h ( $\pm 0,1$ ; 1,0 – 1,5) a l'entrenament físic, 5 dies a la setmana en centres d'entrenament d'alta competició. Un dels subjectes de la mostra tenia classificació internacional (ATP) i els onze restants tenien un nivell nacional. Tots els jugadors es trobaven entre el nivell 1 i 4 de l'ITN, corresponent a un nivell d'avançat a elit, amb un jugador amb un ITN 1, dos jugadors amb un ITN 2, dos jugadors amb un ITN 3 i 5 jugadors amb un ITN 4.

#### I.3.2.5. Material

- **Màquina llançapilotes de tennis** (Pop - Lob Airmatic 104, França). Utilitzada per al llançament de pilotes durant totes les proves.
- **Analitzador de gasos portàtil telemètric** (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Itàlia), utilitzat en l'aplicació de la tercera prova (T3).
- **Cardiotacòmetres** (Polar S-810 i S-610, Finlàndia).
- **Pilotes de tennis** (Babolat Team, Japó).
- **Cronòmetres digitals** (Casio, Japó).
- **Programari informàtic**. Programes de funcionalitat específica, programes d'integració i sistemes operatius: Microsoft Word 2002, Microsoft Excel 2002, SPSS 13.0 per a Windows, Data Management Software K4b<sup>2</sup> versió 7.4b, Polar Precision Performance versió 4.03.043, Method Validator versió 1.19, TCD (TwoCampsDisplay) Sport Suport 2006.
- **Ordinadors portàtils** (Acer TravelMate 290, Taiwan i Dell Inspiron, Irlanda).
- **Anemòmetre digital** (Plastimo).
- **Radar** (Stalker ATS 4.02, EUA) per avaluar la velocitat en el llançament de pilotes.

### I.3.2.6. Paràmetres funcionals

#### *Paràmetres ergomètrics o de càrrega*

Els paràmetres de càrrega van ser enregistrats en cadascuna de les tres proves (T1, T2 i T3) per a l'estudi de fiabilitat.

- **Durada de la prova (min:s).**
- **UP (període):** últim període assolit.
- **FLL<sub>P</sub> (tir·min<sup>-1</sup>):** freqüència de llançament de pilotes.

#### *Paràmetres fisiològics*

Els següents paràmetres ergoespiromètrics van ser avaluats únicament en la tercera prova (T3).

- **VO<sub>2</sub> (mL·min<sup>-1</sup>):** consum d'oxigen.
- **VO<sub>2</sub> (mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>):** consum d'oxigen en relació al pes corporal actual del subjecte.
- **VO<sub>2max</sub> (mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>):** consum màxim d'oxigen en relació al pes del subjecte.
- **VCO<sub>2</sub> (mL·min<sup>-1</sup>):** producció de diòxid de carboni.
- **V<sub>E</sub> (L·min<sup>-1</sup>):** ventilació pulmonar o volum minut respiratori.
- **R:** quocient respiratori (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>).
- **V<sub>E</sub> / VO<sub>2</sub>:** equivalent respiratori de l'oxigen (EqO<sub>2</sub>).
- **V<sub>E</sub> / VCO<sub>2</sub>:** equivalent respiratori del diòxid de carboni (EqCO<sub>2</sub>).
- **FEO<sub>2</sub>:** fracció espirada d'oxigen (%). Indica la concentració d'O<sub>2</sub> en l'aire espirat (%).
- **PETO<sub>2</sub> (mmHg):** pressió d'oxigen al final de la respiració (telexpiratòria) en mmHg.
- **FECO<sub>2</sub> (mmHg):** fracció espirada de diòxid de carboni (%). Indica la concentració de CO<sub>2</sub> en l'aire espirat.
- **PETCO<sub>2</sub> (mmHg):** pressió de diòxid de carboni al final de cada espiració en mmHg.
- **Primer llindar ventilatori (LIV1):** primer llindar ventilatori o llindar aeròbic.
- **Segon llindar ventilatori (LIV2):** segon llindar ventilatori o llindar anaeròbic.

Els següents paràmetres electrocardiogràfics van ser enregistrats en les tres proves administrades (T1, T2 i T3) en l'estudi de fiabilitat.

- **FC ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca.
- **FCmax ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca màxima.
- **PDFC ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** punt de deflexió de la freqüència cardíaca.

#### *Paràmetres d'efectivitat tècnica (ET)*

- **ET (percentatge d'encerts):** efectivitat tècnica.
- **PDET (període):** punt de deflexió de l'efectivitat tècnica.

#### *Nivell competitiu del jugador*

- **ITN (escala de 1 a 10):** *Internacional Tennis Number*.

#### **I.3.2.7. Anàlisi estadística**

Es van calcular els estadístics de correlació intraclasse (ICC) per determinar el grau d'estabilitat dels valors de les dues proves, així com el coeficient de correlació lineal de Pearson ( $r$ ) o de correlació interclasse per avaluar la correlació entre les variables. Mitjançant l'ANOVA es va determinar les diferències observades en les mesures els diferents dies de la prova. També es va calcular el coeficient de variació (CV) com a mesura de variabilitat i comparació de les dispersions. Per a la valoració dels nivells de correlació es van utilitzar els criteris de Barrow i McGee (1964): 0,60-0,69 dubtosa; 0,70-0,79 escassa; 0,80-0,89 acceptable; 0,90-0,95 molt bona; >0,95 excel·lent.

### **I.3.3. VALIDESA DE LA PROVA**

Validesa és el grau en que una prova de valoració mesura aquell factor o capacitat funcional que pretén mesurar (Rodríguez, 1999). Cal dir que la validesa depèn en gran part de la fiabilitat, una prova mai serà vàlida si no és fiable, és per aquesta raó que en l'anterior l'apartat es descriuen detalladament els criteris de fiabilitat de la prova proposada. Es va determinar si el SET – Test és una prova vàlida per avaluar la condició aeròbica mitjançant una tasca específica en tennistes de competició.

S'han considerat els següents tipus de validesa del SET – Test:

#### **I.3.3.1. Validesa de contingut**

És el grau de certesa en que el resultat d'una prova es correspon al factor o capacitat funcional, a partir de la seva elecció en base a una decisió lògica i interpretada. Sol referir-se a aspectes d'aprenentatge i context motriu en relació amb l'execució de la prova (Rodríguez, 1999). El SET – Test és una prova de valoració de la resistència específica del tennista. Resulta clar que el context motriu en que es desenvolupa la prova correspon al del tennis, amb accions tècniques –apreses– característiques (desplaçaments a la pista, canvis de direcció, copejaments, etc.), mantingudes de forma prolongada i amb intensitat creixent, com és comú a la majoria de proves de resistència.

#### **I.3.3.2. Validesa ecològica**

És el grau en que la prova s'adequa a la situació real o reproduïx les característiques ambientals i d'entorn en que té lloc la prestació (Rodríguez, 1999). Un dels objectius que persegueixen les proves de camp és millorar la validesa ecològica. El SET – Test és una prova de camp que es realitza a la mateixa pista de competició i que ha estat dissenyada per adequar-se de manera notable a l'entorn físic i també des del punt de vista del material utilitzat i les condicions generals en que es duen a terme les accions motrius, com ara el fet d'haver de respondre als cops d'un rival imaginari –generats artificialment per raons de consistència– amb la potència i la precisió pròpies del joc.

#### **I.3.3.3. Validesa interna**

És el grau de correlació existent entre el factor o capacitat funcional a valorar i els resultats de la prova, sense la intervenció d'altres variables estranyes que alterin aquest resultat (Rodríguez, 1999). Per tal de determinar-lo, es van correlacionar els resultats de la prova expressats amb els paràmetres de càrrega (últim període, UP) amb paràmetres

fisiològics reconeguts com a indicadors de la resistència cardiorespiratòria i metabòlica ( $VO_{2max}$ ) (els resultats es descriuen en l'apartat de validesa predictiva). Per tal d'observar també la relació entre aquests paràmetres i els paràmetres d'eficiència tècnica es va es van correlacionar el LIV2 i el PDFC amb el PDET. Per altra banda, per tal de contrastar la participació del metabolisme aeròbic i el caràcter maximal de la prova, es va realitzar una anàlisi dels elements i característiques del protocol tal i com es descriu a continuació.

L'energia per la contracció muscular durant l'exercici pot ser generada a partir de tres fonts interdependents (fosfats d'alta energia –ATP i fosfocreatina–, glucòlisis anaeròbica i fosforilació oxidativa). L'energia derivada de cadascun d'aquests sistemes dependrà en termes relatius de la intensitat i la durada de l'exercici. Atès que l'objectiu del SET – Test és avaluar la capacitat de la via oxidativa o aeròbica, es van considerar els següents criteris de validesa:

(1) Criteris seguits per assegurar un registre adequat del  $VO_{2max}$ :

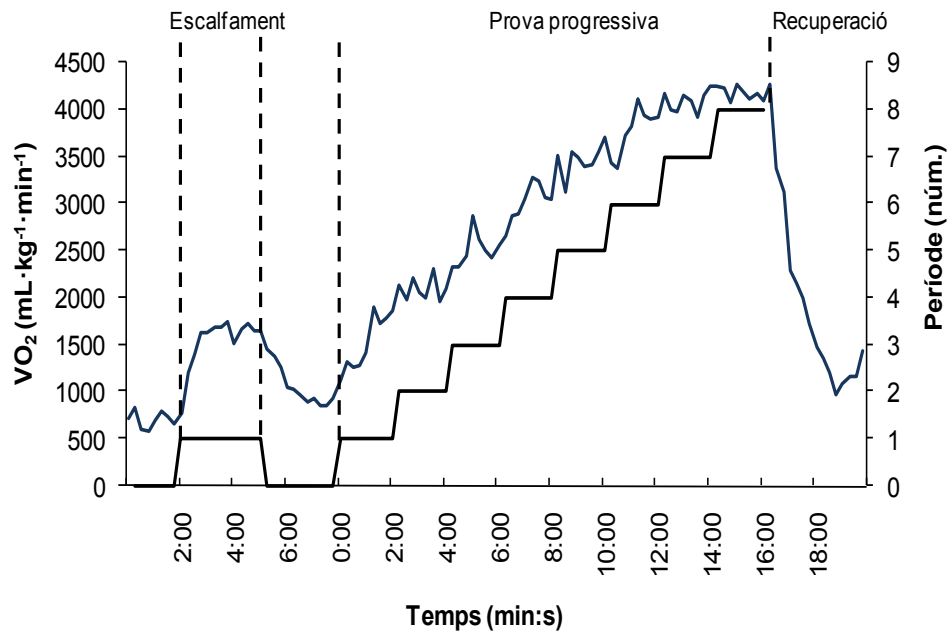
- Tipus de protocol: es va triar un protocol continu, de càrrega incremental (progressiu) i esglaonat (Figura I.26), fins a l'esgotament del subjecte, precedit d'una fase d'escalfament general i específic. Es tracta d'una prova totalment reproducible en que la càrrega ve determinada pel la freqüència i la velocitat de llançament de pilotes i en que es produeix un resultat objectiu: la durada de la prova o el nombre equivalent de l'últim període assolit (UP).
- Participació muscular: la participació dels grans grups musculars del tren superior, inferior i tronc assegura que la càrrega de treball imposada pel SET – Test permeti la màxima sobrecàrrega del sistema de transport d'oxigen.
- Durada de la prova: la prova va ser dissenyada amb una progressió tal que fes que la seva durada fos superior als 8 minuts i inferior als 20, interval generalment acceptat per proves de valoració del consum màxim d'oxigen (Wasserman, 2005).
- Increments en la càrrega i durada dels períodes: els increments de càrrega van ser lleugers ( $2 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i els períodes van ser de 2 minuts per tal d'assolir un



cert grau d'adaptació de l'intercanvi de gasos a la nova càrrega, però sense perllongar exageradament la prova i evitar el consegüent esgotament muscular del tennista.

(2) Criteris seguits per establir la maximalitat de la prova i per a la determinació del  $VO_{2max}$  i llindars ventilatoris:

- La utilització d'un analitzador de gasos portàtil va permetre determinar el  $VO_2$  de manera directa utilitzant els criteris que es descriuen a continuació (Wasserman, 2005; Rodríguez i Aragonés, 1992; López Chicharro et al., 1995).
- Consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ): el principal paràmetre utilitzat per determinar si es tractava d'una prova màxima va ser l'observació d'un 'plateau' o anivellament en la corba de consum d'oxigen durant la realització de l'exercici incremental o bé que l'augment del  $VO_2$  fos inferior a  $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  en dos períodes successius. L'estabilitat o descens del  $VO_2$ , tot i seguir augmentant la càrrega de treball, és el criteri que millor defineix la condició màxima de la prova ja que ens indica que s'ha assolit el consum màxim d'oxigen (Wasserman, 2005). La Figura I.26 mostra l'evolució del  $VO_2$  durant una prova progressiva, amb anivellament del  $VO_2$  al final de la prova. S'observa la relació lineal amb la intensitat durant les càrregues submàximes, fins un punt en que tot i seguir augmentant la càrrega de treball, no es produeix un augment en el  $VO_2$  (fenomen de 'plateau' o anivellament del  $VO_2$ ).



**Figura I.26.** Evolució del consum d'oxigen durant una prova progressiva. S'observa l'anivellament ('plateau') del VO<sub>2</sub> a la fi de la prova.

- Freqüència cardíaca màxima teòrica: el criteri de maximalitat utilitzat va ser  $FC_{max} \geq 90\% FC_{max} \text{ teòrica } (220 - \text{edat})$  (Astrand i Rhiming, 1954).
- Quocient respiratori (R): es va utilitzar  $R \geq 1,1$  com a criteri secundari de maximalitat de la prova.
- Per últim es va tenir en compte el grau d'esgotament subjectiu i aparença de fatiga que presentava el tennista al final de la prova, observat pels avaluadors.

#### I.3.3.4. Validesa predictiva

És el grau de validesa amb que els resultats de la prova estan correlacionats amb un criteri escollit com a referència (Rodríguez, 1999).

##### *Validesa predictiva per estimar paràmetres fisiològics*

Per tal d'avaluar la capacitat del SET – Test per estimar paràmetres fisiològics com la potència aeròbica màxima i el llindar anaeròbic de forma indirecta i, per tant, sense necessitat de disposar d'un analitzador de gasos durant l'esforç es va procedir a les següents anàlisis:

- Estimació de la potència aeròbica màxima: es va avaluar en quina mesura el principal paràmetre de càrrega (UP) predu el  $VO_{2max}$ .
- Estimació del llindar anaeròbic: es va avaluar en quina mesura el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) predu el segon llindar ventilatori (LIV2).

### ***Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte del nivell competitiu***

En aquest apartat s'identifiquen les variables explicatives que componen un model de predicció del rendiment (nivell competitiu dels jugadors). Primerament s'analitzen les correlacions existents entre el nivell competitiu (ITN) i les variables de càrrega, fisiològiques i d'efectivitat tècnica mitjançant el càlcul del coeficient de correlació lineal de Pearson ( $r$ ). Posteriorment, per tal d'establir les correlacions multivariants, es procedeix a una anàlisi de regressió múltiple utilitzant el mètode per etapes o "stepwise". En el model s'introdueixen successivament les variables derivades de l'aplicació del SET – Test, començant amb la variable que expliqui un major percentatge de la variable rendiment i introduint-ne una a la vegada, que passa a formar part del model o no en funció del coeficient de correlació parcial i la tolerància de la variable. En les etapes successives es mira d'explicar aquell percentatge de la variable dependent que encara no ha estat explicat per les variables prèviament introduïdes a l'equació. El grau de significació predeterminat va ser  $p < \alpha = 0,05$ .

#### **I.3.3.5. Subjectes**

En l'estudi de validesa de la prova varen participar 38 jugadors de tennis de nivell competitiu nacional i internacional. Set dels jugadors eren professionals amb classificació internacional ATP (*Association of Tennis Professionals*) i la resta eren de nivell nacional i internacional, sense classificació ATP. Tots els jugadors es trobaven entre el nivell 1 i 4 de l'ITN, pertanyent doncs a nivells corresponents a la classificació d'elit a avançat, havent-hi 8 jugadors amb un ITN igual a 1, 10 jugadors amb un ITN igual a 2, 9 jugadors amb un ITN igual a 3 i 11 jugadors amb un ITN igual a 4. Els jugadors es van sotmetre voluntàriament a la realització de les proves amb el consentiment dels respectius directors tècnics dels centres d'entrenament i dels responsables de l'àrea de preparació física. Prèviament a la realització de l'estudi es va

informar als responsables i als propis tennistes de les diferents proves a que serien sotmesos, consistents en la realització de proves físiques o de joc i l'aplicació de tècniques no invasives ni agressives, així com de la confidencialitat dels resultats obtinguts. La investigació es va dur a terme complint els principis de la Declaració d'Helsinki d'investigació amb subjectes humans (Associació Mèdica Mundial, 2000).

Els tennistes estudiats duïen a terme una mitjana de 3,7 hores d'entrenament tècnic i 1,5 hores de preparació física diàries, 5 dies per setmana. L'edat mitjana era de 18,2 anys, amb una talla i pes mitjans de 180,1 cm i 72,7 kg, respectivament. Totes les variables esmentades s'ajustaven a la distribució normal, extrem determinat mitjançant la prova de Kolmogorov-Smirnov. Cinc dels 38 jugadors estudiats (13,2% de la mostra) tenien una dominància lateral esquerra i la resta (33 jugadors, 86,8%) eren dretans.

#### **I.3.3.6. Material**

El material utilitzat ha estat prèviament descrit en l'apartat de fiabilitat (veure apartat I.3.2.5.).

#### **I.3.3.7. Paràmetres**

Els paràmetres mesurats o calculats també han estat prèviament descrits en l'apartat de fiabilitat (veure apartat I.3.2.6.).

#### **I.3.3.8. Anàlisi estadística**

Es van calcular els paràmetres descriptius bàsics, mitjana ( $\bar{x}$ ), desviació estàndard (s), mediana, valors extrems (màx i mín) i el rang. Es va aplicar la prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnov a totes les variables de l'estudi, contrast que permet determinar si la distribució acumulada d'una variable contínua s'ajusta a les distribucions teòriques de la llei normal. L'estudi de relació entre variables quantitatives s'ha realitzat mitjançant una anàlisi de correlació lineal, amb càlcul del coeficient de correlació producte-moment de Pearson (r), seguit d'una anàlisi de regressió lineal simple. El grau de significació predeterminat va ser  $p < \alpha = 0,05$ .

**I.4. RESULTATS****I.4.1. FIABILITAT DE LA PROVA ESPECÍFICA****I.4.1.1. Fiabilitat externa***Fiabilitat de la màquina llançapilotes*

A la Taula I.6 i Taula I.7 es mostren les dades de freqüència (FLL<sub>p</sub>) i velocitat de llançament, i l'angle i la distància de sortida de la pilota del tub de llançament de la màquina amb els índex de fiabilitat expressats amb el coeficient de variació (CV).

**Taula I.6.** Freqüències de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat (CV).

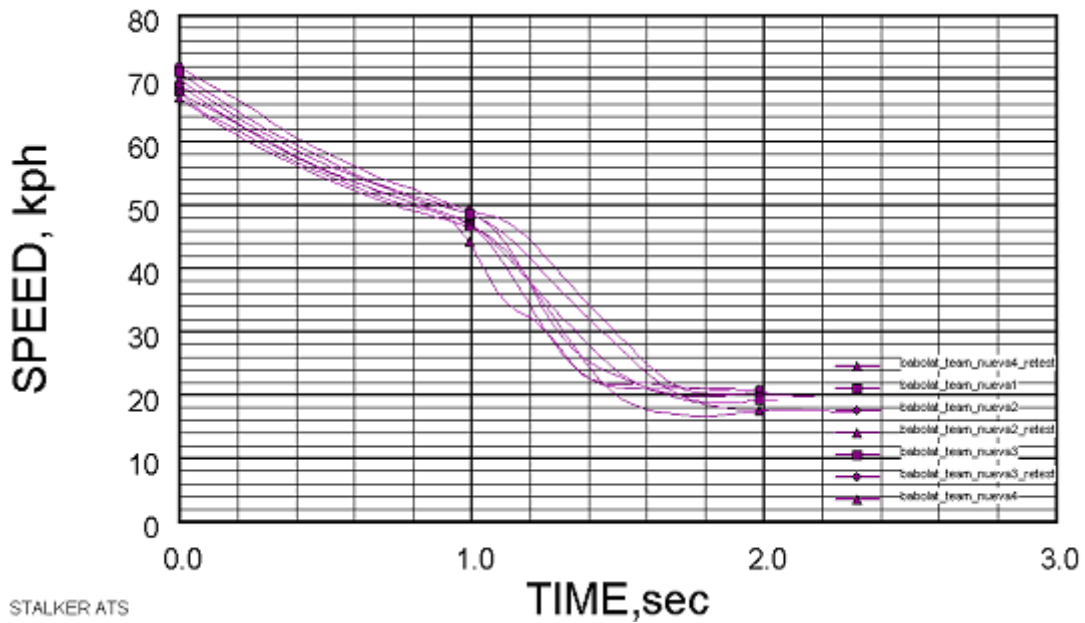
Període	FLL <sub>p</sub>						CV
	tir·min <sup>-1</sup>			tir·període <sup>-1</sup>			
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	
1	120	8,8	0,64	60	17,5	0,81	<b>4,6</b>
2	120	10,8	0,61	60	21,6	0,83	<b>3,8</b>
3	120	12,8	0,65	60	25,6	0,91	<b>3,5</b>
4	120	14,8	0,75	60	29,6	1,18	<b>4,0</b>
5	120	16,8	0,74	60	33,7	1,05	<b>3,1</b>
6	102	18,8	0,87	45	37,7	1,18	<b>3,1</b>
7	35	20,5	0,82	17	40,4	1,69	<b>4,2</b>
8	7	22,0	0,00	3	43,5	0,71	<b>1,6</b>
CV mitjà de tots els períodes							<b>3,5</b>

CV: Coeficient de variació de Pearson.

**Taula I.7.** Velocitat de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat.

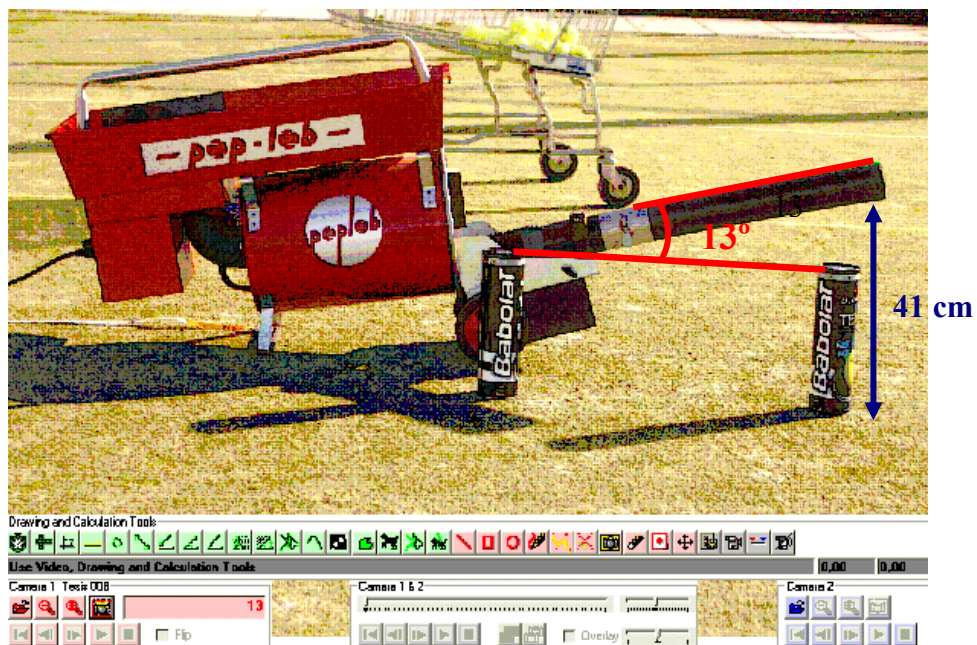
$\bar{x}$	s	mín	màx	mediana	rang	CV
68,6	1,9	66,0	71,0	68,0	5,0	2,7

CV: Coeficient de variació de Pearson.



**Figura I.27.** Corbes velocitat – temps de diferents tirs de pilota mesurats amb un radar i en condicions atmosfèriques estables.

L'angle i alçada de sortida de la pilota del tub de llançament de la màquina respecte l' horitzontal del terra va ser 13° i de 41 cm, respectivament (Figura I.28).



**Figura I.28.** Angle i alçada de sortida de la pilota pel tub de llançament de la màquina llançapilotes.

#### I.4.1.2. Estudi de repetitivitat

Es presenten els resultats obtinguts de l'aplicació repetida de la prova ('test-retest') per cadascuna de les variables analitzades (Taula I.8). S'hi mostren els resultats del T1 (primer test sense analitzador de gasos), el T2 (segon test sense analitzador de gasos, amb idèntiques condicions i 2 dies d'interval de respecte de T1) i T3 (tercer test amb analitzador de gasos i 7 dies d'interval respecte de T2). Es van mesurar els valors mitjans i extrems de cadascú dels paràmetres i per cada subjecte de la mostra ( $n = 12$ ), excepte en la variable PDFC, en la que 2 dels subjectes van mostrar una relació totalment lineal entre FC i càrrega, no essent possible determinar el PDFC ( $n = 10$ ).

Dins l'estudi de repetitivitat es distingeix entre la fiabilitat de la prova, on s'analitza els resultats de les dues primeres proves realitzades amb idèntiques condicions (T1 vs T2) i l'estudi dels efectes de la realització de la prova amb l'analitzador de gasos portàtil (T1 i T2 vs T3).

Les variables enregistrades en la prova de mesures repetides ('test – retest') en l'estudi de fiabilitat van ser les següents:

- FCmax ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ )
- Temps (min:s)
- Últim període completat (UP)
- Efectivitat tècnica (ET, % encerts)
- Punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET, període)
- Punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC,  $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ )

**Taula I.8.** Resultats de la realització dels tres test consecutius: T1, T2 i T3 (K4b<sup>2</sup>).

Variables	T1	T2	T3 (K4b <sup>2</sup> )
Durada (min:s)	11:42 ± 01:00 (10:21 – 13:35)	12:03 ± 00:55 (10:53 – 13:36)	13:06 ± 00:53 (12:01 – 14:38)
UP (període)	5,7 ± 0,5 (5,0 – 6,5)	5,8 ± 0,5 (5,0 – 6,5)	6,4 ± 0,4 (6,0 – 7,0)
ET (% encerts)	66,4 ± 8,6 (47,7 – 79,6)	65,0 ± 5,5 (58,5 – 78,3)	65,0 ± 6,9 (54,6 – 79,9)
PDET (període)	4,8 ± 0,6 (4,0 – 6,0)	4,8 ± 0,9 (3,0 – 6,0)	4,8 ± 0,9 (4,0 – 6,0)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	196,8 ± 9,5 (182,0 – 209,0)	194 ± 9,3 (179,0 – 209,0)	192,3 ± 9,4 (172,0 – 205,0)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	186,3 ± 10,8 (167,7 – 201,9)	180,1 ± 9,5 (160 – 193,4)	179,3 ± 10,4 (160,1 – 193,3)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

### ***Repetitivitat de les mesures (T1 vs T2)***

Es va avaluar la repetitivitat (reproductibilitat) de les mesures comparant dos test consecutius (T1 i T2), portats a terme en idèntiques condicions i en un interval de dos dies. El tercer test (T3) no s'inclou en l'estudi de repetitivitat per que es va considerar *a priori* que el fet de portar l'analitzador de gasos podia modificar els resultats de la prova.

La Taula I.9 mostra els resultats per a cada variable i els diferents índex de repetitivitat entre T1 i T2 (n = 12) en idèntiques condicions i amb dos dies d'interval.



**Taula I.9.** Repetitivitat del SET – Test: comparació entre la primera i la segona administració de la prova (T1 i T2) realitzades amb dos dies de diferència (n = 12).

Variables	$\bar{x}$ (s)		ANOVA	r	ICC	CV(%)	Diferència mitjana (0,95 IC)
	T1	T2					
Durada (min:s)	11:42 (01:00)	12:03 (00:55)	n.s	0,85**	0,84***	3,1	00:20 (00:00 a 00:41)
UP (període)	5,7 (0,5)	5,8 (0,5)	n.s	0,85***	0,85***	2,0	0,08 (- 0,10 a 0,27)
ET (% encerts)	66,4 (8,6)	64,5 (5,5)	n.s	0,80**	0,72***	4,7	- 1,4 (- 4,86 a 1,97)
PDET (període)	4,8 (0,6)	4,8 (0,9)	n.s	0,64*	0,59*	6,1	- 0,08 (- 0,51 a 0,34)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	196,8 (9,5)	194 (9,3)	n.s	0,91***	0,91***	1,4	- 2,8 (- 5,32 a - 0,18)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	186,3 (10,8)	180,1 (9,5)	n.s	0,88**	0,87***	2,5	- 6,1 (- 9,85 a 2,41)

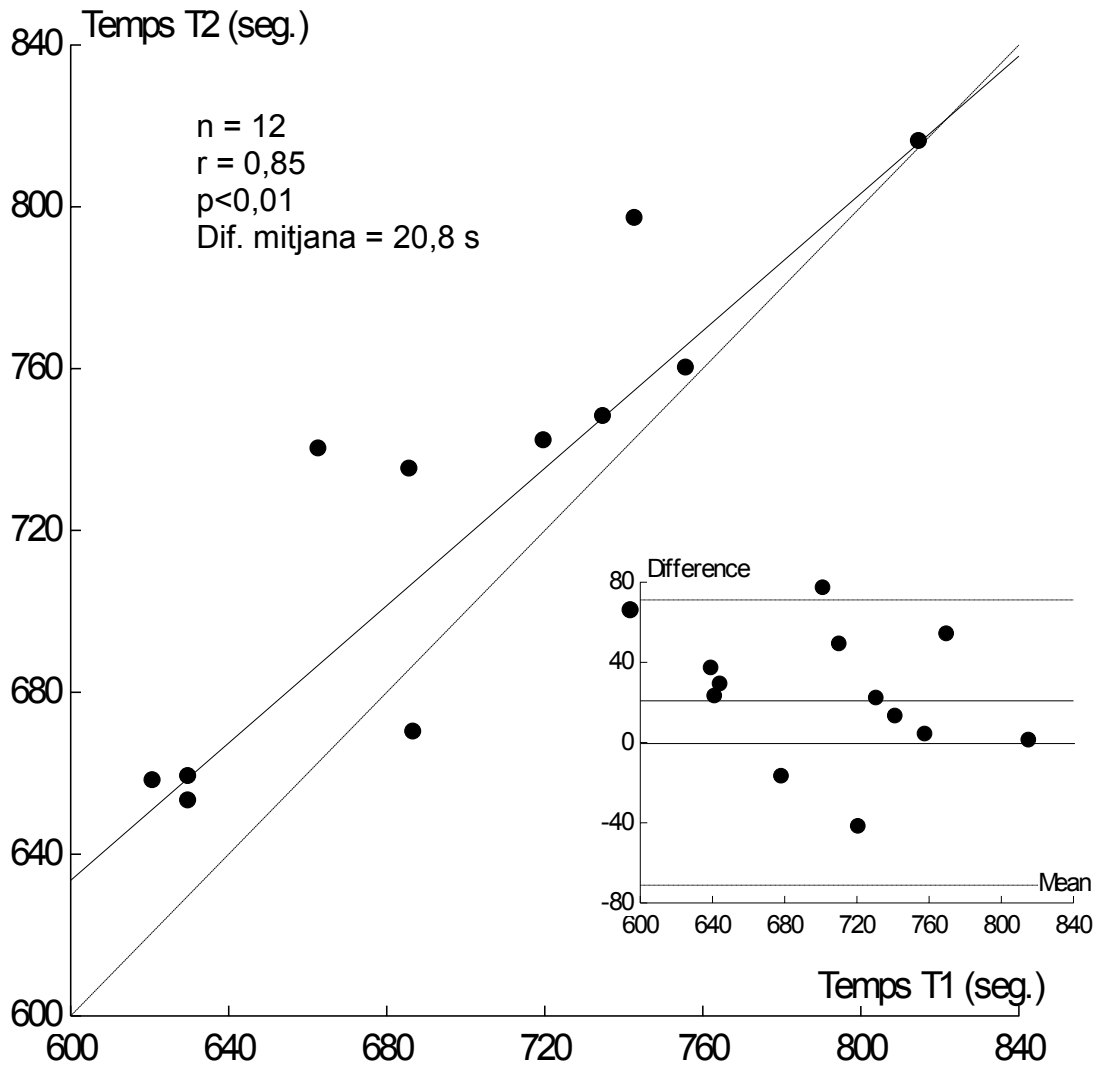
\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001: nivell de significació (ns = no significativa). r: coeficient de correlació de Pearson; ICC: índex de correlació intraclasse; CV: coeficient de variació; 0,95 IC = Interval de confiança del 95%.

Cap de les diferències observades entre les dues repeticions ha resultat significativa. Els diferents índex de repetitivitat indiquen una bona consistència en el mesurament dels paràmetres fisiològics i de càrrega, lleugerament menor pel que fa als paràmetres d'eficiència tècnica, especialment el PDET.

Tenint en compte les magnituds escalars de cadascuna de les variables, s'observen unes diferències mínimes en totes les variables, en qualsevol cas no significatives, indicant un grau de consistència prou bo en l'aplicació repetida del test.

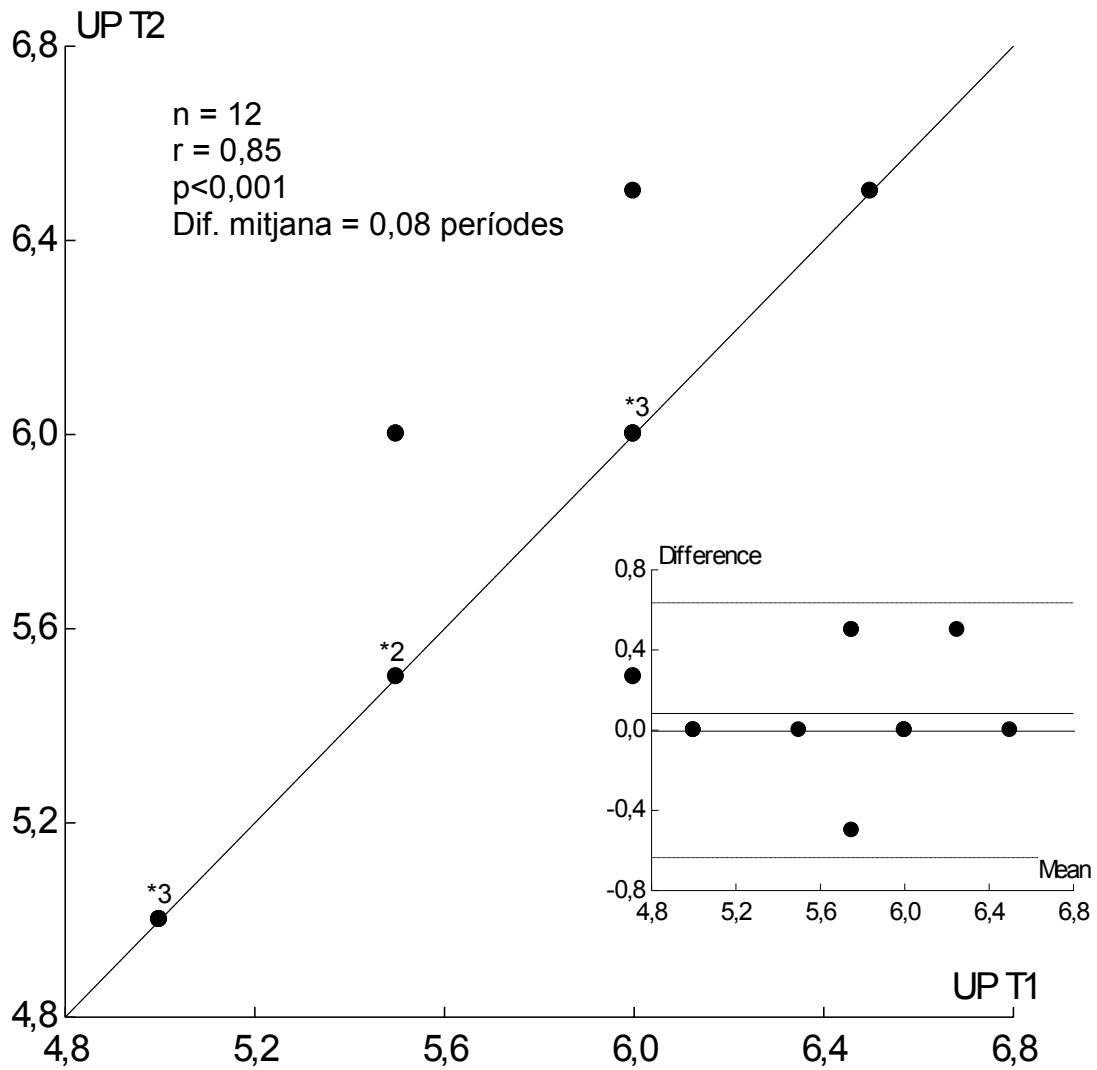
Les següents Figures (Figura I.29, Figura I.30, Figura I.31, Figura I.32, Figura I.33 i Figura I.34) mostren els gràfics de correlació i de diferències (gràfics de Bland-Altman) (Atkinson i Nevill, 1998) entre ambdues proves (T1 i T2) per a cadascuna de les variables. En aquests gràfics la línia contínua indica la mitjana de la diferència i les dues línies discontinües indiquen l'estimació dels límits superior i inferior esperats a

un nivell de probabilitat del 95%. També s’hi mostra la recta de regressió i s’hi indica el coeficient de correlació ( $r$ ), amb el seu nivell de significació ( $p$ ).



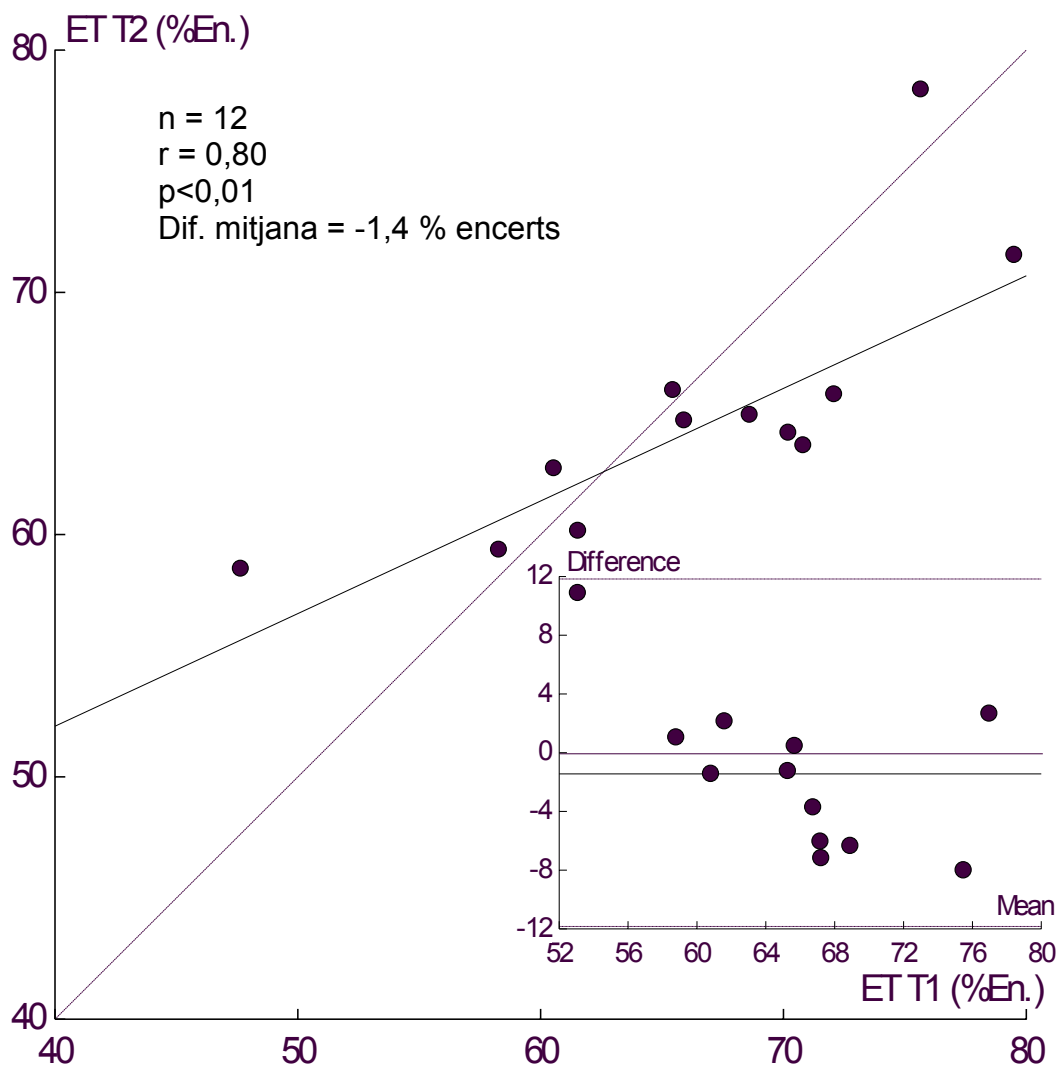
**Figura I.29.** Correlació i diferències entre la durada de la prova en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

S’observa una correlació acceptable ( $r = 0,85$ ) en la durada de la prova entre ambdues administracions successives del SET – Test, amb tots els valors menys un dins l’interval de confiança del 95%. La magnitud de la diferència mitjana observada es molt reduïda (20,8 s), amb una lleugera tendència no significativa a augmentar la durada en la segona prova en la majoria dels subjectes.



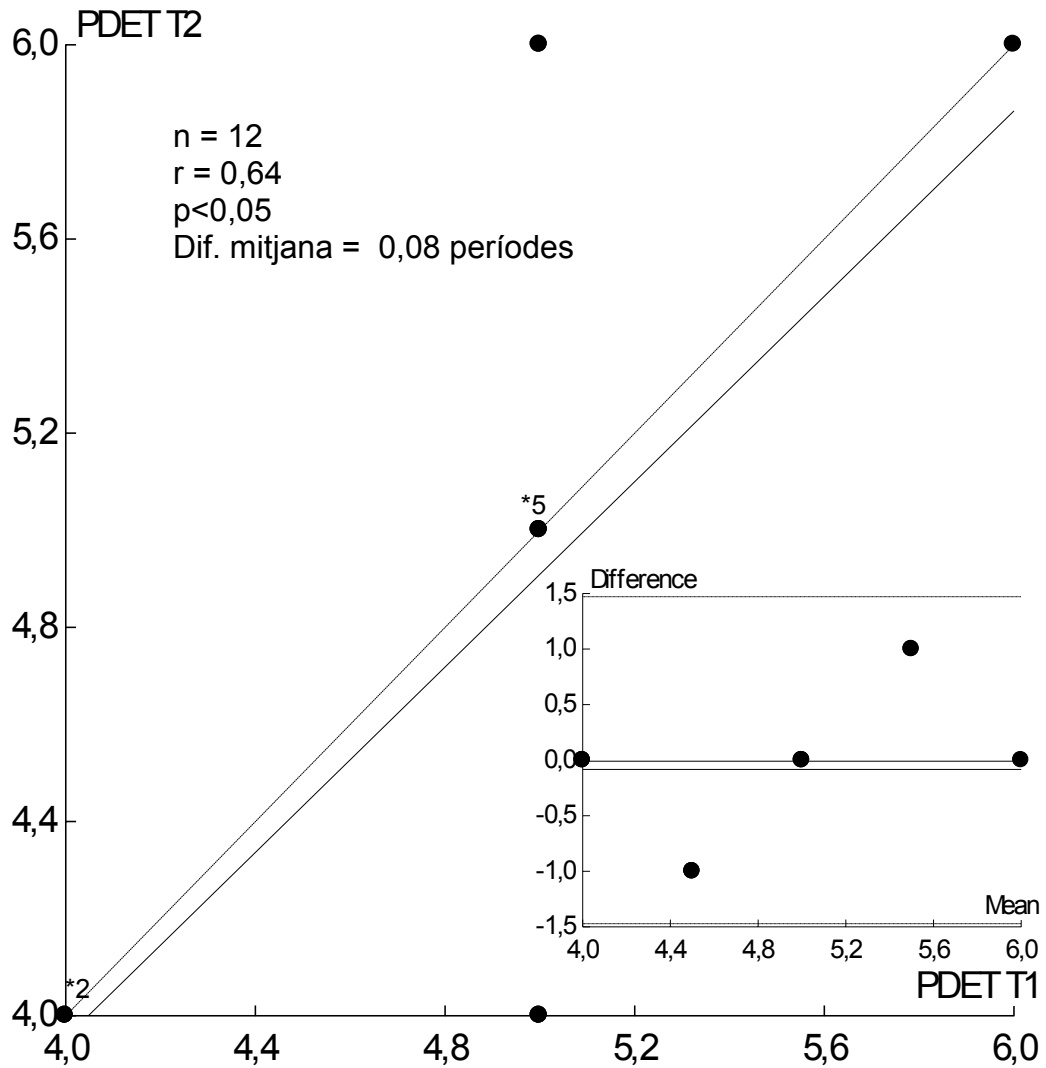
**Figura I.30.** Correlació i diferències entre l'últim període assolit (UP) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). \*3 = coincideixen tres punts, \*2 = coincideixen dos punts.

Prenent en consideració que UP està directament relacionada amb la durada de la prova, la correlació entre ambdues administracions successives del SET – Test és també acceptable ( $r = 0,85$ ), amb una diferència mitjana de només 0,08 períodes. Cal remarcar que es dona el mateix resultat en 8 dels 12 subjectes i que els 4 restants tenen una diferència de  $\pm 0,5$  períodes.



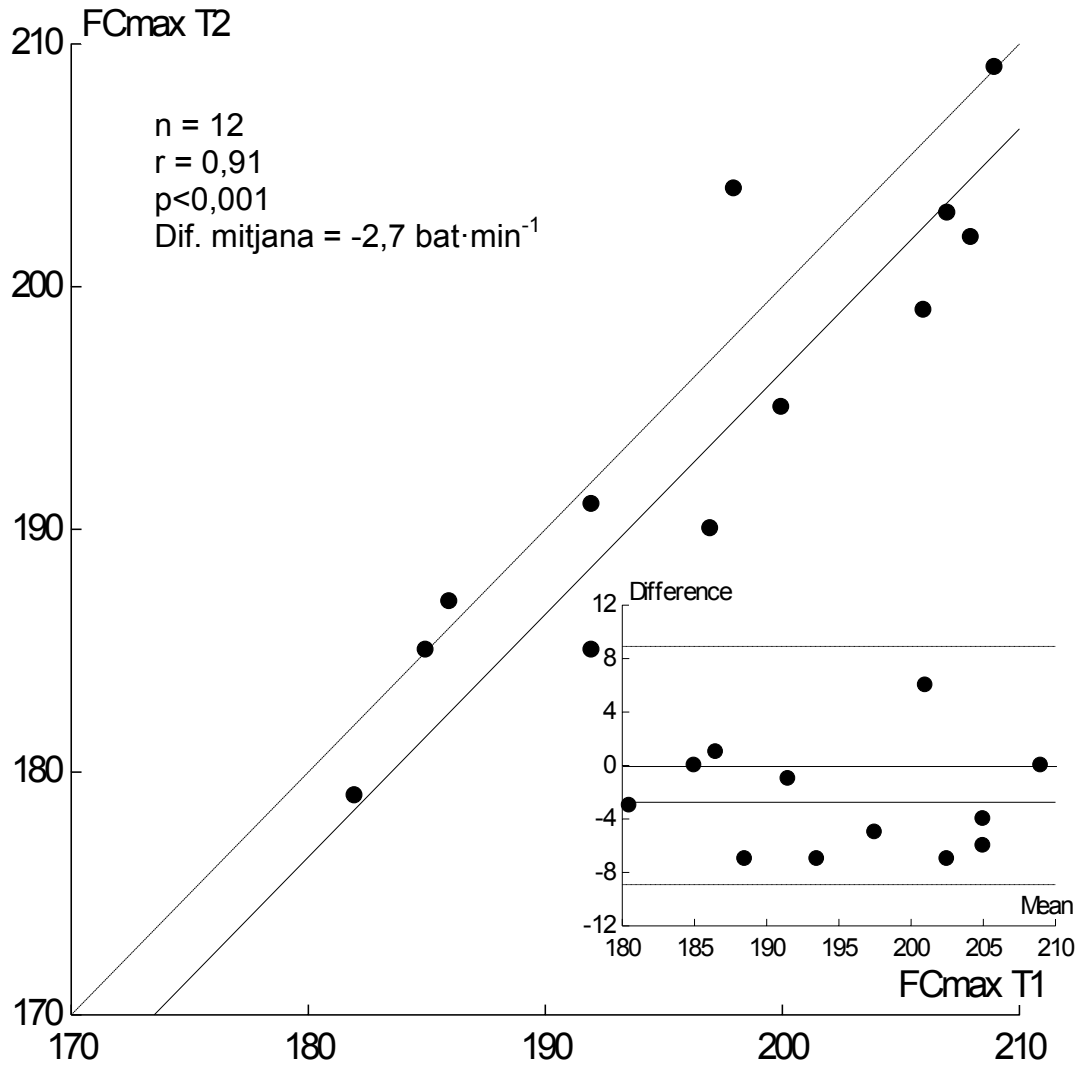
**Figura I.31.** Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

S'observa una correlació acceptable en l'efectivitat tècnica assolida en T1 i T2 ( $r = 0,80$ ). En el gràfic de Bland i Altman s'observa que tots els punts es troben dins l'interval de confiança del 95% i que la diferència mitjana és molt reduïda (-1,44).



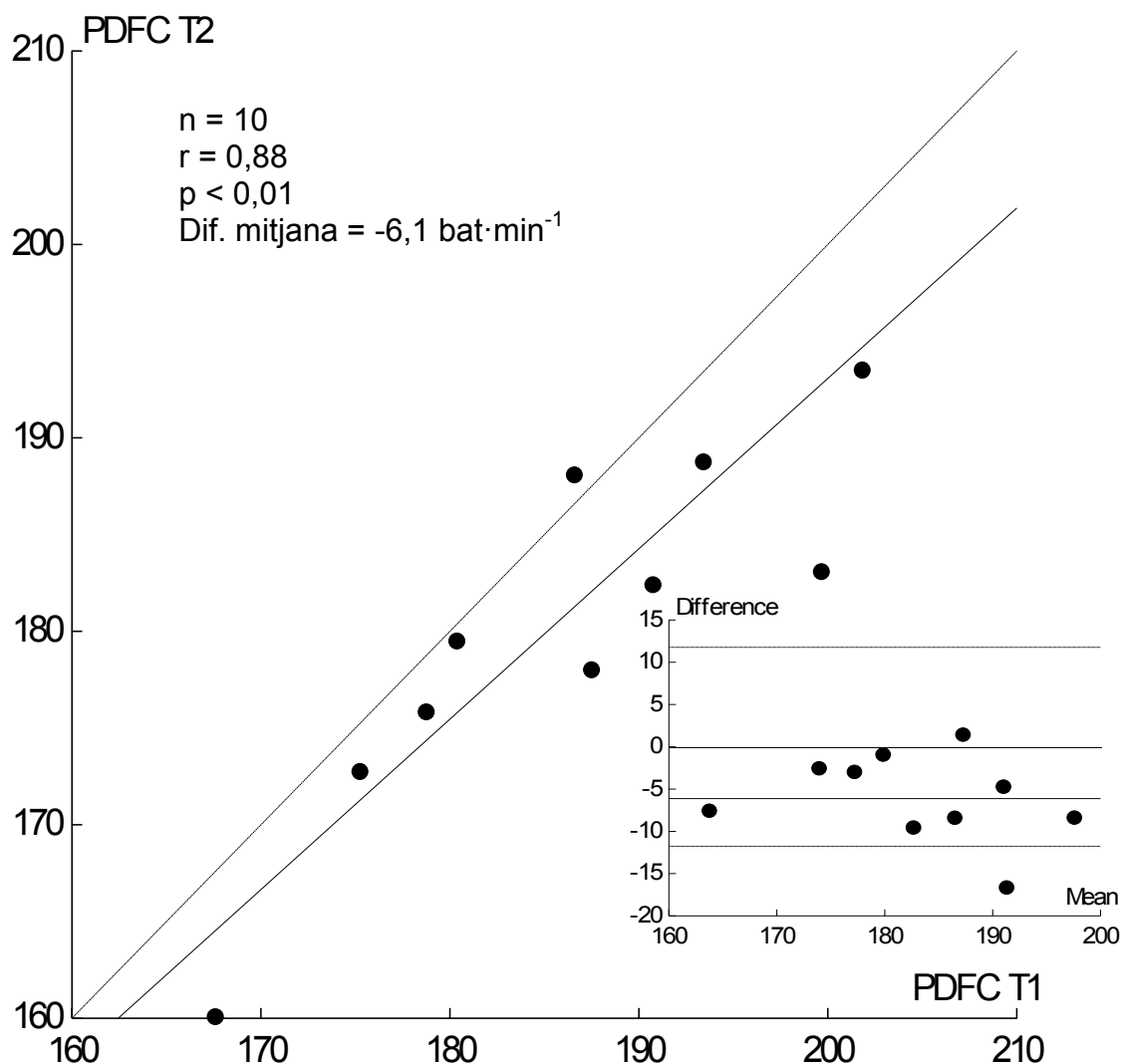
**Figura I.32.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). \*5 = coincideixen tres punts, \*2 = coincideixen dos punts.

Pel que fa al PDET, s'observa una menor correlació entre T1 i T2 ( $r = 0,64$ ) en comparació a la resta de variables estudiades. Tanmateix, tots els valors es troben dins l'interval de confiança del 95% i la diferència mitjana és també mínima (0,08). Cal remarcar que el resultat coincideix en 7 dels 12 subjectes i que els 5 restants tenen una diferència de  $\pm 1$  període.



**Figura I.33.** Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

La correlació entre la FCmax registrada en el primer i segon test és molt elevada ( $r = 0,91$ ), amb tots els valors dins l'interval de confiança del 95% i amb una diferència mitjana molt reduïda ( $-2,74$ ).



**Figura I.34.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

Els PDFC assolits en el primer i segon test assoleixen també un nivell acceptable de correlació ( $r = 0,88$ ), amb tots els valors menys un dins l'interval de confiança del 95% i una diferència mitjana reduïda (-6,1).

Globalment, podem concloure que el SET – Test és una prova amb un nivell de repetitivitat entre acceptable i molt bo, amb una lleugera tendència no significativa a millorar els resultats en una segona administració: menor FC i PDFC; major durada de la prova i PDET. Aquesta tendència podria ser deguda a un cert efecte aprenentatge que fóra raonable pensar que es podria eliminar amb un assaig previ que, tanmateix, no creiem del tot necessari a la llum dels resultats exposats.

***Efectes derivats de l'administració del test amb un analitzador de gasos portàtil***

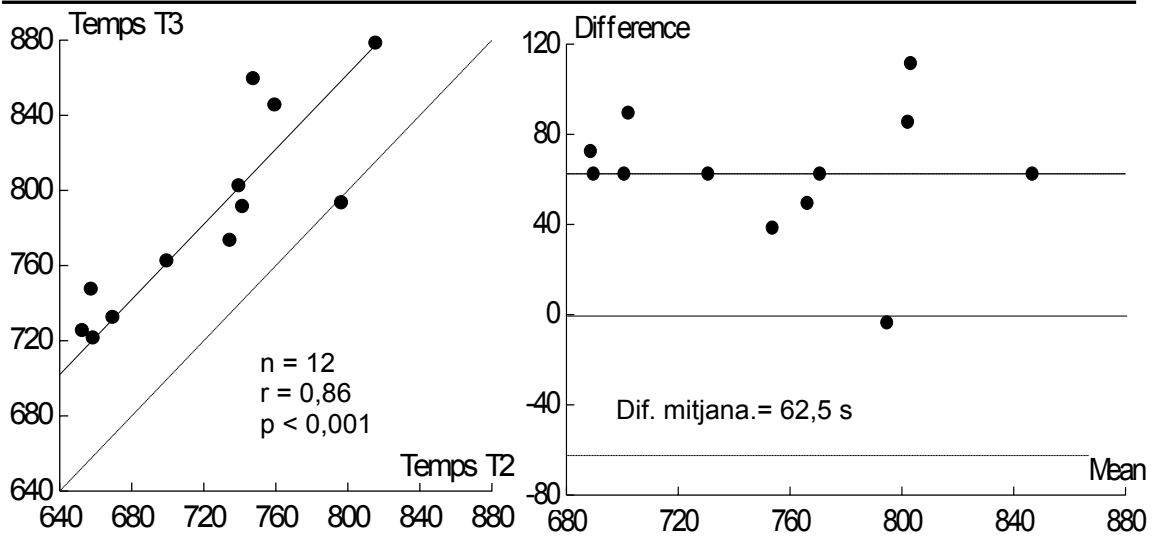
Els eventuais efectes d'administrar el test amb un analitzador de gasos portàtil K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Itàlia) van ser avaluats mitjançant la realització d'un tercer test (T3) en un interval de set dies respecte del segon (T2). Aquest tercer test no ha estat inclòs dins l'estudi de fiabilitat degut a que aquesta prova s'ha portat a terme en diferents condicions de realització, precisament pel fet de portar l'analitzador de gasos. A la Taula I.10 i Taula I.11 es mostren els resultats de correlació i diferències entre T2 i T3, així com entre T1 i T3 per a cada una de les variables registrades.

**Taula I.10.** Influència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T2 i T3 (K4b<sup>2</sup>) realitzats en un interval de 7 dies (n = 12).

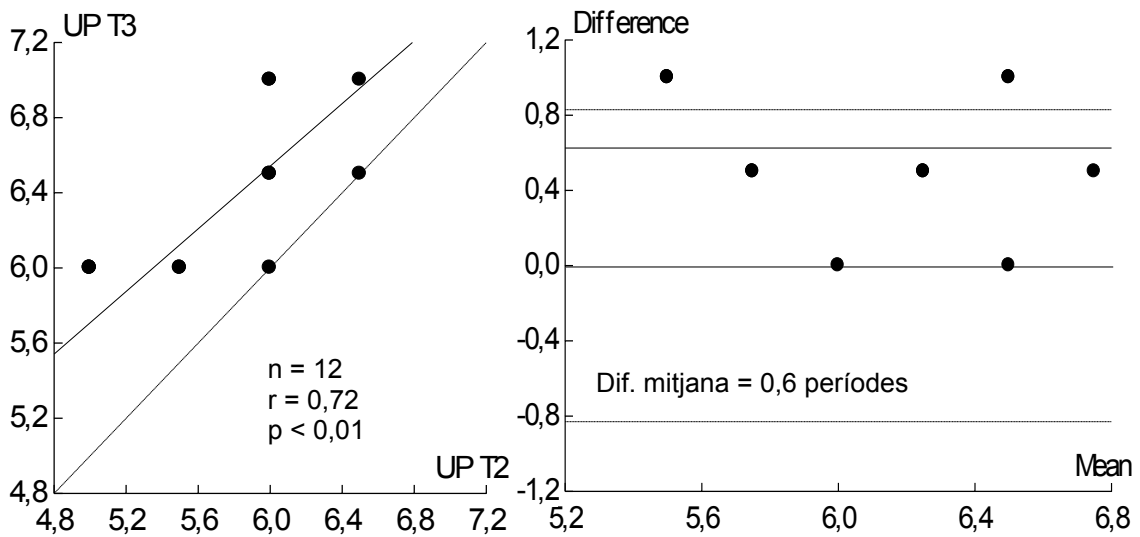
Variables	$\bar{x}$ (s)		ANOVA	r	ICC	CV (%)	Diferència mitjana (0,95 IC)
	T2	T3					
Durada (min:s)	12:03 (00:55)	13:06 (00:53)	*	0,86***	0,86***	6,0	01:02 (01:02 a 01:20)
UP (període)	5,8 (0,5)	6,4 (0,4)	n.s.	0,72**	0,71***	7,4	0,63 (0,39 a 0,86)
ET (% encerts)	65,0 (5,5)	65,0 (6,9)	n.s.	0,95***	0,93***	1,7	0,08 (- 1,43 a 1,58)
PDET (període)	4,8 (0,9)	4,8 (0,9)	n.s.	0,52	0,59*	6,2	- 0,08 (- 0,51 a 0,34)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	194,0 (9,3)	192,4 (9,4)	n.s.	0,92***	0,92***	1,0	- 1,7 (- 4,08 a 0,67)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	180,1 (9,5)	179,3 (10,3)	n.s.	0,87**	0,87***	1,3	0,05 (- 3,61 a 3,72)

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001: nivell de significació (ns = no significativa). r: coeficient de correlació de Pearson; ICC: índex de correlació intraclasse; CV: coeficient de variació; 0,95 IC = Interval de confiança del 95%.

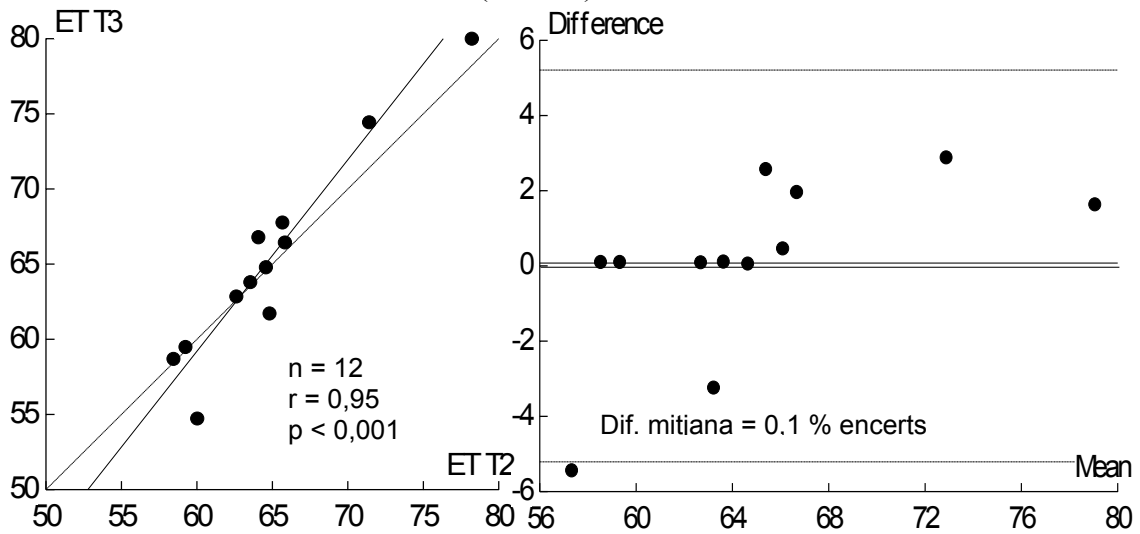




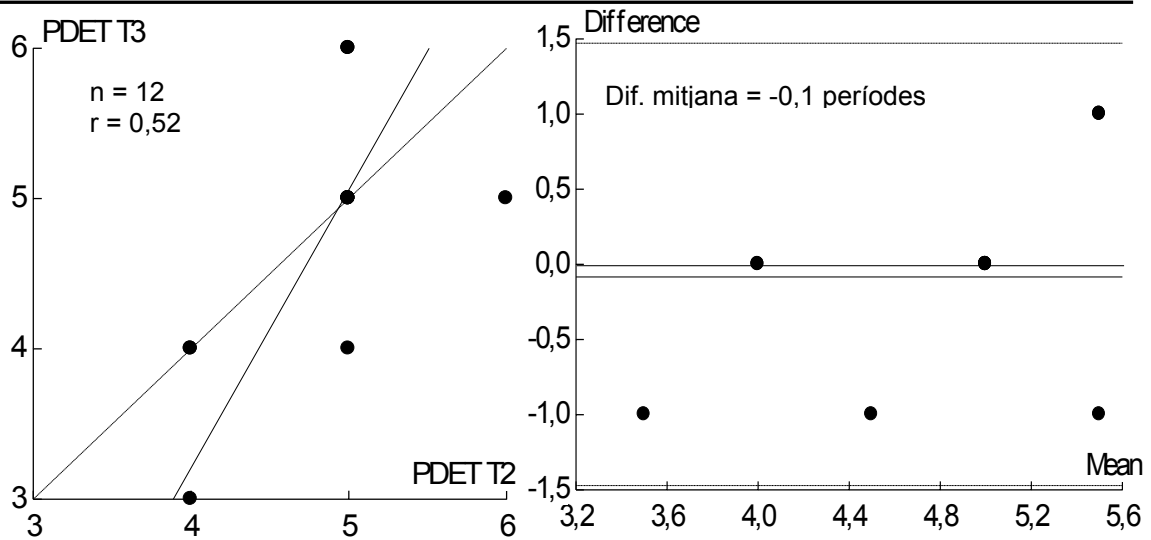
**Figura I.35.** Correlació i diferències entre la durada de la prova (temps) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



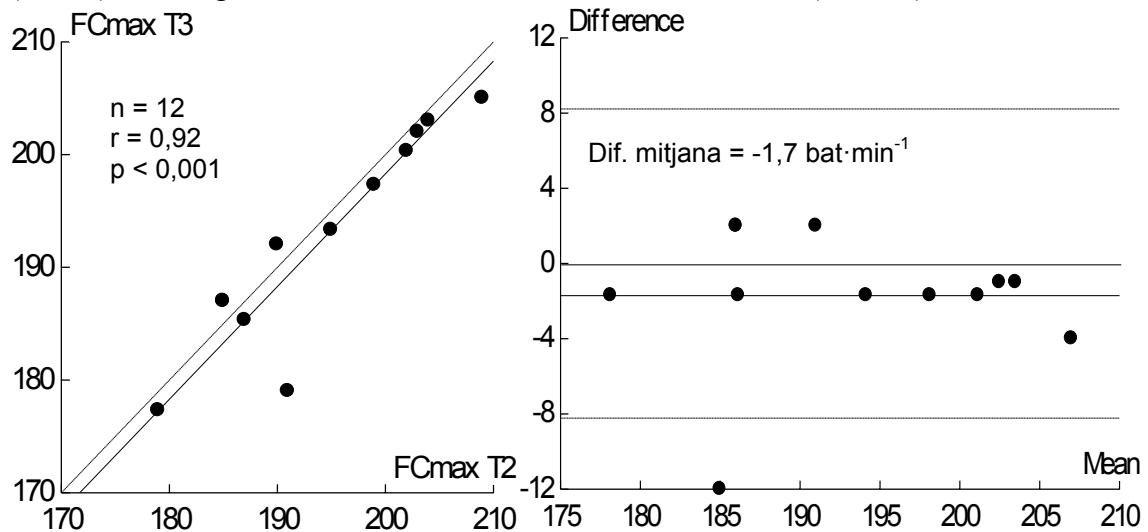
**Figura I.36.** Correlació i diferències entre l'últim període absolut (UP) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



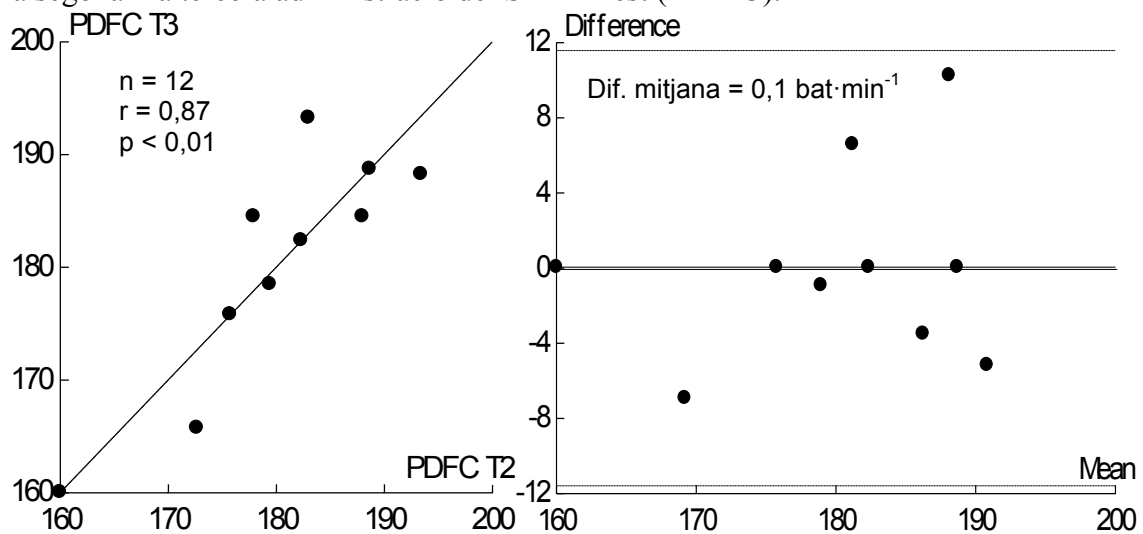
**Figura I.37.** Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



**Figura I.38.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



**Figura I.39.** Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



**Figura I.40.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).

De la comparació entre T2 i T3 ( $K4b^2$ ) s'observa que existeixen nivells entre acceptables i molt bons de repetitivitat i consistència en les variables de FCmax, durada, ET i PDFC, escassos en la variable d'UP i dubtosos en la variable de PDET. Tanmateix, no s'han trobat diferències significatives en cap variable excepte la durada de la prova, que augmenta prop d'1 minut en la tercera aplicació del test ( $p < 0,05$ ) tot i realitzar-se amb l'analitzador portàtil.

**Taula I.11.** Inflència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T1 i T3 ( $K4b^2$ ) realitzats en un interval de 9 dies ( $n = 12$ ).

Variables	$\bar{x}$ (s)		ANOVA	r	ICC	CV(%)	Diferència mitjana (0,95 IC)
	T1	T3					
Temps (min:s)	11:42 (01:00)	13:06 (00:53)	**	0,81**	0,80**	8,0	01:23 (01:00 a 01:46)
UP (període)	5,7 (0,5)	6,3 (0,4)	n.s.	0,75**	0,74**	8,4	0,71 (0,50 a 0,92)
ET (% encerts)	66,4 (8,6)	65,0 (6,9)	n.s.	0,77**	0,75**	5,1	-1,36 (-4,85 a 2,12)
PDET (període)	4,8 (0,6)	4,8 (0,9)	n.s.	0,64*	0,52*	7,5	0,0 (-0,54 a 0,54)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	196,8 (9,5)	192,4 (9,4)	n.s.	0,87***	0,87***	2,0	- 4,46 (-7,51 a -1,41)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	186,3 (10,8)	179,3 (10,4)	n.s.	0,94***	0,94***	2,3	- 6,08 (-8,80 a -3,36)

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ : nivell de significació (ns = no significativa). r: coeficient de correlació de Pearson; ICC: índex de correlació intraclasse; CV: coeficient de variació; 0,95 IC = Interval de confiança del 95%.

De manera semblant, entre el T1 i T3 es troben nivells de repetitivitat entre acceptables i molt bons en les variables de durada de la prova, FCmax i PDFC, escassos en les variables ET, UP i dubtosos en la variable PDET. Tanmateix, la única diferència significativa entre T1 i T3 és l'augment de la durada de la prova malgrat fer-ho amb l'analitzador portàtil ( $p < 0,01$ ).

## I.4.2. VALIDESA DE LA PROVA

### I.4.2.1. Maximalitat de la prova

La Taula I.12 mostra el número i proporció de subjectes que han complert cadascun dels criteris de maximalitat de la prova per separat.

**Taula I.12.** Número i percentatge de subjectes que van complir cadascun dels criteris de maximalitat de la prova (n=38).

Criteri	Núm. subjectes	%
Anivellament VO <sub>2</sub> <sup>a</sup>	32	84,2
R ≥ 1,1	28	73,6
FC ≥ 90%FCmax	36	94,7

<sup>a</sup> Anivellament o descens del VO<sub>2</sub>, tot i augmentar la càrrega de treball, o augment inferior a 150 mL·min<sup>-1</sup> en dos períodes successius.

La Taula I.13 i Taula I.14 mostren els resultats descriptius en relació als dos criteris quantitius de maximalitat observats durant la prova: quocient respiratori i freqüència cardíaca màxima.

**Taula I.13.** Quocient respiratori (R) màxim registrat durant la prova progressiva (n = 38).

$\bar{x}$	s	mín	màx
1,15	0,13	0,93	1,42

**Taula I.14.** Freqüència cardíaca màxima registrada durant la prova progressiva (n = 38). Es mostra el percentatge de la freqüència cardíaca màxima teòrica (220 - edat).

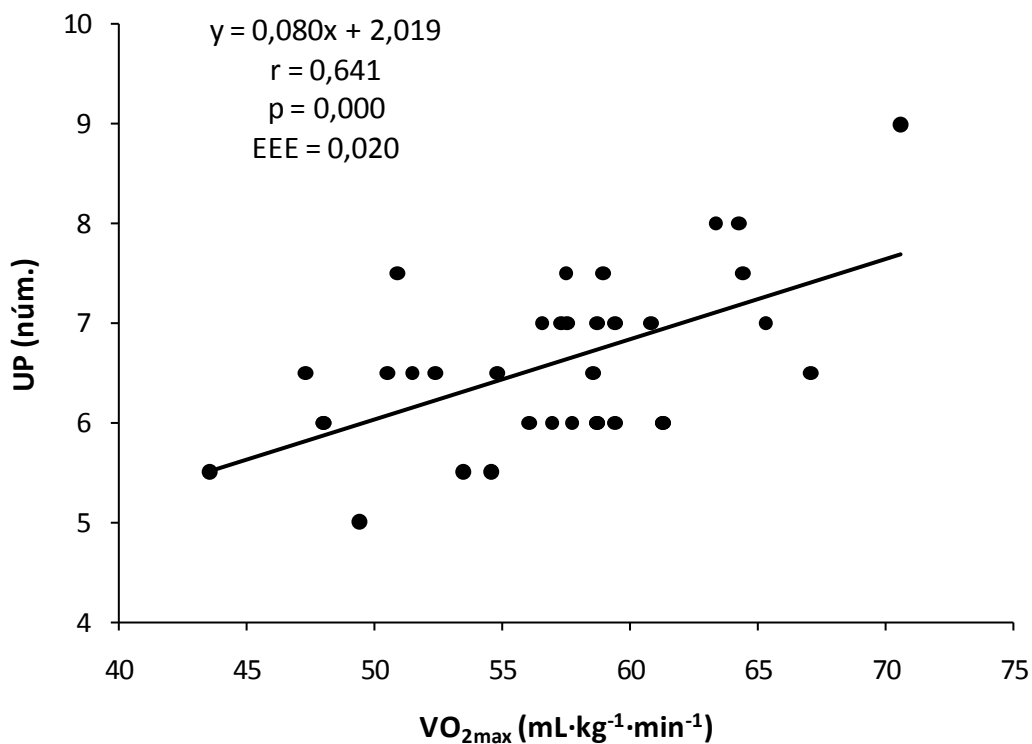
	FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	% FCmax teòrica
$\bar{x}$	193,7	95,9
s	7,6	3,7
mín	179,0	88,2
màx	206,0	101,8

### I.4.2.2. Validesa predictiva

Es presenten els resultats referents a la capacitat del SET – Test per estimar de manera indirecta la potència aeròbica màxima i el segon llindar ventilatori.

#### *Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega en relació al $VO_{2max}$*

La Figura I.41 mostra la correlació observada entre el  $VO_{2max}$  i el paràmetre de càrrega UP. S'hi indica la recta i l'equació de regressió lineal i el coeficient de correlació (r), el grau de significació estadística i l'error típic d'estimació (EEE).



**Figura I.41.** Correlació entre l'últim període absolut a la prova (UP) i el consum màxim d'oxigen màxim  $VO_{2max}$  (n = 38). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.

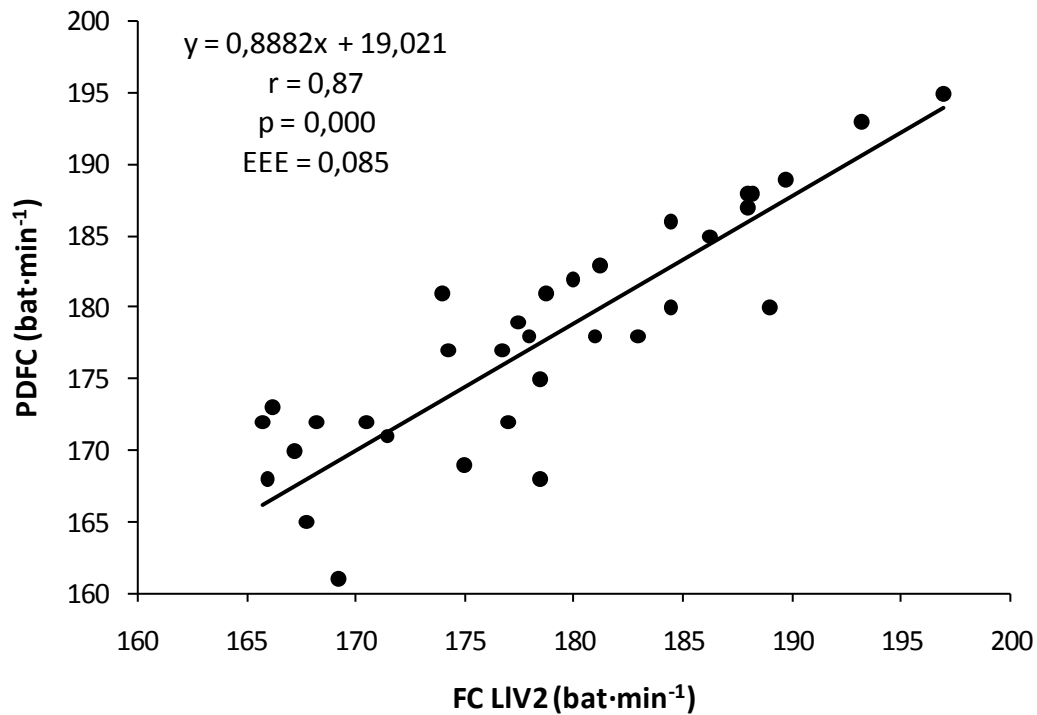
**Validesa predictiva del PDFC en relació al LIV2**

Es va registrar un punt de deflexió de la freqüència cardíaca en 35 dels 38 subjectes, corresponent al 92% del total. Es presenta la correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el segon llinar ventilatori valorats amb temps, període i FC corresponents.

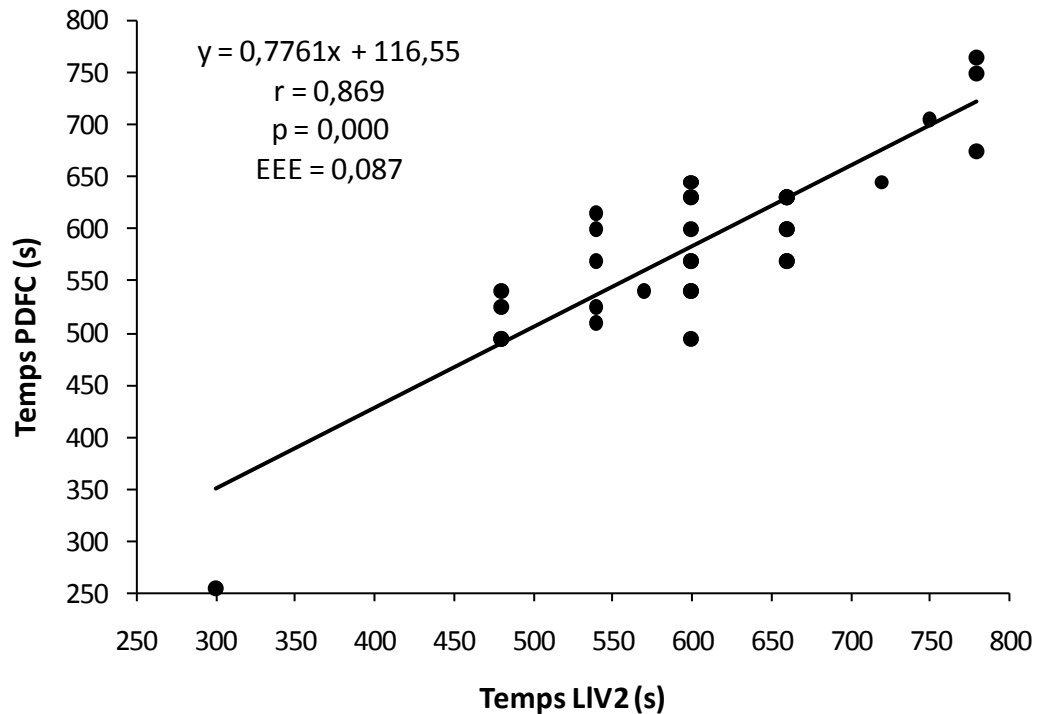
**Taula I.15.** Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el segon llinar ventilatori (LIV2) valorats amb temps, període i FC corresponents.

		LIV2		
		Temps	Període	FC al LIV2
PDFC	Temps	0,869 (p < 0,001)	–	–
	Període	–	0,834 (p < 0,001)	–
	FC al PDFC	–	–	0,871 (p < 0,001)

La Figura I.42 i Figura I.43 mostren les equacions de regressió i la graficació de les rectes entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) amb el segon llinar ventilatori avaluats amb FC i temps.



**Figura I.42.** Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i la freqüència cardíaca en el segon llindar ventilatori (FC LIV2).  $r$  = coeficient de correlació;  $p$  = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.



**Figura I.43.** Correlació entre el temps en que apareix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el temps en que apareix el segon llindar ventilatori (Temps LIV2).  $r$  = coeficient de correlació;  $p$  = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.



***Validesa predictiva del PDET en relació al LIV2 i el PDFC***

La Taula I.16 mostra els coeficients de correlació entre l'efectivitat tècnica, expressada com càrrega corresponent al punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET), i paràmetres fisiològics (LIV2 i PDFC).

**Taula I.16.** Coeficients de correlació (r) entre la càrrega corresponent al punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) i paràmetres fisiològics (LIV2 i PDFC).

Variables	LIV2 (període)	PDFC (període)
PDET (període)	0,463 (p = 0,004)	0,419 (p = 0,012)

PDET: punt de deflexió de l'efectivitat tècnica; LIV2: segon llindar ventilatori; PDFC: punt de deflexió de la freqüència cardíaca.

***Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte del nivell competitiu***

- ***Anàlisi de regressió simple***

S'ha trobat una relació estadísticament significativa entre tots els paràmetres avaluats i el nivell competitiu dels jugadors quantificat amb el ITN amb coeficients de correlació entre baixos i moderats (Taula I.17). La variable que mostra una correlació més elevada es la d'efectivitat tècnica (ET), seguida de les variables fisiològiques ( $VO_{2max}$  i LIV2 ) i la de càrrega (UP), essent el LIV1 la variable amb un nivell més baix de correlació amb el rendiment.

**Taula I.17.** Coeficients de correlació (r) entre el nivell competitiu (ITN) i les diferents variables que resulten del SET – Test.

Variables	ITN	
	r	p
UP (període)	0,50**	0,001
VO <sub>2max</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0,55**	0,001
LIV1 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0,35*	0,038
LIV2 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0,55**	0,001
PDFC (període)	0,43*	0,011
ET (% encerts)	0,61**	0,000

r = coeficient de correlació de Pearson; \*p<0,05. \*\*p<0,01. = nivell de significació.

#### ▪ *Anàlisi de regressió múltiple*

La Taula I.18 mostra els resultats de les dues etapes de l'anàlisi de regressió múltiple que complien els criteris d'inclusió. S'observa com a la primera etapa, en que el model únicament considera l'ET, s'explica el 37% de la variància del nivell competitiu. En el model final utilitzant el mètode d'inserció successiva, per una banda inclou, a més, el segon llindar ventilatori (LIV2), i arriba a explicar un 56% de la variància de la variable rendiment (ITN), i per altra banda succeeix pràcticament el mateix amb el VO<sub>2max</sub> amb el qual s'arriba a explicar un 53% de la variància de la variable rendiment. Per tant s'observa com tant el VO<sub>2max</sub> com el LIV2 combinades amb l'ET, són igualment bons predictors del rendiment en tennis.

**Taula I.18.** Resultat de les anàlisis multivariants de regressió múltiple. S'indiquen els valors del coeficient de correlació ( $r_m$ ) i de determinació múltiple ( $r_m^2$ ), així com l'error estàndard d'estimació (EEE).

Model	$r_m$	$r_m^2$	EEE
ET	0,61	0,37	1,00
ET i LIV2	0,75	0,56	0,86
ET i VO <sub>2max</sub>	0,73	0,53	0,89

**Taula I.19.** Estadístics dels models de regressió múltiple.

Variable	B	EEE (B)	IC (B) 95%	Beta	t	Sig.
ET	- 0,069	0,016	- 0,101 a - 0,036	- 0,515	- 4,325	0,000
LIV2	- 0,101	0,027	- 0,157 a - 0,045	- 0,439	- 3,688	0,001
VO <sub>2max</sub>	- 0,79	0,027	- 0,134 a - 0,024	- 0,377	- 2,934	0,006

B = coeficient de regressió; EEE = error típic d'estimació; IC (B) 95% = interval de confiança del 95% pel coeficient de regressió; Sig. = grau de significació estadística (p).

## I.5. DISCUSSIÓ

### **I.5.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”**

El SET – Test és una prova màxima d'intensitat creixent, contínua i esglaonada conduïda per una màquina llançapilotes de tennis fins arribar a l'esgotament del tennista. Es tracta d'una prova específica de camp i intenta apropar-se a les característiques de desplaçament i tècniques del tennis.

El SET – Test utilitza desplaçaments específics semblants als que es donen en un partit de tennis, s'hi donen moviments acíclics consistents en acceleracions i frenades produïdes pels diferents canvis de sentit en el desplaçament lateral realitzat pel jugador segons la freqüència de llançament imposada per la màquina; per altra banda es realitza l'acció específica de copejament de dreta i revés amb un objectiu de precisió tècnica i de potència. Durant la prova s'avaluen paràmetres de càrrega i fisiològics que reflecteixen de manera predominant l'activació del metabolisme aeròbic i paràmetres d'eficiència tècnica que reflecteixen l'eficàcia en la realització de la tasca motriu específica. En l'avaluació funcional d'esports com el tennis, a més dels paràmetres que descriuen la capacitat del sistema de subministrament energètic, poden utilitzar-se diferents característiques que mostren l'eficàcia de la realització de tasques motrius en condicions d'un estat relativament estable i sota una activitat física i mental intensa (Mishin, 1985; Koriaguin et al., 1989, en Platonov, 2005).

Per al seu disseny es va utilitzar una dinàmica i paràmetres de referència adaptats de Smekal et al. (2000). Aquests autors realitzen un estudi comparant la resposta metabòlica i cardiorespiratòria en un test de camp específic per a tennis i un test de laboratori, i avaluen els cops realitzats durant la prova. També utilitzen un protocol incremental conduït per una màquina llançapilotes començant a una  $FLL_p$  de  $12 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$  que s'incrementa en 2 tirs cada 3 minuts. A diferència de la prova de Smekal et al. el SET – Test utilitza períodes d'inferior durada (2 min) i comença amb una  $FLL_p$  també inferior ( $9 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ ), amb un increment també divers de  $2 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$  per cada període. En el SET – Test es va considerar que 2 minuts per període eren adequats per caracteritzar els paràmetres ergoespiromètrics i fisiològics; en la prova de Smekal et al. també s'obtenien dades de lactat i possiblement aquesta es la raó per la qual utilitzen una durada superior. En relació a la les diferències trobades en la  $FLL_p$  inicial entre les dues proves, cal dir que aquest paràmetre està molt relacionat amb la velocitat de llançament de pilotes; en l'estudi de Smekal et al. no s'especifica aquesta

variable i és possible que la velocitat de llançament en aquest cas sigui inferior; com a conseqüència s'utilitza una  $FLL_p$  inicial superior.

Girard et al. (2006) també realitzen un estudi comparant les respostes metabòliques i cardiorespiratòries en una prova específica en tennis i una inespecífica en cinta rodant. El protocol de la prova específica es basa en la realització de patrons de moviments repetits simulant el joc del tennis, consisteix en realitzar diferents períodes cadascú dels quals consta de set desplaçaments des d'un punt central fins a una de les sis marques col·locades a la pista. Els grups de set desplaçaments inclouen dos trajectes cap endavant (ofensius), tres laterals (neutres) i dos enrere (defensius) realitzats aleatòriament. Una vegada el jugador arriba a la zona marcada ha d'imitar un cop amb una potència d'execució semblant a la de competició oficial. La durada del primer període és de 40,5 segons i es redueix en 0,8 segons per a cada període. La prova finalitza quan el jugador no arriba a la zona en el temps determinat o bé hi ha una diferència de més d'un metre. El protocol de la prova proposada per Girard et al. a diferència del SET – Test i el test proposat per Smekal et al. no és continu, sinó que inclou pauses de recuperació passives; a més, els desplaçaments es realitzen en diferents direccions. Per altra banda, en la prova de Girard et al. no es produeix l'acció tècnica de copejament sinó que es realitza una simulació del gest i per tant no es realitza una avaluació de l'eficàcia tècnica; a més, la freqüència de desplaçaments no ve determinada pel llançament de pilotes per part d'una màquina sinó que es realitza a partir d'uns sons emesos per un ordinador.

En el cas d'altres esports de raqueta com el bàdminton també s'han proposat proves de camp específiques per avaluar la resistència (Steininger et al., 1987; Chin et al., 1995; Girard et al., 2005). En les proves proposades per Steininger i Chin et al. el jugador realitza els desplaçaments específics en funció de sis llums situades a la pista que emeten senyals lluminosos amb una seqüència determinada en que es copegen globus de goma situats sota els llums coincidint amb l'encesa de la mateixa. La prova proposada per Steininger et al. consisteix en períodes de 3 minuts començant amb una freqüència de 12 “light pulses·min<sup>-1</sup>” i un augment de 6 “light pulses·min<sup>-1</sup>” per cada període fins arribar a l'esgotament del jugador. Chin et al. també utilitzen períodes de 3 minuts però es comença amb una freqüència de 16 “light pulses·min<sup>-1</sup>” augmentant 6 “light pulses·min<sup>-1</sup>”. El protocol de la proposada per Girard et al. consisteix en desplaçar-se a sis zones diferents de la pista de bàdminton amb l'objectiu de simular un cop; els desplaçaments es realitzen en funció dels sons emesos per un ordinador.

Les adaptacions fisiològiques a l'entrenament són específiques en funció de l'activitat realitzada i el concepte d'especificitat en l'entrenament és important per a les adaptacions cardiorespiratòries i conseqüentment també adquireix molta importància en el control i avaluació funcional de la resistència. Per a avaluar amb precisió les millores en la resistència, cal controlar als esportistes mentre realitzen activitats similars a l'esport o activitat en la que participen. Per confeir un pla d'entrenament específic d'un esport orientat a l'alta competició és necessari conèixer els paràmetres específics i rellevants de la disciplina i utilitzar tests que cobreixin aquests paràmetres específics (Müller et al., 2000).

Diferents autors i estudis realitzats en diferents esports com ara el tennis (Smekal et al., 2000; Girard et al., 2006), el bàdminton (Steininger et al., 1987 i Girard et al., 2005) i esports individuals tancats de resistència (Magel et al., 1975; Stromme et al., 1977) tenen en compte l'especificitat de l'adaptació cardiorespiratòria a l'entrenament i comparen l'avaluació de la resistència realitzada en condicions específiques i en una prova de laboratori en cinta rodant. En el cas del tennis Smekal et al. van trobar que les respostes metabòliques, ventilatòries i cardiorespiratòries canvien quan són avaluades en condicions diferents de moviment, trobant diferències significatives entre els valors del llindar anaeròbic entre la prova de laboratori i la prova de camp: FC ( $165 \pm 16$  vs.  $175 \pm 11$ ,  $p < 0,001$ ),  $VO_2$  ( $44,4 \pm 4,3$  vs.  $47,8 \pm 4,8$ ,  $p < 0,05$ ), lactat ( $3,1 \pm 0,5$  vs.  $2,5 \pm 0,4$ ,  $p < 0,001$ ), així com en els valors màxims:  $VO_2$  ( $52,4 \pm 3,7$  vs.  $58,3 \pm 4,3$ ,  $p < 0,001$ ) i lactat màxim ( $12,5 \pm 1,3$  vs.  $10,0 \pm 2,1$ ,  $p < 0,001$ ). Els autors conclouen que aquests canvis poden venir donats per l'adaptació específica dels grups musculars que intervenen durant l'entrenament específic i la competició i per la diferència de la massa muscular activa implicada en l'exercici en concret. Girard et al. van trobar que els paràmetres cardiorespiratoris no canvien en intensitats submàximes, no obstant el  $VO_{2max}$  avaluat en una prova de laboratori és inferior a l'avaluat en una prova de camp específica: ( $58,9 \pm 5,3$  vs.  $63,8 \pm 5,7$ ,  $p < 0,05$ ). En bàdminton Girard et al. troben diferències significatives en el  $VO_{2max}$ : ( $54,9 \pm 2,5$  vs.  $63,6 \pm 3,0$ ,  $p < 0,001$ ), Steininger et al. van trobar que els valors màxims de lactat eren significativament més elevats en la prova de camp i que la recuperació de la freqüència cardíaca després de la prova era més ràpida.

En estudis realitzats en altres esports, Magel et al. (1975) van avaluar l'especificitat de l'adaptació cardiorespiratòria en l'entrenament de la natació, mitjançant l'estudi de les millores en el  $VO_{2max}$  produïdes amb l'entrenament de

natació durant una hora al dia, tres dies per setmana, durant 10 setmanes, en 15 nedadors masculins de nivell no competitiu. Es va mesurar el  $VO_{2max}$  amb cinta ergomètrica i amb l'activitat específica de natació abans i després de l'entrenament. El rendiment en natació va augmentar de manera significativa el  $VO_{2max}$  ( $380 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $p < 0,01$ ), i el temps (4,0 min,  $p < 0,01$ ) després del període d'entrenament; per contra no van trobar diferències significatives en el rendiment mesurat en cinta ergomètrica.

Stromme et al. van dur a terme un estudi amb remers, ciclistes i esquiadors de fons d'alt nivell a on es varen mesurar el  $VO_{2max}$  en cinta ergomètrica amb inclinació i en la seva activitat esportiva específica. Els valors de  $VO_{2max}$  trobats van ser significativament superiors durant l'avaluació realitzada en la seva activitat esportiva en esquiadors ( $p < 0,005$ ), ciclistes i remadors ( $p < 0,01$ ). Els autors conclouen que en l'avaluació del consum màxim d'oxigen és important seleccionar un tipus de treball físic que permeti l'òptima utilització de les fibres musculars específicament entrenades.

### **Límits de la investigació**

En relació al grau d'especificitat del SET – Test, cal dir que al tractar-se d'una prova funcional per determinar la condició aeròbica és necessari controlar i establir unes càrregues distribuïdes en diferents períodes determinats per una freqüència de llançament de pilotes. Això fa que no sigui possible arribar a un nivell màxim d'especificitat tal i com es dona en la competició, on els tipus de desplaçament del jugador ve determinat per les múltiples situacions de joc en funció de velocitats, direccions, alçades i efectes de la pilota enviades aleatòriament per l'oponent. A diferència d'un partit de tennis l'avaluació de l'eficàcia tècnica en el SET – Test es dona sota una activitat física intensa però en condicions relativament estables. Per altra banda també cal tenir en compte que en aquest esport hi intervenen de manera determinant els processos cognitius que es tradueixen en accions tàctiques que es fan impossibles de reproduir en una prova protocol·litzada.

## I.5.2. FIABILITAT DE LA PROVA

### I.5.2.1. Fiabilitat externa

#### *Fiabilitat de la màquina llançapilotes*

Els resultats de l'estudi de fiabilitat de la màquina llançapilotes (Pop - Lob Airmatic 104, França) mostren que és un instrument prou fiable i apte per a la recerca científica en estudis de camp. El protocol del SET – Test es basa en la utilització d'una màquina que permeti controlar la freqüència i la velocitat de llançament de les pilotes, essent la fiabilitat d'aquests dos paràmetres un aspecte clau per controlar la intensitat o càrrega de cada període.

Així, es va realitzar un estudi de la fiabilitat d'aquests dos paràmetres i es va determinar l'angle ( $13^\circ$ ) i l'alçada (41 cm) de sortida pel tub de llançament. Tot i que hi ha altres estudis on s'utilitza una màquina llançapilotes per dur a terme una prova en tennis (Vergauwen et al., 1998; Smekal et al., 2000), en cap cas hem pogut trobar dades sobre la fiabilitat dels mesuraments per a estudis científics de camp. Els índexs de fiabilitat obtinguts en la freqüència (CV = 3,5%) i en la velocitat (CV = 2,7%) de llançament indiquen un grau elevat de fiabilitat. Com a referència, s'accepta que el marge d'error metòdic en mesures ergomètriques no hauria de superar en cap cas un coeficient de variació del 5%, la qual cosa exigeix controls de calibratge precisos i repetits dels aparells (Rodríguez, 1999).

La velocitat estable de llançament obtinguda ( $68,6 \pm 1,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) és semblant a la obtinguda per Vergauwen et al. (1998) ( $66 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ); aquests autors proposen una prova per avaluar el rendiment en l'execució tècnica (Leuven Tennis Performance Test: LPTP), simulant les condicions d'un partit mitjançant una màquina llançapilotes (Tretorn Pro Trainer, Helsingborg, Sweden). El present estudi, en canvi, estableix la fiabilitat de la màquina per tal d'imposar una càrrega externa als jugadors. A més, estableix la fiabilitat del protocol utilitzat, més enllà de la pròpia màquina.

### I.5.2.2. Estudi de repetitivitat

Els resultats demostren que el SET – Test és una prova prou fiable per avaluar la resistència específica en tennistes i permet realitzar una avaluació de paràmetres ergoespiromètrics, sense que això exerceixi una variació significativa dels paràmetres estudiats. Així, mostra uns elevats índexs de repetitivitat, semblants als trobats en



altres proves de camp específiques per avaluar la resistència en tennis i en altres esports de pilota. Tanmateix, s'ha observat que en l'administració de la tercera prova es produeix una lleugera millora en la durada total, possiblement com a conseqüència de la millora en l'eficiència degut a l'aprenentatge i, potser també, al factor motivacional relacionat amb la pròpia monitorització: els subjectes es sometien per primera vegada a una prova ergoespiromètrica de camp.

Per a l'estudi de repetitivitat es va utilitzar el mètode de mesures repetides ('test-retest', consistent en realitzar tres SET – Test de manera consecutiva i en dies diferents. Podem considerar aquesta prova de consistència com una de les més rigoroses degut a que els errors associats a les mesures es fan més evidents quan s'administren les proves amb un dia o més de separació (Thomas i Nelson, 2007). Com a criteris de fiabilitat del SET – Test s'han utilitzat els estadístics proposats per Atkinson i Nevill (1998). Els mètodes més comuns són la determinació de la magnitud de la variància (ANOVA) i el coeficient de correlació de Pearson ( $r$ ). Altres mètodes citats en la literatura són l'anàlisi de regressió, el càlcul del coeficient de variació (CV) i de l'índex de correlació intraclasse (ICC), així com els més recents proposats per Bland i Altman (1983) i Atkinson et al. (1998). Tots els mètodes s'han utilitzat en aquest estudi.

Els resultats demostren una elevada repetitivitat i constància tant dels paràmetres fisiològics com la FCmax ( $r = 0,91$ , ICC = 0,91, CV = 1,4%), el PDFC ( $r = 0,88$ , ICC = 0,87, CV = 2,5%), com dels paràmetres de càrrega com són la durada de la prova ( $r = 0,85$ , ICC = 0,84, CV = 3,1%) i l'UP ( $r = 0,85$ , ICC = 0,85, CV = 2,0%). Aquests valors són similars als obtinguts en altres estudis de fiabilitat com ara el de Smekal et al. (2000), qui obtenen valors de FCmax ( $r = 0,96$ ) i el de Girard et al. (2005), qui obtenen valors de FCmax (CV = 2,6%) i durada (CV = 1,2%).

Per altra banda s'observa una repetitivitat acceptable en els paràmetres d'eficiència tècnica, encara que menor en relació als anteriors: ET ( $r = 0,80$ , ICC = 0,72, CV = 4,7%) i PDET ( $r = 0,64$ , ICC = 0,59, CV = 6,1%). Aquests resultats estan en consonància amb els obtinguts per Smekal et al. (2000) (ET:  $r = 0,76$ ) i Vergauwen et al. (1998) (ICC = 0,81).

En el present estudi no s'han trobat diferències significatives en cap dels paràmetres estudiats i s'han obtingut unes correlacions iguals o superiors a  $r = 0,8$  en totes les variables excepte la de PDET. Tant si utilitzem els exigents criteris de Barrow i McGee (1964), com en una lectura menys rigorosa dels nostres resultats segons Coolican (1994) qui considera que si  $r > 0,8$  i estadísticament significativa, la prova es

considera suficientment fiable, podem afirmar que la fiabilitat del SET – Test és satisfactòria i, per tant, adequada als efectes de realització d'una prova de resistència.

Estudis realitzats en altres esports on s'avalua la fiabilitat d'una prova de resistència específica mostren índexs de fiabilitat similars als obtinguts pel SET – Test. Així, Mújika et al. (2006) desenvolupen una prova de camp per avaluar la resistència en jugadors de waterpolo anomenada WIST (Water Polo Intermittent Shuttle Test) i obtenen uns valors similars de repetitivitat de la FCmax ( $r = 0,96$ , CV = 1,2%) i de rendiment en distància ( $r = 0,98$ , CV = 5,4%). Krustup et al. (2003) realitzen un estudi de fiabilitat i validesa del “Yo – Yo Intermittent Recovery Test” en jugadors de futbol obtenint uns valors de fiabilitat de la FCmax (CV = 1%) i del rendiment en distància (CV = 4,9%) també comparables. Krustup et al. (2006) estudien la fiabilitat del “Yo – Yo Intermittent Recovery Test 2” i obtenen valors de fiabilitat lleugerament inferiors al SET – Test en rendiment en distància (CV = 9,6%;  $p < 0,05$ ).

Pel que fa a l'estudi dels efectes de realitzar el SET – Test amb analitzador de gasos portàtil, no hem trobat estudis de camp comparables. Dels resultats obtinguts es desprèn que es mantenen els bons nivells de repetitivitat i consistència en tots els paràmetres fisiològics i de càrrega, i que segueix produint-se una major variabilitat en el paràmetre d'eficiència tècnica PDET (T2 vs T3:  $r = 0,52$ , ICC = 0,59, CV = 6,2%; T1 vs T3:  $r = 0,64$ , ICC = 0,52, CV = 7,5%), no obstant es manté l'elevada repetitivitat de l'ET (T2 vs T3:  $r = 0,95$ , ICC = 0,93, CV = 1,7%; T1 vs T3:  $r = 0,77$ , ICC = 0,75, CV = 5,1%). En conclusió, no es troben diferències significatives pel fet de portar aquest analitzador portàtil de gasos, excepte en que la durada total de la prova és superior, sense que això afecti al darrer període de càrrega assolit. Aquest increment observat de la durada total en la tercera prova pot ser degut a dos factors: 1) el factor aprenentatge, el qual fa que a partir de la tercera realització del SET – Test els subjectes siguin més eficients i aconseguixin augmentar la càrrega de treball amb la mateixa despesa energètica; aquest augment de l'eficiència podria ser degut a una millora en els desplaçaments per un millor ajustament de les distàncies a recórrer per colpejar la pilota i/o a una millora de la interpretació de la velocitat i característiques de la pilota enviada per la màquina, així com una optimització de la despesa en la acció de copejament de la pilota; aquest fet, doncs, faria adequat, tot i que no estrictament necessari, realitzar una prova d'aprenentatge per tal que el tennista s'adapti millor a la nova tasca; 2) es pot plantejar la hipòtesi d'una major motivació

dels subjectes pel fet de realitzar la prova monitoritzant el paràmetres ergoespiomètrics de manera directa amb un aparell d'alta tecnologia.

### *Límits de la investigació*

La major variabilitat observada del paràmetre PDET en les tres proves pot ser deguda a que es tracta d'una mesura d'eficiència tècnica avaluada amb criteris bàsicament objectius però amb un cert marge de subjectivitat per part dels investigadors. És possible que calgui modificar o millorar el criteri de disminució de l'ET, o bé que la variabilitat observada estigui relacionada amb diversos paràmetres aleatoris no controlables. Encara que la repetitivitat dels paràmetres d'ET es menor, especialment el PDET, l'acceptable fiabilitat de l'ET pot permetre discriminar en funció del nivell tècnic dels jugadors i aportar una informació addicional de gran valor. Per bé que el nivell obtingut en determinades capacitats físiques té un elevat valor predictiu del rendiment competitiu en esports on la varietat tècnica i tàctica és menor que en el tennis, la predicció del rendiment tennístic a partir exclusivament de la valoració de la condició física és menys fiable (Solanelas, 1995).

## **I.5.3. VALIDESA DE LA PROVA**

### **I.5.3.1. Validesa de contingut i ecològica**

La resistència és la capacitat de l'esportista per resistir psíquica i físicament una càrrega (Zintl, 1991; Platonov, 2001; Weineck, 2005). Tant la progressió de la prova, la durada, com les característiques específiques de realització indueixen clarament un grau de fatiga física i psíquica al subjecte que ha estat avaluat mitjançant variables fisiològiques com el  $VO_{2max}$ . D'altra banda, el SET – Test és una prova de camp realitzada a la mateixa pista de tennis i assoleix una millora en la validesa ecològica respecte a la majoria de les proves utilitzades tradicionalment. En l'avaluació funcional de la resistència en tennis s'han utilitzat diferents proves inespecífiques basades en la cursa contínua (Birrer et al., 1986; Aparicio, 1998; Sanchis, 2000; Roetert, 2000; Le Deuff, 2003), que s'allunyen clarament de l'entorn de joc. El SET – Test pot considerar-se una prova ecològicament vàlida atès que permet realitzar l'avaluació en el mateix entorn físic, amb el mateix material utilitzat per al joc i amb realització de tasques motrius (com ara copejaments de pilota i desplaçaments) difícilment reproduïbles en un laboratori o en camps esportius no tennístics.

### I.5.3.2. Validesa interna

L'elevat percentatge de compliment de cadascun dels criteris de maximalitat de la prova per part dels subjectes –nivellament del  $\text{VO}_2$  (84,2%),  $\text{FC}_{\text{max}} \geq 90\% \text{FC}_{\text{max}} \text{ teòrica}$  (94,7%),  $R \geq 1,1$  (73,6%)– demostra que el SET – Test és una prova de intensitat màxima. Aquests percentatges són comparables o superiors als obtinguts en altres proves específiques per avaluar la resistència en tennistes –nivellament del  $\text{VO}_2$  (78%),  $\text{FC}_{\text{max}} \geq 90\% \text{FC}_{\text{max}} \text{ teòrica}$  (89%),  $R \geq 1,1$  (89%)– (Girard et al., 2006). Aquest resultat demostra que la important participació muscular del tren inferior en el desplaçament i del tren superior en l'acció de copejament aconseguix sobrecarregar el sistema de transport d'oxigen sense un esgotament prematur dels músculs que realitzen l'esforç. La durada mitjana de la prova ( $13:39 \pm s = 01:34$ ), l'augment gradual de la càrrega mitjançant períodes de dos minuts i el caràcter maximal de la prova asseguren que el protocol del SET – Test és vàlid per determinar el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  i proporciona la possibilitat de determinar els llindars ventilatoris. En els protocols triangulars, la potència de l'exercici augmenta per períodes de 1 a 4 minuts, sense descans entre les diferents etapes, fins a assolir l'anivellament del  $\text{VO}_2$  o fins l'esgotament del subjecte (Rodríguez i Aragonés, 1992; Billat, 2002). Aquestes característiques són semblants a les utilitzades en algunes proves de resistència incrementals que s'han comprovat vàlides, fiables i que són àmpliament utilitzades per l'avaluació d'aquesta capacitat (Cooper, 1968; Léger i Boucher, 1980; Conconi et al., 1982; Léger i Lambert, 1982).

En conclusió, podem considerar que el SET – Test és una prova contínua de càrrega progressiva i intensitat màxima vàlida per avaluar la resistència i la condició aeròbica en tennistes de competició, assegurant una mesura adequada del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , així com dels llindars ventilatoris.

### I.5.3.3. Validesa predictiva

#### *Validesa predictiva per estimar paràmetres fisiològics*

L'elevada correlació trobada entre el PDFC i la freqüència cardíaca al segon llindar ventilatori ( $r = 0,87$ ,  $p < 0,001$ ) posen de manifest una bona validesa d'aquest paràmetre per determinar el llindar anaeròbic de forma indirecta. Aquesta correlació és inferior a la trobada per Conconi et al. (1982) en una prova de cursa contínua ( $r = 0,99$ ), però superior a la registrada en una prova comparable per estimar aquest paràmetre en el bàdminton (Wonisch et al., 2002) ( $r = 0,78$ ,  $p < 0,001$ ).

Els tennistes de nivell mundial mostren un rendiment aeròbic més elevat amb menors nivells de lactat a una intensitat comparable en relació amb tennistes amb pitjor classificació (König et al., 2001). Els líndars aeròbic i anaeròbic dels jugadors de tennis professionals són molt superiors als de la població mitjana sedentària i saludable, tant en homes com en dones (Hollman, 1994, en Sanchis, 1994). Cal destacar l'interès del SET – Test com a prova que permet estimar el líndar anaeròbic de forma vàlida, fiable i accessible a la mateixa pista, sense material sofisticat, en condicions específiques de l'esport i, per tant, fàcilment integrable dins la planificació de l'entrenament.

Conconi et al. (1982) van dissenyar un mètode per valorar el líndar anaeròbic en corredors de fons de manera no invasiva. En aquest estudi, la velocitat en la qual es perd la linealitat entre la velocitat de carrera i la FC s'anomena velocitat de deflexió (Vd), trobant-se una relació significativa entre la Vd i el líndar de lactat. Aquest protocol ha estat utilitzat per Conconi i altres investigadors en diferents esports com el rem, natació, ciclisme, patinatge (Conconi et al., 1996) i adaptat per a un test específic en bàdminton (Wonisch et al., 2002), mentre que mai no ha estat provat en jugadors de tennis. En el present estudi es va determinar de forma novedosa el PDFC en una mostra de tennistes de competició, i igual que succeeix en l'avaluació d'aquest paràmetre en esports cíclics tancats, en el tennis, com a esport acíclic, obert i situacional, també es detecta un PDFC en la majoria dels casos (92%), en consonància amb resultats trobats en una prova específica per a bàdminton (94,1%) (Wonisch et al., 2002). El fenomen de la deflexió de la FC es produeix donat que quan es realitza un treball per sobre del líndar anaeròbic augmenta més la intensitat que no pas la FC (Pendergast et al., 1979, en Conconi et al., 1982). En la literatura revisada, alguns autors plantegen que el concepte de PDFC és, com a poc, controvertit, ja que alguns individus exhibeixen una resposta totalment lineal entre FC i intensitat de treball (Jones i Doust, 1995). Tanmateix, aquests problemes en la detecció del PDFC poden venir donats per problemes de caire metodològic, ja que l'increment de la càrrega no hauria de provocar un augment superior a  $8 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ , i es necessiten de 15 a 30 segons per adaptar-se cardiològicament a l'esforç (Bodner i Rhodes, 2000). En el present estudi es van tenir en compte aquests dos aspectes metodològics i es va utilitzar com a paràmetre d'intensitat la freqüència de llançament de pilotes (FLL<sub>p</sub>), el temps i el període, a diferència de l'estudi de Conconi on s'utilitza la velocitat de desplaçament en cursa.

La discreta correlació entre el paràmetre de càrrega i el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $r = 0,641$ ;  $p = 0,000$ ) indica una dubtosa validesa predictiva de la potència aeròbica màxima, segons

valors de referència publicats (Léger et al., 1984; Rodríguez, 1999). No s'han trobat valors de referència en proves de camp per a tennistes, no obstant això, els valors registrats són clarament inferiors als publicats per Berthoin et al. (1996, 1999), Léger i Boucher (1980) i Léger i Lambert (1982), que avaluen la validesa predictiva del  $VO_{2max}$  en base a la cursa ( $r = 0,80, 96, 84$  respectivament;  $p < 0,001$ ). En canvi, sí que estan en consonància amb els resultats obtinguts per Chamari et al. (2007), que avaluen la validesa predictiva d'una prova de resistència específica (Hoff, 2002) en que intervenen mòbils i accions tècniques específiques per a futbolistes ( $r = 0,68, p < 0,01$ ). En aquest sentit, podem plantejar la hipòtesi que l'elevat error d'estimació i per tant l'escassa validesa predictiva del  $VO_{2max}$  en base a la càrrega màxima durant la prova es deu a la importància relativa dels paràmetres d'eficiència tècnica associats al desplaçament i l'acció de copejament de pilota. La càrrega final assolida en l'execució del SET – Test estaria en funció dels paràmetres de càrrega interna efectivament registrats (p.e.  $VO_{2max}$ ) i del nivell d'eficiència tècnica, que pot suposar una despesa d'energia addicional difícilment controlable i en qualsevol cas, variable segons cada individu.

D'altra banda, la relació significativa trobada entre el PDET i el LIV2 ( $r = 0,463, p = 0,004$ ), tot i que no molt estreta, indica que els jugadors mostren una clara tendència a disminuir l'efectivitat tècnica a partir del segon llindar ventilatori i que, per tant, els subjectes que experimenten aquest llindar en una càrrega més elevada experimentaran el PDET més tard. A intensitats superiors al LIV2 el jugador entra en un estat d'acidosis metabòlica com a conseqüència de l'augment de la concentració d'àcid làctic a la sang. L'impacte d'aquesta acumulació d'àcid làctic sobre el rendiment depèn essencialment del corresponent canvi de la concentració d'ions hidrogen (Shephard i Astrand, 1996). Aquesta situació va acompanyada d'un descens de l'ET probablement deguda a una disminució de la sincronització dels cops, de la coordinació dinàmica general, d'una inadequada posició de copejament i d'una manca de força. Atès que el tennis és un esport amb marcades característiques aeròbiques i anaeròbiques alàctiques (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985; Chandler, 1995; Renström, 2002; present estudi) i que durant l'activitat competitiva rarament es participa a intensitats per sobre del llindar anaeròbic o properes al  $VO_{2max}$  (Ferrauti et al., 2001; Christmas et al., 1998; Smekal et al., 2003; Fernández et al., 2005; Dansou et al., 2001; present estudi), el jugador de tennis no està preparat específicament per realitzar l'activitat de copejament amb un estat d'acidosis metabòlica. Les adaptacions a l'entrenament i a la competició són específiques a l'activitat realitzada (Platonov, 2001). Alguns autors han observat

que concentracions de lactat superiors a  $7\text{-}8\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  s'associen a una disminució del rendiment, tant tècnic com tàctic (McCarthy 2000, en Lees, 2003; Liesen, 1983 en Davey et al., 2002). En la mateixa línia, Davey et al. (2002) observen una elevada disminució de l'exactitud dels cops (69%) entre el començament d'una prova intermitent específica (Loughborough Intermittent Tennis Test) i l'exactitud observada al final de la prova ( $35,4 \pm 4,6$  minuts) i l'atribueixen a la elevada concentració de lactat sanguini ( $9,6 \pm 0,9\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). És lògic pensar que tenir un segon llinzar ventilatori més elevat farà retardar l'aparició de fatiga i la conseqüent disminució de l'efectivitat tècnica en situacions, com ara durant la disputa de punts, d'elevada intensitat i durada. Un altre factor a considerar en la coincidència entre aquests dos punts és que el PDET té lloc al final de la prova progressiva (període  $5,2 \pm 1,1$ ) d'igual manera que succeeix amb el LIV2 (període  $4,6 \pm 0,8$ ). En aquests períodes finals existeix una fatiga acumulada en els períodes anteriors que pot influir en la disminució de l'ET. La fatiga es va instaurant de forma progressiva des de pràcticament l'inici d'un esforç (López Calbet i Dorado García, 2006). En aquest sentit Vergauwen et al. (1998) observen que la fatiga induïda per un entrenament específic de tennis de 2 hores de joc es tradueix en un augment significatiu del percentatge d'errors i en una disminució també significativa de la velocitat de copejament de pilota. Lees (2003) observa que la fatiga afecta el rendiment de les habilitats de raqueta i es manifesta amb un pobre joc de posició i amb una disminució de la precisió dels cops.

En conclusió, els resultats sobre la validesa predictiva del SET – Test indiquen que és una prova de camp vàlida per determinar de manera indirecte el segon llinzar ventilatori en tennistes, tot i que degut a factors d'eficiència tècnica individual s'ha trobat una dubtosa validesa predictiva de la potència aeròbica màxima.

## LÍMITS DE LA INVESTIGACIÓ

L'aplicació del SET – Test sense analitzador de gasos portàtil permet avaluar la resistència en jugadors de tennis de manera accessible i fàcil. No obstant això, si bé és possible estimar el segon llinzar ventilatori i determinar les modificacions del rendiment mitjançant el control de la càrrega assolida, l'escassa validesa predictiva de la potència aeròbica fa que no sigui possible conèixer en quina mesura la modificació de la màxima càrrega assolida pel subjecte és degut a una millora d'aquest paràmetre fisiològic o bé degut a la modificació de l'eficiència tècnica en les accions específiques. Per altra

banda, cal dir que aquesta manca de validesa predictiva de la potència aeròbica es veu compensada amb una notable millora de l'especificitat i validesa ecològica i de contingut d'aquesta prova respecte a les proves inespecífiques.

### *Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte del nivell competitiu*

Es van seleccionar les variables més representatives de l'avaluació funcional realitzada i es van relacionar amb el nivell competitiu dels jugadors amb l'objectiu de sospesar el seu valor com a indicadors de rendiment. Posteriorment es van integrar en un model de regressió múltiple capaç d'ajudar a predir el rendiment competitiu en tennis. Són pocs els estudis que analitzin la validesa predictiva de paràmetres funcionals en jugadors de tennis i revelen, a més, resultats contraposats. Aquest és el primer estudi en que l'anàlisi multivariant s'aplica a indicadors funcionals en una prova específica.

### *Estudi de correlació simple*

S'ha trobat una relació estadísticament significativa entre tots els paràmetres escollits com a representatius del resultat de la prova de valoració funcional específica i el nivell competitiu dels jugadors. No obstant això, els coeficients de correlació són entre moderats i baixos, la qual cosa posa de manifest el caràcter multifactorial del rendiment en tennis. Cal fer notar que en aquesta recerca no s'han tingut en compte altres capacitats i habilitats determinants com són les tàctiques, les estratègiques o les psicològiques. L'ET ha estat la variable que mostra una millor correlació amb el rendiment ( $r = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ), en consonància a l'opinió generalitzada entre entrenadors i jugadors de que el tennis és un esport eminentment tècnic degut a la gran diversitat de moviments i a la precisió necessària per poder practicar aquesta modalitat amb èxit (Comité Olímpico Español, 1993). En aquest mateix sentit, diferents autors consideren aquest paràmetre com un bon pronosticador del rendiment (Birrner et al., 1986; Vergauwen et al., 1997; Smekal et al., 2000; Vergauwen et al., 2004). Tanmateix, les correlacions observades per alguns d'aquests autors (Birrner et al., 1986; Smekal et al., 2000) són sensiblement més elevades ( $r > 0,85$ ) que les observades en el present estudi. Així, Birrner et al. (1986), en un estudi realitzat sobre 531 (319 nens i 112 nenes) jugadors preadolescents ( $11,9 \pm 1,2$  anys), avaluen diferents variables de caràcter tècnic trobant nivells alts de correlació (dreta:  $r = 0,89$ ; revés:  $r = 0,91$ , volea:  $r = 0,91$  i esmaixada:  $r = 0,85$ ) amb el nivell competitiu. Aquesta elevada correlació pot ser



deguda a les edats primerenques dels jugadors, tot i que en el procés d'aprenentatge en tennis els components tàctics i tècnics s'han de treballar de manera conjunta (Turner et al., 2002; Cabello et al., 2001; Hernández, 1998; Sanz, 2004), els jugadors de categoria aleví i infantil es troben encara en etapes de formació de les habilitats tècniques i el grau d'aprenentatge d'aquests paràmetres influeixen notablement el seu rendiment. Per altra banda Smekal et al. (2000), en una prova similar al SET – Test aplicada a 12 jugadors sèniors ( $26,4 \pm 5,2$  anys) de nivell nacional, també troben una elevada correlació entre l'ET i la classificació dels jugadors ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,001$ ), conclouent que el nivell d'ET pot ser menys important en jugadors de nivell mundial, però pot ser-ho més en jugadors de categoria júnior. En aquests dos casos el nivell de competició es veu notablement influenciat per les habilitats tècniques degut al nivell no professional dels jugadors; a mesura que augmenta el nivell global dels jugadors el rendiment competitiu és més homogeni i augmenta paral·lelament la importància d'altres paràmetres com són les habilitats tàctiques, estratègiques o psicològiques. Cal recordar que el present estudi ha estat realitzat amb jugadors de nivell nacional i internacional amb una dedicació plena al tennis de competició. Altres autors (Vergauwen et al., 1997; Vergauwen et al., 2004) apliquen proves específiques a la pista per avaluar el comportament tècnic i observen diferències en els resultats en funció del seu nivell. Vergauwen et al. (1997) proposen el Leuven Tennis Performance Test (LTPT) i l'apliquen a una mostra de 27 jugadors de competició de nivell nacional i internacional (edat  $21 \pm 1$  anys). La qualitat dels cops era avaluada en funció del percentatge d'errors, la velocitat de pilota, la precisió del cop i uns índex de velocitat/precisió (VP) i velocitat/precisió/errors (VPE), trobant que els millors jugadors realitzaven menys errors, que la velocitat i la precisió dels seus cops era superior, i que la VP i la VPE també eren millors. De manera semblant i amb jugadors infantils, Vergauwen et al. (2004) proposen el ForeGround test i l'apliquen en jugadors joves ( $12,7 \pm 07$  anys) de nivell baix a mitjà; el rendiment dels cops va ser avaluat mitjançant el percentatge d'encerts, i la precisió i velocitat dels cops observant que els jugadors amb major experiència obtenien millors resultats en percentatge d'encerts, velocitat i precisió de pilota.

S'ha trobat una moderada relació entre el nivell competitiu i els paràmetres fisiològics ( $VO_{2max}$  i LIV2;  $r = 0,55$ ;  $p < 0,01$ ) i el paràmetre de càrrega UP ( $r = 0,50$ ;  $p < 0,01$ ). Aquests resultats indiquen que la potència aeròbica màxima i la resistència aeròbica són factors clarament relacionats amb el rendiment en tennis. D'això es pot deduir que un adequat nivell de resistència aeròbica permetria donar al joc més

intensitat i assegurar una correcta recuperació entre punts, tot i que la condició aeròbica no suposi la variable més determinant del rendiment. Per altra banda Birrer et al. (1986) destaquen la importància d'un bon nivell de resistència per tolerar correctament les demandes específiques de l'esport però, en contraposició amb els resultats observats, no troben cap relació ni entre el nivell competitiu i els resultats en proves de resistència –temps en 2000 m i distància recorreguda en 30 min de cursa– ( $r = -0,13$ ;  $r = 0,15$ ), ni entre els resultats en altres proves de condició física –llançament de pilota medicinal, temps en 10 m o distància en el salt vertical ( $r = 0,04$ ,  $-0,16$  i  $0,19$ , respectivament). Pensem que la raó d'aquestes pobres relacions entre nivell competitiu i condició física es deu a que els autors utilitzen proves de condició física genèriques, en que no es tenen en compte factors tècnics específics de l'esport.

En estudis que utilitzen proves específiques de resistència realitzades a la pista trobem resultats contraposats en diferents esports de raqueta. Així, Smekal et al. (2000), en una prova específica aplicada a 12 jugadors de tennis no van trobar cap relació entre la classificació dels jugadors i variables de resistència ( $VO_{2max}$ , LIV2, FLLP, velocitat màxima assolida). En canvi, Chin et al., (1995), en 12 jugadors de bàdminton de nivell internacional (6 homes i 6 dones;  $24,4 \pm 2$  anys) troben correlacions comparables a les del present estudi ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,05$ ). Steininger et al. (1987), en 13 jugadors d'esquaix de competició de categoria júnior de nivell inferior a l'anterior (7 nois i 6 noies) sí que troben una elevada correlació ( $r = 90$ ;  $p < 0,001$ ) entre la classificació de resultats obtinguts amb la prova i el rendiment competitiu.

Les diferències observades en els diversos estudis possiblement es deuen a la diversitat d'edats i nivell dels jugadors, als diferents protocols de valoració i paràmetres seleccionats com a indicadors del nivell de condició física i tècnica i al paràmetre de rendiment triat. Pensem que seria interessant aplicar els principals indicadors de rendiment trobats a mostres de jugadors suficientment àmplies, juntament amb altres paràmetres no avaluats en aquest estudi (tècnics, tàctics, psicològics, etc.).

Per altra banda s'ha observat una dèbil correlació entre el nivell competitiu i el PDFC ( $r = 0,42$ ;  $p < 0,05$ ) i el LIV1 ( $r = 0,35$ ;  $p < 0,05$ ), amb la qual cosa podem dir que aquests dos paràmetres mostren una baixa capacitat com a indicadors del rendiment en tennistes.

### *Anàlisi de correlació múltiple (multivariant)*

El model predictor del rendiment competitiu al qual s'ha arribat inclou per una banda l'ET i el LIV2 i explica el 56% de la variabilitat observada en el nivell competitiu dels jugadors i per altra banda inclou l'ET i el  $VO_{2max}$  i explica el 53%. Per tant, pot afirmar-se que el rendiment en el tennis de competició pot ser predit en bona part en funció del nivell de condició aeròbica i tècnica dels jugadors. Durant el joc el jugador ha de realitzar una sèrie d'accions explosives amb un elevat component tècnic i coordinatiu com són els diferents cops, i aquestes habilitats s'han de mantenir durant períodes d'1 a 4 hores de durada. No obstant això, i degut al caràcter multifactorial del rendiment en tennis, per millorar la capacitat predictiva del model probablement caldria introduir-hi variables tàctiques, estratègiques i psicològiques. Com a conseqüència de la homogeneïtat de les habilitats tècniques i condicionals dels jugadors d'alt nivell, la importància dels paràmetres tàctics, estratègics i psicològics són especialment rellevants en el tennis competitiu i el rendiment final d'un partit depèn en molts casos d'aquestes habilitats. Pensem que la precisió de la predicció d'aquest model pot augmentar en jugadors de categories inferiors o de menor nivell competitiu en els quals el rendiment tècnic i condicional pot influir en major mesura el rendiment final. En aquesta mateixa línia, en un ampli estudi en que es valoren 516 jugadors i jugadores de totes les categories, incloent-hi variables d'antecedents esportius, condició física, cineantropomètriques, ergoespiromètriques i psicològiques (Solanelas, 1995; Solanelas i Rodríguez, 1996), els autors observen que en les categories superiors no s'aconsegueix predir el rendiment de forma tan acurada com en les categories més primerenques, en que s'aconsegueix explicar la major part de la variància del rendiment amb les variables cineantropomètriques, de condició física i de valoració dels antecedents esportius, prescindint dels factors tècnics i tàctics. Els mateixos autors observen que a partir de la categoria cadet (<15 anys), els factors tecnicotàctics apareixen com a molt rellevants i la predicció del nivell de rendiment hauria d'incloure aquests paràmetres. Els autors conclouen que la millor edat per detectar el talent esportiu en tennis és, en el gènere masculí, la categoria infantil i cadet, mentre que en el femení es podria fer amb anterioritat.

Tot i l'elevat component tècnic de l'esport, si únicament tenim en compte el paràmetre d'ET, aquest aconsegueix explicar el 37% de la variància de l'ITN. La inclusió del LIV2 i per altra banda el  $VO_{2max}$  augmenta la predicció de la variància fins

el 56 i 53% respectivament. En aquesta línia, en els apartats anteriors del present estudi s'ha discutit àmpliament el paper de la condició aeròbica en el tennis.

No s'ha trobat cap estudi que realitzi una regressió múltiple amb els paràmetres funcionals avaluats en el present estudi. En l'estudi citat anteriorment (Solanelas, 1995; Solanelas i Rodríguez, 1996) els autors observen que l'anàlisi multivariant s'ha de realitzar de forma independent per a cada categoria i sexe; d'aquesta manera els resultats de la regressió múltiple pel que fa a la predicció de la varianza en el rendiment són molt esclaridors: aleví masculí 46,1%, infantil masculí 67,3%, cadet masculí 67,7%; júnior masculí 45,7%. Potser degut al reduït nombre de jugadors de competició de categoria absoluta o potser degut a la multifactorialitat del rendiment a aquest nivell, en el model de regressió múltiple no va entrar cap variable en aquesta categoria.

### **LÍMITS DE LA INVESTIGACIÓ**

S'ha investigat la capacitat predictiva del rendiment del conjunt de variables resultants de l'avaluació per mitjà d'una prova de resistència específica, obtenint un model amb una capacitat predictiva moderada. Cal tenir en compte que el tennis és un esport obert i situacional en que hi intervenen variables difícilment avaluables amb una sola prova funcional, cosa que impedeix crear un model amb una major capacitat de predicció del rendiment. Per a Smith (1982) en Arellano (1999), les habilitats tancades es desenvolupen sota unes condicions predictibles en les que l'executant és lliure de realitzar una habilitat sense haver de prendre decisions ràpides, mentre que en les habilitats obertes la resposta motriu és difícil de preveure, i en aquest cas pot ser més important la percepció i una ràpida decisió-resposta que la pròpia execució sota uns criteris purament biomecànics. Per tant l'objectiu d'aquesta recerca no és crear un model global de predicció del rendiment sinó observar quins són els principals indicadors de rendiment avaluables amb una prova de resistència.

## **I.6. CONCLUSIONS**

### **I.6.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”**

- L’avaluació de la resistència en tennis s’hauria de realitzar amb tasques que tinguin en compte la cinemàtica, dinàmica, material i instal·lacions utilitzades durant la competició.
- El SET – Test és una prova específica, progressiva, maximal i esglaonada realitzat a la pista de tennis que valora paràmetres de càrrega, fisiològics i d’efectivitat tècnica.

### **I.6.2. FIABILITAT DE LA PROVA**

- El SET – Test és una prova de camp objectiva i fiable per avaluar la resistència específica en tennistes i permet realitzar una avaluació directa de paràmetres ergoespiromètrics sense que això afecti significativament els paràmetres estudiats.
- Es recomanable, tot i que no estrictament necessari, realitzar un mínim d’una prova prèvia per tal que el tennista s’adapti a la nova tasca i la millora del rendiment no pugui ser atribuïda a la millora de l’eficiència deguda a l’aprenentatge.

### **I.6.3. VALIDESA DE LA PROVA**

- El SET – Test és una prova de camp contínua, progressiva i màxima, vàlida per avaluar la resistència específica i la condició aeròbica en tennistes de competició.
- S’ha trobat una relació estadísticament significativa entre els paràmetres de càrrega i els paràmetres fisiològics, no obstant això, degut a factors de variabilitat individual de l’eficiència tècnica, la relació no és suficientment forta com per permetre estimar la potència aeròbica màxima.
- Es verifica la hipòtesi de l’existència d’un punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en relacionar-la amb la intensitat de càrrega durant el SET – Test, igualment com succeeix en els estudis en esports cíclics iniciats per Conconi et al. (1982). Aquest PDFC es relaciona significativament amb el segon llinar ventilatori.

- L'elevada correlació trobada entre el PDFC i la freqüència cardíaca al segon llinar ventilatori ( $r = 0,87$ ,  $p < 0,001$ ) posen de manifest una bona validesa d'aquest paràmetre per determinar el llinar anaeròbic de forma indirecta.
- La relació significativa trobada entre el PDET i el LIV2 ( $r = 0,463$ ,  $p = 0,004$ ), tot i que no molt estreta, indica que els jugadors mostren una clara tendència a disminuir l'efectivitat tècnica a partir del segon llinar ventilatori possiblement degut a l'impacte de l'augment d'àcid làctic en sang.
- S'han observat relacions significatives entre totes les variables resultants de la prova de resistència específica i el nivell competitiu dels jugadors. No obstant això, aquests paràmetres mostren una capacitat predictiva moderada del rendiment en tennis, degut al caràcter multifactorial d'aquest esport.
- L'ET és el millor indicador del rendiment competitiu, seguit dels paràmetres fisiològics de resistència i potència aeròbica (LIV2 i  $VO_{2max}$ ), tot i que cal esperar que a mesura que augmenti el nivell competitiu dels jugadors, pot augmentar la rellevància d'altres variables no condicionals.
- Bona part de la variabilitat en el nivell competitiu dels jugadors (56 i 53%) s'explica en funció de paràmetres d'efectivitat tècnica (ET) i fisiològics (LIV2 i  $VO_{2max}$ ), i possiblement la resta de variància només pugui ser explicada pel nivell en les habilitats tàctiques, estratègiques i psicològiques no avaluades.

**Capítol II. CARACTERÍSTIQUES FUNCIONALS  
DELS TENNISTES D'ALT RENDIMENT**





## **II. CARACTERÍSTIQUES FUNCIONALS DELS TENNISTES D'ALT RENDIMENT**

### **II.1. Objectius**

### **II.2. Disseny de la investigació**

### **II.3. Material i mètodes**

II.3.1. Subjectes

II.3.2. Material

II.3.3. Procediment

II.3.4. Paràmetres funcionals

II.3.5. Anàlisi estadística

### **II.4. Resultats**

II.4.1. Característiques fisiològiques i dels tennistes

II.4.2. Resultats d'efectivitat tècnica

### **II.5. Discussió**

II.5.1. Característiques fisiològiques i dels tennistes

II.5.2. Resultats d'efectivitat tècnica

### **II.6. Conclusions**

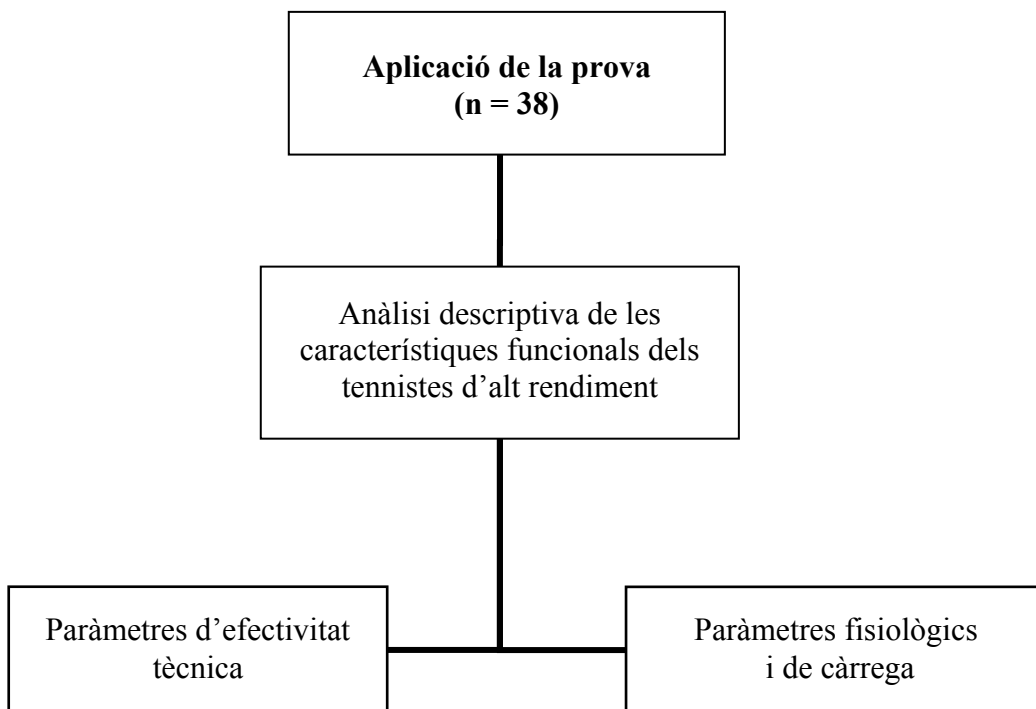
**II.1. OBJECTIUS**

Els objectius primaris d'aquest segon estudi són:

- Establir un perfil funcional específic dels tennistes de competició en base a la prova proposada per tal de contribuir en l'elaboració d'un model genèric de rendiment.
- Caracteritzar el comportament de l'efectivitat tècnica durant l'aplicació d'una prova progressiva de resistència en jugadors de tennis.

## II.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ

En aquest segon estudi es van descriure les característiques funcionals dels tennistes de competició mitjançant l'administració del SET – Test amb l'analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment (n = 38).



**Figura II.1.** Esquema descriptiu del segon estudi de que consta la recerca.

### **II.3. MATERIAL I MÈTODES**

Amb l'objectiu de descriure les característiques funcionals dels tennistes de competició es va administrar el SET – Test amb l'analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra àmplia i heterogènia de tennistes d'alt rendiment.

#### **II.3.1. Subjectes**

Ha estat descrit anteriorment en l'apartat de 'Subjectes' del 'Disseny de la investigació'.

#### **II.3.2. Material**

Ha estat descrit anteriorment en l'apartat I.3.1.2.

#### **II.3.3. Procediment**

Les avaluacions es van realitzar segons el protocol i criteris exposats en l'apartat I.3.1.3. (protocol de la prova específica) utilitzant l'analitzador de gasos portàtil per tal d'obtenir dades ergoespiromètriques rellevants. Les proves es van realitzar entre el mesos de febrer i juny, majoritàriament en hores de matí ( $11:43 \pm 01:33$ , rang 09:03–16:03). Es va controlar l'absència de processos infecciosos i no haver ingerit aliments en un període de 2 hores abans de la prova.



**Figura II.2.** Accions de cop de revés (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant la realització del SET–Test.

**II.3.4. Paràmetres funcionals**

Ha estat descrit anteriorment en l'apartat I.3.1.4.

**II.3.5. Anàlisi estadística**

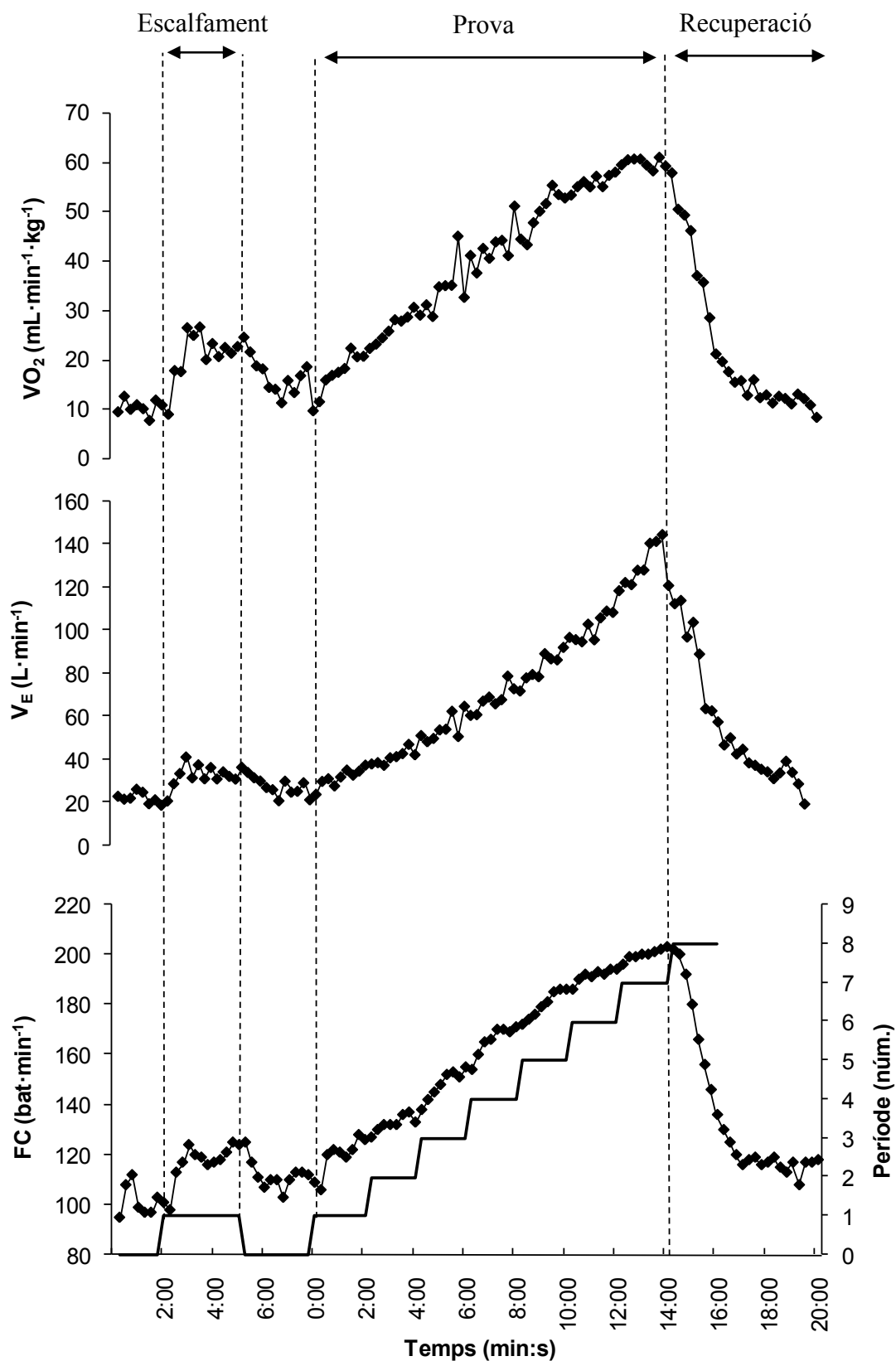
Es van calcular paràmetres descriptius bàsics: mitjana ( $\bar{x}$ ), desviació estàndard (s), mediana, valors extrems (màxim i mínim) i el rang. Es va aplicar la prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnov a totes les variables de l'estudi. Es presenten taules de percentils de les principals variables avaluades.

## **II.4. RESULTATS**

### **II.4.1. Característiques fisiològiques dels tennistes**

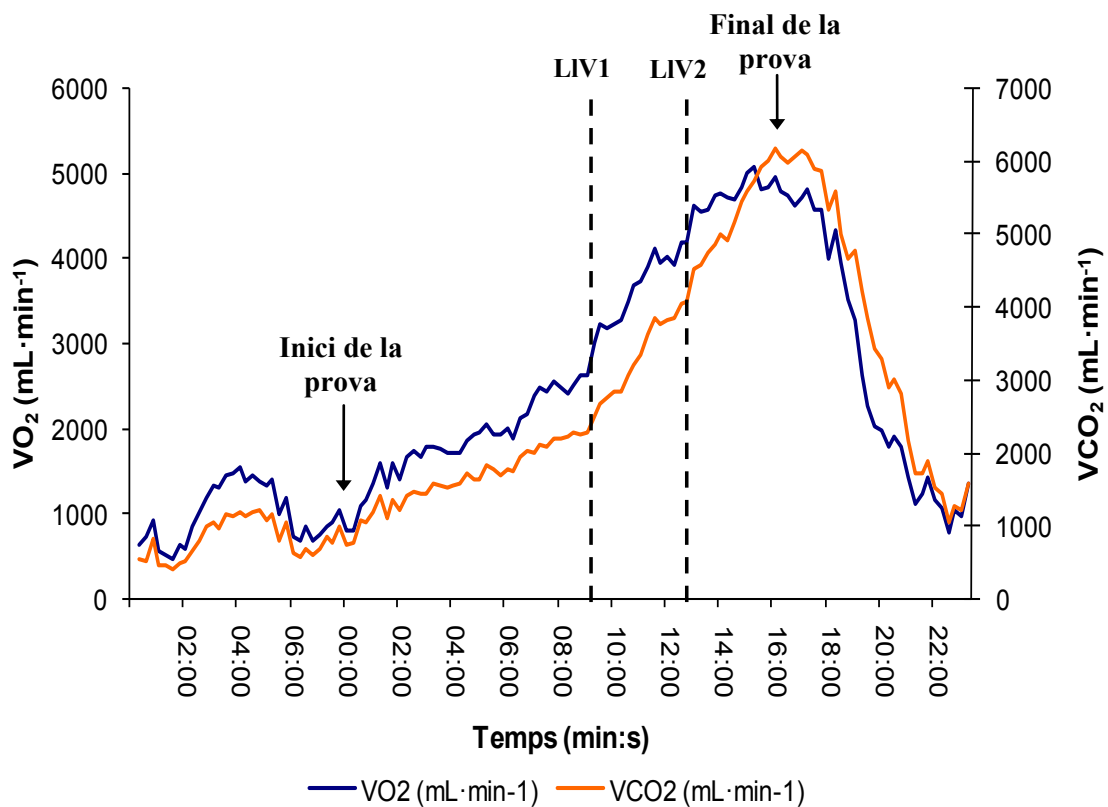
A continuació es descriuen els valors ergoespiromètrics, de freqüència cardíaca i de càrrega derivats de la aplicació del SET – Test amb l’anàlitzador de gasos a la totalitat dels subjectes de la mostra ( $n = 38$ ).

La Figura II.3 mostra l’evolució de diferents paràmetres ergoespiromètrics ( $VO_2$ ,  $V_E$ ) i cardíacs (FC) avaluats en un subjecte, així com la distribució dels períodes al llarg de la prova (períodes). El registre comença amb una primera fase d’escalfament en que el jugador pilota 3 minuts a una intensitat baixa ( $9 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ ), seguit d’un descans passiu de 2 minuts, del posterior desenvolupament de la prova progressiva i de la recuperació. S’observa l’evolució dels diferents paràmetres en relació amb la intensitat de l’esforç. En el cas del  $VO_2$ , s’observa que al final de la prova s’estabilitza i fins i tot disminueix lleugerament (‘plateau’ o anivellament del  $VO_2$ ). A partir de l’últim terç de la prova s’observa una deflexió de la corba de FC (PDFC). En el cas de la  $VE$  es produeixen dos punts de ruptura de la linealitat corresponents als dos llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).



**Figura II.3.** Consum d'oxigen ( $VO_2$ ), ventilació pulmonar ( $V_E$ ), freqüència cardíaca i període (FC, període) durant la realització de la prova en un subjecte. Es presenten els valors mitjans a intervals de 15 s.

La Figura II.4 mostra l'evolució del consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) i de la producció de diòxid de carboni ( $\text{VCO}_2$ ) en un subjecte durant la prova. S'observa la relació lineal inicial del  $\text{VO}_2$  i la  $\text{VCO}_2$  en funció de la intensitat de l'esforç i s'indiquen els punts de ruptura de la linealitat corresponents als llindars ventilatoris; així, es produeix un primer trencament, amb un increment no lineal de la  $\text{VCO}_2$  respecte al  $\text{VO}_2$  corresponent al llindar anaeròbic de Wasserman o primer llindar ventilatori (LIV1); posteriorment s'observa un segon punt de ruptura de la  $\text{VCO}_2$  corresponent a la fi del període de tamponament isocàptic o punt de compensació per acidosis metabòlica de Wasserman (LIV2). També s'indica l'inici de la prova precedit d'un escalfament de 3 minuts de durada i seguit de 2 minuts de descans, així com el final de la prova amb el posterior registre de 5 minuts durant la recuperació.



**Figura II.4.** Evolució del consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) i la producció de diòxid de carboni ( $\text{VCO}_2$ ) en un subjecte durant l'aplicació del SET-Test. S'hi indiquen el final i l'inici de la prova i els punts corresponents al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).



**Paràmetres màxims assolits**

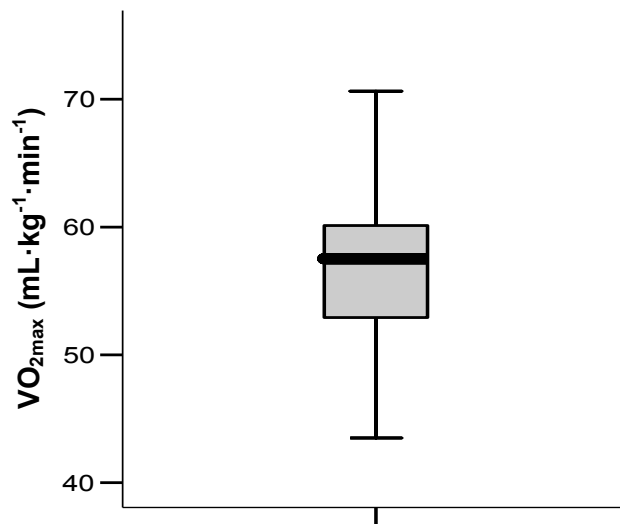
Es van obtenir els següents valors màxims (pic) ergoespiromètrics, de càrrega i de freqüència cardíaca:

**Taula II.1.** Valors màxims assolits durant la prova (n = 38).

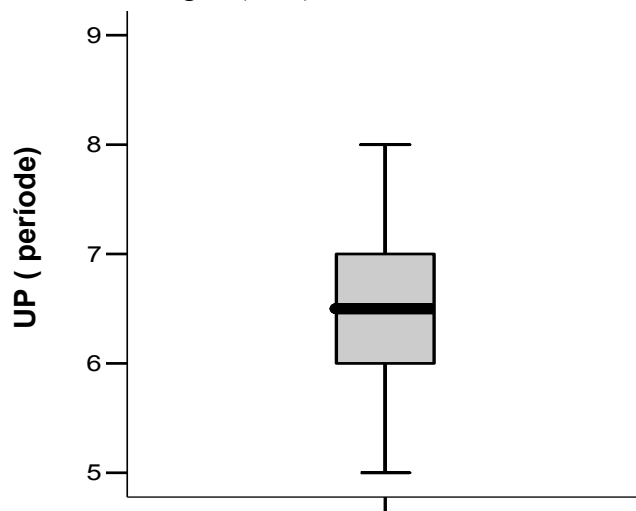
	Valors màxims
Temps (min:s)	13:39 ± 01:34 (10:30 – 18:00)
UP (període)	6,61 ± 0,82 (5 – 9)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	193,7 ± 7,6 (179 – 206)
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	57,0 ± 6,0 (70,6 – 43,5)
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	4194 ± 653 (3089 – 5541)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

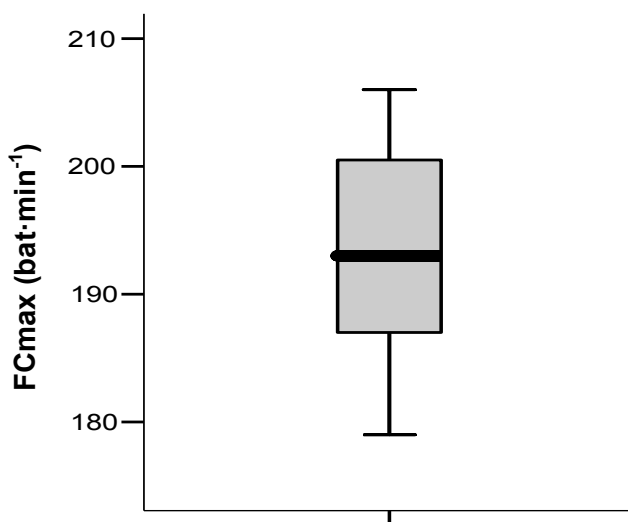
A continuació es presenta, mitjançant diagrames de caixa (boxplot), la distribució de les diferents variables estudiades (Figura II.5, Figura II.6 i Figura II.7).



**Figura II.5.** Valors màxims de consum d'oxigen (VO<sub>2</sub>).



**Figura II.6.** Màxima càrrega assolida expressada com a últim període (UP).



**Figura II.7.** Valors màxims de freqüència cardíaca (FC).

Els valors ergoespiromètrics, de carrega i freqüència cardíaca corresponents a la intensitat en que s'assoleix el consum màxim d'oxigen van ser els següents:

**Taula II.2.** Valors corresponents a la intensitat en que s'assoleix el consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) (n = 38).

Variables	Valors al $VO_{2max}$
Temps (min:s)	12:54 ± 01:49 (09:00 – 16:30)
Període (núm.)	6,2 ± 0,9 (4 – 8)
$VO_2$ (mL·min <sup>-1</sup> )	4194 ± 653 (3089 – 5541)
$VO_2$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	57,0 ± 6,0 (70,6 – 43,5)
$VCO_2$ (mL·min <sup>-1</sup> )	4685 ± 892 (2357 – 6357)
$VCO_2$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	64,3 ± 10,88 (34,7 – 95,3)
$V_E$ (L·min <sup>-1</sup> )	134,9 ± 17,3 (98 – 172,8)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	189,5 ± 10,6 (156 – 204)
% FCmax	98,5 ± 1,6 (92,8 – 100)
R	1,15 ± 0,13 (0,93 – 1,42)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

**Llindars ventilatoris**

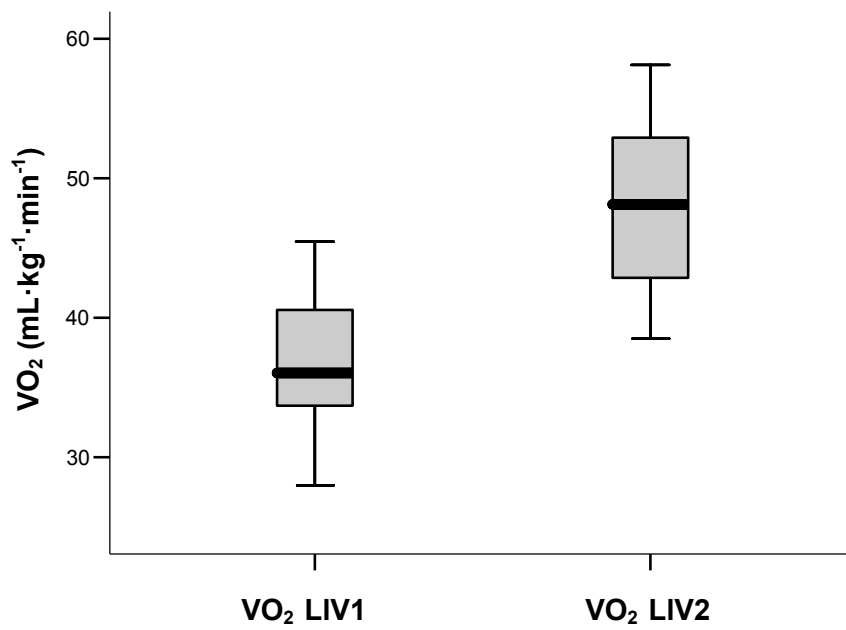
Tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. es van determinar els llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) en funció de criteris objectius i a càrrec de dos investigadors amb experiència. A continuació es presenten els valors ergoespiromètrics, de freqüència cardíaca i de càrrega obtinguts a la intensitat corresponent a cadascun dels llindars ventilatoris.

**Taula II.3.** Variables fisiològiques i de càrrega corresponents al primer (LIV1) i segon (LIV2) llindars ventilatoris (n = 38). S'indiquen els percentatges respecte dels valors màxims de cada variable.

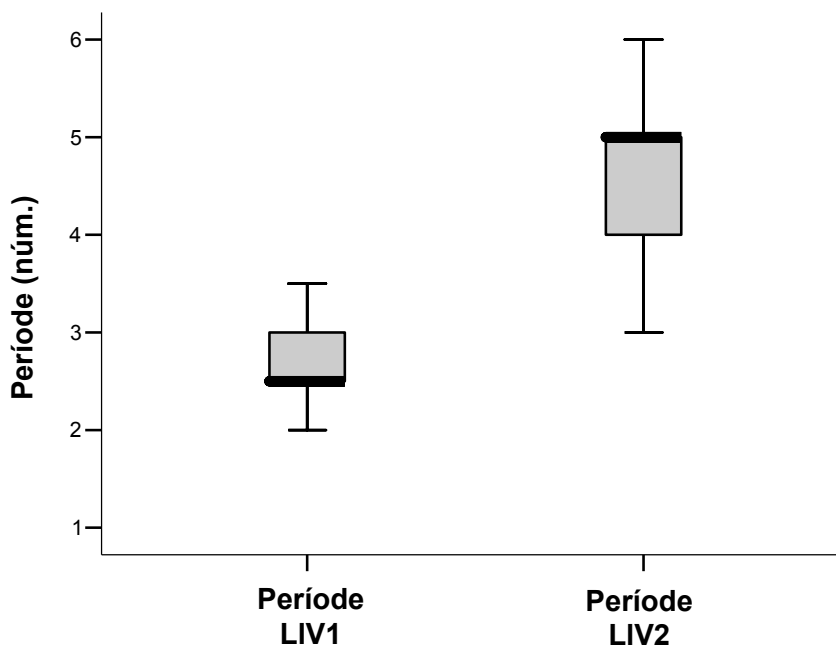
Variables	LIV1	% màxim	LIV2	% màxim
Temps (min:s)	05:57 ± 01:32 (02:15 – 10:15)	44,2 ± 13,7 (15,2 – 79,6)	09:43 ± 01:31 (04:15 – 12:45)	71,5 ± 8,7 (40,5 – 84,5)
Període (núm.)	2,7 ± 0,8 (1 – 5)	43,7 ± 11,0 (22,2 – 72,7)	4,6 ± 0,8 (2 – 6)	70,0 ± 9,9 (40,0 – 83,3)
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	2679 ± 4367 (1087 – 3709)	64,5 ± 4,5 (55,1 – 76,2)	3506 ± 535 (2532 – 4659)	84,6 ± 3,3 (71,6 – 89,3)
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	36,8 ± 4,2 (27 – 45,5)	64,5 ± 4,5 (55,1 – 76,2)	48,2 ± 5,4 (38,5 – 58,1)	84,6 ± 3,3 (71,6 – 89,3)
VCO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	2350 ± 447 (1022 – 3349)	51,7 ± 7,8 (40,7 – 82,5)	3419 ± 605 (1588 – 5114)	74,6 ± 8,9 (63,2 – 97,3)
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	65,0 ± 8,3 (44,7 – 79,5)	49,3 ± 7,3 (37,8 – 69,6)	93,2 ± 10,9 (70,5 – 118,1)	70,6 ± 9,5 (54,1 – 97,0)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	153,3 ± 11,4 (123 – 182)	79,1 ± 4,5 (64,7 – 88,8)	177 ± 9,1 (157 – 195)	91,8 ± 2,6 (82,6 – 96,1)
R	0,87 ± 0,1 (0,41 – 1,03)	78,4 ± 6,8 (64,7 – 96,3)	0,98 ± 0,12 (0,46 – 1,2)	87,4 ± 8,1 (75,6 – 112,4)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

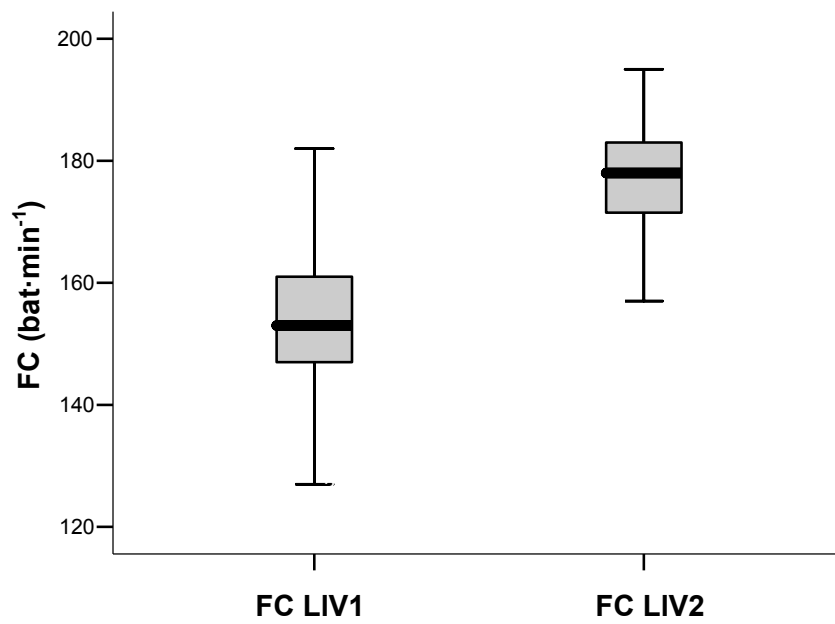
A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la distribució de les diferents variables (Figura II.8 i Figura II.9).



**Figura II.8.** Consum d'oxigen relatiu al pes en el primer (VO<sub>2</sub> LIV1) i segon (VO<sub>2</sub> LIV2) llindars ventilatoris.



**Figura II.9.** Número de període en el primer (Període LIV1) i segon (Període LIV2) llindars ventilatoris.



**Figura II.10.** Freqüència cardíaca (FC) en el primer (FC LIV1) i segon (FC LIV2) llindars ventilatoris.

***Punt de deflexió de la freqüència cardíaca***

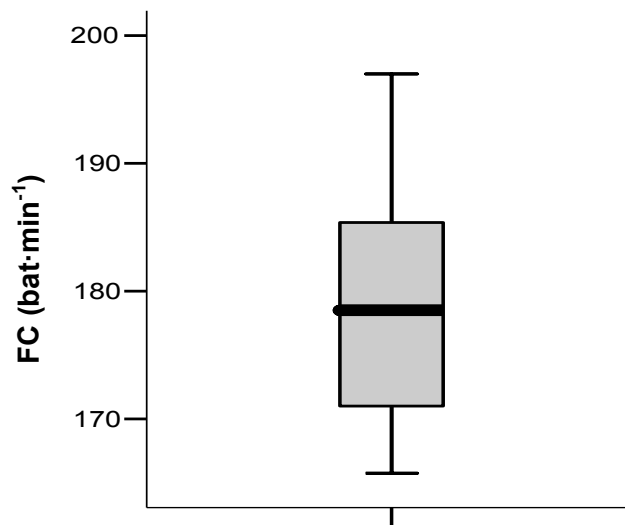
Es va determinar un punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) per a cada prova tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. Es va observar aquest punt en 35 dels 38 subjectes de mostra (92% dels subjectes).

**Taula II. 4.** Valors corresponents al punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35). S'indica els percentatges respecte els valors màxims.

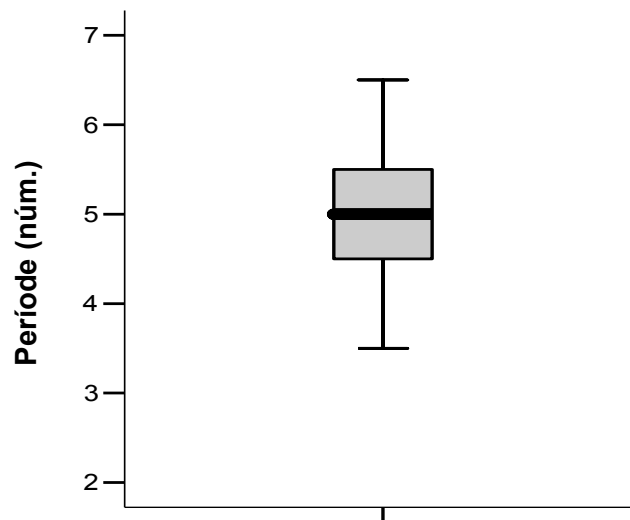
	PDFC	% màxim
Temps (min:s)	10:03 ± 01:39 (05:00 – 13:00)	73,4 ± 8,5 (47,6 – 87,4)
Període (núm.)	5,0 ± 0,9 (2,5 – 6,5)	74,7 ± 10,4 (50 – 92,3)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	178,6 ± 8,7 (165,8 – 197)	92,2 ± 2,7 (87,5 – 96,1)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín - màx).

A continuació es presenten, mitjançant diagrames de caixa, la distribució de les diferents variables relacionades amb el PDFC (Figura II.11 i Figura II.12).



**Figura II.11.** Punt de deflexió de la freqüència cardíaca observat (PDFC) (n = 35).



**Figura II.12.** Període en que s'assoleix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35).



**II.4.2. Resultats d'efectivitat tècnica**

En cada prova es va realitzar una avaluació objectiva de l'efectivitat tècnica dels jugadors utilitzant criteris de precisió i potència tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. A continuació (Taula II.5) es mostren les dades d'efectivitat tècnica en un subjecte en una prova.

Taula II.5. Dades d'efectivitat tècnica (ET) en un subjecte.

Període (núm.)	Tirs		Minut (núm.)	Interval (min:s)	Encerts Interval		Errors Interval		Tirs Interval (núm.)	Tirs Minut (núm.)	Encerts Període		Errors Període		Tirs Període (núm.)
	min <sup>-1</sup>	període <sup>-1</sup>			freq.	%	freq.	%			freq.	%			
1	9	18	1	00:30	2	50,0	2	50,0	4	9	11	57,9	8	42,1	19
				01:00	3	60,0	2	40,0	5						
			2	01:30	3	60,0	2	40,0	5	10					
				02:00	3	60,0	2	40,0	5						
2	11	22	3	02:30	3	60,0	2	40,0	5	11	11	47,8	12	52,2	23
				03:00	4	66,7	2	33,3	6						
			4	03:30	0	0,0	6	100,0	6	12					
				04:00	4	66,7	2	33,3	6						
3	13	26	5	04:30	5	83,3	1	16,7	6	13	21	77,8	6	22,2	27
				05:00	6	85,7	1	14,3	7						
			6	05:30	4	57,1	3	42,9	7	14					
				06:00	6	85,7	1	14,3	7						
4	15	30	7	06:30	5	71,4	2	28,6	7	15	19	63,3	11	36,7	30
				07:00	6	75,0	2	25,0	8						
			8	07:30	5	62,5	3	37,5	8	15					
				08:00	3	42,9	4	57,1	7						
5	17	34	9	08:30	5	55,6	4	44,4	9	17	17	50,0	17	50,0	34
				09:00	3	37,5	5	62,5	8						
			10	09:30	4	44,4	5	55,6	9	17					
				10:00	5	62,5	3	37,5	8						
6	19	38	11	10:30	8	80,0	2	20,0	10	20	24	60,0	16	40,0	40
				11:30	6	60,0	4	40,0	10						
			12	11:30	5	50,0	5	50,0	10	20					
				12:00	5	50,0	5	50,0	10						
7	21	42	13	12:30	6	54,5	5	45,5	11	22	20	46,5	23	53,5	43
				13:00	7	63,6	4	36,4	11						
			14	13:30	3	30,0	7	70,0	10	21					
				14:00	4	36,4	7	63,6	11						
<b>TOTAL</b>			<b>13:59</b>	<b>123</b>	<b>56,9</b>	<b>93</b>	<b>43,1</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>123</b>	<b>56,9</b>	<b>93</b>	<b>43,1</b>	<b>216</b>	

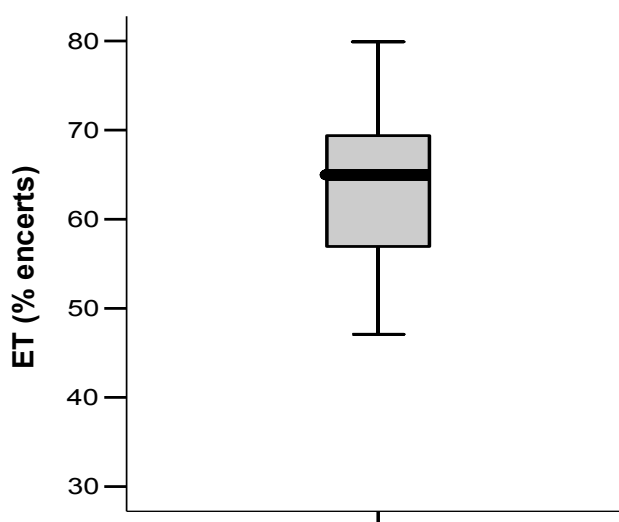
Es mostren (Taula II.6) els valors globals mitjans d'efectivitat tècnica avaluats com a encerts i errors. També es presenta el registre d'efectivitat tècnica en un subjecte.

**Taula II.6.** Efectivitat tècnica (ET) durant el SET – Test (n = 38).

Total cops (núm.)	Encerts		Errors	
	Freqüència	%	Freqüència	%
197,7 ± 30,8 (136 – 283)	125,5 ± 29,1 (67 – 202)	63,1 ± 9,1 (38 – 79,9)	72,3 ± 18,1 (41 – 111)	36,9 ± 9,1 (20,1 – 62)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A la Figura II.13 es presenta la distribució de l'ET mitjançant una diagrama de caixa (n = 38).



**Figura II.13.** Efectivitat tècnica (ET) global avaluada amb percentatge d'encerts.

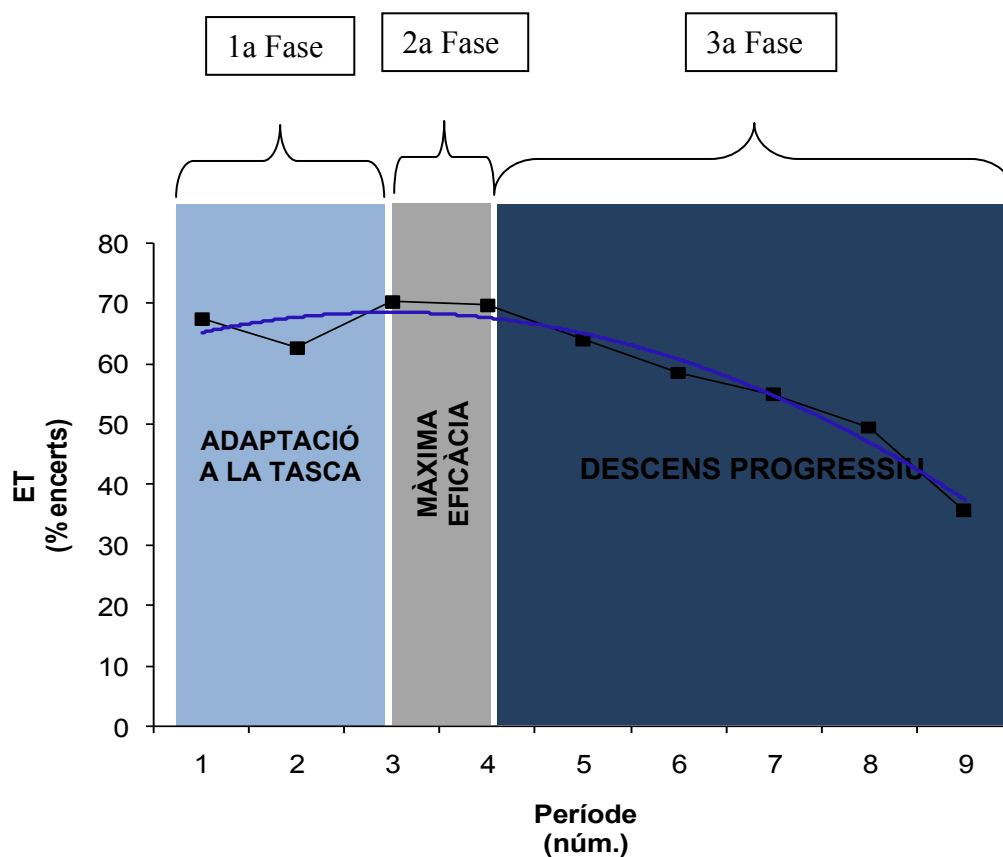
La Taula II.7 mostra els valors mitjans d'efectivitat per cadascun dels períodes avaluats com a encerts. S'hi indica el percentatge d'ET en relació al valor mitjà global de tots els períodes realitzats i s'observa com a partir del cinquè període els subjectes disminueixen la seva ET per sota d'aquesta mitjana global d'encerts.

**Taula II.7.** Resultats d'efectivitat tècnica (ET) per període (n = 38). S'hi indica el percentatge d'efectivitat tècnica en relació a la mitjana d'encerts global.

Període (núm.)	FLL <sub>p</sub>		ET (encerts)		% ET global
	(tir·min <sup>-1</sup> )	(tir·per <sup>-1</sup> )	(núm.)	(%)	
1	9	18	11,7 ± 2,3 (6 – 17)	67,44 ± 14,2 (31,6 – 94,4)	107,2
2	11	22	13,5 ± 3,0 (5 – 19)	62,8 ± 14,2 (21,7 – 90,5)	99,6
3	13	26	17,9 ± 2,9 (10 – 22)	70,4 ± 12,1 (37 – 88)	111,8
4	15	30	20,2 ± 3,6 (10 – 27)	69,7 ± 13,2 (32,3 – 90)	110
5	17	34	21,3 ± 3,9 (13 – 29)	64,1 ± 12,3 (39,4 – 87,9)	101,7
6	19	38	22,1 ± 4,9 (6 – 30)	60,1 ± 11,9 (28,6 – 81,1)	92
7	21	42	19,7 ± 8,6 (3 – 33)	55 ± 14,6 (20 – 86,8)	84,2
8	23	46	16,4 ± 8, (2 – 28)	49,6 ± 16,3 (11,1 – 65,1)	74,8
9	25	50	12,5 ± 13,4 (3 – 22)	35,7 ± 20,2 (21,4 – 50)	51,9

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

La Figura II.14 mostra l'evolució de l'efectivitat tècnica del conjunt dels subjectes amb indicació de la línia de tendència. S'observa com en una primera fase de la prova (1r i 2n períodes), tot i que la intensitat de càrrega és baixa, no s'assoleix el millor percentatge d'encerts; en una segona fase (3r i 4t períodes) els subjectes assolixen els millors resultats d'ET per, en una tercera fase (del 5è al 9è períodes), començar a empitjorar progressivament coincidint amb els períodes d'intensitat més elevada.



**Figura II.14.** Evolució de l'efectivitat tècnica (ET) avaluada com a percentatge d'encerts, en funció dels períodes del SET – Test. S'hi indica la línia de tendència i les diferents fases en la seva evolució.

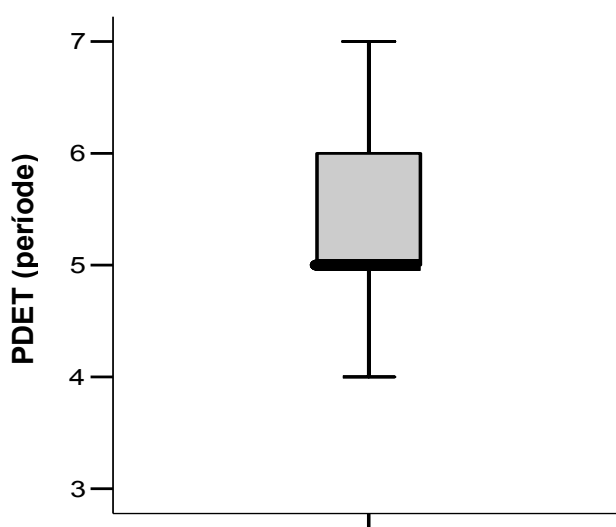
**Punt de disminució de l'efectivitat tècnica**

Un cop obtinguts els percentatges d'encerts i errors totals i per període, es va determinar un punt a partir del qual els subjectes disminuïen la seva ET, tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. A aquest punt el denominem 'punt de disminució de l'efectivitat tècnica' (PDET).

**Taula II.8.** Període en que es produeix la disminució d'efectivitat tècnica (PDET). S'hi indica el percentatge en relació al període màxim (n = 38).

Variables	PDET	% màxim
Període (núm.)	5,2 ± 1,1 (3 – 7)	79,6 ± 14,6 (42,8 – 100,0)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).



**Figura II.15.** Punt de disminució d'efectivitat tècnica (PDET) en relació amb el període de càrrega.

La Taula II.9 mostra la distribució en percentils dels principals paràmetres funcionals avaluats amb el SET – Test en la mostra de jugadors de tennis d'alt nivell estudiada (n = 38).

**Taula II.9.** Taula de percentils dels principals paràmetres funcionals avaluats amb el SET – Test (n = 38).

Percentil	Talla (cm)	Pes (kg)	UP (núm.)	Durada (s)	VO <sub>2max</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	LIV1 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	LIV2 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	ET (% encerts)
5	168,9	57,4	5,5	602,9	46,5	30,1	40,0	46,6
10	171,8	61,3	5,5	679,4	48,0	30,8	40,9	49,2
15	172,0	64,1	6,0	723,7	49,8	31,9	41,3	52,5
20	173,6	66,6	6,0	734,2	51,0	32,1	42,0	54,5
25	174,0	68,0	6,0	755,3	52,4	33,6	42,5	56,7
30	174,7	68,5	6,0	760,7	54,3	34,6	44,6	58,8
35	175,0	69,0	6,0	765,0	55,5	35,7	46,0	61,7
40	176,0	70,0	6,3	772,6	56,7	35,8	46,7	63,1
45	179,0	70,8	6,5	786,5	57,3	35,9	47,5	63,8
50	179,5	71,0	6,5	806,0	57,5	36,0	48,1	65,0
55	180,0	72,1	6,5	824,5	58,4	36,3	49,1	65,5
60	180,7	72,3	7,0	839,4	58,7	38,2	50,2	65,7
65	182,0	73,3	7,0	842,4	58,8	39,4	50,8	66,5
70	183,7	77,2	7,0	850,0	59,4	40,3	52,3	67,9
75	184,5	80,8	7,0	854,3	60,8	40,6	52,9	69,8
80	186,2	81,0	7,1	898,4	61,3	41,0	53,4	71,4
85	190,3	81,2	7,5	908,0	63,9	41,5	54,3	72,8
90	192,1	86,2	7,6	945,9	64,8	41,9	55,1	74,4
95	194,4	88,5	8,1	999,3	67,8	43,2	57,2	76,9
$\bar{x}$	179,9	72,6	6,6	807,8	57,0	36,8	48,1	63,3
s	7,2	8,2	0,7	94,2	5,7	4,0	5,3	8,5

## II.5. DISCUSSIÓ

### II.5.1. Característiques fisiològiques i de càrrega

#### *Valors màxims*

El *consum màxim d'oxigen* ( $VO_{2max}$ ) és un indicador vàlid de la màxima capacitat del sistema de transport de l'oxigen durant l'exercici físic; quan s'expressa en relació amb el pes corporal es coneix com a potència aeròbica màxima. Els valors trobats ( $57,0 \pm 6,0$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) indiquen que els jugadors de tennis tenen una potència aeròbica màxima entre moderada i alta, d'acord amb la naturalesa predominantment aeròbica de l'esport; tanmateix, aquests valors també indiquen que la potència aeròbica no representa el factor limitant del rendiment físic en el tennis. Tot i que tenir una adequada condició aeròbica és un requisit bàsic en tennistes de competició, un augment excessiu d'aquest paràmetre podria anar en contra de les capacitats de potència i velocitat determinants per al rendiment. Els valors observats en el present estudi denoten una notable adaptació a l'esforç aeròbic; així (veure Taula II.1 i Taula II.2), són superiors als valors registrats en subjectes sedentaris en les mateixes franges d'edat ( $47-56$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) (Wilmore i Costill, 2007), són també superiors als valors observats en grups d'esportistes d'especialitats de potència ( $40-55$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) o esports acrobàtics ( $52-58$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). En canvi, són sensiblement inferiors als registrats en esportistes de resistència (atletes de fons:  $60-85$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; esquí nòrdic:  $65-94$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; o ciclisme:  $62-74$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>), la qual cosa indica la importància relativa d'aquest paràmetre en el tennis en relació a altres esports en que la potència aeròbica màxima és determinant. D'altra banda, els valors observats són similars als descrits en esportistes de jocs com el futbol ( $54-64$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) o l'handbol ( $55-60$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) (Taula II.11) i en jugadors de tennis en proves de laboratori (Solanelas i Rodríguez, 1991; Bergeron et al., 1991; Solanelas, 1995; Smekal et al., 2000; Girard et al., 2006; Dansou et al., 2001; Smekal et al., 2003; Fernández et al., 2005) (Taula II.10). Existeixen poques dades d'avaluació ergoespiromètrica realitzada a la pista de tennis amb proves específiques de camp i, a més, mostren resultats heterogenis; així, Smekal et al. (2000), amb un protocol equiparable amb el del SET – Test obtenen valors inferiors ( $52,4 \pm 3,7$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) als del present estudi, i Girard et al. (2006), amb un protocol progressiu maximal realitzat a la pista i basat en la realització de patrons de moviments repetits simulant el joc, obtenen en canvi valors superiors ( $63,8 \pm 5,7$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). És possible que



algunes d'aquestes diferències vinguin donades per la utilització de diferents protocols, diferents equipaments i materials i el diferent nivell dels jugadors de les respectives mostres. No obstant, els valors publicats a la literatura (Taula II.10) oscil·len entre  $54,3 \pm 1,9$  i  $65,9 \pm 6,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  la qual cosa indica un perfil relativament homogeni dels tennistes de competició. No s'ha trobat cap estudi en que es realitzi una avaluació específica en una mostra tan àmplia de jugadors de competició.

Del nivell de potència aeròbica dels jugadors de competició se'n desprèn la necessitat de tenir una condició aeròbica prou elevada. König et al. (2000) observa que el consum màxim d'oxigen és marcadament superior en tennistes de nivell mundial que en tennistes de nivell recreatiu. Cal tenir en compte que la durada d'un partit de tennis pot oscil·lar entre 1 a 5 hores i que, tot i que la via anaeròbica alàctica té un paper notable en l'abastament d'energia (Groppel et al., 1992; Therminarias et al., 1991; Elliott et al., 1985; Smekal et al., 2001; Chandler, 1995), la síntesi d'ATP i fosfocreatina (Pc) en tennistes entrenats es fa principalment per mecanismes aeròbics (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985, Chandler, 1995). Kovacs (2006) observa que tenir una bona capacitat aeròbica és important per a la recuperació durant el joc i entre diferents sessions, el mateix autor indica que per recuperar-se ràpidament entre punts i poder mantenir una intensitat de joc elevada és recomanable un  $\text{VO}_{2\text{max}}$  superior a  $50 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , especialment en jugadors de competició. Per altra banda, cal recordar que, tot i la notable importància que adquireix la condició aeròbica en el tennis, es tracta d'un esport amb un elevat component de potència i velocitat. Un excessiu desenvolupament de les capacitats aeròbiques podria anar en detriment de les capacitats anaeròbiques alàctiques determinants del rendiment en tennis, reduint els nivells de velocitat i potència; en aquesta línia, König et al. (2000) observen que una millora del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  per sobre de  $65 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en jugadors masculins no és desitjable i que pot anar acompanyada d'una pèrdua de força, velocitat i potència.

Els valors de *frequència cardíaca màxima (FCmax)* registrats ( $193,7 \pm 7,6 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) indiquen clarament la sol·licitació màxima de la prova, semblants com són als registrats en proves de resistència específica en pista ( $190,0 \pm 5,2$  i  $192,9 \pm 9 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Girard et al., 2006; Smekal et al., 2000), a les obtingudes en proves de laboratori (Taula II.12) i a les obtingudes en tests específics de camp en altres esports de raqueta com el bàdminton ( $195 \pm 6$  i  $193,7 \pm 7,6 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Wonisch et al., 2003).

Els *paràmetres de càrrega (durada i període)*, a l'igual que succeeix amb els paràmetres fisiològics màxims, mostren l'homogeneïtat de la mostra i determinen el

perfil corresponent a un grup de tennistes de competició. Atès que no existeixen dades sobre aquests paràmetres, ja que es tracta d'una prova novedosa, s'aporten valors de referència en forma de percentils (Taula II.9) de les principals variables de la valoració funcional realitzada.

**Taula II.10.** Recull de valors de consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) i consum d'oxigen en el primer i segon llindar ventilatori ( $VO_2$  LIV1 i  $VO_2$  LIV2) en jugadors de competició.

Referència	Edat (anys)	n	Prova	$VO_{2max}$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	LIV1 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	LIV2 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
Elliot et al. (1985)	20,3 ± 1,3	8	Cinta	65,9 ± 6,3	-	-
Bergeron et al. (1991)	20,3 ± 2,5	10	Cinta	58,5 ± 9,4	-	-
Solanellas i Rodríguez (1991)	17-19	50	Cinta	58,2 ± 3,1	-	51,3 ± 1,8
Solanellas i Rodríguez (1991)	>19	10	Cinta	58,9 ± 4,5	-	52,0 ± 7,2
Christmass et al. (1998)	24 ± 2	7	Cinta	53,4 ± 1,8	-	-
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Pista	52,4 ± 3,7	-	47,8 ± 4,8
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Cinta	58,3 ± 4,3	-	44,4 ± 4,3
Dansou et al. (2001)	26 ± 5	10	Cinta	58,5 ± 2,2	-	-
Smekal et al. (2003)	26,0 ± 3,7	20	Cinta	57,3 ± 5,1	-	45,2 ± 5,0
Davey et al. (2003)	21,7 ± 1,0	5	<i>Shuttle run test*</i>	58,0 ± 1,7	-	-
Fernández et al. (2005)	23,9 ± 2,5	6	Cinta	58,2 ± 2,2	-	-
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Pista	63,8 ± 5,7	44,2 ± 5,5	53,8 ± 5,5
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Cinta	58,9 ± 5,3	43,4 ± 5,8	50,5 ± 7,6
Murias et al. (2007)	16,9 ± 2,3	4	Cinta	55,5 ± 2,3	-	-
Present estudi	18,2 ± 1,3	38	Pista	57,0 ± 6,0	36,8 ± 4,2	48,2 ± 5,4

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; \*mètode indirecte per estimar el  $VO_{2max}$ .

**Taula II.11.** Valors de consum màxim d'oxigen en grups d'esportistes i no esportistes de gènere masculí (Adaptat de Costill i Willmore, 2007).

Grup	Edat (anys)	VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
<b><i>No esportistes</i></b>		
	10 – 19	47 – 56
	20 – 29	43 – 52
	30 – 39	39 – 48
	40 – 49	36 – 44
<b><i>Esports de resistència</i></b>		
Ciclisme	18 – 26	62 – 74
Rem	20 – 35	60 – 72
Esquí nòrdic	20 – 28	65 – 94
Natació	10 – 25	50 – 70
Atletisme de fons	18 – 39	60 – 85
<b><i>Jocs esportius</i></b>		
Beisbol	18 – 32	48 – 56
Basquetbol	18 – 30	40 – 60
Futbol americà	20 – 36	42 – 60
Hoquei sobre gel	10 – 30	50 – 63
Futbol	22 – 28	54 – 64
Handbol	-	55 – 60
<b><i>Esports de combat</i></b>		
Lluita	20 – 30	52 – 65
Judo	-	55 – 60
Esgrima	-	45 – 50
<b><i>Esports de potència</i></b>		
Llançament de pes	18 – 22	40 – 46
Halterofília	20 – 30	38 – 52
Salt amb perxa	-	45 – 50
Salt de llargada	-	50 – 55
<b><i>Esports tècnics acrobàtics</i></b>		
Gimnàstica artística	18 – 22	52 – 58
Patinatge artístic	-	50 – 55

**Taula II.12.** Recull de valors de freqüència cardíaca màxima (FCmax) i freqüència cardíaca en el primer i segon llindar ventilatori (FC LIV1 i FC LIV2) en tennistes masculins de competició.

Referència	Edats (anys)	n	Prova	FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	FC LIV1 (bat·min <sup>-1</sup> )	FC LIV2 (bat·min <sup>-1</sup> )
Elliot et al. (1985)	20,3 ± 1,3	8	Cinta	192 ± 11	-	-
Bergeron et al. (1991)	20,3 ± 2,5	10	Cinta	195,6 ± 6,3	-	-
Solanellas (1995)	>19	10	Cinta	189,8 ± 9,0	152,5 ± 7,6	176,9 ± 9,1
Christmass et al. (1998)	24 ± 2	7	Cinta	189 ± 3	-	-
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Cinta	193 ± 10	-	165 ± 16
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Pista	192 ± 9	-	175 ± 11
Dansou et al. (2001)	26 ± 5	10	Cinta	188 ± 2	-	-
Smekal et al. (2003)	26,0 ± 3,7	12	Cinta	193 ± 9	-	173 ± 11
Fernández et al. (2005)	23,9 ± 2,5	6	Cinta	191 ± 4	-	-
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Cinta	194,1 ± 7,7	161,1 ± 9,2	179,3 ± 9,3
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Pista	190,0 ± 5,2	158,8 ± 9,3	174,9 ± 5,4
Present estudi	18,2 ± 1,3	38	Pista	193,7 ± 7,6	153 ± 11,4	177,0 ± 9,1

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ .

### *Llindars ventilatoris*

El llindar anaeròbic és un índex important de l'habilitat del sistema cardiovascular per aportar oxigen a un ritme adequat per evitar la anaerobiosis muscular durant l'exercici (Wasserman et al., 2005). El fet de tenir un elevat llindar anaeròbic proporciona a l'esportista la possibilitat de realitzar un esforç sostingut d'alta intensitat sense que s'activin de forma significativa els processos anaeròbics, amb els canvis metabòlics que això representa, la qual cosa permet treballar econòmicament a una major intensitat de càrrega.

Els valors de  $VO_2$  registrats en el segon llindar ventilatori ( $VO_2$  LIV2) ( $48,2 \pm 5,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) són clarament superiors als trobats en esportistes joves d'àmbit recreatiu ( $35,9 \pm 5,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Smith et al., 1996), però són inferiors als trobats en esportistes de resistència de nivell competitiu ( $59,0 \pm 1,1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Lucia et al., 1999). De la mateixa manera, el percentatge del  $VO_{2\text{max}}$  en que es dona el LIV2 en el present estudi ( $84,6 \pm 3,3 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) és superior al registrat en subjectes sedentaris ( $50 - 60 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) (García Manso et al., 2006), o als trobats en esportistes d'àmbit recreatiu ( $78,9 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) (Smith et al., 1996), però en canvi són netament inferiors als registrats en atletes de fons d'elit ( $94,8 \pm 2,9 \%$ ) (Jousselin i Stephan en García Manso et al., 2006). Els valors trobats en jugadors de tennis de competició en proves de laboratori (de  $44,4 \pm 4,3$  a  $52,0 \pm 7,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Taula II.10) estan en consonància als trobats en el present estudi ( $48,2 \pm 5,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Tot i que existeixen menys dades en proves específiques de camp, Smekal et al. (2000) en una prova específica també troba valors molts similars ( $47,8 \pm 4,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), mentre que Girard et al. (2006) observa valors superiors ( $53,8 \pm 5,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Tot i que la mitjana global d'intensitat d'un partit de tennis és força inferior al  $VO_{2\text{max}}$ ,  $-76,7 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$  segons Smekal et al. (2003) i només  $51,6 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$  en el present estudi— tradicionalment no s'ha donat molta importància a l'avaluació dels paràmetres submàxims, contràriament amb el que succeeix amb l'avaluació del  $VO_{2\text{max}}$ . L'avaluació dels llindars ventilatoris pot aportar una informació valuosa sobre la resistència del jugador de competició, cal remarcar que el  $VO_{2\text{max}}$  i el LIV2 mostren la mateixa capacitat predictiva del rendiment en jugadors de tennis; l'estudi de regressió múltiple realitzat en l'apartat anterior (Taula I.18) mostra com tant el  $VO_{2\text{max}}$  com el LIV2 arriben a explicar pràcticament el mateix percentatge ( $53\%$  i  $56\%$ ) de la variància de rendiment (ITN). El mateix succeeix amb l'anàlisi de regressió simple en que tant el

LIV2 com el  $VO_{2max}$  obtenen la mateixa correlació ( $r = 0,55$ ;  $p = 0,001$ ) amb la variable de rendiment (ITN).

El primer llindar ventilatori (LIV1) marca una zona a partir de la qual la contribució del metabolisme anaeròbic comença a ser rellevant en el subministrament d'energia al múscul. D'igual manera que succeeix amb el LIV2, els valors registrats en el LIV1 ( $36,8 \pm 4,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  al  $64,5 \pm 4,5 \%$  del  $VO_{2max}$ ) són superiors als trobats en subjectes físicament actius d'àmbit recreatiu ( $23,4 \pm 4,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  al  $51,5 \pm 6,6 \%$  del  $VO_{2max}$ ) (Smith et al., 1996), però netament inferiors als percentatges del  $VO_{2max}$  trobats en atletes de fons d'elit ( $86,7 \pm 4,1\%$ ) (Jousselin i Stephan en García Manso et al., 2006). Són pocs els estudis que avaluen aquest paràmetre en tennistes de competició, Girard et al. (2006) troba uns valors superiors ( $44,2 \pm 5,5$  i  $43,4 \pm 5,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) als trobats en el present estudi. Els valors de FC en el LIV1 ( $153 \pm 11,4 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) són semblants als trobats per Solanellas (1995) ( $152,5 \pm 7,6 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) però inferiors als trobats per Girard et al. (2006) ( $161,1 \pm 9,2$  i  $158,8 \pm 9,3 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

Pel que fa a la freqüència cardíaca registrada en el segon llindar ventilatori ( $177,0 \pm 9,1 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ), està en consonància amb els valors observats en altres proves específiques ( $175 \pm 11 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Smekal et al., 2000), ( $174,9 \pm 5,4 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Girard et al., 2006) i també són similars als observats en proves de laboratori ( $176,9 \pm 9,1 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Solanellas, 1995), ( $179,3 \pm 9,3 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Girard et al., 2006), no obstant són lleugerament inferiors als observats per Smekal et al. (2000) ( $165,16 \pm 16 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i Smekal et al. (2003) ( $173 \pm 9,3 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) també en proves de laboratori. Per altra banda és superior a la trobada en subjectes físicament actius d'àmbit recreatiu (Smith et al., 1996) ( $169 \pm 15 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$  al  $88,1 \%$  de la  $FC_{max}$ ).

### ***Punt de deflexió de la freqüència cardíaca***

La freqüència cardíaca és un paràmetre cardiovascular senzill de mesurar i reflexa la intensitat de l'esforç que ha de fer el sistema circulatori per satisfer les demandes incrementades de la activitat. Conconi et al. (1982) van trobar un punt de deflexió de la FC en funció de la velocitat de cursa (PDFC) i el van relacionar amb la velocitat en que apareixia el llindar de lactat. No existeixen antecedents de determinació del PDFC en una prova específica en tennistes i, per tant, no existeixen valors de referència. Els valors de PDFC registrats ( $178,6 \pm 8,7 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ) són superiors als trobats en ciclistes  $-169,4 \pm 9,4 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$  (Conconi et al., 1996);  $171,7 \pm 9,6 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$  (Bodner et al.,

2002);  $165 \pm 4$  bat·min<sup>-1</sup> (Lucía et al., 2001)–, però semblants als obtinguts amb protocols que utilitzen la cursa  $-179 \pm 10$  bat·min<sup>-1</sup> (Pokan et al., 1998),  $177,0 \pm 6,0$  bat·min<sup>-1</sup> (Bunc et al., 1988) o  $178 \pm 7,7$  bat·min<sup>-1</sup> (Petit et al., 1997 en Bodner i Rhodes, 2000). Possiblement aquest fet és degut a que en les proves realitzades en ciclisme la massa muscular implicada és menor respecte a les proves realitzades amb cursa o en el cas de el SET–Test, en que s'utilitza activament tant el tren superior (copejaments), com el tren inferior (desplaçaments). Aquests valors també coincideixen amb els publicats per Wonisch et al. (2003) ( $179 \pm 5,5$  bat·min<sup>-1</sup>), qui determinen la validesa del PDFC per avaluar el rendiment aeròbic en jugadors de bàdminton.

### II.5.2. Resultats d'efectivitat tècnica

Durant la realització de les proves i amb la intenció d'obtenir informació sobre la precisió i potència dels cops es va realitzar una avaluació d'efectivitat tècnica (ET) mitjançant el registre del percentatge d'encerts i errors. Després d'una primera fase d'adaptació i una segona de màxima eficàcia, l'evolució de l'ET durant la prova és inversament proporcional a la intensitat. Els valors globals d'ET trobats (% errors:  $36,9 \pm 9,1$ ; % encerts:  $63,1 \pm 9,1$ ) mostren un elevat grau de precisió que es correspon a un nivell de competició, aquestes dades es van obtenir a partir d'un nombre important de cops per prova ( $125,5 \pm 29,1$ ). Tot i no tractar-se d'una variable fisiològica, s'observa una dispersió baixa dels resultats, la qual cosa ens indica un perfil homogeni de la mostra. Els resultats estan en consonància als obtinguts en altres proves específiques realitzades en tennistes de competició; així, Smekal et al. (2000), en una prova amb un protocol semblant al SET – Test mostra valors lleugerament inferiors (% errors  $40,9 \pm 11,7$ ). Vergauwen et al. (1997), en una prova per avaluar el rendiment dels cops simulant les condicions d'un partit en diferents situacions (neutral, defensiva i ofensiva) (Leuven Tennis Performance Test, LTPT), obté millors percentatges d'errors en una situació neutral de joc (jugadors nacionals:  $26 \pm 4$  %; jugadors internacionals:  $16 \pm 3$  %). En canvi, en una situació defensiva, més semblant a la dinàmica que es dona en el SET –Test, els percentatges van ser semblants (jugadors nacionals  $36 \pm 2$  %; jugadors internacionals  $27 \pm 2$  %). Degut a la moderada intensitat de participació, els primers períodes del SET – Test són equiparables a una situació neutral de joc en la qual els jugadors assoleixen elevats percentatges d'encerts ( $70,4 \pm 12,1$  %); l'augment progressiu de la intensitat en el decurs de la prova fa que s'arribi a un nivell de



participació equiparable a una situació de joc defensiva de gran dificultat, en la que s'assoleixen nivells pobres d'encerts ( $35,7 \pm 20,2$  %). En l'evolució de l'ET per període s'observen tres fases diferenciades (Figura II.14). Una primera fase (1r i 2n períodes) en que, tot i que la intensitat de càrrega és la més baixa ( $9$  i  $11$  tirs·min<sup>-1</sup>), el nivell d'ET no és el més elevat, tot i que s'observa una tendència a la millora. Possiblement aquests dos primers períodes correspondrien a una primera fase d'adaptació a la tasca. Posteriorment (3r i 4t períodes) s'observa una segona fase de màxima eficàcia tècnica, on la intensitat de moderada a mitjana ( $13$  i  $15$  tirs·min<sup>-1</sup>) no afecta al rendiment tècnic. Finalment s'observa una tercera i última fase (del 5è al 9è períodes), on es produeix un descens progressiu de l'ET degut a l'elevada intensitat de la prova i a l'acúmulo de fatiga dels períodes anteriors.

### ***Punt de deflexió de l'efectivitat tècnica***

Com a paràmetre d'efectivitat tècnica (ET) es va utilitzar un punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) que determina el moment a partir del qual el jugador es troba per sota de la seva mitjana d'efectivitat tècnica global i ja no tornava a superar aquest valor mitjà. Aquest punt es va donar en els períodes finals de la prova (període:  $5,2 \pm 1,1$  al  $79,6 \pm 14,6$  % del màxim) i, tal i com es descriu en l'apartat de validesa interna, existeix una relació significativa ( $r = 0,46$ ,  $p = 0,004$ ) amb el període on s'assoleix el segon llindar ventilatori (període  $4,6 \pm 0,8$  al  $70,0 \pm 9,9$  % del màxim). Per tant, podem dir que el PDET assenyala una zona a partir de la qual el jugador disminueix notablement el seu rendiment en precisió i potència dels cops, degut a la fatiga al llarg de la prova i a l'elevada intensitat dels últims períodes. En aquesta línia Vergauwen et al. (1998) i Davey et al. (2002) observen que la fatiga afecta al comportament del jugador amb un descens de l'efectivitat tècnica dels cops. Aquest paràmetre d'efectivitat tècnica és també inèdit i no existeixen resultats de referència. Possiblement aquest índex determini l'habilitat del jugador per mantenir el seu nivell d'ET en condicions de fatiga general, muscular i metabòlica.

## II.6. CONCLUSIONS

- Existeixen poques dades d'avaluació ergoespiromètrica realitzada a la pista de tennis i mitjançant proves específiques de camp; tampoc no s'ha trobat cap estudi que dugui a terme una avaluació específica en una mostra tan àmplia de jugadors de competició com en el present estudi. S'aporten valors de referència dels principals paràmetres avaluats.
- Els jugadors de tennis de competició presenten valors de  $VO_{2max}$  ( $57,0 \pm 6,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) entre moderats i alts d'acord amb la naturalesa aeròbica de l'esport, tot i que el nivell de potència aeròbica no representa el paràmetre més determinant.
- Tot i que un adequat nivell dels llindars ventilatoris permetrà al jugador participar en el joc de manera més eficient i que tant el  $VO_{2max}$  com el LIV2 obtenen els mateixos nivells de validesa predictiva del rendiment competitiu, tradicionalment, en l'avaluació ergoespiromètrica en tennis s'ha donat poca importància al registre de paràmetres submàxims.
- Els valors dels LIV1 i LIV2 ( $36,8 \pm 4,2$  i  $48,2 \pm 5,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) en jugadors de tennis de competició són superiors als observats en subjectes físicament actius però inferiors als valors observats en esportistes de resistència.
- Els valors globals d'efectivitat tècnica trobats (% encerts:  $63,1 \pm 9,1$ ) mostren un elevat nivell de precisió i potència i indiquen el perfil dels tennistes de competició en relació a aquesta variable.
- En l'evolució de l'ET durant la prova s'observen tres fases: una primera fase d'adaptació a la tasca, una segona de màxima eficàcia i una tercera de deteriorament de l'ET; globalment, l'ET evoluciona de manera inversament proporcional a la intensitat de l'esforç.

**Capítol III. ANÀLISI DE LES DEMANDES  
BIOENERGÈTIQUES DE LA COMPETICIÓ  
INDIVIDUAL**



### **III. ANÀLISI DE LES DEMANDES BIOENERGÈTIQUES DE LA COMPETICIÓ INDIVIDUAL**

#### **III.1. Objectius**

#### **III.2. Disseny de la investigació**

#### **III.3. Material i mètodes**

III.3.1. Subjectes

III.3.2. Material

III.3.3. Procediment

III.3.4. Paràmetres

III.3.5. Anàlisi estadística

#### **III.4. Resultats**

III.4.1. Resultats dels partits

III.4.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

III.4.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

#### **III.5. Discussió**

III.5.1. Resultats dels partits

III.5.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

III.5.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

#### **III.6. Conclusions**

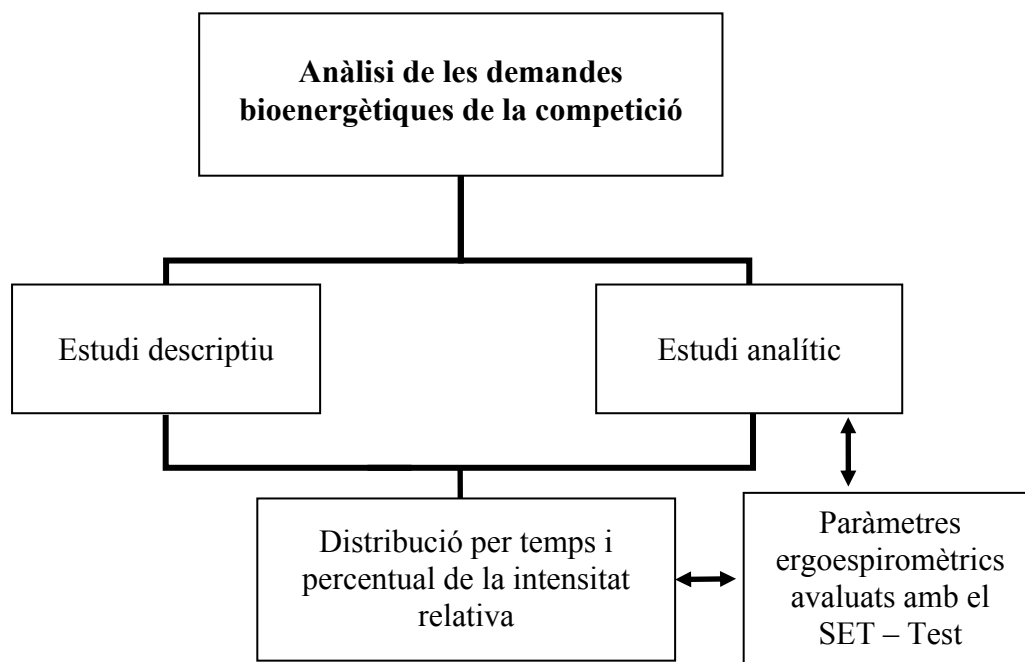
**III.1. OBJECTIUS**

L'objectiu primari d'aquest tercer estudi és:

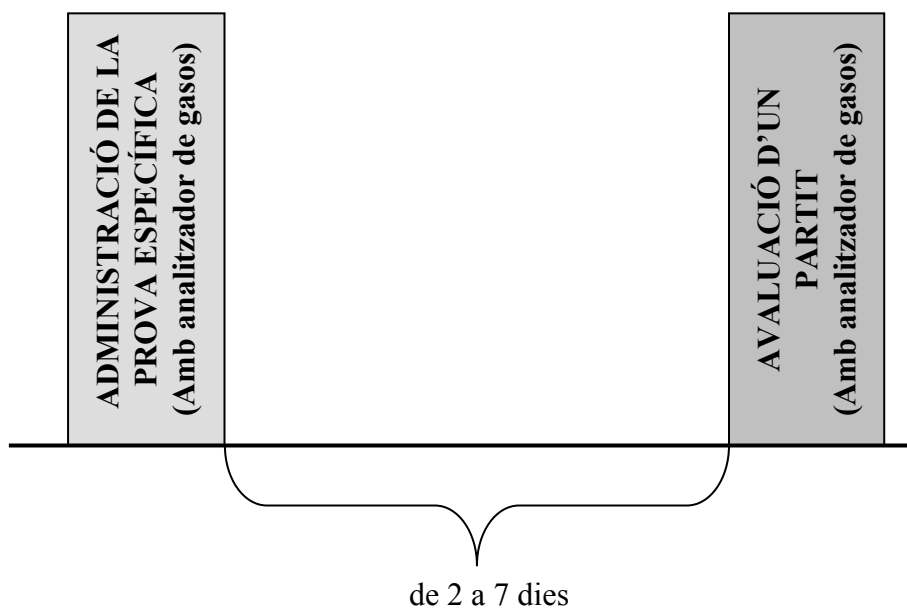
- Caracteritzar les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals en jugadors de competició per tal d'establir un model de rendiment i, en conseqüència, d'entrenament específic en funció de les demandes funcionals de l'esport.

### III.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ

En aquest tercer estudi es van determinar les demandes a nivell bioenergètic d'un partit de tennis d'individuals (Figura III.1). Un grup de 20 tennistes –dels qui varen participar en l'estudi anterior– va jugar deu partits de competició simulada al millor de dos sets cadascun i es van registrar paràmetres ergoespiromètrics amb un primer objectiu de realitzar una anàlisi descriptiva. Els partits es van jugar amb un interval d'entre 2 i 7 dies després d'haver realitzat la prova específica (Figura III.2). Posteriorment es va realitzar un estudi analític relacionant els paràmetres ergoespiromètrics obtinguts amb els partits amb els mateixos paràmetres obtinguts pels mateixos subjectes ( $n = 20$ ) i avaluats amb el SET – Test, obtenint d'aquesta manera la distribució per temps i percentual de la intensitat relativa dels partits.



**Figura III.1.** Esquema descriptiu del tercer estudi de que consta la recerca.



**Figura III.2.** Cronograma de l'administració de les proves i avaluació dels partits.



**III.3. MATERIAL I MÈTODES****III.3.1. Subjectes**

Van participar 20 jugadors de la mostra total de 38. La Taula III.1 resumeix les seves característiques generals. Tots els jugadors es trobaven entre el nivell ITN 1 i 4, corresponent a uns nivells d'elit a avançat: cinc jugadors amb ITN 1, nou jugadors amb un ITN 2, cinc jugadors amb un ITN 3 i 1 jugador amb un ITN 4. Quatre dels subjectes de la mostra tenien classificació internacional ATP i els setze restants tenien un nivell nacional.

**Taula III.1.** Dades generals dels subjectes.

	Edat (anys)	Talla (cm)	Pes (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Volum d'entrenament (h/setmana)	
					Tècnic	Físic
$\bar{x}$	18,0	179,0	71,9	22,2	3,9	1,7
s	1,2	8,4	9,5	1,4	0,2	0,5
màx	20,3	194,0	92,0	24,4	4	2
mín	16,5	167,0	56,2	18,4	3	1
rang	3,8	27	35,8	6	1	1

**III.3.2. Material**

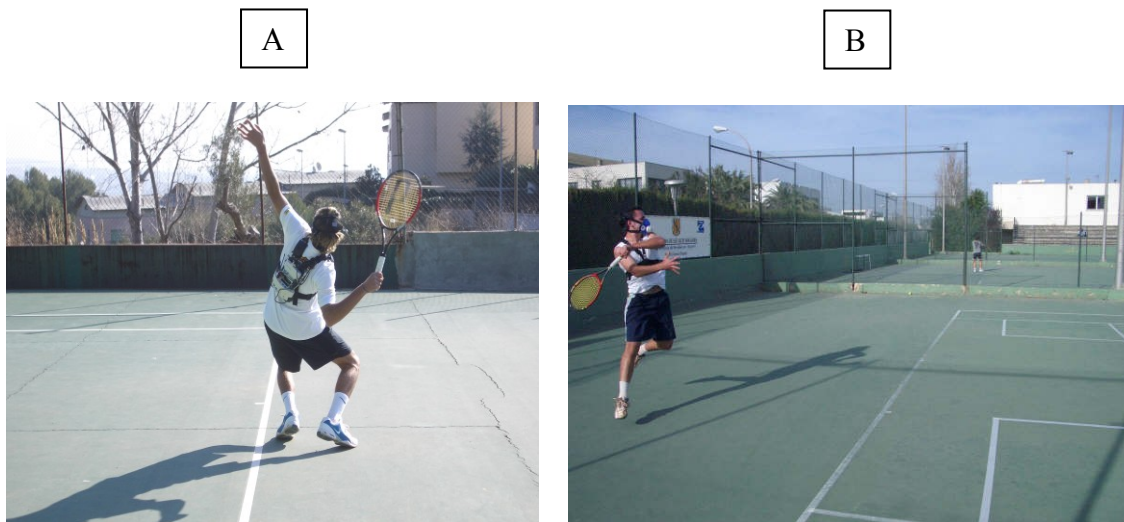
- **Analitzador de gasos portàtil telemètric** (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Itàlia), utilitzat en l'aplicació de la tercera prova (T3).
- **Cardiotacòmetres** (Polar S-810 i S-610, Finlàndia).
- **Pilotes de tennis** (Babolat Team, Japó).
- **Cronòmetres digitals** (Casio, Japó).
- **Programari informàtic.** Programes de funcionalitat específica, programes d'integració i sistemes operatius: Microsoft Word 2002, Microsoft Excel 2002, SPSS 13.0 per a Windows, Data Management Software K4b<sup>2</sup> versió 7.4b, Polar Precision Performance versió 4.03.043, Method Validator versió 1.19, TCD (TwoCampsDisplay) Sport Suport 2006.
- **Ordinadors portàtils** (Acer TravelMate 290, Taiwan i Dell Inspiron, Irlanda).

### III.3.3. Procediment

Amb l'objectiu de determinar les demandes cardiorespiratòries i bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals i comparar els resultats obtinguts amb els paràmetres ergoespiromètrics trobats en la prova progressiva, una submostra de jugadors va realitzar 20 sets de competició simulada amb la disputa de 10 partits de dos sets de durada. Els partits es van realitzar amb un interval mínim de 2 a 7 dies després d'haver realitzat la prova específica (Figura III.2). Els partits van ser al millor de dos sets, de manera que un dels jugadors portava l'analitzador de gasos portàtil durant el primer set (registre de dades cardiorespiratòries i metabòliques) mentre que l'altre jugador portava un cardiotacòmetre (registre de la freqüència cardíaca). Durant el segon set es realitzava un canvi del material de registre entre els jugadors (Taula III.2). D'aquesta manera es van obtenir dades relatives a 20 sets administrats amb analitzador de gasos portàtil i 20 sense analitzador. Els partits es van realitzar seguint les directrius marcades pel reglament oficial de tennis (International Tennis Federation, 2007), en superfícies de velocitat mitjana (Green set<sup>®</sup>) i pilotes homologades per la ITF (Babolat Team<sup>®</sup>). Els partits es van iniciar amb pilotes noves. Tots els partits van estar precedits d'un escalfament específic de la mateixa manera que es realitza abans d'una competició. Els jugadors podien veure aigua i begudes isotòniques en els canvis de camp. Tant l'entrenador com els propis investigadors van animar als jugadors per tal que s'esforcessin al màxim durant el desenvolupament dels partits i simulessin de la millor manera les condicions pròpies de la competició.

**Taula III.2.** Esquema de la distribució de l'analitzador de gasos i cardiotacòmetre en els partits avaluats.

Jugador	1r set	2n set
1	Analitzador de gasos	Cardiotacòmetre
2	Cardiotacòmetre	Analitzador de gasos



**Figura III.3.** Imatges de les accions de servei (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant el registre ergoespiromètric dels partits.

### III.3.4. Paràmetres

#### *Paràmetres ergomètrics o de càrrega*

- Durada dels sets (min:s).

#### *Paràmetres fisiològics*

- $\text{VO}_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ): consum d'oxigen.
- $\text{VO}_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ): consum d'oxigen en relació al pes corporal actual del subjecte.
- $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ): consum màxim d'oxigen en relació al pes del subjecte.
- $\text{VCO}_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ): producció de diòxid de carboni.
- $\text{V}_E$  ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ): ventilació pulmonar o volum minut respiratori.
- **R**: quocient respiratori ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ).
- $\text{V}_E / \text{VO}_2$ : equivalent respiratori de l'oxigen ( $\text{EqO}_2$ ).
- $\text{V}_E / \text{VCO}_2$ : equivalent respiratori del diòxid de carboni ( $\text{EqCO}_2$ ).
- **FE $\text{O}_2$** : fracció espirada d'oxigen (%). Indica la concentració d' $\text{O}_2$  en l'aire espirat (%).
- **PET $\text{O}_2$**  (mmHg): pressió d'oxigen al final de la respiració (telexpiratòria) en mmHg.
- **FE $\text{CO}_2$**  (mmHg): fracció espirada de diòxid de carboni (%). Indica la concentració de  $\text{CO}_2$  en l'aire espirat.
- **PET $\text{CO}_2$**  (mmHg): pressió de diòxid de carboni al final de cada espiració en mmHg.

- **Primer llindar ventilatori (LIV1):** primer llindar ventilatori o llindar aeròbic.
- **Segon llindar ventilatori (LIV2):** segon llindar ventilatori o llindar anaeròbic.
- **FC ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca.
- **FCmax ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca màxima.

#### *Nivell competitiu del jugador*

- **ITN (escala de 1 a 10):** *Internacional Tennis Number*.

#### **III.3.5. Anàlisi estadística**

Es van calcular els paràmetres descriptius bàsics: mitjana ( $\bar{x}$ ), desviació estàndard (s), valors extrems (màxim i mínim) i el rang . Es va aplicar la prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnov a totes les variables de l'estudi, prova que permet la comparació de la distribució acumulada d'una variable contínua amb les distribucions teòriques de la llei normal.

**III.4. RESULTATS****III.4.1. Resultats dels partits**

Es van analitzar un total de 170 jocs distribuïts en 20 sets i 10 partits (Taula III.3), dels quals 4 (40% del total) es van acabar amb dos sets a zero i els 6 restants (60% del total) amb empat a 1 set. Dels 20 sets realitzats, 6 d'ells (30% del total) van ser guanyats pel jugador que portava l'analitzador de gasos i els 14 restants realitzats (70% del total) van ser guanyats pel jugador que no portava l'analitzador de gasos. La durada mitjana dels sets va ser de  $31:03 \pm 11:23$  min:s (entre 15:15 i 59:00).

**Taula III.3.** Resultats dels partits i durada dels sets disputats amb i sense analitzador de gasos portàtil.

n <sup>o</sup>	Partit		Resultat		Durada	
	Jugadors (núm.)	1r set* (jocs)	2n set (jocs)	Final (sets)	1r set (min:s)	2n set (min:s)
1	1 vs. 2	4/6	6/0	1 – 1	35:46	15:00
2	3 vs. 4	6/2	6/3	2 – 0	25:50	22:05
3	5 vs. 6	6/0	6/0	2 – 0	19:00	15:30
4	7 vs. 8	2/6	6/4	1 – 1	21:30	23:30
5	9 vs.10	5/7	6/2	1 – 1	56:49	32:30
6	11 vs. 12	3/6	3/6	0 – 2	40:50	30:14
7	13 vs. 14	2/6	3/6	0 – 2	24:30	24:00
8	15 vs. 16	3/6	6/3	1 – 1	30:17	27:00
9	17 vs. 18	4/6	6/4	1 – 1	35:45	31:48
10	19 vs. 20	6/1	1/6	1 – 1	24:58	32:25

\*Durant el primer set portava l'analitzador de gasos el primer dels dos jugadors indicats.

#### III.4.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

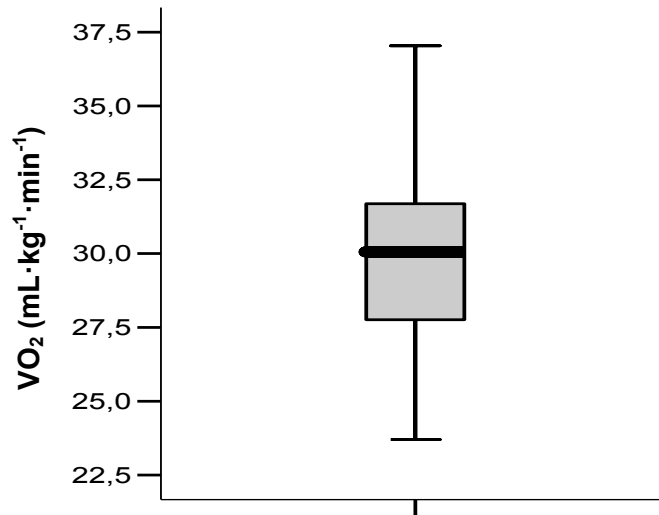
Per tal de determinar la intensitat absoluta dels partits es van monitoritzar de forma contínua els diferents paràmetres ergoespiromètrics dels jugadors durant el joc. Dels valors descriptius d'aquests paràmetres (Taula III.4, Taula III.5 i Taula III.6) se'n desprèn que la sol·licitació funcional en els 10 partits va ser moderada. També es va determinar la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmetrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) avaluats amb el SET – Test dins un interval de 2 a 7 dies previs a la disputa dels partits. S'observa que aquesta intensitat relativa de joc queda clarament per sota de la intensitat corresponent al  $VO_{2max}$  i al LIV2 i es més propera a la intensitat del LIV1, tot i que no arriba a assolir aquest nivell. La mitjana dels valors màxims sobrepassen la intensitat del LIV1 i arriben a la intensitat aproximada del LIV2. Els valors mitjans mínims són reduïts i queden allunyats de les intensitats dels llindars ventilatoris i del  $VO_{2max}$ .

**Taula III.4.** Valors ergoespiromètrics mitjans registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmetrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

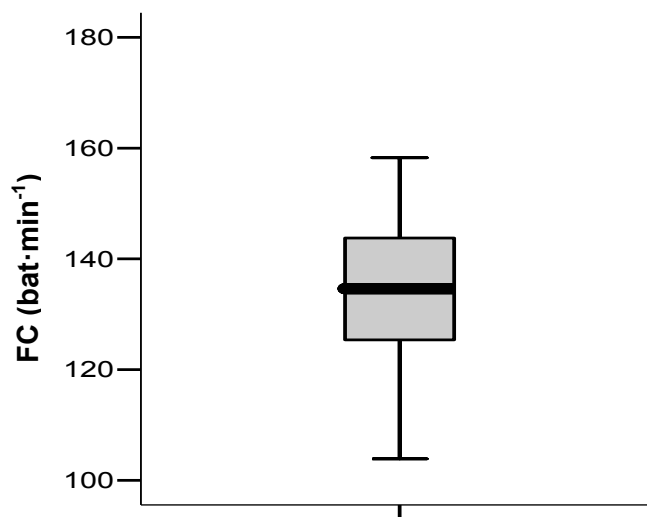
Variables	Valors mitjans	% $VO_{2max}$	% LIV1	% LIV2
$VO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	$2151 \pm 362,5$ (1544 – 2667)	$51,6 \pm 8,6$ (41,1 – 70,1)	$80,7 \pm 15,2$ (64,2 – 115,8)	$60,7 \pm 11,3$ (47,3 – 84,9)
$VO_2$ ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	$29,9 \pm 3,7$ (23,7 – 37,0)	$51,6 \pm 8,6$ (41,1 – 70,1)	$80,7 \pm 15,2$ (64,2 – 115,8)	$60,7 \pm 11,3$ (47,3 – 84,9)
$VCO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	$1996,4 \pm 312,9$ (1456,5 – 2437,9)	$41,6 \pm 7,8$ (28,6 – 57,0)	$82,6 \pm 15,0$ (65,6 – 110,3)	$56,6 \pm 9,9$ (43,4 – 77,9)
$V_E$ ( $L \cdot min^{-1}$ )	$54,9 \pm 8,6$ (43,5 – 71,4)	$40,1 \pm 6,2$ (30,7 – 49,1)	$83,8 \pm 14,8$ (63,7 – 112,2)	$56,9 \pm 9,5$ (43,0 – 72,8)
FC ( $bat \cdot min^{-1}$ )	$138,1 \pm 14,5$ (123,5 – 173,8)	$71,5 \pm 6,5$ (63,4 – 86,0)	$89,7 \pm 12,5$ (70,7 – 123,7)	$76,9 \pm 9,8$ (56,8 – 96,9)
R	$0,94 \pm 0,03$ (0,89 – 1,02)	$82,8 \pm 7,9$ (70,9 – 97,7)	$104,3 \pm 7,2$ (92,8 – 117,5)	$95,0 \pm 7,5$ (84,6 – 113,5)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la distribució dels valors mitjans de consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) (Figura III.4) i freqüència cardíaca (FC) (Figura III.5) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).



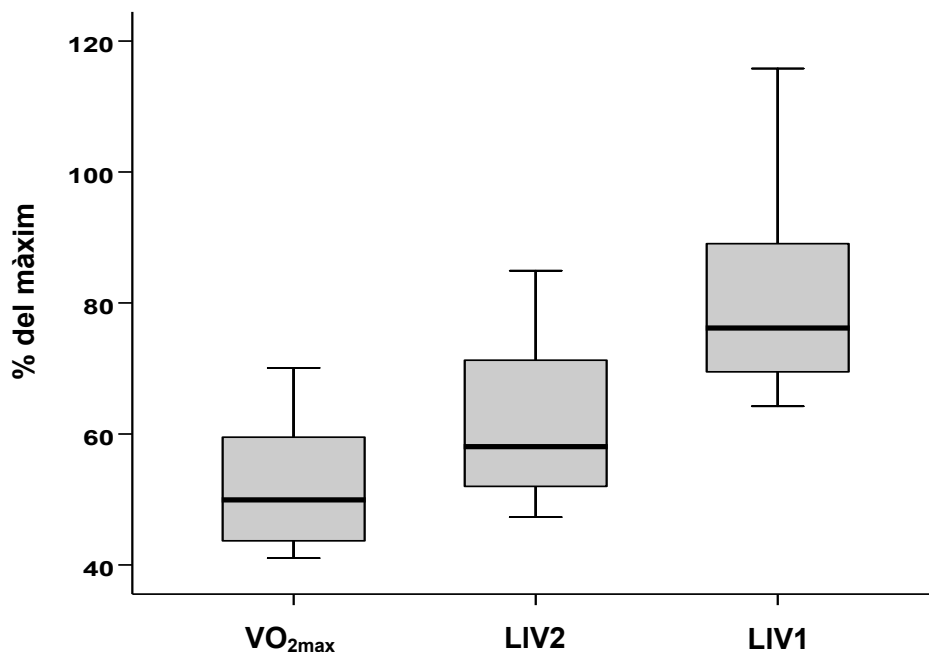
**Figura III.4.** Valors mitjans de consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).



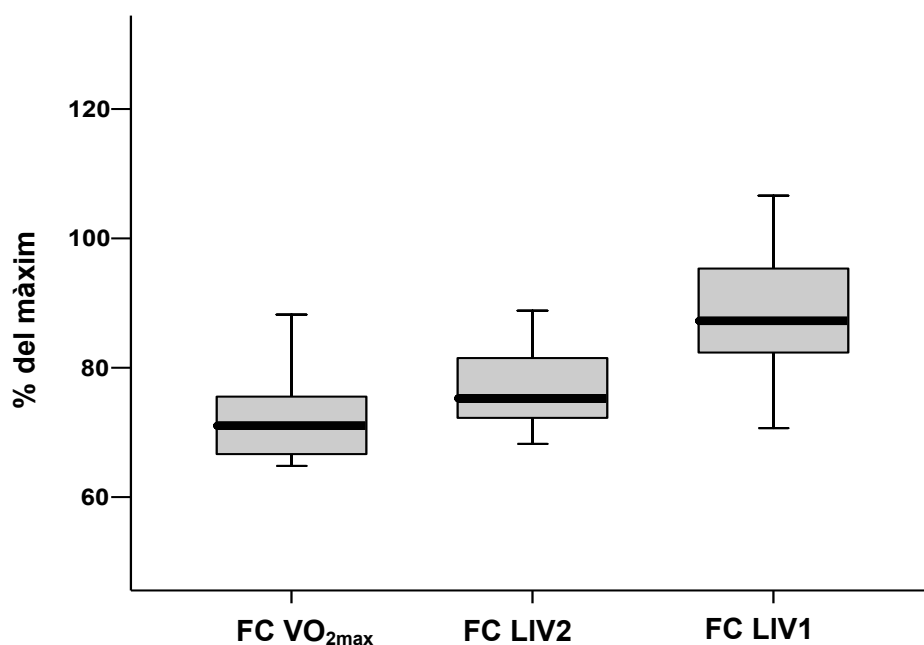
**Figura III.5.** Valors mitjans de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).



A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la intensitat relativa corresponent als valor mitjans de VO<sub>2</sub> (Figura III.6) i de FC (Figura III.7) registrats en els partits, relatius als valors dels paràmetres ergoespiromètrics (VO<sub>2max</sub>, LIV1 i LIV2) determinats individualment amb l'aplicació del SET – Test.



**Figura III.6.** Distribució percentual dels valors mitjans de VO<sub>2</sub> registrat durant els sets disputats (n = 20) respecte del consum màxim d'oxigen (VO<sub>2max</sub>) i del primer i segon llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET –Test.



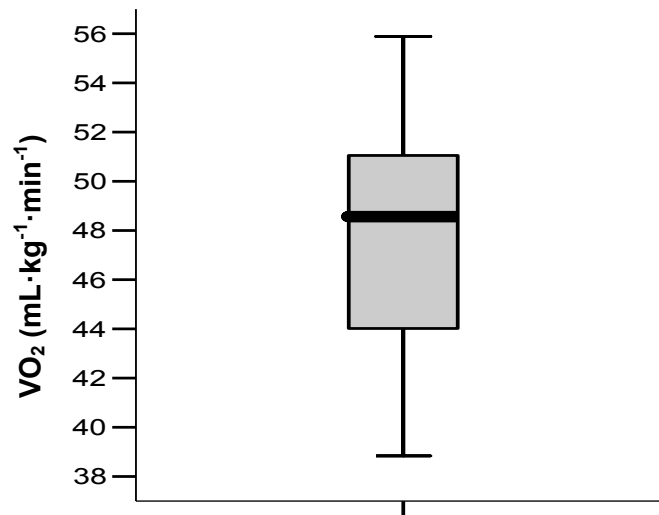
**Figura III.7.** Distribució percentual dels valor mitjans de FC registrada durant els sets disputats (n = 20), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC VO<sub>2max</sub>) i al primer i segon llinars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2) determinats en el SET –Test.

**Taula III.5.** Valors ergoespiromètrics màxims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

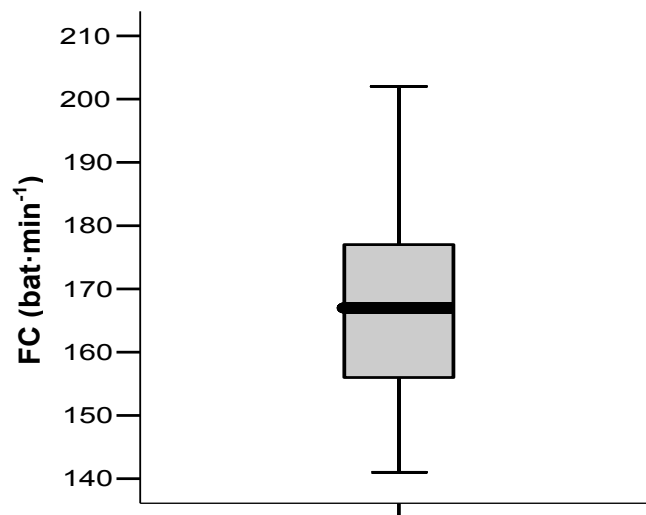
Variables	Valors màxims	% $\text{VO}_{2\text{max}}$	% LIV1	% LIV2
$\text{VO}_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$3459,7 \pm 643,6$ (2618,1 – 4866,9)	$82,6 \pm 10,9$ (67,9 – 96,6)	$129,2 \pm 19,9$ (105,0 – 160,2)	$97,0 \pm 14,5$ (78,6 – 118,4)
$\text{VO}_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$47,9 \pm 4,5$ (38,8 – 55,9)	$82,6 \pm 10,9$ (67,9 – 96,6)	$129,1 \pm 19,9$ (105,0 – 160,2)	$97,0 \pm 14,5$ (78,6 – 118,4)
$\text{VCO}_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$3216,6 \pm 590,8$ (2391,1 – 4203,5)	$66,8 \pm 11,6$ (49,4 – 89,8)	$133,2 \pm 26,1$ (103,2 – 198,6)	$90,8 \pm 14,8$ (72,6 – 116,9)
$\text{V}_E$ ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$88,4 \pm 17,7$ (63,2 – 120,5)	$64,3 \pm 11,7$ (49,6 – 87,9)	$135,2 \pm 30,6$ (87,4 – 202,3)	$91,2 \pm 17,2$ (69,5 – 119,5)
FC ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$167 \pm 17,1$ (141,0 – 202,0)	$86,1 \pm 7,9$ (72,5 – 100,0)	$109,8 \pm 15,2$ (90,1 – 153,7)	$94,0 \pm 10,5$ (78,7 – 120,4)
R	$1,34 \pm 0,23$ (1,10 – 1,90)	$119,7 \pm 25,6$ (83,4 – 171,6)	$151,1 \pm 31,9$ (115,5 – 211,6)	$94,0 \pm 10,5$ (78,7 – 120,4)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la distribució dels valors màxims de consum màxim d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) (Figura III.8) i freqüència cardíaca (FC) (Figura III.9) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

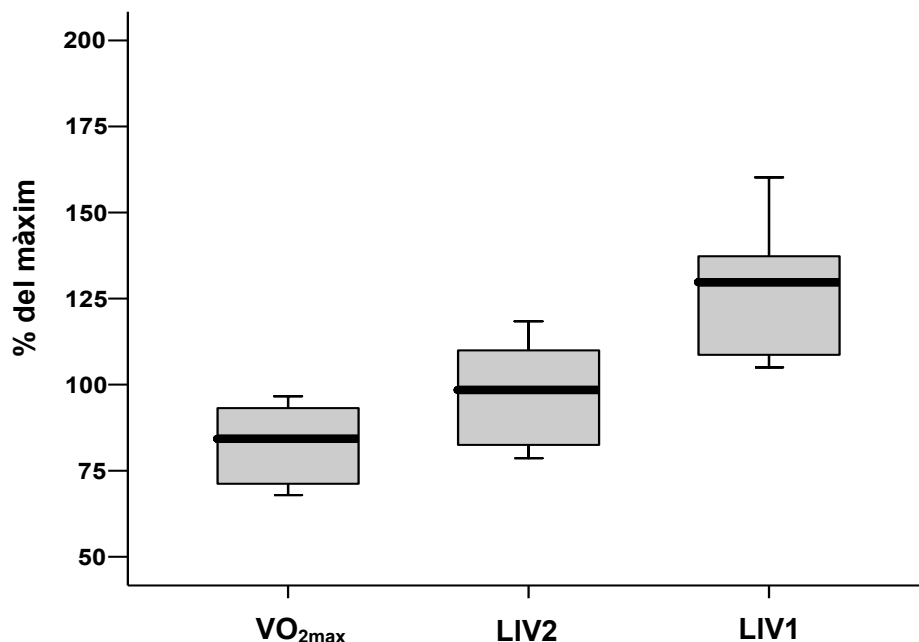


**Figura III.8.** Valors màxims de consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

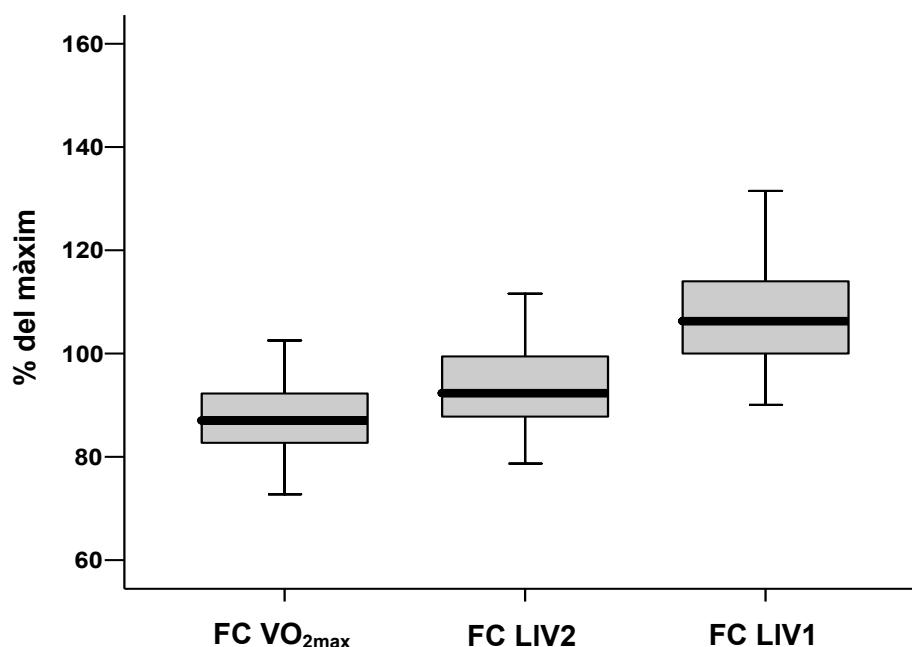


**Figura III.9.** Valors màxims de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la intensitat relativa corresponent als valors màxims de  $VO_2$  (Figura III.10) i de FC (Figura III.11) registrats durant els sets disputats, relatius als valors dels paràmetres ergoespiromètrics ( $VO_{2max}$ , LIV1 i LIV2) determinats individualment amb l'aplicació del SET – Test.



**Figura III.10.** Distribució percentual dels valors màxims de  $VO_2$  registrat durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte del consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) i el primer i segon llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.



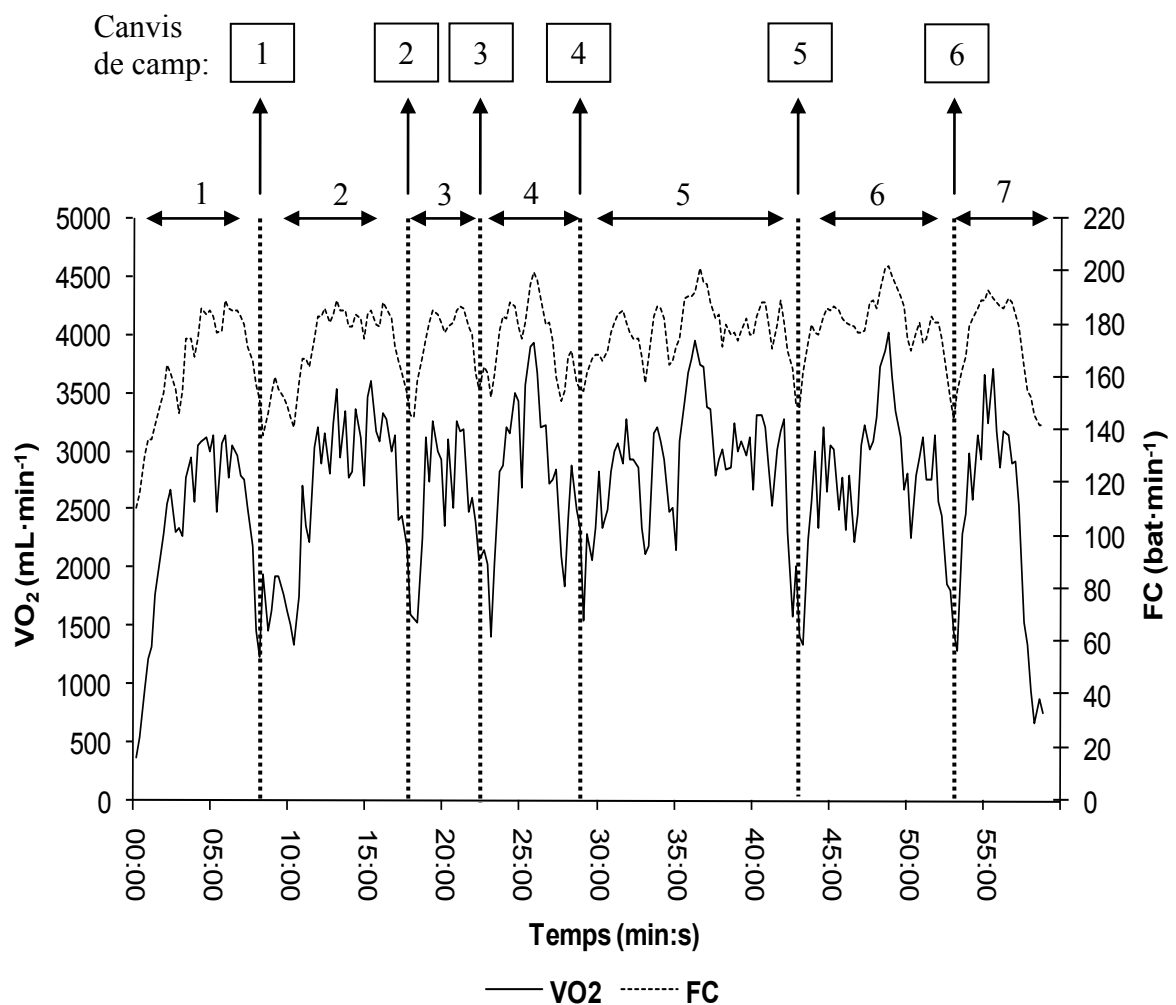
**Figura III.11.** Distribució percentual dels valors màxims de FC registrada durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC  $VO_{2max}$ ) i al primer i segon llinars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2) determinats en el SET – Test.

**Taula III.6.** Valors ergoespiromètrics mínims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmetrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

Variables	Valors mínims	% $VO_{2max}$	% LIV1	% LIV2
$VO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	$546,0 \pm 171,3$ (230,1 – 845,5)	$13,7 \pm 3,4$ (8,8 – 20,8)	$21,1 \pm 5,4$ (12,5 – 31,6)	$16,1 \pm 4,1$ (10,3 – 24,9)
$VO_2$ ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	$8,1 \pm 1,9$ (5,1 – 11,7)	$13,7 \pm 3,4$ (8,8 – 20,8)	$21,1 \pm 5,4$ (12,5 – 31,6)	$16,1 \pm 4,1$ (10,3 – 24,9)
$VCO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	$598,7 \pm 168,5$ (353,2 – 819,0)	$12,5 \pm 4,4$ (7,5 – 21,9)	$24,3 \pm 9,1$ (14,1 – 43,4)	$16,2 \pm 5,4$ (7,3 – 29,1)
$V_E$ ( $L \cdot min^{-1}$ )	$20,3 \pm 5,0$ (12,2 – 27,9)	$15,3 \pm 4,5$ (9,7 – 22,9)	$31,2 \pm 8,9$ (20,5 – 52,3)	$21,6 \pm 5,9$ (51,8 – 9,2)
FC ( $bat \cdot min^{-1}$ )	$96,4 \pm 13,3$ (81,0 – 121,0)	$48,6 \pm 6,7$ (37,9 – 62,7)	$61,7 \pm 8,2$ (49,7 – 78,0)	$51,8 \pm 9,2$ (29,8 – 67,9)
R	$0,75 \pm 0,05$ (0,62 – 0,81)	$65,7 \pm 6,7$ (56,2 – 78,9)	$83,0 \pm 8,3$ (65,6 – 97,7)	$75,5 \pm 7,4$ (61,0 – 87,8)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

La Figura III.12 mostra l'evolució de la FC i el  $\text{VO}_2$  durant la disputa d'un set amb una durada de 56:49 min:s i un resultat de 7/5. S'indiquen els canvis de camp realitzats, que delimiten 7 intervals de joc. S'observen les variacions en la intensitat determinades pels descansos en els canvis de camp (un màxim de 90 s); també s'observa que dins de cada interval de joc també es produeixen fluctuacions de la intensitat de joc, encara que no tan pronunciades.



**Figura III.12.** Evolució de la freqüència cardíaca (FC) i del consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) en un jugador durant la disputa d'un set. S'indiquen els descansos corresponents als canvis de camp i els intervals de joc definits pels descansos.

### III.4.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

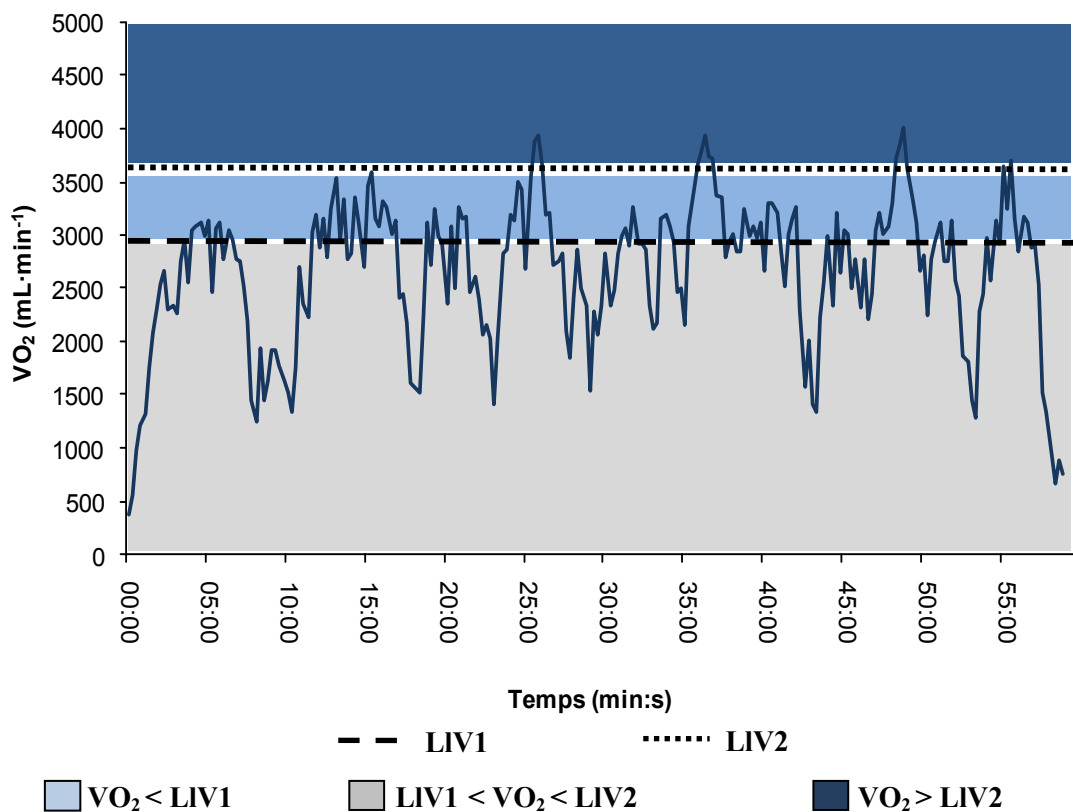
En base als paràmetres ergoespiromètrics determinats amb l'aplicació del SET – Test es va procedir a calcular el temps (min:s) i el percentatge de temps (%) en relació als intervals definits pel consum d'oxigen en els llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2) (Taula III.7). S'observa com durant la major part del temps la intensitat era inferior al LIV1, només en moments puntuals la intensitat de joc va ser superior al LIV2.

**Taula III.7.** Distribució temporal i percentual de la intensitat durant els sets disputats (n = 20) en relació al VO<sub>2</sub> en els llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2).

Zones d'intensitat	Temps (min:s)	% del temps total
VO <sub>2</sub> < LIV1	22:14 ± 08:26 (06:45 – 36:15)	77,2 ± 24,5 (14,3 – 99,0)
LIV1 < VO <sub>2</sub> < LIV2	07:14 ± 09:25 (00:15 – 33:30)	20,0 ± 21,2 (1,0 – 70,9)
VO <sub>2</sub> > LIV2	01:00 ± 01:55 (00:00 – 07:00)	2,9 ± 4,7 (0,0 – 14,8)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

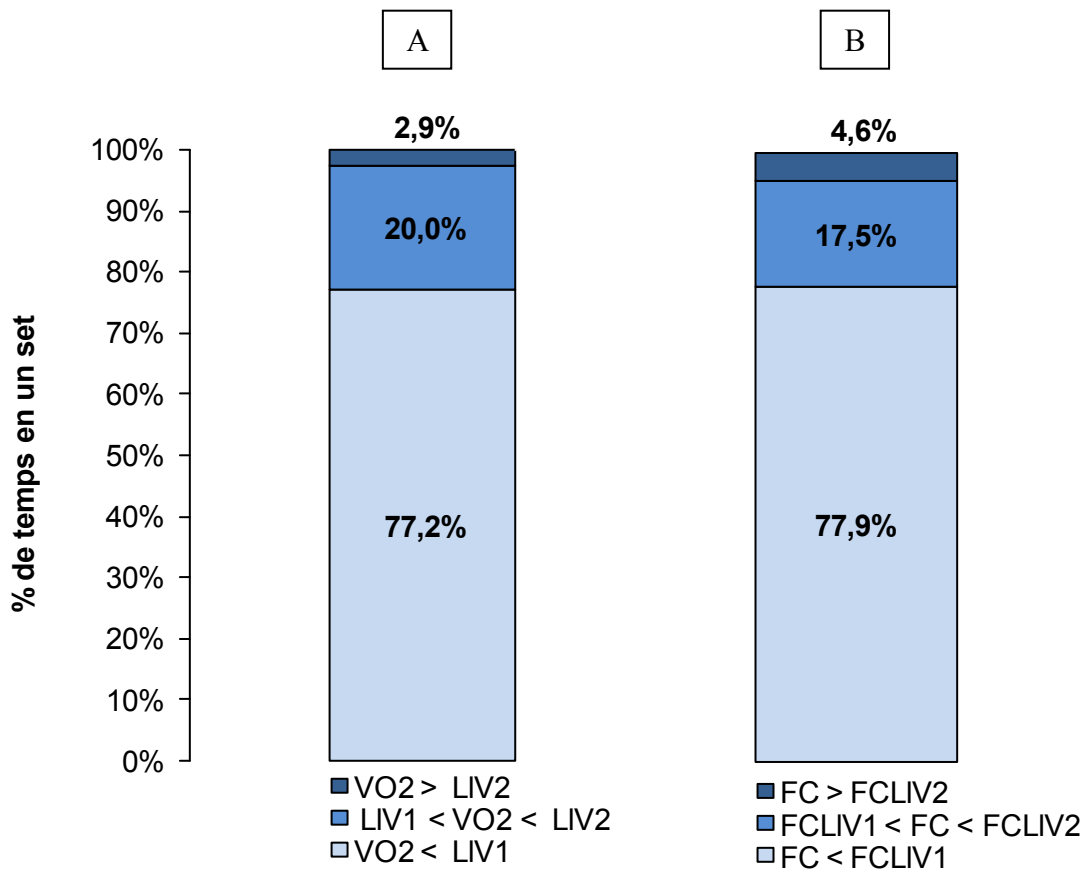
La Figura III.13 mostra el registre de  $VO_2$  mesurat mitjançant la monitorització telemètrica d'un subjecte durant la disputa d'un set. Amb una línia discontinua s'indiquen els valors de LIV1 i amb una línia de punts s'indica els valors de LIV2. En funció d'aquests dos paràmetres es defineixen tres zones diferents d'intensitat identificables segons diferents coloracions. S'observa com la major part de la disputa del set el jugador va participar amb un nivell d'intensitat inferior al LIV1, com en menor mesura participa en una intensitat definida entre els dos llindars ventilatoris i com en moments puntuals del partit participa a una intensitat superior al segon llindar ventilatori.



**Figura III.13.** Evolució del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) d'un subjecte durant un set. S'indiquen les zones de  $VO_2$  intensitat relatives al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.



La Figura III.14 mostra la distribució temporal de la intensitat en relació amb els llindars ventilatoris i el  $VO_{2max}$  durant els 20 sets disputats.



**Figura III.14.** Distribució percentual de la durada total dels sets segons els intervals definits pel  $VO_2$  en el primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) (A), i la FC per aquests dos llindars (FC LIV1 i FC LIV2) (B).

### **III.5. DISCUSSIÓ**

En la preparació d'una modalitat determinada a nivell d'elit, tots els objectius, mètodes, continguts, eines i estructures de l'entrenament esportiu s'han d'orientar cap a les exigències de la futura estructura de rendiment en la modalitat o disciplina en qüestió (Weineck, 2005). Obtenir informació sobre les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis és essencial per poder planificar l'entrenament de manera específica. Identificant el perfil fisiològic del tennis, els entrenadors podran dissenyar programes d'entrenament per optimitzar les millores en la direcció desitjada (Groppel i Roetert, 1992). Segons Godik (1989) la magnitud de la càrrega de la competició es pot avaluar en funció del seu component extern o físic (durada i velocitat d'execució, nombre de repeticions, etc.) o segons la càrrega interna o fisiològica en funció de les reaccions funcionals de l'organisme. Aquest mateix autor assenyala que en els esports de pilota, resulta més complex utilitzar indicadors físics que no pas fisiològics, degut a la considerable variabilitat dels exercicis, de la intensitat i de la magnitud de les respostes. Bergeron et al. (1991) assenyalen que atès que el tennis inclou exercicis intermitents de diferents intensitats i durades, amb períodes de recuperació, i es realitza durant un període de durada llarga, aquest escenari és difícilment reproduïble en un laboratori i, per tant, es fa necessari realitzar una anàlisi de l'esport en la mateixa pista. Davey et al. (2003) desenvolupen un protocol realitzat a la pista, basat en l'anàlisi de diferents partits, amb l'objectiu de simular un partit de tennis. Aquests autors, mitjançant aquest protocol, aconseguixen simular algunes de les respostes fisiològiques del joc, no obstant el tennis és un esport obert que depèn de multitud de factors que són difícilment reproduïbles en condicions protocol·litzades. En conseqüència, és necessari obtenir més informació sobre els requeriments d'un partit de tennis i analitzar indicadors fisiològics de càrrega interna en condicions de pràctica específica. No s'ha trobat cap estudi que realitzi una avaluació de la competició simulada amb un nombre tant important de jugadors i que compari els registres directes amb una avaluació específica realitzada a la pista.

#### **III.5.1. Resultats dels partits**

Per tal de registrar dades ergoespiromètriques en competició simulada es van jugar partits de dos sets dels quals un es jugava amb analitzador de gasos i l'altre sense. El nombre de partits que van finalitzar amb empat a un set (60% del total) mostra la homogeneïtat de la mostra en relació al nivell de rendiment en joc. Tot i que, tal i com

es descriu en l'apartat de fiabilitat de la prova progressiva, la realització del SET – Test amb analitzador de gasos no altera significativament el resultat del mateix, el major percentatge de sets guanyats sense l'analitzador de gasos (70% del total), fa pensar que els jugadors es desenvolupaven millor durant el joc sense l'aparell. La durada mitjana observada dels sets ( $31:03 \pm 11:23$  min:s) es correspondria a una durada aproximada d'entre 62 i 93 minuts de joc, en partits de dos sets i tres sets, respectivament, el que s'ajusta a la durada real en partits de competició sobre pista dura indicats per Vila (1999).

### III.5.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

Un dels paràmetres fonamentals que determinen la càrrega total de la competició és la seva intensitat. Alguns dels millors indicadors per monitoritzar la intensitat durant la competició són la freqüència cardíaca (FC) i, especialment, el consum d'oxigen ( $VO_2$ ). El registre d'aquests paràmetres durant la competició simulada mostren uns valors mitjans moderats ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7$  mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; FC:  $138 \pm 14,5$  bat·min<sup>-1</sup>), que es corresponen a una intensitat relativa submàxima també moderada ( $VO_2$ :  $51,6 \pm 8,6$  % del  $VO_{2max}$ ; FC:  $71,5 \pm 6,5$  % de la FCmax), amb la qual cosa podem dir que el sistema de transport d'oxigen no és un factor limitant en el tennis. Si analitzem aïlladament aquests valors mitjans i si tenim en compte aspectes com la durada d'un partit de tennis (d'1 a 4 hores), hom pot pensar que aquest esport representa un esforç perllongat d'intensitat moderada i que es tracta d'un esport predominantment aeròbic. En aquesta línia, Bergeron et al. (1991) assenyalen que el conjunt de respostes metabòliques s'assemblen a un exercici de llarga durada i d'intensitat moderada. No obstant això, cal tenir en compte la naturalesa intermitent del tennis: durant el joc es dona una successió d'accions explosives d'alta intensitat (cops i desplaçaments) i d'una durada mitjana inferior als 10 s (Yoneyama et al., 1999; O'Donoghue i Ingram, 2001; Smekal et al., 2001; Kovacs, 2004; Girard et al., 2005; Murias et al., 2007; Mendez-Villanueva et al., 2007), que s'alternen amb períodes de 20 s de descans entre punts i 90 s en els canvis de camp segons el reglament vigent (International Tennis Federation, 2007). En aquest escenari, el metabolisme anaeròbic làctic adquireix molt protagonisme com a abastador d'energia i diversos autors destaquen la importància d'aquesta via metabòlica durant el joc (Groppe et al., 1992; Thereminarias et al., 1991; Elliott et al., 1985; Smekal et al., 2001; Chandler, 1995; Renström, 2002). Per altra banda, cal remarcar que el temps real

de joc en el tennis actual es situa clarament per sota del 30% del temps total del partit (Elliot et al., 1985; Ferrauti et al., 1998; Christmass et al., 1998; Smekal et al., 2001; Girard et al., 2005; Mendez-Villanueva et al., 2007; Murias et al., 2007) i que, per tant, la major part del joc el jugador es troba en una situació de recuperació dels esforços realitzats durant els punts, fet que provoca que els valors mitjans dels paràmetres de càrrega interna disminueixin significativament. En la Figura III.12 s'observa com en els períodes de descans corresponents als canvis de camp, els registres de FC i  $\text{VO}_2$  disminueixen de manera pronunciada, mentre que durant els intervals corresponents a la disputa del joc els valors es mantenen clarament més elevats. En conseqüència, si tenim en compte l'elevat temps de descans durant un partit ( $> 70\%$ ), juntament amb la curta durada de les accions ( $< 10$  s), és lògic pensar que en tennistes de competició la resíntesi de l'ATP i la fosfocreatina es realitzi principalment per mecanismes aeròbics, sense recórrer a la glucòlisi anaeròbica làctica, la qual conduiria a una possible fatiga metabòlica i a una impossibilitat de mantenir la intensitat de joc; diversos autors coincideixen amb aquestes observacions (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985, Chandler, 1995; Renström, 2002). En aquesta mateixa línia, s'han trobat baixes concentracions de lactat durant partits de tennis:  $1,24 \pm 0,37 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Ferrauti et al., 2001),  $2,3 \pm 1,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Bergeron et al., 1991),  $2,07 \pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Smekal et al., 2003) i  $1,65 \pm 0,6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Murias et al., 2007), les quals indiquen la pobre participació del metabolisme glicolític i apunten a que la fatiga en aquest esport no ve induïda fonamentalment per l'acumulació de lactat. Per tant, pensem que en un partit de tennis es donen esforços predominantment anaeròbics alàctics, amb un alt component aeròbic, i que la participació de les vies aeròbica i la anaeròbica alàctica són molt importants i complementàries, d'acord amb les observacions realitzades per diferents autors (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Kovacs, 2006). Un adequat nivell de resistència permetrà un restabliment més ràpid de les concentracions musculars d'ATP i fosfocreatina durant els períodes de descans, la qual cosa permetrà participar de manera més intensa i eficient en la disputa dels punts i retardar l'aparició de la fatiga durant la competició. En aquesta mateixa línia Tomlin i Wenger (2001) assenyalen que la majoria d'estudis que examinen la relació entre recuperació d'energia i les capacitats aeròbiques suggereixen que una millor resistència aeròbica augmenta la capacitat de recuperació durant la realització d'exercicis intermitents d'alta intensitat augmentant la resíntesi de fosfocreatina. No obstant això, també cal tenir en compte que la majoria d'estudis en que es valora la intensitat de l'esport i la participació de les vies metabòliques s'han

realitzat amb jugadors d'alt nivell competitiu i amb un elevat nivell d'entrenament; és possible que en jugadors no entrenats amb programes específics de resistència, la participació de la via anaeròbica làctica pugui ser superior.

A la Taula III.8 i Taula III.9 s'exposen els valors de  $VO_2$  i FC avaluats durant el joc recollits en la literatura juntament amb la intensitat relativa en funció del  $VO_{2max}$ ,  $LIV_2$  i  $FC_{max}$ . Els valors mitjans de  $VO_2$  absoluts i relatius trobats en el present estudi coincideixen amb els observats en terra batuda per Smekal et al. (2003) en jugadors sèniors, són lleugerament inferiors als descrits per Fernández et al. (2005) en jugadors sèniors i Murias et al. (2007) en jugadors júnior, i estan en la mateixa línia que els descrits per Murias et al. (2007) en la mateixa superfície (pista dura) i en franges d'edat similars ( $18,0 \pm 1,2$  anys vs  $16,9 \pm 2,3$  anys). Els valors mitjans de FC trobats són semblants ( $138,1 \pm 14,5$  bat·min<sup>-1</sup> vs  $135 \pm 21$  bat·min<sup>-1</sup>) als observats per Murias et al. (2007) amb jugadors amb una franja d'edat similar i realitzada sobre la mateixa superfície de joc, no obstant són inferiors als observats per Bergeron et al. (1991) i Girard et al. (2005) en la mateixa superfície i als observats per Smekal et al. (2003), Fernández et al. (2005) i Murias et al. (2007) en superfície de terra batuda. Murias et al. (2007) en un estudi amb l'objectiu de comparar les respostes metabòliques sobre diferents superfícies (terra batuda i pista dura) atribueixen la menor FC observada en pista dura a que el temps de recuperació per unitat de treball és superior respecte al que es produeix en terra batuda. Per altra banda cal observar que tot i que en valors absoluts de FC la intensitat és inferior respecte els valors observats per Fernández et al. (2005) en valors relatius és superior ( $75,1 \pm 6,5$  % vs  $65,9 \pm 10,2$ %). No obstant pensem que la principal raó de les diferències observades en les intensitats absolutes i relatives descrites per diferents autors poden venir donades pel caràcter obert de l'esport, cal tenir en compte que la intensitat del joc depèn de multitud de factors com són les característiques de l'oponent a nivell tàctic, estratègic i tècnic, paritat de nivell dels oponents, motivació dels jugadors, condicions climatològiques, tipus de pista o pilotes utilitzades. En relació als valors observats en altres esports de raqueta, Faude et al. (2007) observen en jugadors masculins de bàdminton ( $21,3 \pm 1,7$  anys) de categoria internacional una elevada intensitat mitjana de joc ( $VO_2$ :  $46,0 \pm 4,5$  mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> al  $74,8 \pm 5,3$  % del  $VO_{2max}$ ; FC:  $166,6 \pm 6$  bat·min<sup>-1</sup> al  $90,3 \pm 3,7$  % de la  $FC_{max}$ ), aquests mateixos autors atribueixen aquesta major intensitat trobada respecte a les observades en tennis a que el temps efectiu de joc ( $31,2$  % vs.  $\sim 25$  %) i la freqüència de colpeig ( $0,92$  vs.  $0,75$  tirs·s<sup>-1</sup>) és superior en bàdminton.

La mitjana dels valors màxims de  $VO_2$  ( $47,9 \pm 4,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $82,6 \pm 10,9 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ,  $97,0 \pm 14,5 \%$  del LIV2) indiquen que es tracta d'una intensitat propera al LIV2 i que durant el joc no s'assoleixen intensitats màximes a nivell cardiorespiratori amb la qual cosa el nivell de maximalitat d'aquests paràmetres no constitueix el factor més determinant per a l'esport. Aquests resultats són similars als obtinguts ( $47,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $76,7\%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) per Smekal et al. (2003).

Els valors mitjans mínims de  $VO_2$  ( $8,1 \pm 1,9 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $13,7 \pm 3,4 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ,  $16,1 \pm 4,1\%$  del LIV2) són baixos i similars a un nivell d'intensitat de situació de repòs. Això és degut a que aquests valors es corresponen als moments dels canvis de camp en que els jugadors tenen un màxim de 90 segons de descans fins a tornar a jugar. Aquests valors coincideixen amb els observats ( $13,7 \pm 5,3 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) per Murias et al. (2007) en la mateixa superfície de joc i en jugadors de les mateixes franges d'edat.

**Taula III.8.** Recull de diferents registres de consum d'oxigen ( $VO_2$ ) absolut i relatiu al consum màxim d'oxigen ( $\% VO_{2\text{max}}$ ) i al segon llindar ventilatori ( $\% LIV2$ ) durant un partit de tennis en jugadors masculins.

Referència	Edat (anys)	n	$VO_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$\% VO_{2\text{max}}$	$\% LIV2$	Sup.
Ferrauti et al. (2001)	$47,0 \pm 5,4$	6	$25,6 \pm 2,8$	54,0	-	T
Smekal et al. (2003)	$26,0 \pm 3,7$	12	$29,1 \pm 5,6$	$51,1 \pm 10,9$	$64,8 \pm 13,3$	T
Fernández et al. (2005)	$23,9 \pm 2,5$	6	$26,62 \pm 3,3$	$46,4 \pm 7,2$	-	T
Murias et al. (2007)	$16,9 \pm 2,3$	4	$26,33 \pm 3,25$	$47,6 \pm 6,5$	-	T
Murias et al. (2007)	$16,9 \pm 2,3$	4	$27,48 \pm 2,46$	$49,5 \pm 4,8$	-	D
Present estudi	$18,0 \pm 1,2$	20	$29,9 \pm 3,7$	$51,6 \pm 8,6$	$60,7 \pm 11,3$	D

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Sup. = superfície de joc; T = Terra batuda; D = Pista dura.

**Taula III.9.** Recull de diferents registres de freqüència cardíaca (FC) absoluta i relativa a la freqüència cardíaca màxima (% FCmax) durant un partit de tennis en jugadors masculins.

Referència	Edat (anys)	n	FC (bat·min <sup>-1</sup> )	% FCmax	Sup.
Seliger et al. (1973)	24,7 ± 3,7	16	143,0 ± 13,9	-	-
Bergeron et al. (1991)	20,3 ± 2,5	10	144,6 ± 13,2	-	D
Girard et al. (2005)	23,4 ± 1,6	12	144 ± 8	-	D
Murias et al. (2007)	16,9 ± 2,3	4	135 ± 21	-	D
Ferrauti et al. (2001)	47,0 ± 5,4	6	142,5 ± 12,7	-	T
Smekal et al. (2003)	26,0 ± 3,7	12	151 ± 19	-	T
Fernández et al. (2005)	23,9 ± 2,5	6	147 ± 15	65,9 ± 10,2	T
Murias et al. (2007)	16,9 ± 2,3	4	143 ± 22	-	T
Present estudi	18,0 ± 1,2	20	138,1 ± 14,5	71,5 ± 6,5	D

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Sup. = superfície de joc; T = Terra batuda; D = Pista dura.

### III.5.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

L'anàlisi de la participació dels tennistes en relació als intervals definits pel consum d'oxigen en el primer i segon llindar ventilatori (LIV1 i LIV2) confirma la hipòtesi de la naturalesa aeròbica i anaeròbica alàctica de l'esport i la menor participació del metabolisme anaeròbic làctic. S'observa com la major part del temps d'un partit (77,2 ± 24,5 %) el jugadors van participar a un nivell d'intensitat moderat o baix ( $VO_2 < VO_2$  LIV1). Aquest percentatge coincideix amb el percentatge de temps de descans (77,9 %) durant un partit observat per diferents autors (Figura 8), en conseqüència podem pensar que l'elevat temps en que el jugador es troba en un nivell d'intensitat inferior a LIV1 és degut a l'elevat temps de descans i per tant el reduït temps real de joc de l'esport. El percentatge de temps (20,0 ± 21,2 %) en que els jugadors es trobaven entre els dos llindars ventilatoris ( $LIV1 < VO_2 < LIV2$ ) és clarament menor al temps en que  $VO_2 < LIV1$  i és similar a la mitjana de percentatge de temps real de joc (22,1%) observat per diferents autors (Figura 8). Possiblement aquest temps en que el jugador es troba en una zona de transició aeròbica – anaeròbica es correspon als intervals de temps en que el

jugador participa activament en el joc. Es va observar un mínim percentatge de temps ( $2,9 \pm 4,7 \%$ ) en el qual el jugador participava a un nivell d'intensitat superior al llindar anaeròbic, d'aquest fet se'n desprèn que aquesta intensitat es dona únicament en moments puntuals del joc (Figura III.13 i Figura III.14). Possiblement aquests petits períodes d'elevada intensitat es produeixin durant els punts de llarga durada coincidint en moments importants en el desenvolupament del partit. Per tant tot i que el global del temps d'un partit indica que la participació del jugador a un nivell d'intensitat superior al LIV2 no té importància, aquesta via pot ser utilitzada en moments claus del partit.

### **Aplicacions pràctiques**

Les mitjanes de  $VO_2$  i FC observades durant els partits es troben suficientment elevades com per que es produeixi un efecte d'entrenament cardiorespiratori si es mantenen durant un període de temps suficient, i per tant, un partit de tennis pot suposar un mètode d'entrenament de la resistència aeròbica. Segons l'American College of Sports Medicine (ACSM) (1991) l'exercici d'entre un 40 i un 60% del  $VO_{2max}$  pot reportar guanys significatius de la capacitat aeròbica en subjectes sedentaris. No obstant en el cas de tennistes de competició en el quals el nivell de capacitats físiques és elevat, és possible que no sigui un estímul suficient per generar adaptacions aeròbiques significatives i es necessitin intensitats superiors. Heyward (2001) recomana amb subjectes físicament actius intensitats mitjanes d'entrenament d'entre el 60 i 80% del  $VO_{2max}$  i Navarro (1998) observa que en el desenvolupament de la resistència, a intensitats del 50 a 70 % del  $VO_{2max}$  el nivell d'esforç és bàsic i que per a obtenir un nivell d'esforç de desenvolupament el criteri de càrrega ha de superar el 70% del  $VO_{2max}$ . En conseqüència es fa necessari que els jugadors realitzin entrenaments específics d'intensitats superiors a la d'un partit a banda de la pròpia activitat competitiva i amb l'objectiu de millorar la resistència. Tot i que en alguns casos en els jocs esportius s'utilitza la pròpia acció competitiva com a mètode per a desenvolupar la resistència, en el cas del tennis i amb l'objectiu d'obtenir millores significatives de la condició aeròbica es fa necessari modificar alguns paràmetres de l'activitat per tal d'augmentar la mitjana d'intensitat global. És important realitzar entrenaments basats en els requeriments del tennis segons les intensitats observades durant el joc, l'entrenament específic de la resistència s'hauria de realitzar mitjançant tasques específiques a la pròpia pista i amb activitats intervàliques amb períodes de participació curts amb una relació de temps i de descans d'entre 1: 2-3. En períodes de preparació específica de la



competició creiem que no és necessari treballar amb intensitats superiors al llindar anaeròbic ni realitzar tasques de tolerància al lactat, tot i que no obstant és possible que el jugador hagi de participar en aquest nivell d'intensitat en moments claus del partit. Per altra banda cal remarcar la importància de l'entrenament de potència i velocitat.

### III.6. CONCLUSIONS

- Els moderats valors mitjans de consum d'oxigen observats durant el joc ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7$  mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>;  $51,6 \pm 8,6$  % del  $VO_{2max}$ ) indiquen una intensitat mitjana submàxima moderada, posant de manifest que el sistema de transport d'oxigen no és un factor limitant del rendiment en aquest esport.
- Atès que durant el joc es donen esforços majoritàriament anaeròbics alàctics amb un alt component aeròbic sense recórrer a la glucòlisi anaeròbica làctica, la participació de la via aeròbica i la anaeròbica alàctica són importants i complementàries.
- L'elevat percentatge de temps ( $77,2 \pm 24,5$  %) en que els jugadors participen a un nivell d'intensitat baixa o moderada ( $VO_2 < LIV2$ ) és degut al l'elevat percentatge de temps de descans durant el joc ( $77,9$  %).
- La majoria d'accions es realitzen a una intensitat que es correspon a la zona de transició aeròbica-anaeròbica ( $LIV1 < VO_2 < LIV2$ ); les participacions a intensitats superiors al  $LIV2$  són mínimes, no obstant es poden donar en moments importants del partit.
- En jugadors de competició és necessari realitzar programes d'entrenament específic per a la millora de la resistència a banda de la pròpia activitat competitiva.

## **CONCLUSIONS GENERALS**



En base als resultats obtinguts i després de la interpretació i la discussió dels mateixos, les conclusions a les que arribem són les següents:

- El SET – Test és una prova de camp objectiva, fiable i vàlida per avaluar la resistència específica en tennistes i permet mesurar de forma directe els paràmetres ergoespiromètrics, inclòs el consum màxim d'oxigen, sense que això afecti significativament el rendiment a la prova.
- El SET – Test és una prova de camp vàlida per estimar el segon llindar ventilatori en tennistes, encara que, degut a factors d'eficiència tècnica individual, s'ha trobat una dubtosa validesa predictiva de la potència aeròbica màxima.
- Es verifica la hipòtesi de l'existència d'un punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en relacionar-la amb la intensitat de càrrega durant el SET – Test, igualment com succeeix en els estudis en esports cíclics iniciats per Conconi et al. (1982). Aquest PDFC es relaciona significativament amb el segon llindar ventilatori.
- S'ha trobat una relació estadísticament significativa entre totes les variables avaluades per mitjà de la prova i el nivell competitiu dels jugadors, sent l'efectivitat tècnica (ET) el millor indicador de rendiment esportiu, seguit dels paràmetres fisiològics de resistència i potència aeròbica (consum màxim d'oxigen i segon llindar ventilatori;  $VO_{2max}$  i LIV2).
- Els paràmetres d'efectivitat tècnica avaluats, juntament amb els fisiològics (LIV2 i  $VO_{2max}$ ), expliquen bona part de la variabilitat en el nivell competitiu dels jugadors (56 i 53%, respectivament). Possiblement la resta d'aquesta variabilitat pugui ser explicada pel nivell dels jugadors en quan a habilitats tàctiques, estratègiques o psicològiques, no avaluades amb el SET – Test.
- S'han obtingut valors de  $VO_{2max}$  ( $57,0 \pm 6,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) entre moderats i alts d'acord amb la naturalesa aeròbica de l'esport, tot i que el nivell de potència aeròbica no representa el paràmetre més determinant del rendiment.

- Durant la prova, l'efectivitat tècnica evoluciona de manera inversament proporcional a la intensitat de l'esforç per efecte de la fatiga; els valors registrats (% encerts:  $63,1 \pm 9,1$ ) mostren un elevat nivell de precisió i potència.
- La relació significativa trobada entre el PDET i el LIV2 ( $r = 0,463$ ,  $p = 0,004$ ), tot i que no molt estreta, indica que els jugadors mostren una clara tendència a disminuir l'efectivitat tècnica a partir del segon llindar ventilatori, possiblement degut a l'impacte de l'augment d'àcid làctic en sang.
- S'aporten per primera vegada valors de referència dels principals paràmetres avaluats mitjançant una prova específica de resistència a la pista en una àmplia mostra de jugadors de competició, que permeten determinar el perfil aeròbic específic dels jugadors de tennis.
- Els moderats valors mitjans de consum d'oxigen observats durant el joc ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $51,6 \pm 8,6 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) i l'elevat percentatge de temps ( $77,2 \pm 24,5 \%$ ) en que els jugadors participen a un nivell d'intensitat baixa o moderada ( $VO_2 < \text{LIV2}$ ) indiquen que el sistema de transport d'oxigen no és un factor limitant del rendiment durant el joc.
- La majoria d'accions durant el joc es realitzen a una intensitat que correspon a la zona de transició aeròbica-anaeròbica ( $\text{LIV1} < VO_2 < \text{LIV2}$ ); la durada de les accions a intensitats superiors al LIV2 són mínimes, però poden donar-se en moments decisius del partit, com ara la disputa de punts de llarga durada.
- Considerant la intensitat submàxima durant el joc, resulta evident la necessitat de realitzar programes d'entrenament específic per a la millora de la resistència, a banda de la pròpia activitat competitiva.

## **PERSPECTIVES D'INVESTIGACIÓ**





A continuació, i després d'exposar les conclusions generals de l'estudi de recerca realitzat, es plantegen perspectives futures d'investigació que puguin compensar les seves possibles limitacions i contribuir a eixamplar el coneixement sobre aspectes funcionals i bioenergètics del tennis.

Durant els darrers anys s'ha produït una notable millora en l'especificitat de les avaluacions de camp; concretament, en la present tesi s'ha intentat millorar el nivell d'especificitat respecte de les proves d'avaluació de la resistència proposades anteriorment. Precisament aquesta millora del nivell d'especificitat de les proves de camp es presenta com un dels reptes de futur més importants en l'avaluació funcional en esports oberts i de situació. No obstant això, cal dir que pensem que en proves funcionals protocol·litzades on es determinen de manera precisa càrregues distribuïdes en diferents períodes, és difícil simular de manera real les condicions de joc, en les que es donen situacions obertes i en les que hi intervenen de manera determinant els processos cognitius determinats en bona part per les múltiples situacions de joc i les corresponents accions de l'oponent.

Respecte de l'aplicació del SET – Test, per una banda proposem la seva administració a poblacions de jugadors de diferents franges d'edats, sexe, nivells i categories, per tal de categoritzar més acuradament el seu perfil funcional. Per altra banda, es proposa realitzar una anàlisi longitudinal dels diferents paràmetres funcionals estudiats per comprovar la seva evolució en la progressió del nivell del jugador i al llarg de diversos cicles d'entrenament i de competició.

Pel que fa a la validesa predictiva de les variables avaluades respecte del nivell competitiu, s'ha intentat crear un model per predir el rendiment en competició tenint en compte les variables valorades amb la prova funcional; no obstant això, s'ha deixat de banda l'avaluació d'altres factors que es consideren de gran importància en el rendiment del jugador de tennis. La inclusió en el model de diferents paràmetres no avaluables en una prova de resistència, com són els factors psicològics (motivacionals, afectius, emocionals, etc.), els tècnic-tàctics (estratègies, situacions de partit, automatismes, etc.), els tècnic-biomecànics (posicions, accions, economia i optimització tècnica, etc.), els neurològics (lateralitat, temps de reacció, etc.) i altres factors (higiene, lesions, nutrició, etc.) possiblement ajudaran notablement a predir amb més precisió el rendiment dels jugadors.

En relació a l'avaluació bioenergètica de la competició individual cal dir que la intensitat d'un partit de competició real és difícilment reproduïble en un estudi científic

i que el tennis és un esport obert de situació en que les necessitats bioenergètiques poden variar en funció de factors molt diversos com ara la superfície, les característiques de l'oponent, les condicions climatològiques, etc. Per tant, pensem que caldrien més estudis d'avaluació bioenergètica basats en l'administració d'una prova funcional que intenti aproximar-se més encara a les condicions de competició real i es realitzin en diferents superfícies i en jugadors amb diferents estils de joc.

## **BIBLIOGRAFIA**



- American College of Sports Medicine. Guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia: Lea i Febiger, 1991.
- Aparicio J. Preparación física en el tenis. Madrid: Gymnos, 1998.
- Arellano R. Bases generales para la evaluación funcional de la técnica deportiva. Madrid: COE, 1999.
- Arranz JA, Andrade JC, Crespo M. La técnica del tenis. COE. Tenis I. Madrid: COE, 1993: 213-463.
- Associació Mèdica Mundial. Principis ètics per a les investigacions mèdiques en éssers humans. Declaració d'Helsinki. Edimburg: 2000.
- Åstrand PO. Medidas de la resistencia. Shephard RJ, Astrand PO. La resistencia en el deporte. Barcelona: Editorial Paidotribo, 1996: 229-40.
- Åstrand PO, Rodahl K. Fisiología del trabajo físico. Bases fisiológicas del ejercicio. 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1992.
- Åstrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. J Appl Physiol 1954; 7(2):218-21.
- Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. Sports Med 1998; 26(4):217-38.
- ATP. The official site for men's professional tennis [Pàgina Web]. Disponible a: <<http://www.atptennis.com/en/tournaments/profile/425.asp>> [Consulta: Juliol de 2007].
- Baiget E, Iglesias X, Rodríguez FA. Prova de camp específica de valoració de la resistència en tennis: resposta cardíaca i efectivitat tècnica en jugadors de competició. Apunts Educació Física i Esports (en premsa).
- Baiget E, Rodríguez FA. Aplicación de un test de campo específico de valoración de la resistencia en tenis: análisis entre frecuencia cardíaca y efectividad técnica en

- jugadores de competición. III Congreso de la Sociedad Española de Medicina de la Educación Física y el Deporte (II Congreso Internacional ISMA y Jornadas Nacionales FEDAMEFIDE). Tarragona 2003 (Premio L'Aliança a la millor comunicació).
- Balke B. A simple field test for the assessment of physical fitness. *Rep Civ Aeromed Res Inst US* 1963; 53:1-8.
- Ballarin E, Sudhues U, Borsetto C *et al.* Reproducibility of the Conconi test: test repeatability and observer variations. *Int J Sports Med* 1996; 17(7):520-4.
- Barrow. H.M. , McGee R. *A Practical Approach to Measurement in Physical Education.* Philadelphia: Lea and Febiger, 1964.
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; 60(6):2020-7.
- Bergeron MF, Armstrong LE, Maresh CM. Fluid and electrolyte losses during tennis in the heat. *Clin Sports Med* 1995; 14(1):23-32.
- Bergeron MF, Maresh CM, Kraemer WJ, Abraham A, Conroy B, Gabaree C. Tennis: a physiological profile during match play. *Int J Sports Med* 1991; 12(5):474-9.
- Berthoin S, Baquet G, Rabita J, Blondel N, Lensele-Corbeil G, Gerbeaux M. Validity of the Université de Montréal Track Test to assess the velocity associated with peak oxygen uptake for adolescents. *J Sports Med Phys Fitness* 1999; 39(2):107-12.
- Berthoin S, Pelayo P, Lensele-Corbeil G, Robin H, Gerbeaux M. Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *Int J Sports Med* 1996; 17(7):525-9.
- Billat V. *Fisiología y metodología del entrenamiento, de la teoría a la práctica.* Barcelona: Editorial Paidotribo, 2002.
- Birrer RB, Levine R, Gallippi L, Tischler H. The correlation of performance variables in preadolescent tennis players. *J Sports Med Phys Fitness* 1986; 26(2):137-9.

- Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Med* 2000; 30(1):31-46.
- Bodner ME, Rhodes EC, Martin AD, Coutts KD. The relationship of the heart rate deflection point to the ventilatory threshold in trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2002; 16(4):573-80.
- Bunc V, Heller J, Leso J. Kinetics of heart rate responses to exercise. *J Sports Sci* 1988; 6(1):39-48.
- Cabello D, Carazo A. Consideraciones didácticas de la iniciación a los deportes de raqueta. *Revista Española de Educación Física y Deportes* 2001; 8(3):6-14.
- Calvo V. Entrenamiento en pista del jugador de tenis. *Set-Tenis & Padel*, 2007.
- Cervelló EM. Introducción al entrenamiento psicológico en el tenis. Fuentes JP, Cervelló EM, Del Villar F, Gusi N, Moreno FJ. Enseñanza y entrenamiento del tenis. Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.
- Chamari K, Hachana Y, Kaouech F, Jeddi R, Moussa-Chamari I, Wisloff U. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med* 2005; 39(1):24-8.
- Chandler TJ. Exercise training for tennis. *Clin Sports Med* 1995; 14(1):33-46.
- Chin MK, Wong AS, So RC, Siu OT, Steininger K, Lo DT. Sport specific fitness testing of elite badminton players. *Br J Sports Med* 1995; 29(3):153-7.
- Christmass M, Richmond S, Cable T, Hartmann P. Training energy systems in tennis players. *ITF Coaches Review* 1996; 8:5-6.
- Christmass MA, Richmond SE, Cable NT, Arthur PG, Hartmann PE. Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *J Sports Sci* 1998; 16(8):739-47.
- COE (Comité Olímpico Español). *Tenis I*. Madrid: COE (Comité Olímpico Español), 1993.
- Comellas J, López P. Anàlisi de les requestes metabòliques del tennis. *Apunts Educació*

- Física i Esports 2001; (65):60-3.
- Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol* 1982; 52(4):869-73.
- Conconi F, Grazi G, Casoni I. The Conconi test: methodology after 12 years of application. *Int J Sports Med* 1996; 17(7):509-19.
- Crespo M, Reid M. Control del entrenamiento de tenis en la cancha. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2004; 32:13-4.
- Dansou P, Oddu MF, Delaire M, Thereminarias A. Dépense énergétique aérobie au cours d'un match de tennis, du laboratoire au terrain. *Science & Sports* 2001; 16:16-22.
- Davey PR, Thorpe RD, Williams C. Simulated tennis matchplay in a controlled environment. *J Sports Sci* 2003; 21(6):459-67.
- Davey PR, Thorpe RD, Williams C. Fatigue decreases skilled tennis performance. *J Sports Sci* 2002; 20(4):311-8.
- Docherty D. A comparison of heart rate responses in racquet games. *Br J Sports Med* 1982; 16(2):96-100.
- Ellenbecker TS, Roetert EP, Riewald S. Isokinetic profile of wrist and forearm strength in elite female junior tennis players. *Br J Sports Med* 2006; 40(5):411-4.
- Elliot B, Dawson B, Pyke F. The energetics of singles tennis. *Journal of Human Movement Studies* 1985; 11:11-20.
- Escuela Nacional de Maestría de Tenis. Curso de Entrenador Nacional. Madrid: Federación Española de Tenis, 1998.
- Faude O, Meyer T, Rosenberger F, Fries M, Huber G, Kindermann W. Physiological characteristics of badminton match play. *Eur J Appl Physiol* 2007; 100(4):479-85.
- Federació Alemanya de Tennis. El tenis. Escuela de campeones. Barcelona: Hispano



- Europea, 1979.
- Fernández J. Specific field tests for tennis players. *Medicine and Science in Tennis* 2005; 10(2):22-3.
- Fernández J, Mendez-Villanueva A, Pluim BM. Intensity of tennis match play. *Br J Sports Med* 2006; 40(5):387-91; discussion 391.
- Fernández J. La fatiga y el rendimiento en el tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2007; 21(2):27-33.
- Fernández J, Fernández B, Méndez A, Terrados N. Exercise intensity in tennis: simulated match play versus training drills. *Medicine and Science in Tennis* 2005.
- Ferrauti A, Bergeron MF, Pluim BM, Weber K. Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 2001; 85(1-2):27-33.
- Ferrauti A, Pluim BM, Weber K. The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *J Sports Sci* 2001; 19(4):235-42.
- Ferrauti A, Weber K, Struder HK. Effects of tennis training on lipid metabolism and lipoproteins in recreational players. *Br J Sports Med* 1997; 31(4):322-7.
- Ferrauti A, Weber K, Stüder HK, Predel G, Rost R. Tennis versus golf: profile of demands and physical performance in senior players. Lees A, Maynard I, Hughes M, Reilly T. *Science and Racket Sports II*. London: E & FN Spon, 1998: 27-30.
- Ferrero JA, Fernández Vaquero A. Consumo de oxígeno: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. López - Chicharo J, Fernández - Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 1995.
- Filipic A. La fiabilidad y validez de los test motrices en el tenis. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2000; 20:14-5.
- Fox EL. *Fisiología del deporte*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1984.

- Fuentes JP. Enseñanza y entrenamiento del tenis: Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.
- Galiano D. La selección de talentos en tenis. Barcelona: Paidotribo, 1992.
- Galiano D, Escoda J, Pruna R. Aspectes fisiològics del tennis. Apunts Educació Física i Esports 1996; (44-45):115-21.
- Gallach JE. Entrenamiento físico del tenista. COEMadrid: COE, 193: 192-273.
- Garcia J, Villa JG, Rodríguez FA, Morante JC, Álvarez E, Jover R. Aplicació d'un test d'esforç intervalic (Test de Probst) per valorar la quantitat aeròbica en futbolistes de la lliga espanyola. Apunts Educació Física i Esports 2003; (71):80-5.
- Garcia JM, Navarro M, Ruiz JA. Bases teóricas del entrenamiento deportivo. Principios y aplicaciones. Madrid: Gymnos, 1996.
- Garcia JM, Navarro M, Ruiz JA. Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte. Evaluación de la condición física . Madrid: Gymnos, 1996.
- George JD, Garth A, Vehrs PR. Test y pruebas físicas . Tercera edición. Barcelona: Paidotribo, 2001.
- Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP, Millet GP. Prueba incremental específica de tenis. ITF Coaching & Sport Science Review 2006; 38:13-5.
- Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP, Millet GP. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. Br J Sports Med 2006; 40(9):791-6.
- Girard O, Lattier G, Micallef JP, Millet GP. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. Br J Sports Med 2006; 40(6):521-6.
- Girard O, Sciberras P, Habrard M, Hot P, Chevalier R, Millet GP. Specific incremental test in elite squash players. Br J Sports Med 2005; 39(12):921-6.
- Girard O, Vaseux D, Millet GP. Comparaison de l'efficacité de trois modalités

- d'entraînement chez des joueurs de tennis. *Science & Sports* 2004.
- Godik M. El control de las cargas competitivas y de entrenamiento. Zatsiorski V. *Metrología Deportiva*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1989.
- Grazzi G, Casoni I, Mazzoni G, Manfredini F, Uliari S, Conconi F. On the Methodology of the Conconi Test. *Int J Sports Med* 2005; 26:397-8.
- Grazzi G, Casoni I, Mazzoni G, Uliari S, Conconi F. Protocol for the Conconi test and determination of the heart rate deflection point. *Physiol Res* 2005; 54(4):473-5.
- Groppe JL, Roetert EP. Applied physiology of tennis. *Sports Med* 1992; 14(4):260-8.
- Gusi N. La preparación física del tenista. Dins: Fuentes JP. Enseñanza y entrenamiento del tenis. Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.
- Hamilton AL, Nevill ME, Brooks S, Williams C. Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *J Sports Sci* 1991; 9(4):371-82.
- Hernández M. Deportes de raqueta. Madrid: Ministerio de Educación y Cultura, 1999.
- Heyward VH. Evaluación i prescripción del ejercicio. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2001.
- Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 2002; 36(3):218-21.
- Hofmann P, Pokan R, Bachl N, Schmid P. A short communication regarding the article by M. Kara et al. "Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method." (*J Sports Med Phys Fitness* 1996;36(1):31-4). *J Sports Med Phys Fitness* 1997; 37(2):151-5.
- Hofmann P, Pokan R, von Duvillard SP, Seibert FJ, Zweiker R, Schmid P. Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29(6):762-8.
- Hofmann P, Von Duvillard SP, Seibert FJ *et al.* %HRmax target heart rate is dependent

- on heart rate performance curve deflection. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(10):1726-31.
- Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young W. Fatigue in tennis: mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Med* 2007; 37(3):199-212.
- Hornery DJ. A comprehensive profile of elite tennis and strategies to enhance match play performance. Tesi doctoral Ballarat: University of Ballarat, 2006.
- Iglesias X. Valoració funcional específica en l'esgrima. Tesi doctoral Barcelona: Universitat de Barcelona. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya , 1997.
- International Tennis Federation. International Tennis Number [Pàgina Web]. Disponible a <<http://www.itftennis.com/itn/>> [Consulta: Agost de 2006].
- International Tennis Federation. Descripción del Nivel de Juego [en línia]. Juny de 2004. [Consulta: Agost de 2006]. Disponible a <<http://www.itftennis.com/itn/Ratings/>>.
- International Tennis Federation. Cuadro de Comparación del ITN [en línia]. Juliol de 2005. [Consulta: Agost de 2006]. Disponible a <<http://www.itftennis.com/itn/news/newsarticle.asp?articleid=12038>>
- International Tennis Federation. List of classified court surfaces [Pàgina Web]. Disponible <<http://www.itftennis.com/technical/equipment/courts/courtlist.asp>> [Consulta: Agost de 2007].
- International Tennis Federation. Rules of Tennis 2007. London: 2007.
- Isnidarsi EM, Gonçalves AC. Battery of Test for Prediction and Evaluation of Tennis Players. *ITF Coaching* 2005.
- ITF. Programa de la ITF para formación de entrenadores. *ITF Coaching* 2007.
- Johnson CD, McHugh MP, Wood T, Kibler B. Performance demands of professional male tennis players. *Br J Sports Med* 2006; 40(8):696-9; discussion 699.
- Jones AM, Doust JH. Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int J*

- Sports Med 1995; 16(8):541-4.
- Kibler WB, McQueen C, Uhl T. Fitness evaluations and fitness findings in competitive junior tennis players. Clin Sports Med 1988; 7(2):403-16.
- Konig D, Huonker M, Schmid A, Halle M, Berg A, Keul J. Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. Med Sci Sports Exerc 2001; 33(4):654-8.
- Kovacs M. Un nuevo enfoque para el entrenamiento de la resistencia en el tenis. ITF Coaching & Sport Science Review 2006; 38:2-3.
- Kovacs MS. Applied physiology of tennis performance. Br J Sports Med 2006; 40(5):381-5; discussion 386.
- Kovacs MS. Tennis physiology: training the competitive athlete. Sports Med 2007; 37(3):189-98.
- Kraemer WJ, Hakkinen K, Triplett-Mcbride NT *et al.* Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. Med Sci Sports Exerc 2003; 35(1):157-68.
- Kraemer WJ, Ratamess N, Fry AC *et al.* Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. Am J Sports Med 2000; 28(5):626-33.
- Krustrup P, Mohr M, Amstrup T *et al.* The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. Med Sci Sports Exerc 2003; 35(4):697-705.
- Krustrup P, Mohr M, Ellingsgaard H, Bangsbo J. Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. Med Sci Sports Exerc 2005; 37(7):1242-8.
- Krustrup P, Mohr M, Nybo L, Jensen JM, Nielsen JJ, Bangsbo J. The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer. Med Sci Sports Exerc 2006; 38(9):1666-73.

- Labsy Z, Collomp K, Frey A, De Ceaurriz J. Assessment of maximal aerobic velocity in soccer players by means of an adapted Probst field test. *J Sports Med Phys Fitness* 2004; 44(4):375-82.
- Le Deuff H. El entrenamiento físico del jugador de tenis. Paperback edition. Barcelona: Paidotribo, 2003.
- Lees A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci* 2003; 21(9):707-32.
- Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci* 1980; 5(2):77-84.
- Léger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict  $VO_2 \text{ max}$ . *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982; 49(1):1-12.
- Locke S, Colquhoun D, Briner M *et al*. Squash racquets. A review of physiology and medicine. *Sports Med* 1997; 23(2):130-8.
- Loehr JE. El juego mental. Madrid: Tutor, 1990.
- Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Perez M, Carvajal A, Chicharro JL. Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *Br J Sports Med* 2002; 36(2):113-7.
- Lucia A, Sanchez O, Carvajal A, Chicharro JL. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *Br J Sports Med* 1999; 33(3):178-85.
- López Calbet JA, Dorado Garcia C. Fatiga, dolor muscular tardío y sobreentrenamiento. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. 3ª edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- Mac Dougall JD, Wenger HA, Green HJ. Evaluación fisiológica del deportista. Barcelona: Paidotribo, 2000.
- Magel JR, Foglia GF, McArdle WD, Gutin B, Pechar GS, Katch FI. Specificity of swim

- training on maximum oxygen uptake. *J Appl Physiol* 1975; 38(1):151-5.
- Maquirrián J. *Analysis of Tennis-Related Scientific Literature. Medicine and Science in Tennis* 2005.
- Marks BL. Health benefits for veteran (senior) tennis players. *Br J Sports Med* 2006; 40(5):469-76; discussion 476.
- Martínez EJ. *Pruebas de aptitud física. Barcelona: Paidotribo, 2002.*
- Méndez-Villanueva A, Fernández-Fernández J, Bishop D, Fernández-García B, Terrados N. Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *Br J Sports Med* 2007; 41(5):296-300; discussion 300.
- Metaxas TI, Koutlianos NA, Kouidi EJ, Deligiannis AP. Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *J Strength Cond Res* 2005; 19(1):79-84.
- Mora J. *Teoría del entrenamiento y del acondicionamiento físico. Sevilla: COPLEF Andalucía, 1995.*
- Moreno FJ. *Bases del control motor y del aprendizaje aplicado al tenis. Fuentes JP. Enseñanza y entrenamiento del tenis: Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.*
- Morrow JR. *Measurement Issues of the Assessment of Physical Activity. Welk J. Physical activity assessments for health-related research. Champaign: Human Kinetics, 2002: 35-49.*
- Morrow JR, Jackson AW, Disch JG, Mood DP. *Measurement and evaluation in human performance. Illinois: Human Kinetics, 1995.*
- Mújika I, McFadden G, Hubbard M, Royal K, Hahn A. The Water-Polo Intermittent Shuttle Test: A Match-Fitness Test for Water-Polo Players. *Int J Sports Physiol & Performance* 2006; 1(1):27-30.
- Muller E, Benko U, Raschner C, Schwameder H. *Specific fitness training and testing in*

- competitive sports. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(1):216-20.
- Muntañola MT. Evolució de l'esport del tennis. *Apunts Educació Física i Esports* 1996; 44-45:12-8.
- Murias JM, Lanatta D, Arcuri CR, Laino FA. Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. *J Strength Cond Res* 2007; 21(1):112-7.
- Naughton J, Balke B, Nagle F. Refinements in method of evaluation and physical conditioning before and after myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1964; 14:837-43.
- Navarro F. *La Resistencia*. Madrid: Gymnos, 1998.
- Novas AM, Rowbottom DG, Jenkins DG. A practical method of estimating energy expenditure during tennis play. *J Sci Med Sport* 2003; 6(1):40-50.
- O'Donoghue P, Ingram B. A notational analysis of elite tennis strategy. *J Sports Sci* 2000; 19:107-15.
- O'Donoghue P, Liddle D. A notational analysis of time factors of elite men's and ladies' singles tennis on clay and grass surfaces. Lees A, Maynard I, Hughes M, Reilly T. *Science and Racket Sports II*. London: E & FN Spon, 1998: 241-6.
- Ortiz RH. *Tenis: potencia, velocidad y movimiento*. Barcelona: Inde, 2004.
- Pávlov I. *Fisiología y Psicología*. Madrid: Alianza Editorial, 1968.
- Pilardeau P. Test d'effort adapté à la jouesse de tennis. *Sports Et Medicine Actualités* 1985; (3):18-20.
- Platonov VN. *Teoría General del Entrenamiento Deportivo Olímpico*. 1ª edición. Barcelona: Paidotribo, 2001.
- Pokan R, Hofmann P, von Duvillard SP *et al*. The heart rate turn point reliability and methodological aspects. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31(6):903-7.
- Real Federación Española de Tennis. *Reglamento Técnico de la RFET*. Madrid: RFET, 2007.



- Renström P. Handbook of Sports Medicine and Science. Tennis. Oxford: Blackwell Science, 2002.
- Riera J. Bases generales para el analisis funcional de la táctica. Madrid: COE, 1999.
- Riera J. Introducción a la Psicología del Deporte. Barcelona: Martínez Roca, 1985.
- Rodríguez FA. Fisiologia, valoració funcional i esport d'alt rendiment. Apunts Educació Física i Esports 1989; 15:48-56.
- Rodríguez FA., Aragonés MT. Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. Dins: Gonzalez J. (ed.), Fisiología de la actividad física y el deporte. Vol. 11. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill, 1992: 237-78.
- Rodríguez FA. Bases metodológicas de la valoración funcional. Ergometría. Dins: González Iturri J.J., Villegas J.A. (coord.), Valoración del deportista. Aspectos biomédicos y funcionales. Monografías FEMEDE nº 6. Pamplona: Federación Española de Medicina del Deporte, 1999: 229-271.
- Roetert EP, Garret GE, Brown SW, Camaione DN. Performance profiles of nationally ranked junior tennis players. J Strength Conditioning Reserarch 1992; 6(4):225-31.
- Roetert EP, Piorkowski PA, Woods RB, Brown SW. Establishing percentiles for junior tennis players based on physical fitness testing results. Clin Sports Med 1995; 14(1):1-21.
- Roetert P, Ellenbecker T. Preparación física completa para el tenis. Madrid: Tutor, 2000.
- Roetert P, Piorkowski P, Woods R, Brown S. USTA sports science testing prtocols. ITF Coaches Review 1995; 6:4-6.
- Sanchís J. Consideraciones sobre el entrenamiento de la fuerza muscular en el tenis. Revista de Entrenamiento Deportivo 2004; 18(1):23-6.
- Sanchís J. Efectes de la competició sobre la força dinàmica màxima en el jugador de tennis d'èlit. Estudi d'un cas. Apunts Educació Física i Esports 2002; 67:28-44.

- Sanchís J. Metabolismo energético y nutrición en el tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2002; 15(3):5-12.
- Sanchís J, Dorado C, López JA. La evaluación de la condición física en el tenis . *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2000; 14(2):27-39.
- Sanchís J, Garcia-Lleó F, Chavarren J, Lopez JA. Factores condicionales determinantes del rendimiento en el tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 1994; 11(1):33-9.
- Sanz D. El tenis en la escuela. Barcelona: Paidotribo, 2004.
- Sanz D, Vila F. Aplicació de l'entrenament de la força al tennis. La importancia del control de moviment. *Apunts Educació Física i Esports* 2003; 71:89-91.
- Seliger V, Ejem M, Pauer M, Safarik V. Energy metabolism in tennis. *Int Z Angew Physiol* 1973; 31(4):333-40.
- Shephard R.J. Resistencia muscular y lactato de la sangre. Shephard RJ, Astrand PO. La resistencia en el deporte. Barcelona: Editorial Paidotribo, 1996: 229-40.
- Shephard RJ, Astrand PO. La resistencia en el deporte. Barcelona: Paidotribo, 1996.
- Signorile JF, Sandler DJ, Smith WN, Stoutenberg M, Perry AC. Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *J Strength Cond Res* 2005; 19(3):519-26.
- Silla D, Rodríguez FA. Valoració de la condició física en jugadors d'hoquei sobre herba d'alt nivell. *Apunts, Educació Física i Esports* 2005; 80:37-44.
- Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport* 1980; 51(1):234-48.
- Skorodumova A. La resistencia en el tenis. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2005; 35:6-7.
- Smekal G, Pokan R, von Duvillard SP, Baron R, Tschan H, Bachl N. Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *Int J Sports Med* 2000; 21(4):242-9.

- Smekal G, von Duvillard SP, Pokan R *et al.* Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89(5):489-95.
- Smekal G, von Duvillard SP, Rihacek C *et al.* A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(6):999-1005.
- Smith TD, Thomas TR, Londeree BR, Zhang Q, Ziogas G. Peak oxygen consumption and ventilatory thresholds on six modes of exercise. *Can J Appl Physiol* 1996; 21(2):79-89.
- Solanellas F. Valoració funcional de tennistes de diferents categories. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, 1995.
- Solanellas F, Rodríguez FA. Physiological, kinanthropometric and attentional profile of tennis players. Abstract. In: Proceedings Second IOC World Congress on Sport Sciences. International Olympic Committee. Barcelona: COOB'92; 1991; 265-266.
- Solanellas F, Rodríguez FA. Multidisciplinary evaluation and performance prediction of tennis players of different age and sex categories. Book of Abstracts. First Annual Congress of the European College of Sport Science. Nice, France, 1996; 345-349.
- Sosa S. La preparació física en el tennis d'alt nivell. *Apunts Educació Física i Esports* 1996; 44-45:166-73.
- Steininger K, Wodick RE. Sports-specific fitness testing in squash. *Br J Sports Med* 1987; 21(2):23-6.
- Stromme SB, Ingjer F, Meen HD. Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Appl Physiol* 1977; 42(6):833-7.
- Svensson M, Drust B. Testing soccer players. *J Sports Sci* 2005; 23(6):601-18.
- Terreros JL, Navas FJ, Gómez-Carramiñana MA, Aragonés MT. Valoración funcional. Aplicaciones al entrenamiento deportivo. Madrid: Gymnos, 2003.

- Therminarias A, Dansou P, Chirpaz-Oddou MF, Gharib C, Quirion A. Hormonal and metabolic changes during a strenuous tennis match. Effect of ageing. *Int J Sports Med* 1991; 12(1):10-6.
- Therminarias A, Dansou P, Chirpaz-Oddou MF, Quirion A. Effects of age on heart rate response during a strenuous match of tennis. *J Sports Med Phys Fitness* 1990; 30(4):389-96.
- Thomas JR, Nelson JK. Métodos de investigación en actividad física. Badalona: Editorial Paidotribo.
- Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001; 31(1):1-11.
- Torres G, Carrasco L. Investigación en deportes de raqueta: tenis y bádminton. Murcia: Universidad Católica San Antonio , 2004.
- Torres G, Carrasco L. Tenis en la escuela. Barcelona: INDE, 2005.
- Tuimil JL, Rodríguez FA. La velocidad aeróbica máxima de carrera (VAM). Concepto, evaluación y entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2003; 17(1):31-5.
- Turner A, Crespo M, Reid M, Miley D. El enfoque de la comprensión del juego. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2002; 26:2-3.
- Vachon JA, Bassett DR Jr, Clarke S. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. *J Appl Physiol* 1999; 87(1):452-9.
- Van Dam B, Pruijboom L. Un nuevo test en tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 1992; 6(3):29-33.
- Vaquero MC. Preparació física amb jugadors d'elit. *Apunts Educació Física i Esports* 1996; 44-45:174-82.
- Vergauwen L, Madou B, Behets D. Authentic evaluation of forehand groundstrokes in young low- to intermediate-level tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(12):2099-106.

- Vergauwen L, Spaepen AJ, Lefevre J, Hespel P. Evaluation of stroke performance in tennis. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(8):1281-8.
- Vila C. Fundamentos prácticos de la preparación física en el tenis. Barcelona: Paidotribo, 1999.
- Wasserman K. Lactate and related acid base and blood gas changes during constant load and graded exercise. *Can Med Assoc J* 1967; 96(12):775-83.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue D, Stringer WW, Whipp BJ. Principles of Exercise Testing and Interpretation. Including Pathophysiology and Clinical Applications. Fourth edition edition. Philadelphia: Lippincot Williams & Williams, 2005.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973; 35(2):236-43.
- Weineck J. Entrenamiento total. Barcelona: Paidotribo, 2005.
- Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del deporte. Badalona: Editorial Paidotribo, 2007.
- Wonisch M, Hofmann P, Schwabberger G, von Duvillard SP, Klein W. Validation of a field test for the non-invasive determination of badminton specific aerobic performance. *Br J Sports Med* 2003; 37(2):115-8.
- Woods RB. Racquet Sports, the future. *Clin Sports Med* 1995; 14(1):277-80.
- Zabala D, Chiroso IJ, Chiroso LJ, Veciana J. Tecnología y metodología científica aplicada al control y evaluación del rendimiento deportivo. Granada: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de Granada, 2002.
- Zatsiorski VM. Metrología Deportiva. Moscu: Editorial Planeta, 1989.
- Zintl F. Entrenamiento de la resistencia: fundamentos, métodos i dirección del entrenamiento. Barcelona: Martinez Roca, 1991.



## **ANNEXES**





**ANNEX 1: Full d'observació d'efectivitat tècnica**



TEST			CLASSIFICACIÓ													DURADA													
Núm:		Hora:		Data:																									
SUBJECTE:																													
Alçada:		Pes:																											
Nacionalitat:		Data de naixement:																											
Núm. telèfon:		Núm. Llicència:																											
N° Període	Freq. (tir·min <sup>-1</sup> )	Temps (m:s)	ENCERTS													ERRORS													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	9	30"																											
		1'																											
		1'30"																											
		2'																											
2	11	2'30"																											
		3'																											
		3'30"																											
		4'																											
3	13	4'30"																											
		5'																											
		5'30"																											
		6'																											
4	15	6'30"																											
		7'																											
		7'30"																											
		8'																											
5	17	8'30"																											
		9'																											
		9'30"																											
		10'																											
6	19	10'30"																											
		11'																											
		11'30"																											
		12'																											
7	21	12'30"																											
		13'																											
		13'30"																											
		14'																											
8	23	14'30"																											
		15'																											
		15'30"																											
		16'																											
9	25	16'30"																											
		17'																											
		17'30"																											
		18'																											



**ANNEX 2: Resum de les deu categories de l'*International Tennis Number* (ITF, 2005)**



Cat.	Característiques tècniques i tàctiques del jugador
ITN 1	Aquest jugador ha tingut un entrenament intensiu per a competir de júnior i sènior en competicions nacionals, i té una àmplia experiència en el circuit professional. Posseeix o és capaç de posseir una classificació ATP / WTA i la seva major font d'ingressos són les competicions amb premis en metàl·lic.
ITN 2	Aquest jugador ha fet de la potència i la consistència la seva millor arma. Sap variar estratègies i estils de joc en una situació de competició. Generalment és un jugador amb classificació nacional.
ITN 3	Aquest jugador té una bona anticipació del cop i sovint té un cop excepcional o un talent al voltant del qual estructurar el seu joc. Amb regularitat sap jugar-se tirs guanyadors i forçar errors amb pilotes curtes. És capaç d'acabar les volees i remats, i domina una gamma de serveis en els que pot confiar.
ITN 4	Aquest jugador és capaç d'utilitzar la potència i els efectes i ha començat a dominar el ritme de pilota. Té un bon joc de pues i pot controlar la profunditat dels cops, a més de variar el pla de joc segons els rivals. Està capacitat per a jugar primers serveis amb potència i per imprimir efecte en els segons.
ITN 5	Aquest jugador té cops sòlids, la qual cosa suposa que domina direccions i profunditats per ambdós costats i davant cops moderats. Té suficient habilitat com per jugar globus, remats, pujades i volees, amb cert èxit.
ITN 6	Aquest jugador exhibeix un joc de xarxa més agressiu, ha millorat cobrint la pista i també en control dels cops, i està aprenent a jugar en parella en dobles.
ITN 7	Aquest jugador és força consistent quan juga cops amb velocitat mitjana, però encara no es sent còmode amb tots els cops. Li manca control en la profunditat, direcció i potència.
ITN 8	Aquest jugador sap jutjar cap a on va la pilota i pot mantenir un piloteig curt i de baixa intensitat.
ITN 9	Aquest jugador necessita guanyar experiència en pista, en canvi és capaç de finalitzar els cops amb cert èxit.
ITN 10	Aquest jugador comença a jugar competició (sap servir i restar) en tota la pista utilitzant una pilota normal aprovada per la ITF.
ITN 10.1*	Aquest jugador és capaç de pilotejar amb moviment i control.
ITN 10.2*	Aquest jugador ha desenvolupat algunes habilitats simples i específiques del

---

tenis per a colpejar de forma regular la pilota que li arriba, no obstant, encara no ha aconseguit pilotejar amb moviment i control.

---

**ITN  
10.3\***

Aquest jugador està en les primeres fases de desenvolupament de les habilitats tennístiques i bàsicament està aprenent tasques simples de coordinació i exercicis de tennis.

---

Cat = categoria. \*Les categories ITN entre 10.1 i 10.3 suposaran normalment jugar en un entorn modificat, com pot ser utilitzant pilotes toves, transició en una pista reduïda i/o utilitzant raquetes adaptades segons convingui.



**ANNEX 3: Quadre de comparació de l'*International Tennis Number*  
(ITF, 2007)**



# Cuadro De Comparacion Del ITN



ITN	Bélgica	Canadá	Francia	GBR	Italia	Luxembourg	Marruecos	Holanda	Espagne	Suecia	Suiza	EEUU
1	A Int'l A Nat'l B-15/4 (23bis-35bis)	7.0	1 <sup>st</sup> série Promotion -30 -15 -4/6 -4/6	1.1 1.2	Cat. 1 2.1 2.2 2.3	N° 1 à 2	1 <sup>st</sup> série	Cat 1	No 1- 150	Más de 600p	N1 N2	7.0
2	B-15/4 (50bis-65 bis) B-15/2	6.5 6.0	-2/6 0 1/6	2.1 2.2	2.4 2.5 2.6	N° 3 à 16	-30 -15 -4/6	Cat 2	No 151 - 300	401-600p	N3	6.5 6.0
3	B-15/1 B-15	5.5	2/6 3/6	3.1 3.2	2.7 2.8	N° 17 à 25	-2/6 0	Cat 3	3eme Cat Groupe 10	301-400p	N4	5.5
4	B-2/6 B 0 B+2/6	5.0	4/6 5/6 15	4.1 4.2	3.2 3.3 3.4	N° 26 à 48	4/6 15 15/1	Cat 4	3eme Cat Groupe 9	201-300p	R1	5.0
5	B +4/6	4.5	15/1 15/2	5.1 5.2	3.5 4.1	N° 49 à 112	15/2 15/4	Cat 5	3eme Cat Groupe 8	61-200p	R2	4.5
6	C +15	4.0	15/3 15/4	6.1 6.2	4.2 4.3	N° 113 à 172	30	Cat 6	3eme Cat Groupe 7	51-60p	R3	4.0
7	C +15/2	3.5	15/5 30	7.1 7.2	4.4 4.5	N° 173 à 240	30/1	Cat 6	3eme Cat Groupe 6 & 5	50p	R4	3.5
8	C +15/4	3.0	30/1 30/2	8.1 8.2	NC	N° 241 à 496	30/2	Cat 7	3eme Cat Groupe 4 & 3	NR	R5	3.0
9	C +30	2.5	30/3 30/4	9.1 9.2	NC	N° 497 à 1008	NR	Cat 8	3eme Cat Groupe 2	NR	R6	2.5
10	C +30/2 C +30/4	2.0	30/5	10	NC	N° 1009 à ....	NR	Cat 9	3eme Cat Groupe 1	NR	R7	2.0
10.1 to 10.3	NR	1.5 1.0	NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1.5 1.0



**ANNEX 4: Full d'observació d'incidències del registre amb l'analitzador de gasos K4b<sup>2</sup>**



Dia:	Núm. Test:	Nom subjecte:	
Hora:	V <sub>vent</sub> :		

<b>Fase Test</b>	<b>Temps (min.)</b>	<b>OBSERVACIONS</b>
Dades K4 repòs	2	
Escalfament: familiarització test	3	
Pausa Recuperació	3	
Test		
Recuperació Test	5	
Total temps		
Altres observacions		



**UNIVERSITAT DE BARCELONA**  
Departament de Teoria i Història de l'Educació

---

**INSTITUT NACIONAL D'EDUCACIÓ FÍSICA DE CATALUNYA**  
Centre de Barcelona

Programa de Doctorat  
ACTIVITAT FÍSICA I ESPORT  
Bienni 2001-2003

# **VALORACIÓ FUNCIONAL I BIOENERGÈTICA DE LA RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS**

Tesi doctoral presentada per  
**ERNEST BAIGET I VIDAL**

Per optar al títol de  
**Doctor per la Universitat de Barcelona**

Dirigida per  
**DR. FERRAN A. RODRÍGUEZ I GUIADO**  
**DR. XAVIER IGLESIAS I REIG**

Barcelona, juny de 2008







**INEFC**

Generalitat  
de Catalunya

Institut Nacional  
d'Educació Física  
de Catalunya  
Barcelona



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Ferran A. Rodríguez i Guisado, doctor en Medicina i Cirurgia per la Universitat de Barcelona, i Xavier Iglesias i Reig, doctor en Ciències de l'Educació per la mateixa Universitat, ambdós professors catedràtics de l'Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, centre adscrit a la Universitat de Barcelona,

ACREDITEN que el treball **“VALORACIÓ FUNCIONAL I BIOENERGÈTICA DE LA RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS”** ha estat realitzat pel llicenciat en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport **ERNEST BAIGET I VIDAL** sota la nostra direcció.

Al nostre criteri, aquest treball reuneix les condicions d'originalitat i qualitat científica necessàries per ser defensat públicament i optar al grau de Doctor per la Universitat de Barcelona.

I així ho signem a Barcelona el trenta d'abril de dos mil vuit.

Dr. Ferran A. Rodríguez i Guisado

Dr. Xavier Iglesias i Reig



Aquesta tesi ha estat subvencionada parcialment mitjançant un ajut de la convocatòria “Ajuts per a la formació complementària en camps o àrees professionals específiques relacionades amb l’educació física i l’esport (2004)” per a alumnes postgraduats atorgat per l’Institut Nacional d’Educació Física de Catalunya, i s’emmarca dins el Projecte d’investigació i recerca preferencial de l’INEFC de Barcelona “Valoració funcional i bioenergètica en esports individuals: aplicació al tennis”, dirigit pel Dr. Ferran A. Rodríguez.

**BAIGET, E.** (2008): *Valoració funcional i bioenergètica de la resistència específica en jugadors de tennis*. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona, Institut Nacional d’Educació Física de Catalunya. Barcelona.



Tan sols el camí de la investigació objectiva ens portarà progressivament a l'anàlisi completa d'aquesta adaptació il·limitada que és, en tota la seva amplitud, la vida sobre la terra. (Iván Pávlov. *Fisiología y Psicología*, 1968)



# **DEDICATÒRIA**





Als meus pares per l'educació rebuda i pel seu recolzament durant tots els anys d'estudi i pràctica esportiva.

A la Roser, per la seva ajuda diària, pel seu recolzament incondicional i per acceptar de la millor manera el temps de dedicació a la recerca.



## **AGRAÏMENTS**



## AGRAÏMENTS PERSONALS

Al **Dr. Ferran A. Rodríguez Guisado** i al **Dr. Xavier Iglesias i Reig** co-directors d'aquesta tesi doctoral, per iniciar-me i formar-me en la recerca científica transmetent el seu entusiasme i rigor professional i per la seva implicació i esforç al llarg del procés.

Al **Dr. Lisímaco Vallejo** per la seva col·laboració constant i la seva inestimable aportació en tasques de presa i anàlisi de dades.

Als companys i becaris de recerca de l'INEFC de Barcelona col·laboradors en la realització de les proves i la presa de dades: **Peter J.C. Zierof** i **Valery Kryvaruchka**.

Al **Dr. Gerard Moras**, Sots-director de Postgrau i Recerca de l'INEFC de Barcelona, com a guia i referent en aquest procés.

A tots els **tennistes de competició i tècnics** que han participat directament en l'estudi ja que sense ells no s'hagués pogut portar a terme la recerca.

Als **professors i companys** dels estudis de **Ciències de l'Activitat Física i l'Esport de la Universitat de Vic** pel seu suport professional.

A tots els **professors de l'INEFC de Barcelona** i dels cursos de Doctorat com a protagonistes de la meva formació acadèmica.

A **Maribel Pérez Ballano** Cap del Negociat de Postgrau i Convalidacions de l'INEFC de Barcelona per la seva orientació durant les diferents fases del curs de doctorat.

A **Natividad Arnaiz** del Negociat de Recerca de l'INEFC de Barcelona per la seva ajuda en la utilització de material de recerca.

Als directors dels centres d'entrenament que ens han acollit de la millor manera : **Emilio Sánchez Vicario**, director de l'Acadèmia Sánchez - Casal, **Lluís Bruguera**, director de la *Bruguera Tennis Academy Top Team*, **Jofre Porta**, director del Centre d'entrenament de tennis de l'Escola Balear de l'Esport (Palma de Mallorca), **Jordi Arresse**, director del Centre Internacional de Tennis (CIT) de la Federació Catalana de

Tennis (Cornellà de Llobregat) i **Martín Villar**, director del Grup de competició del Club Tennis Ciutat Diagonal (Barcelona).

Als responsables de les institucions i empreses que han cregut en el nostre projecte i han col·laborat desinteressadament aportant material a la recerca: **Dr. David Sanz**, director de la *Área de Docencia e Investigación de la Federación Española de Tennis* i **Dr. Francesc Solanellas**, director de l'empresa Babolat a Espanya i Portugal.

Als diferents preparadors físics de tennistes de competició que han col·laborat en la recerca amb la seva participació activa i amb les seves reflexions per a millorar el seu contingut: **José Salvat, Andreu Fuster, Jordi Manzanas, Jayne Morley, Joan Forcades, Francisco Varo i Miquel Escoda**.

Als **bibliotecaris de la Universitat de Vic i l'INEFC** de Barcelona per la seva col·laboració en la recerca bibliogràfica.

Als **entrenadors i preparadors físics** de tennis que han contribuït a la meva formació com a jugador de tennis.

A tots els meus **companys en el món de l'esport** competitiu i popular que m'han ajudat a adquirir un esperit de superació i una actitud esportiva.

## AGRAÏMENTS INSTITUCIONALS

A l'**Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya**, centre de Barcelona, pels ajuts econòmics, materials i de recursos humans rebuts, imprescindibles per a realitzar aquesta recerca.

A la **Universitat de Vic** per donar-me l'oportunitat d'iniciar-me en la docència universitària.

A l'**Escola Professional de Medicina de l'Educació Física i l'Esport** de la **Universitat de Barcelona** per comptar amb mi com a docent col·laborador.

A la *Real Federación Española de Tenis* i especialment a la *Área de Docencia e Investigación* pel seu suport.

A la **Federació Catalana de Tennis** pel seu recolzament al tennis.

A l'**Acadèmia Sánchez – Casal** de Barcelona per la seva col·laboració en la tasca de presa de dades aportant jugadors de competició i cedint les seves instal·lacions.

A la *Bruguera Tennis Academy* Top Team per les facilitats donades en l'avaluació dels seus jugadors de competició i cedir les seves instal·lacions.

Al centre d'entrenament de tennis de l'**Escola Balear de l'Esport (EBE)** de Palma de Mallorca per les facilitats donades en l'avaluació dels seus jugadors i per acollir-nos de la millor manera a l'illa.

Al **Centre Internacional de Tennis (CIT)** de la Federació Catalana de Tennis de Cornellà de Llobregat per la seva col·laboració en la tasca de presa de dades aportant jugadors de competició.

Al **Club Tennis Reus Monterols** com a testimoni dels meus inicis en el tennis tant en l'àmbit de jugador com a tènic.



A l'empresa **Babolat** pel seu recolzament amb el material de recerca.

## **GLOSSARI I ABREVIATURES**



<b>%</b>	percentatge
<b>0,95 IC</b>	interval de confiança del 95%
<b>ANOVA</b>	anàlisi de la variància
<b>ATP</b>	trifosfat d'adenosina
<b>bat</b>	batecs
<b>°C</b>	graus centígrads
<b>CIT</b>	Centre Internacional de Tennis
<b>cm</b>	centímetres
<b>CV</b>	coeficient de variació
<b>dif</b>	diferència
<b>DP</b>	durada mitjana dels punts
<b>EBE</b>	Escola Balear de l'Esport
<b>EEE</b>	error típic d'estimació
<b>En</b>	encerts
<b>eq</b>	equivalent
<b>esg</b>	esglaó
<b>ET</b>	efectivitat tècnica
<b>FC</b>	freqüència cardíaca
<b>FCmax</b>	freqüència cardíaca màxima
<b>Fcops</b>	freqüència dels cops
<b>FCT</b>	Federació Catalana de Tennis
<b>FECO<sub>2</sub></b>	fracció espirada de diòxid de carboni
<b>FEO<sub>2</sub></b>	fracció espirada d'oxigen
<b>FLI<sub>p</sub></b>	freqüència de llançament de pilotes
<b>g</b>	grams
<b>h</b>	hora
<b>Hg</b>	mercuri
<b>HR</b>	<i>heart rate</i>
<b>HRDP</b>	<i>heart rate deflection point</i>
<b>ICC</b>	índex de correlació intraclasse
<b>IMC</b>	índex de massa corporal
<b>ITF</b>	<i>International Tennis Federation</i>
<b>ITN</b>	<i>International Tennis Number</i>

<b>JJO</b>	Jocs Olímpics
<b>km</b>	quilòmetres
<b>L</b>	litres
<b>La</b>	concentració de lactat
<b>LAB</b>	laboratori
<b>LTPT</b>	<i>Leuven Tennis Performance Test</i>
<b>LIV1</b>	primer llindar ventilatori
<b>LIV2</b>	segon llindar ventilatori
<b>m</b>	metres
<b>màx</b>	valor màxim de la variable
<b>mín</b>	valor mínim de la variable
<b>mL</b>	mil·lilitres
<b>mm</b>	mil·límetres
<b>mmol</b>	mil·limols
<b>n</b>	grandària de la mostra
<b>ns</b>	diferència no significativa
<b>núm.</b>	número
<b>O<sub>2</sub></b>	oxigen
<b>p</b>	probabilitat
<b>Pc</b>	fosfat de creatina
<b>PC</b>	ordinador personal
<b>PDET</b>	punt de deflexió de l'efectivitat tècnica
<b>PDFC</b>	punt de deflexió de la freqüència cardíaca
<b>PEC</b>	prova específica de camp
<b>PETCO<sub>2</sub></b>	pressió de diòxid de carboni al final d'una espiració (tele-espiratòria)
<b>PETO<sub>2</sub></b>	pressió d'oxigen al final de la respiració (tele-espiratòria)
<b>R</b>	quocient respiratori
<b>r</b>	coeficient de correlació lineal de Pearson o de correlació interclasse
<b>r<sup>2</sup></b>	coeficient de determinació de Pearson
<b>RFET</b>	<i>Real Federación Española de Tenis</i>
<b>s</b>	segons
<b>SET – Test</b>	<i>Specific Endurance Tennis Test</i>
<b>sup</b>	superfície

<b>T:D</b>	proporció entre temps de treball i temps de descans
<b>T1</b>	primer test
<b>T2</b>	segon test
<b>T3</b>	tercer test
<b>TD</b>	temps de descans
<b>TP</b>	tipus de prova
<b>TRJ</b>	temps real de joc
<b>UP</b>	últim període assolit
<b>VCO<sub>2</sub></b>	producció de diòxid de carboni*
<b>Vd</b>	velocitat de deflexió
<b>VE</b>	ventilació pulmonar o volum minut respiratori*
<b>VO<sub>2</sub></b>	consum d'oxigen*
<b>VO<sub>2max</sub></b>	consum màxim d'oxigen*
<b>VT1</b>	<i>first ventilatory threshold</i>
<b>VT2</b>	<i>second ventilatory threshold</i>
<b>v<sub>vent</sub></b>	velocitat del vent
<b>WTA</b>	<i>Women's Tennis Association</i>
$\bar{x}$	mitjana
s	desviació típica

\* Per raons de claredat tipogràfica hem obviat la notació científica convencional en que el volum espirat/inspirat per unitat de temps ve indicat com a  $\dot{V}$  i els gasos o el temps respiratori en subíndex (per exemple  $\dot{V}_{O_2 \max}$  ).



## **ÍNDEX DE CONTINGUTS**





<b>DEDICATÒRIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRAÏMENTS.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSSARI I ABREVIATURES .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDIX DE CONTINGUTS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDIX DE FIGURES .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>ÍNDIX DE TAULES.....</b>	<b>XXXIII</b>
<b>RESUM.....</b>	<b>XXXIX</b>
<b>INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>1</b>
<b>FACTORS DETERMINANTS DEL RENDIMENT EN EL TENNIS.....</b>	<b>7</b>
Factors tècnics .....	7
Factors tàctics i estratègics .....	9
Factors psicològics .....	11
Factors funcionals.....	11
Factors condicionals .....	12
<b>ANÀLISI BIOENERGÈTICA DEL TENNIS.....</b>	<b>17</b>
Anàlisi del temps–acció en tennis .....	17
Bioenergètica del tennis .....	21
Bioenergètica del tennis en funció de les característiques del joc.....	22
<b>AVALUACIÓ FUNCIONAL DE LA RESISTÈNCIA EN EL TENNIS .....</b>	<b>26</b>
La resistència en el tennis, una capacitat determinant.....	26
Proves de valoració de la resistència en tennis.....	31
<b>OBJECTIUS GENERALS .....</b>	<b>37</b>
<b>DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ.....</b>	<b>41</b>
PROCEDIMENT.....	43
SUBJECTES.....	45
CRITERIS D’INCLUSIÓ.....	48

<b>CAPÍTOL I. PROPOSTA DE PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS: “SET – TEST”</b> .....	<b>49</b>
I.1. OBJECTIUS .....	53
I.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ .....	54
I.3. MATERIAL I MÈTODES .....	56
I.3.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “ SET – TEST ”	56
I.3.1.1. Disseny de la prova .....	56
I.3.1.2. Material .....	57
I.3.1.3. Protocol de la prova .....	60
I.3.1.4. Paràmetres .....	65
I.3.2. FIABILITAT DE LA PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA .....	79
I.3.2.1. Fiabilitat externa.....	79
I.3.2.2. Fiabilitat interna .....	80
I.3.2.3. Estudi de repetitivitat .....	81
I.3.2.4. Subjectes .....	82
I.3.2.5. Material .....	82
I.3.2.6. Paràmetres funcionals .....	83
I.3.2.7. Anàlisi estadística.....	84
I.3.3. VALIDESA DE LA PROVA.....	85
I.3.3.1. Validesa de contingut.....	85
I.3.3.2. Validesa ecològica .....	85
I.3.3.3. Validesa interna.....	85
I.3.3.4. Validesa predictiva.....	88
I.3.3.5. Subjectes .....	89
I.3.3.6. Material .....	90
I.3.3.7. Paràmetres .....	90
I.3.3.8. Anàlisi estadística.....	90
I.4. RESULTATS .....	91
I.4.1. FIABILITAT DE LA PROVA ESPECÍFICA .....	91
I.4.1.1. Fiabilitat externa.....	91
I.4.1.2. Estudi de repetitivitat .....	93
I.4.2. VALIDESA DE LA PROVA.....	106
I.4.2.1. Maximalitat de la prova.....	106

I.4.2.2. Validesa predictiva.....	108
I.5. DISCUSSIÓ .....	114
I.5.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”	114
I.5.2. FIABILITAT DE LA PROVA.....	118
I.5.2.1. Fiabilitat externa.....	118
I.5.2.2. Estudi de repetitivitat .....	118
I.5.3. VALIDESA DE LA PROVA.....	121
I.5.3.1. Validesa de contingut i ecològica.....	121
I.5.3.2. Validesa interna.....	122
I.5.3.3. Validesa predictiva.....	122
I.6. CONCLUSIONS .....	131
I.6.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”	131
I.6.2. FIABILITAT DE LA PROVA.....	131
I.6.3. VALIDESA DE LA PROVA.....	131
<b>CAPÍTOL II. CARACTERÍSTIQUES FUNCIONALS DELS TENNISTES D’ALT</b>	
<b>RENDIMENT .....</b>	<b>133</b>
II.1. OBJECTIUS.....	136
II.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ.....	137
II.3. MATERIAL I MÈTODES .....	138
II.3.1. Subjectes .....	138
II.3.2. Material.....	138
II.3.3. Procediment .....	138
II.3.4. Paràmetres funcionals .....	139
II.3.5. Anàlisi estadística .....	139
II.4. RESULTATS .....	140
II.4.1. Característiques fisiològiques dels tennistes.....	140
II.4.2. Resultats d’efectivitat tècnica .....	151
II.5. DISCUSSIÓ .....	158
II.5.1. Característiques fisiològiques i de càrrega .....	158
II.5.2. Resultats d’efectivitat tècnica .....	166
II.6. CONCLUSIONS.....	168

<b>CAPÍTOL III. ANÀLISI DE LES DEMANDES BIOENERGÈTIQUES DE LA COMPETICIÓ INDIVIDUAL.....</b>	<b>169</b>
III.1. OBJECTIUS .....	172
III.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ .....	173
III.3. MATERIAL I MÈTODES .....	175
III.3.1. Subjectes.....	175
III.3.2. Material.....	175
III.3.3. Procediment.....	176
III.3.4. Paràmetres .....	177
III.3.5. Anàlisi estadística.....	178
III.4. RESULTATS.....	179
III.4.1. Resultats dels partits .....	179
III.4.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics.....	180
III.4.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició .....	189
III.5. DISCUSSIÓ.....	192
III.5.1. Resultats dels partits .....	192
III.5.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics.....	193
III.5.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició .....	197
III.6. CONCLUSIONS .....	200
<b>CONCLUSIONS GENERALS.....</b>	<b>201</b>
<b>PERSPECTIVES D'INVESTIGACIÓ.....</b>	<b>205</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>209</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>229</b>
ANNEX 1: Full d'observació d'efectivitat tècnica .....	231
ANNEX 2: Resum de les deu categories de l'International Tennis Number (ITF, 2005).....	235
ANNEX 3: Quadre de comparació de l'International Tennis Number (ITF, 2007) .....	239
ANNEX 4: Full d'observació d'incidències del registre amb l'analitzador de gasos K4b <sup>2</sup> .....	242

## **ÍNDIX DE FIGURES**



Figura 1. Jugadores de diferents èpoques, il·lustratives de l'evolució del tennis del segle XX (A) al segle XXI (B). .....	6
Figura 2. Raqueta de fusta dels anys 60 i raqueta actual representatives de l'evolució del material (ITF, 2007).....	6
Figura 3. Fase d'impacte entre la raqueta i la pilota en un cop de revés a dues mans en una jugadora (A) i volea de dreta en un jugador (B), ambdós de nivell professional.....	8
Figura 4. Recorregut de la raqueta en el servei (ITF, 2007).....	9
Figura 5. Esquema de la relació entre estratègia, tàctica i tècnica en el tennis (Adaptat d'Arranz et al., 1993).....	10
Figura 6. Exemples d'accions amb elevats components d'agilitat (A) i potència (B) en tennistes professionals. ....	13
Figura 7. Habilitats físiques i components rellevants del rendiment en tennis (Kovaacs, 2007).....	15
Figura 8. Mitjana de les proporcions entre temps real de joc (TRJ) i temps de descans (TD) recollides en la literatura.....	19
Figura 9. Mitjana de la durada dels punts segons diferents superfícies de joc (terra batuda, pista dura i herba) recollides en la literatura. Les dades utilitzades són a partir de l'any 2000.....	19
Figura 10. Característiques del bot en funció del tipus de pilota (ITF, 2007).....	23
Figura 11. Factors que influeixen en la potència i la capacitat de l'activitat muscular aeròbica (Åstrand i Rodahl, 1986 en Åstrand, 1996) .....	28
Figura 12. Quadre de joc individual masculí de l'Open Seat Godó de Barcelona 2007 (ATP, 2007). .....	30
Figura 13. Esquema descriptiu dels tres estudis de que consta la recerca, seqüència temporal i relació entre ells i amb el rendiment en tennistes de competició. ....	44



Figura I.1. Esquema descriptiu del primer estudi de que consta la recerca.....	54
Figura I.2. Cronograma de l'estudi de repetitivitat del SET – Test. ....	55
Figura I.3. Esquema del protocol de la prova SET – Test.....	56
Figura I.4. Màquina llançapilotes (A) i la seva disposició a la pista de tennis (B). ....	57
Figura I.5. Visió frontal (A) i lateral (B) d'un jugador amb l'analitzador de gasos portàtil col·locat a l'esquena mitjançant un arnés. ....	58
Figura I.6. Cardiotacòmetre utilitzat per a la mesura de freqüència cardíaca en les proves i la competició simulada. ....	58
Figura I.7. Pilotes de tennis utilitzades durant les proves. ....	59
Figura I.8. Radar utilitzat per mesurar la velocitat de llançament de pilotes de la màquina llançapilotes. ....	60
Figura I.9. Figura il·lustrativa de la prova (SET – Test). ....	61
Figura I.10. Jugador realitzant la prova, després de copejar un revés i en desplaçament lateral. ....	63
Figura I.11. Investigadors responsables del registre de l'efectivitat tècnica (A) i del funcionament de la màquina llançapilotes (B). ....	63
Figura I.12. Investigadors responsables del funcionament de l'analitzador de gasos (A) i del funcionament general de la prova (B). ....	64
Figura I.13. Cronograma de l'administració del SET – Test. ....	65
Figura I.14. $VCO_2$ i $VO_2$ en funció del temps durant una de les proves SET – Test en un subjecte. S'hi indica el LIV1. ....	68
Figura I.15. Relació entre la $VCO_2$ i el $VO_2$ en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV1. ....	69
Figura I.16. Relació entre el $VCO_2$ i el $VO_2$ amb el $V_E$ (equivalent respiratori del $CO_2$ i de l' $O_2$ ) en un subjecte durant la prova. S'hi indica el LIV1. ....	69

Figura I.17. FEO <sub>2</sub> (%) i FECO <sub>2</sub> (%) en funció del VO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV1.....	69
Figura I.18. Evolució del VO <sub>2</sub> i VCO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2.....	71
Figura I.19. Relació entre la VCO <sub>2</sub> i el VO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2.....	72
Figura I.20. Relació entre el VCO <sub>2</sub> i el VO <sub>2</sub> amb el V <sub>E</sub> (equivalent respiratori del CO <sub>2</sub> i de l’O <sub>2</sub> ) en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2. ....	72
Figura I.21. FEO <sub>2</sub> (%) i FECO <sub>2</sub> (%) en funció del VO <sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2. ....	72
Figura I.22. Evolució de la mitjana de FC cada minut en un subjecte durant la prova (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S’hi indica el PDFC.....	75
Figura I.23. Evolució de la mitjana de FC cada 2 minuts en un subjecte durant el test (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S’hi indica el PDFC.....	75
Figura I.24. Evolució de la mitjana d’ET per període en un subjecte durant el test. S’hi indica el valor mitjà d’ET del subjecte i el PDET en un cas en que després de la deflexió no es torna a superar el valor mitjà.....	77
Figura I.25. Evolució de la mitjana d’ET per període en un subjecte durant el test. S’hi indica el valor mitjà d’ET del subjecte i el PDET en un cas en que després d’una deflexió es torna a superar el valor mitjà.....	77
Figura I.26. Evolució del consum d’oxigen durant una prova progressiva. S’observa l’anivellament (‘plateau’) del VO <sub>2</sub> a la fi de la prova. ....	88
Figura I.27. Corbes velocitat – temps de diferents tirs de pilota mesurats amb un radar i en condicions atmosfèriques estables. ....	92
Figura I.28. Angle i alçada de sortida de la pilota pel tub de llançament de la màquina llançapilotes. ....	92

Figura I.29. Correlació i diferències entre la durada de la prova en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). .....	96
Figura I.30. Correlació i diferències entre l'últim període assolit (UP) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). *3 = coincideixen tres punts, *2 = coincideixen dos punts. ....	97
Figura I.31. Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). .....	98
Figura I.32. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). *5 = coincideixen tres punts, *2 = coincideixen dos punts.....	99
Figura I.33. Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). ....	100
Figura I.34. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). .....	101
Figura I.35. Correlació i diferències entre la durada de la prova (temps) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). .....	103
Figura I.36. Correlació i diferències entre l'últim període assolit (UP) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). .....	103
Figura I.37. Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). .....	103
Figura I.38. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).....	104
Figura I.39. Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3). .....	104
Figura I.40. Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).....	104

Figura I.41. Correlació entre l'últim període assolit a la prova (UP) i el consum màxim d'oxigen màxim $VO_{2max}$ (n = 38). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.....	108
Figura I.42. Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i la freqüència cardíaca en el segon llindar ventilatori (FC LIV2). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.....	110
Figura I.43. Correlació entre el temps en que apareix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el temps en que apareix el segon llindar ventilatori (Temps LIV2). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.....	110
Figura II.1. Esquema descriptiu del segon estudi de que consta la recerca.....	137
Figura II.2. Accions de cop de revés (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant la realització del SET-Test.....	138
Figura II.3. Consum d'oxigen ( $VO_2$ ), ventilació pulmonar ( $V_E$ ), freqüència cardíaca i període (FC, període) durant la realització de la prova en un subjecte. Es presenten els valors mitjans a intervals de 15 segons.....	141
Figura II.4. Evolució del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) i la producció de diòxid de carboni ( $VCO_2$ ) en un subjecte durant l'aplicació del SET-Test. S'hi indiquen el final i l'inici de la prova i els punts corresponents al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).....	142
Figura II.5. Valors màxims de consum d'oxigen ( $VO_2$ ).....	144
Figura II.6. Màxima càrrega assolida expressada com a últim període (UP).....	144
Figura II.7. Valors màxims de freqüència cardíaca (FC). .....	144
Figura II.8. Consum d'oxigen relatiu al pes en el primer ( $VO_2$ LIV1) i segon ( $VO_2$ LIV2) llindars ventilatoris. ....	147
Figura II.9. Número de període en el primer (Període LIV1) i segon (Període LIV2) llindars ventilatoris. ....	147

Figura II.10. Freqüència cardíaca (FC) en el primer (FC LIV1) i segon (FC LIV2) llindars ventilatoris. ....	148
Figura II.11. Punt de deflexió de la freqüència cardíaca observat (PDFC) (n = 35)....	150
Figura II.12. Període en que s'assoleix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35).....	150
Figura II.13. Efectivitat tècnica (ET) global avaluada amb percentatge d'encerts. ....	153
Figura II.14. Evolució de l'efectivitat tècnica (ET) avaluada com a percentatge d'encerts, en funció dels períodes del SET – Test. S'hi indica la línia de tendència i les diferents fases en la seva evolució. ....	155
Figura II.15. Punt de disminució d'efectivitat tècnica (PDET) en relació amb el període de càrrega.....	156
Figura III.1. Esquema descriptiu del tercer estudi de que consta la recerca.....	173
Figura III.2. Cronograma de l'administració de les proves i avaluació dels partits.....	174
Figura III.3. Imatges de les accions de servei (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant el registre ergoespiromètric dels partits.....	177
Figura III.4. Valors mitjans de consum d'oxigen (VO <sub>2</sub> ) registrats durant els sets disputats (n = 20). ....	182
Figura III.5. Valors mitjans de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats (n = 20). ....	182
Figura III.6. Distribució percentual dels valors mitjans de VO <sub>2</sub> registrat durant els sets disputats (n = 20) respecte del consum màxim d'oxigen (VO <sub>2max</sub> ) i del primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2 ) determinats en el SET –Test.....	183
Figura III.7. Distribució percentual dels valor mitjans de FC registrada durant els sets disputats (n = 20), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC VO <sub>2max</sub> ) i al primer i segon llindars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2 ) determinats en el SET –Test. ....	183

Figura III.8. Valors màxims de consum d'oxigen ( $VO_2$ ) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).	185
Figura III.9. Valors màxims de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).	185
Figura III.10. Distribució percentual dels valors màxims de $VO_2$ registrat durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte del consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) i el primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET –Test.	186
Figura III.11. Distribució percentual dels valors màxims de FC registrada durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC $VO_{2max}$ ) i al primer i segon llindars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2) determinats en el SET – Test.	186
Figura III.12. Evolució de la freqüència cardíaca (FC) i del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) en un jugador durant la disputa d'un set. S'indiquen els descansos corresponents als canvis de camp i els intervals de joc definits pels descansos.	188
Figura III.13. Evolució del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) d'un subjecte durant un set. S'indiquen les zones de $VO_2$ intensitat relatives al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.	190
Figura III.14. Distribució percentual de la durada total dels sets segons els intervals definits pel $VO_2$ en el primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) (A), i la FC per aquests dos llindars (FC LIV1 i FC LIV2) (B).	191



## ÍNDEX DE TAULES





Taula 1. Capacitats físiques i manifestacions determinants en el tennis. ....	16
Taula 2. Recull de diversos estudis sobre temps real de joc i proporció entre temps de treball i de descans (T:D) segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Fernández et al., 2006).....	18
Taula 3. Recull de la durada mitjana dels punts i temps de descans entre punts segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Kovacs, 2007) .....	20
Taula 4. Número i distribució de cops en jocs al servei en tres competicions (Johnson i McHugh, 2006).....	24
Taula 5. Consum d'oxigen (VO <sub>2</sub> ), freqüència cardíaca (FC), ventilació pulmonar (VE), concentració de lactat (La), temps efectiu de joc, durada mitjana per punt i freqüència dels cops en dos grups de jugadors, ofensius i defensius (Smekal et al., 2001). ....	25
Taula 6. Proves de camp inespecífiques per avaluar la resistència utilitzades en el tennis. ....	33
Taula 7. Nacionalitats dels subjectes estudiats. ....	46
Taula 8. Dades generals dels subjectes estudiats. ....	47
Taula 9. Origen dels subjectes de la mostra. ....	47
Taula I.1. Temporalització de les tasques durant l'administració del SET – Test. ....	64
Taula I.2. Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV1 en un subjecte. ...	68
Taula I.3. Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV2 en un subjecte.....	71
Taula I.4. Valors d'efectivitat tècnica d'un subjecte. ....	77
Taula I.5. Valors d'efectivitat tècnica del subjecte. ....	77
Taula I.6. Freqüències de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat (CV)...	91
Taula I.7. Velocitat de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat.....	91

Taula I.8. Resultats de la realització dels tres test consecutius: T1, T2 i T3 (K4b <sup>2</sup> ).....	94
Taula I.9. Repetitivitat del SET – Test: comparació entre la primera i la segona administració de la prova (T1 i T2) realitzades amb dos dies de diferència (n = 12).....	95
Taula I.10. Influència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T2 i T3 (K4b <sup>2</sup> ) realitzats en un interval de 7 dies (n = 12).....	102
Taula I.11. Influència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T1 i T3 (K4b <sup>2</sup> ) realitzats en un interval de 9 dies (n = 12).....	105
Taula I.12. Número i percentatge de subjectes que van complir cadascun dels criteris de maximalitat de la prova (n=38).....	106
Taula I.13. Quocient respiratori (R) màxim registrat durant la prova progressiva (n = 38).....	106
Taula I.14. Freqüència cardíaca màxima registrada durant la prova progressiva (n = 38). Es mostra el percentatge de la freqüència cardíaca màxima teòrica (220 - edat).....	107
Taula I.15. Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el segon llindar ventilatori (LIV2) valorats amb temps, període i FC corresponents. ....	109
Taula I.16. Coeficients de correlació (r) entre la càrrega corresponent al punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) i paràmetres fisiològics (LIV2 i PDFC). ....	111
Taula I.17. Coeficients de correlació (r) entre el nivell competitiu (ITN) i les diferents variables que resulten del SET – Test.....	112
Taula I.18. Resultat de les anàlisis multivariants de regressió múltiple. S'indiquen els valors del coeficient de correlació ( $r_m$ ) i de determinació múltiple ( $r_m^2$ ), així com l'error estàndard d'estimació (EEE). ....	113
Taula I.19. Estadístics dels models de regressió múltiple. ....	113

Taula II.1. Valors màxims assolits durant la prova (n = 38).....	143
Taula II.2. Valors corresponents a la intensitat en que s'assoleix el consum màxim d'oxigen (VO <sub>2max</sub> ) (n = 38).....	145
Taula II.3. Variables fisiològiques i de càrrega corresponents al primer (LIV1) i segon (LIV2) llindars ventilatoris (n = 38). S'indiquen els percentatges respecte dels valors màxims de cada variable.....	146
Taula II. 4. Valors corresponents al punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35). S'indica els percentatges respecte els valors màxims.....	149
Taula II.5. Dades d'efectivitat tècnica (ET) en un subjecte. ....	152
Taula II.6. Efectivitat tècnica (ET) durant el SET – Test (n = 38).....	153
Taula II.7. Resultats d'efectivitat tècnica (ET) per període (n = 38). S'hi indica el percentatge d'efectivitat tècnica en relació a la mitjana d'encerts global. ....	154
Taula II.8. Període en que es produeix la disminució d'efectivitat tècnica (PDET). S'hi indica el percentatge en relació al període màxim (n = 38).....	156
Taula II.9. Taula de percentils dels principals paràmetres funcionals avaluats amb el SET – Test (n = 38). ....	157
Taula II.10. Recull de valors de consum màxim d'oxigen (VO <sub>2max</sub> ) i consum d'oxigen en el primer i segon llindar ventilatori (VO <sub>2</sub> LIV1 i VO <sub>2</sub> LIV2) en jugadors de competició.....	161
Taula II.11. Valors de consum màxim d'oxigen en grups d'esportistes i no esportistes de gènere masculí (Adaptat de Costill i Willmore, 2007).....	162
Taula II.12. Recull de valors de freqüència cardíaca màxima (FCmax) i freqüència cardíaca en el primer i segon llindar ventilatori (FC LIV1 i FC LIV2) en tennistes masculins de competició.....	163
Taula III.1. Dades generals dels subjectes.....	175

Taula III.2. Esquema de la distribució de l'analitzador de gasos i cardiotacòmetre en els partits avaluats. ....	176
Taula III.3. Resultats dels partits i durada dels sets disputats amb i sense analitzador de gasos portàtil. ....	179
Taula III.4. Valors ergoespiromètrics mitjans registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. .	181
Taula III.5. Valors ergoespiromètrics màxims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. .	184
Taula III.6. Valors ergoespiromètrics mínims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test. .	187
Taula III.7. Distribució temporal i percentual de la intensitat durant els sets disputats (n = 20) en relació al $VO_2$ en els llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).....	189
Taula III.8. Recull de diferents registres de consum d'oxigen ( $VO_2$ ) absolut i relatiu al consum màxim d'oxigen (% $VO_{2max}$ ) i al segon llindar ventilatori (% LIV2) durant un partit de tennis en jugadors masculins. ....	196
Taula III.9. Recull de diferents registres de freqüència cardíaca (FC) absoluta i relativa a la freqüència cardíaca màxima (% FCmax) durant un partit de tennis en jugadors masculins. ....	197

## **RESUM**



En el present estudi es proposa, aplica i valida una prova per avaluar la resistència específica en jugadors de tennis de competició i es realitza una anàlisi de les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals.

La recerca consta de tres estudis interrelacionats: un primer estudi es va centrar en el disseny d'una prova de resistència específica en tennis (SET – Test, *Specific Endurance Tennis Test*), que es valida mitjançant una anàlisi de la seva fiabilitat –en 12 jugadors de competició– i validesa –amb una mostra de 38 jugadors–. En un segon estudi es descriuen les característiques funcionals dels tennistes de competició derivades de l'aplicació de la prova proposada en la mostra de 38 jugadors. Per últim, en el tercer estudi s'examinen les demandes bioenergètiques d'un partit d'individuals mitjançant el registre de paràmetres ergoespiromètrics en competició simulada al llarg de 20 sets i en 20 jugadors.

Del disseny i validació de la prova es destaca que el SET–Test és una prova de camp objectiva, fiable i vàlida per avaluar la resistència específica en tennistes, permet realitzar una avaluació directa de paràmetres ergoespiromètrics sense que això afecti significativament els paràmetres estudiats i es vàlida per determinar de manera indirecta el segon llindar ventilatori en tennistes. La variable d'efectivitat tècnica (ET) es va mostrar com el millor indicador de rendiment seguit dels paràmetres fisiològics de resistència i potència aeròbica (LIV2 i  $VO_{2max}$ ); aquests mateixos paràmetres expliquen bona part de la variància en el nivell competitiu dels jugadors (56 i 53%, respectivament); possiblement la resta de la variabilitat pugui ser explicada pel nivell en habilitats tàctiques, estratègiques o psicològiques, no avaluades amb el SET – Test.

Es va aplicar de manera novedosa una prova de resistència específica realitzada a la pista de tennis a una mostra àmplia de jugadors de competició d'abast internacional i es va comprovar que els valors de  $VO_{2max}$  ( $57,0 \pm 6,0 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) dels tennistes són entre moderats i alts d'acord amb la naturalesa aeròbica de l'esport, tot i que el nivell de potència aeròbica no representa el paràmetre més determinant pel rendiment. L'efectivitat tècnica evoluciona de manera inversament proporcional a la intensitat de l'esforç durant la prova; els valors globals registrats ( $63,1 \text{ % d'encerts} \pm 9,1$ ) mostren un elevat nivell de precisió i potència.

De l'anàlisi de la competició simulada es destaca que els moderats valors mitjans observats durant el joc ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $51,6 \pm 8,6 \text{ % del } VO_{2max}$ ) i l'elevat percentatge de temps ( $77,2 \pm 24,5 \text{ %}$ ) en que els jugadors participen a



un nivell d'intensitat baixa o moderada ( $\text{VO}_2 < \text{LIV2}$ ) confirmen que el sistema de transport d'oxigen no es un factor limitant del rendiment en aquest esport.

# **INTRODUCCIÓ**



## **INTRODUCCIÓ**

### **Factors determinants del rendiment en el tennis**

Factors tècnics

Factors tàctics i estratègics

Factors psicològics

Factors funcionals

Factors condicionals

### **Anàlisi bioenergètica del tennis**

Anàlisi de temps–acció de la competició en tennis

Bioenergètica del tennis

Bioenergètica del tennis en funció de les diferents característiques del joc

### **Avaluació funcional de la resistència en el tennis**

La resistència en el tennis, una capacitat determinant

Proves de valoració de la resistència en tennis

## INTRODUCCIÓ

El tennis és un esport practicat arreu del món, amb milions de seguidors i practicants aficionats i professionals. Durant tot l'any es juguen diferents competicions professionals d'una o dues setmanes de durada, distribuïdes per diferents països i en diferents continents. Els circuits de la *Association of Tennis Professionals* (ATP) i la *Women's Tennis Association* (WTA) inclouen més de 140 competicions internacionals disputades en més de 40 països diferents. Aquestes competicions són de caràcter professional i es classifiquen per nivells (*Grand Slam*, *Tennis Masters Series*, *International Series Gold*, *International Series*, *Challengers ATP*, *Futures ATP* i *Satellites ATP*), en funció de la seva dotació econòmica i repartiment de punts per a la classificació ATP o WTA. També existeixen competicions mundials per equips nacionals masculins (*Davis Cup*, *World Team Championship*) i femenins (*Fed Cup*) així com un campionat del món individual (*Tennis Masters Cup*). Finalment, el tennis ha format part del programa Olímpic des de l'any 1986 fins el 1924, desapareixent per raó del seu professionalisme i reincorporant-se des del l'any 1988 durant els JJOO de Seúl.

Al marge del tennis com a esport competitiu i altament professionalitzat, també està plenament instaurat a nivell mundial com a esport recreatiu per al temps de lleure i com a pràctica en l'àmbit de l'activitat física i la salut. Segons la *International Tennis Federation* (ITF) (2007) el tennis es juga en més de 200 països; aquesta organització destaca el joc del tennis com un mitjà per desenvolupar diversos àmbits personals: social, afectiu, intel·lectual, físic i lúdic. Marks (2005) descriu els amplis beneficis per a la salut –adaptacions aeròbiques, augment de la densitat òssia, disminució del percentatge de greix corporal o augment de força– que aporta la pràctica d'aquest esport en jugadors sèniors i veterans. Per altra banda, i en contraposició amb la creença tradicional que el joc del tennis únicament es pot practicar en l'àmbit dels clubs i amb caràcter competitiu o lúdic, aquest esport s'està introduint progressivament en l'àmbit educatiu com a contingut d'iniciació esportiva. Fuentes (1999), Sanz (2004) i Torres (2005) destaquen les possibilitats educatives del tennis i el recomanen com a contingut idoni dins la programació d'aula de l'assignatura d'Educació Física.

A nivell competitiu, durant els últims 20 anys el tennis ha experimentat una gran evolució i la durada mitjana dels punts ha disminuït substancialment (Kovacs, 2007), conseqüència de l'augment de la velocitat de joc derivada d'una sensible millora del rendiment dels jugadors, una optimització en la seva preparació (Figura 1), així com una millora dels materials utilitzats (Figura 2). Aquesta evolució del tennis ha anat

acompanyada per un major interès en conèixer les característiques específiques del joc i per un augment de la producció científica relativa al mateix. Schönborn (1978, en Muntañola 1996) ja exposava que el tennis havia d'evolucionar cap a un estudi més científic. Per a Woods (1995) el futur de la medicina aplicada a l'esport i les ciències de l'activitat física és extremadament prometedor en el món del tennis, degut a que els jugadors i tècnics han reconegut l'important paper de la ciència com a suport per a l'entrenament i el desenvolupament en aquest esport. Maquirrian (2005) observa com el nombre de publicacions referents al tennis durant els últims 10 anys en revistes internacionals està quasi al nivell del futbol o la natació, i per sobre d'esports com el basquetbol.

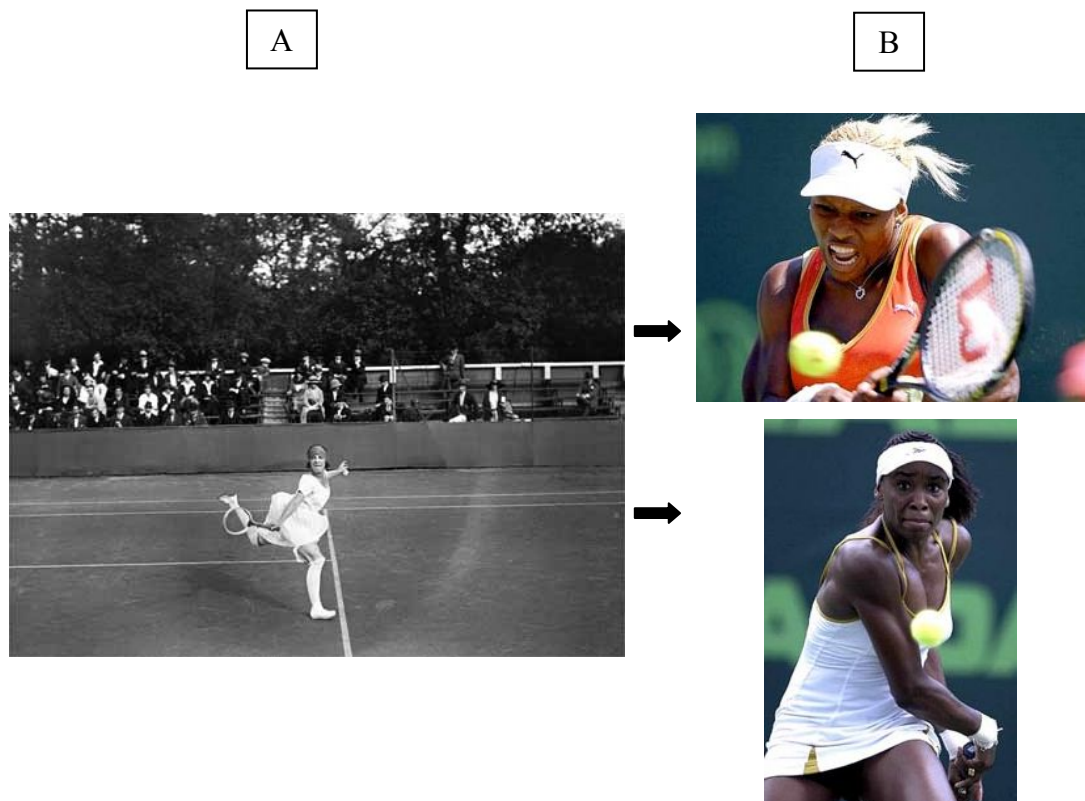
Durant els darrers anys Espanya ha esdevingut una potència mundial en competicions nacionals per equips<sup>1</sup>, i a partir de principis de la dècada dels anys 90 del segle passat, també en competicions individuals, especialment en superfície de terra batuda. Diversos jugadors i jugadores com Sergi Bruguera, Arantxa Sánchez, Conchita Martínez, Àlex Corretja, Carles Moya o Rafael Nadal han assolit importants victòries en les millors competicions a nivell mundial (Roland Garros, Wimbledon, US Open o Master's Cup). En relació a l'elevat rendiment competitiu i la gran evolució que ha experimentat el tennis al nostre país, el volum de la recerca científica al voltant d'aquest esport a casa nostra no es pot dir que hagi evolucionat de forma paral·lela. Es per aquesta raó que el present estudi pretén aportar nou coneixement científic, aprofitant en part el bon moment del tennis competitiu espanyol, la qual cosa ens ha permès accedir a una mostra internacional de jugadors de molt bon nivell, integrats en alguns dels centres d'entrenament de major prestigi mundial a Barcelona i a Palma de Mallorca.

Aquesta investigació no hauria estat possible sense el suport material i humà de l'INEFC de Barcelona, que ha posat a disposició dels investigadors les seves instal·lacions i material de recerca d'alta tecnologia. Així, la present investigació s'emmarca en la línia prioritària de recerca de l'INEFC de Barcelona "Valoració funcional i bioenergètica en esports intermitents", dirigida pel Dr. Ferran A. Rodríguez, director d'aquesta tesi conjuntament amb el Dr. Xavier Iglesias.

---

<sup>1</sup> L'equip espanyol masculí ha estat campió de la *Davis Cup* els anys 2000 i 2004, i finalista el 2003. L'equip femení ha estat campió de la *Fed Cup* els anys 1991, 1993, 1994, 1995 i 1998, i finalista els anys 1989, 1992, 1996, 2000 i 2002.

En aquesta introducció es descriuen succintament els factors determinants del rendiment en el tennis i s'analitzen amb més detall les demandes bionergètiques i funcionals, així com la resistència específica i els mètodes per a la seva avaluació.



**Figura 1.** Jugadores de diferents èpoques, il·lustratives de l'evolució del tennis del segle XX (A) al segle XXI (B).



**Figura 2.** Raqueta de fusta dels anys 60 i raqueta actual representatives de l'evolució del material (ITF, 2007).

## **FACTORS DETERMINANTS DEL RENDIMENT EN EL TENNIS**

El tennis és un joc esportiu d'oposició sense col·laboració –amb col·laboració en partits de dobles–, amb contacte indirecte, que requereix per part de l'esportista un alt grau d'habilitat motriu, una gran implicació de les capacitats físiques i una bona interpretació de les situacions tàctiques i de l'estratègia general. El rendiment competitiu del tennista depèn de la interacció de diversos factors com són els genètics, estructurals, fisiològics, biomecànics, cognitius i psicològics, els quals es tradueixen en habilitats i capacitats tècniques i tàctiques específiques. Per tant, considerem que el rendiment en aquest esport és multifactorial i, en conseqüència, és important considerar al jugador de tennis com una entitat integral en que els diferents factors contribueixen de manera conjunta i relacionada al rendiment. Sembla lògic doncs que les noves metodologies d'entrenament per a aquest esport hagin d'anar encaminades al desenvolupament de diferents continguts en una mateixa tasca o sessió, on s'hi vegin involucrats elements tàctics, físics, tècnics o psicològics, tenint en compte que tots aquests elements interactuen entre ells mateixos i condicionen el rendiment del jugador. Tradicionalment, la preparació del tennista s'ha dut a terme sense tenir en consideració el conjunt d'aquests elements i les seves interaccions, és a dir, considerant-los de manera aïllada, independent, no relacionada, i sense atendre a una visió integral del procés d'entrenament. A continuació es descriuen de manera breu i enumerats en cinc apartats, els principals factors que determinen el rendiment en aquest esport.

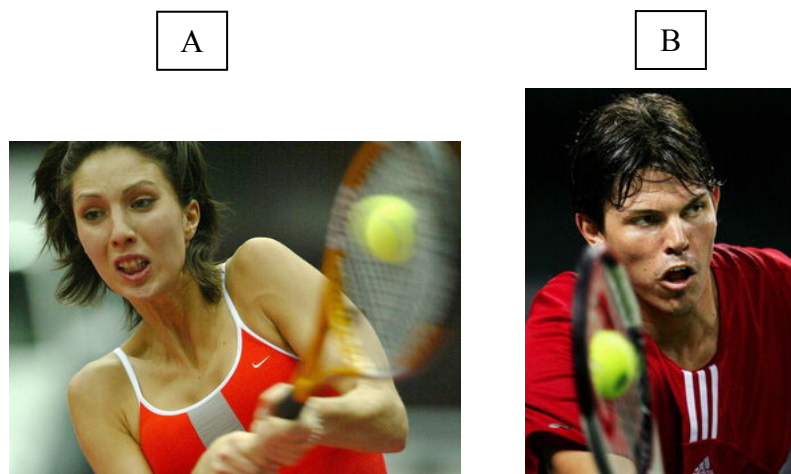
### **Factors tècnics**

El tennis és un esport eminentment tècnic i presenta una gran diversitat de moviments, la majoria dels quals s'han d'executar amb un alt component de precisió. En aquesta línia Arellano (1999) observa que en els jocs esportius la tècnica assoleix nivells de gran varietat i complexitat, tenint diversos objectius com són augmentar la precisió, evitar l'anticipació defensiva del contrari o una execució adequada en condicions canviants. Segons la *Escuela Nacional de Maestría de Tennis* (1998), els principals fonaments tècnics del joc són la mecànica dels cops, el joc de peus, les empunyadures i els efectes. Els cops es diferencien entre cops bàsics (dreta, revés, esmaixada, volees i servei), cops especials (globus, deixada i sobrebot) i cops de situació (restada, “passing-shot”, contra deixada i pujada a la xarxa) i existeixen unes variants genèriques dels cops en funció de la seva profunditat, alçada, direcció, força i efecte. Per Arranz et al.



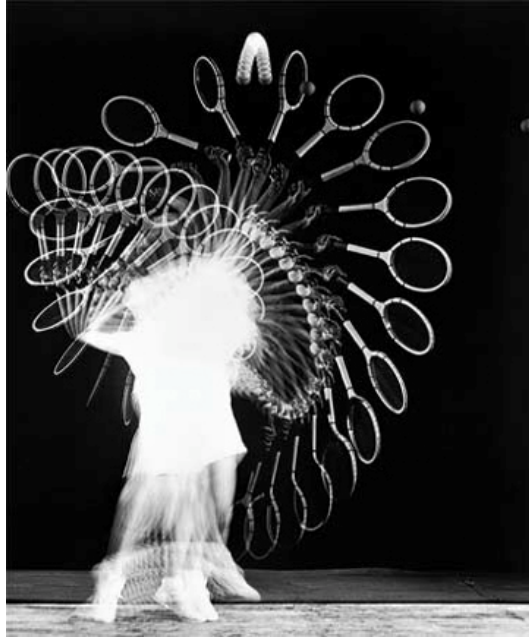
(1993) els principals components de la tècnica en tennis són la fluïdesa o naturalitat, l'economia i l'eficàcia.

El conjunt d'accions tècniques en el tennis es veuen condicionades per la velocitat de desplaçament de la pilota i aquesta representa un factor limitant de la tècnica. Per realitzar una acció cal que el jugador es trobi en un lloc i posició determinada que li permeti executar-la correctament. Una vegada el jugador està en situació de copejar, el temps de contacte entre la raqueta i la pilota és de 0,003 a 0,006 segons (Figura 3) i, en aquest interval de temps, la raqueta ha d'estar correctament orientada per a realitzar el cop desitjat (Renstrom, 2002). Durant aquest curt temps de contacte, la raqueta acompanya a la pilota de 0 a 10 cm, en funció de la força del cop (Federació Alemanya de Tennis, 1979).



**Figura 3.** Fase d'impacte entre la raqueta i la pilota en un cop de revés a dues mans en una jugadora (A) i volea de dreta en un jugador (B), ambdós de nivell professional.

Per altra banda, els cops es realitzen amb un elevat component de potència; en moltes accions el jugador intenta accelerar la raqueta per arribar al moment d'impacte amb una velocitat elevada. Chandler (1995) observa pics de velocitat de la raqueta en el servei de 100 a 116  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , que corresponen a velocitats de la pilota de 134 a 201  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (Figura 4).



**Figura 4.** Recorregut de la raqueta en el servei (ITF, 2007).

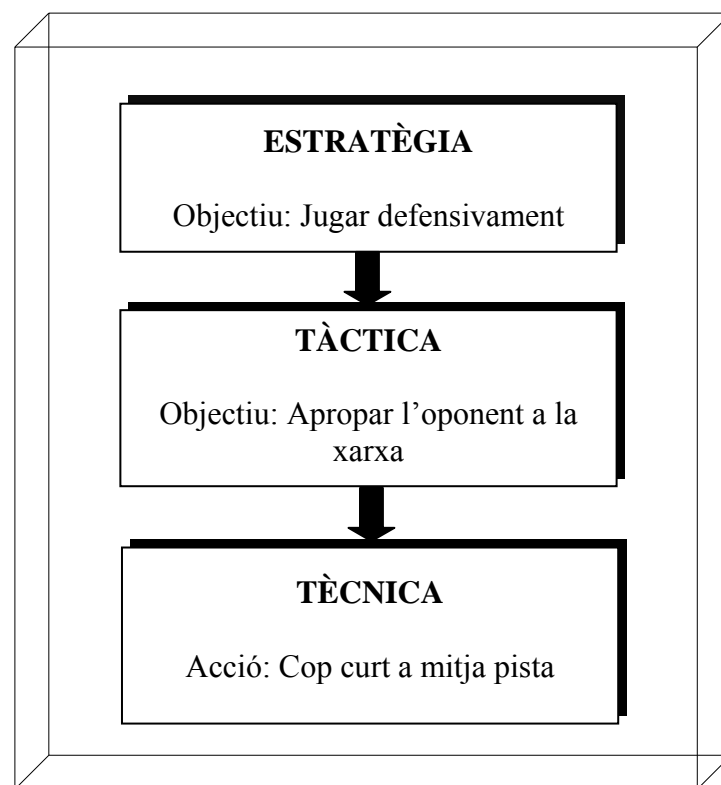
Tot i la gran complexitat i la importància del component tècnic en el tennis, cal emmarcar-lo dins un context global d'acord amb el caràcter situacional de l'esport. Segons Moreno (1999) cada cop i cada acció tècnica estarà condicionada i haurà d'ajustar-se a les necessitats peculiars de cada moment. Qualsevol d'aquestes accions es poden considerar com accions obertes i serà difícil observar-ne dos d'iguals degut a que també serà difícil que un jugador es trobi davant dos situacions idèntiques.

### **Factors tàctics i estratègics**

El tennis és un esport obert i durant el joc es donen un gran nombre i varietat de situacions, opcions i possibles solucions associades. En un partit d'individuals es produeix un enfrontament de contacte indirecte en que els dos subjectes actuen alternativament segons les seves possibilitats per intentar influir sobre les accions del contrari. Segons O'Donoghue (2001) el tennis és un joc dinàmic i complex en el que els jugadors prenen constantment decisions en relació al posicionament i els cops; el mateix autor observa que les estratègies dels jugadors per maximitzar les possibilitats de guanyar un partit es basen en el coneixement dels seus punts forts i febles, així com en els de l'oponent.

En aquest entorn el jugador es veu obligat a optimitzar les capacitats perceptives, ha de tenir una adequada capacitat analítica i realitzar una constant presa de decisions en

funció de les interpretacions tàctiques i estratègiques, la qual cosa exigeix un elevat desenvolupament de capacitats cognitives específiques. Segons Riera (1999) el tennis d'individuals és un esport d'oposició sense col·laboració on la tàctica individual constitueix l'essència del enfrontament; en aquest cas el jugador, per realitzar l'acció tècnica més adequada, ha de valorar les alternatives en funció de tres elements canviants: l'oponent (posició, situació, intencions, fatiga, recursos tècnics, etc.), la pilota i el propi jugador (posició, situació, intencions, fatiga, recursos tècnics, etc.) Segons el mateix autor, l'estratègia, la tàctica i la tècnica no impliquen tres accions diferents, sinó tres formes diferents de contemplar la mateixa acció. En aquesta mateixa línia, Weineck (2005) assenyala que la formació tàctica és un component integrador del procés d'entrenament i es troba en estreta relació amb les capacitats tècniques i psicològiques.



**Figura 5.** Esquema de la relació entre estratègia, tàctica i tècnica en el tennis (Adaptat d'Arranz et al., 1993).

### **Factors psicològics**

En el tennis de competició és habitual observar que un jugador de major nivell perd amb un jugador inferior, atribuint-se aquesta derrota a aspectes mentals o psicològics. Segons Cervelló (1999), quan es pregunta als entrenadors de tennis quins són els factors que determinen el rendiment en el joc, la majoria d'ells destaca la gran importància dels aspectes psicològics com a determinants en el resultat d'un partit. Actualment cada vegada es dóna més importància a aquest aspecte del rendiment i molts jugadors disposen d'un psicòleg esportiu integrat dins d'un equip tècnic multidisciplinar.

Per Riera (1985), el dèficit de concentració, juntament amb l'estrès competitiu i la manca de confiança, es presenta com un dels tres tipus de problemes més generals que es troben en els esportistes. Degut a les elevades dosis d'estrès que genera la competició, el tennis és un esport amb unes importants demandes a nivell psicològic. Loehr (1990) argumenta les següents raons com a responsables de l'estrès competitiu que genera el tennis: sovint es practica en modalitat d'individuals, no existeixen suplents ni temps morts, es disputa amb un adversari real (cara a cara), durant la competició no hi ha contacte amb l'entrenador, el sistema de puntuació implica que el jugador mai es troba fora de perill i es competeix amb un sistema eliminatori. Per Weinberg (1988) i Balaguer (1993), les principals variables psicològiques que conformen l'estat ideal d'execució en un tennista són la relaxació física, una baixa ansietat, calma mental, concentració, alta confiança, energia, optimisme, diversió, esforç, automatisme, alerta i control.

### **Factors funcionals**

Els factors funcionals determinen la capacitat del tennista d'efectuar i mantenir una determinada intensitat d'esforç durant un temps determinat. La present recerca es centra en aquests aspectes funcionals i es va realitzar mitjançant el registre de les respostes dels senyals fisiològics de jugadors de competició davant la pràctica específica del joc. Segons Terreros et al. (2003) durant els anys 80 i 90 es produeix una explosió d'investigacions sobre la valoració funcional de l'esportista, no obstant aquesta es realitzava majoritàriament al laboratori. En el present estudi, i amb consonància amb les actuals tendències (Rodríguez 1989, 1999), l'avaluació funcional i bioenergètica del jugador es va realitzar en el terreny esportiu, en situacions específiques i en condicions de joc. Degut a la seva importància en el context de la present recerca, aquests aspectes

es desenvolupen més extensament en apartats posteriors (veure Apartat 'Avaluació funcional de la resistència en el tennis').

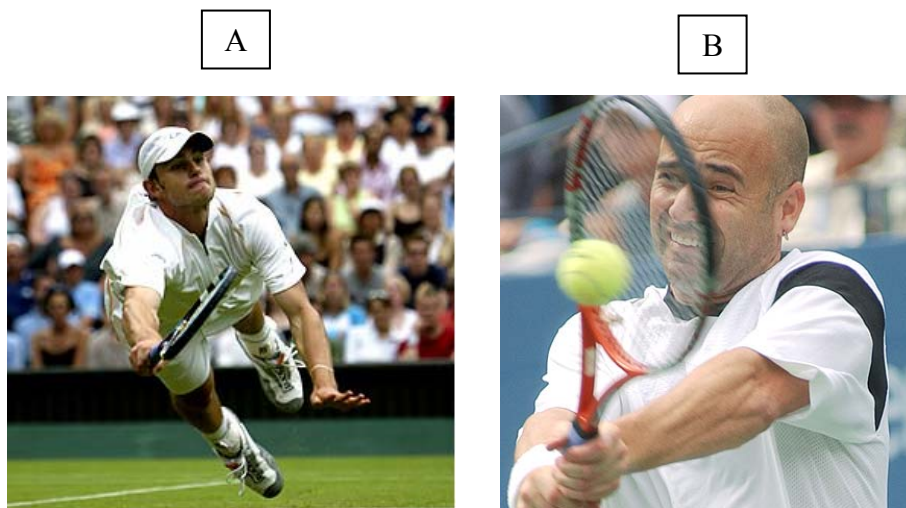
### **Factors condicionals**

El desenvolupament de les capacitats físiques ha adquirit un important paper en el tennis de competició; contràriament a com passava abans, els tècnics i jugadors consideren actualment que el rendiment dels tennistes està molt influenciat per la seva preparació física. Les adaptacions condicionals que necessita un jugador de competició no s'assoleixen únicament amb la pràctica específica de l'esport, sinó que necessita un entrenament addicional encaminat a la millora d'aquestes capacitats. Per Solanellas (1995), la durada dels partits, la seva intensitat i la repetició de la càrrega en pocs dies, així com els seus moviments asimètrics, plantegen la necessitat d'un entrenament específic de preparació física que avui en dia tot tennista considera i segueix. Gusi (1999) assenyala que la preparació física es caracteritza per ser la part de l'entrenament destinada a mantenir o desenvolupar el nivell de condició física requerit tant per la competició tennística com per al procés d'entrenament per a preparar-la.

Les exigències a nivell condicional del tennis venen determinades per les característiques específiques del joc. Així, el tennis es caracteritza per esforços curts d'exercici intensiu basats en una sèrie de moviments acíclics intermitents, amb molta intervenció de les capacitats de força i velocitat i que es donen durant un període de temps prolongat. Durant el joc es produeixen una gran quantitat de cops, sortides, frenades i canvis de direcció, accions tècniques que tenen una naturalesa explosiva i reactiva i estan determinades per la capacitat de velocitat acíclica i gestual. Durant el punt es recorren un total de 8 a 12 m, a una mitjana de 3 m per cop, i en un partit de tres sets de durada es realitzen un total de 300 a 500 esforços d'alta intensitat (Parsons, 1998 en Fernández et al., 2006). Méndez -Villanueva et al. (2007) observen sobre superfície de terra batuda  $2,7 \pm 2,2$  cops per intercanvi i Johnson i McHugh (2006) apunten que el guanyador del US Open del 2003 va realitzar 7 partits, jugant 120 jocs al servei amb una mitjana de  $7,8 \pm 3,2$  serveis per joc i aproximadament un total de 1000 serveis, tenint en compte que el servei és el cop més rotund i exigeix una gran aplicació de força per part del jugador.

Per tant, podem dir que la força explosiva del tren inferior és necessària per a la capacitat d'acceleració i la força explosiva del tren superior ho és per generar una òptima potència en els cops (Figura 6). Aquesta acció tècnica de copejament

normalment és unilateral i determina el caràcter asimètric de l'esport, fet que condiciona de manera important el treball de la condició física com a prevenció de lesions. Ellenbecker et al. (2005) observen adaptacions específiques de força significativament majors en l'extremitat dominant respecte la no dominant.

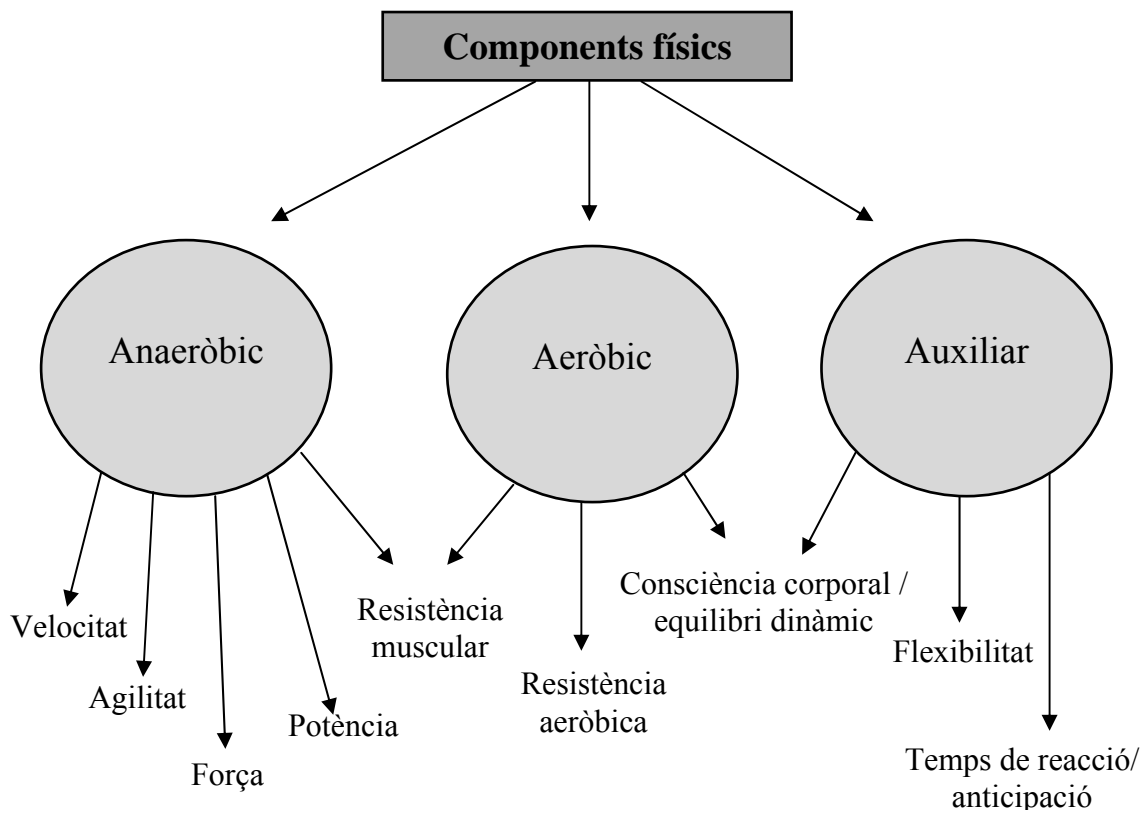


**Figura 6.** Exemples d'accions amb elevats components d'agilitat (A) i potència (B) en tennistes professionals.

Per altra banda, es tracta d'un esport amb una gran riquesa motriu on hi intervenen un ampli conjunt d'habilitats físiques i exigeix al jugador un gran bagatge coordinatiu degut a la gran riquesa d'elements tècnics. Un adequat nivell de coordinació permetrà al jugador realitzar els moviments tècnics específics de manera ràpida, sincronitzada, orientada i equilibrada amb l'objectiu d'impactar la pilota en el moment i amb la velocitat d'execució desitjats. De la mateixa manera, l'agilitat està present en quasi la totalitat de les accions –cops, desplaçaments, salts, canvis de sentit i direcció, etc. (Figura 6)– i integra les capacitats de velocitat, força, mobilitat articular i coordinació. Finalment totes aquestes manifestacions de capacitats físiques i l'elevada intensitat de joc d'un partit de tennis s'han de mantenir durant un temps prolongat (1 a 4 hores), amb la qual cosa la capacitat de resistència adquireix una paper determinant en el rendiment del jugador; segons Chandler (1995) la funció de la resistència aeròbica en el tennis és permetre una recuperació adequada entre els punts, la qual cosa permetrà participar de forma més intensa durant el joc. Aquesta capacitat condicional es

desenvolupa més extensament en següents apartats (veure ‘Avaluació funcional de la resistència en el tennis’).

La majoria d'autors identifiquen les necessitats condicionals diverses del jugador de tennis. Així, Kibler et al. (1988) i Chandler (1995) observen que el jugador necessita una barreja de capacitats anaeròbiques com són la velocitat, l'agilitat i la potència, combinades amb altes capacitats aeròbiques. Kovacs (2007) descriu tres components físics principals (aeròbic, anaeròbic i auxiliar) dels quals se'n deriven diferents habilitats físiques (Figura 7). En aquesta mateixa línia diferents autors (Gusi, 1999; Roetert i Ellenbecker, 2000; Vila, 1999; Ortiz, 2004; Aparicio, 1998; Gallach, 1993; Solanellas, 1995; Renström, 2002; Sanchis et al., 1994; Calvo, 2007) analitzen les capacitats físiques i les manifestacions que intervenen en el joc; estan tots ells d'acord en que velocitat, resistència, força, mobilitat articular, agilitat i coordinació són capacitats determinants des de la perspectiva de la condició física. Kibler et al. (1988) i Roetert et al. (1995) administren àmplies bateries de proves físiques a extenses mostres de jugadors júnior i a partir d'aquí descriuen els nivells d'aquests col·lectius i creen percentils en relació a les diferents capacitats físiques, amb l'objectiu de que els entrenadors coneguin quines són les àrees de condició física que han de millorar els seus jugadors o quines són les seves mancances.



**Figura 7.** Habilitats físiques i components rellevants del rendiment en tennis (Kovacs, 2007).

En la Taula 1 es mostra un recull de les capacitats condicionals i manifestacions que intervenen en el joc així com una breu descripció de les accions en que es veuen implicades.



**Taula 1.** Capacitats físiques i manifestacions determinants en el tennis.

<b>Capacitat</b>	<b>Tipus i manifestació</b>	<b>Accions en que es veu implicada</b>
<b>Resistència</b>	Resistència aeròbica	Recuperació ràpida entre els esforços, durada total del partit
	Resistència anaeròbica làctica	Es dona en menor mesura i en els punts de llarga durada
	Resistència anaeròbica alàctica	Successió d'esforços intermitents, curts i d'elevada intensitat
<b>Força</b>	Força explosiva	Execució dels cops i desplaçaments
	Força elàstica-explosiva	Execució dels cops i desplaçaments
	Força elàstica-explosiva-reflexa	Petits salts realitzats per recobrar la posició ("split-step") i per a la posterior carrera
	Força isomètrica	Membre superior executor: presa de la raqueta
	Resistència a les anteriors manifestacions	Manteniment del nivell de potència en els cops i desplaçaments durant tot el partit
<b>Velocitat</b>	Velocitat de reacció	Devolució dels cops
	Velocitat gestual o de moviment	Rapidesa del braç-raqueta en les accions de copejament
	Capacitat d'acceleració	Desplaçaments globals sobre distàncies curtes, i segmentaris del braç-raqueta en els cops
	Resistència a les anteriors manifestacions	Manteniment de la velocitat de desplaçament, moviment i reacció durant tot el partit
<b>Mobilitat articular</b>	Mobilitat articular dinàmica o activa	Participació de les masses musculars que realitzen els cops i desplaçaments
	Flexibilitat de treball i residual	Moviments de las articulacions en les posicions de copejament forçades
	Elasticitat	Recobrament de la posició neutra després d'un cop
<b>Coordinació</b>	Coordinació dinàmica general	Diferents tipus de desplaçament
	Coordinació òculo-manual	Tècnica dels cops: impacte entre cordes i pilota
<b>Agilitat</b>		Totalitat de desplaçaments i cops

## ANÀLISI BIOENERGÈTICA DEL TENNIS

L'habilitat del jugador de tennis per córrer, copejar la pilota i recuperar-se pel següent punt està en gran part determinada per la capacitat fisiològica d'adquirir, convertir i utilitzar energia (Renström, 2002). Segons Billat (2002), l'enfocament bioenergètic del rendiment esportiu no és exclusiu, però és essencial per aprendre les característiques energètiques, en particular la quantitat d'energia necessària per a la realització d'una prova esportiva i el tipus de transformació implicat en funció de la durada, intensitat i forma de l'exercici. La durada dels punts i la proporció entre el temps d'actuació i de descans determinen les demandes bioenergètiques del tennis; és per aquesta raó que a continuació i dins l'apartat de bioenergètica del tennis es realitza una anàlisi del temps-acció en funció del treball que recull la literatura.

### Anàlisi del temps-acció en tennis

Tal i com s'ha descrit anteriorment, el tennis és un joc intermitent en el qual la majoria d'accions són relativament curtes –actualment la mitjana de la durada dels punts sobre les diferents superfícies és netament inferior als 10 segons (Taula 3)– i s'observen diferents durades segons la superfície de joc (Figura 9). Aquesta durada mitjana ha disminuït respecte als anys 80 i 90, possiblement com a conseqüència d'un notable increment de la intensitat de joc. Els temps de descans entre punts, jocs i sets estan establerts per una normativa específica<sup>2</sup>, fet que determina que el temps efectiu de joc d'un partit de tennis sigui reduït (> 30%) (Figura 8) i que la proporció entre joc i descans sigui clarament favorable al temps de descans (Taula 2). Segons Ferrauti et al. (2001) la velocitat i qualitat dels cops durant els exercicis intermitents en el tennis és summament dependent de la durada dels temps de recuperació. El número de cops per punt, així com la durada dels mateixos, afecten les demandes bioenergètiques del joc, Smekal et al. (2001) realitzen una regressió lineal múltiple per passos per seleccionar les variables independents que expliquen millor el VO<sub>2</sub> en un partit de tennis, trobant que la durada dels punts explica un 29,1% de la variància del VO<sub>2</sub> en un partit. Méndez-Villanueva et al. (2007) van trobar que la concentració de lactat en sang durant el joc correlaciona significativament amb el número de cops per intercanvi i la durada dels

---

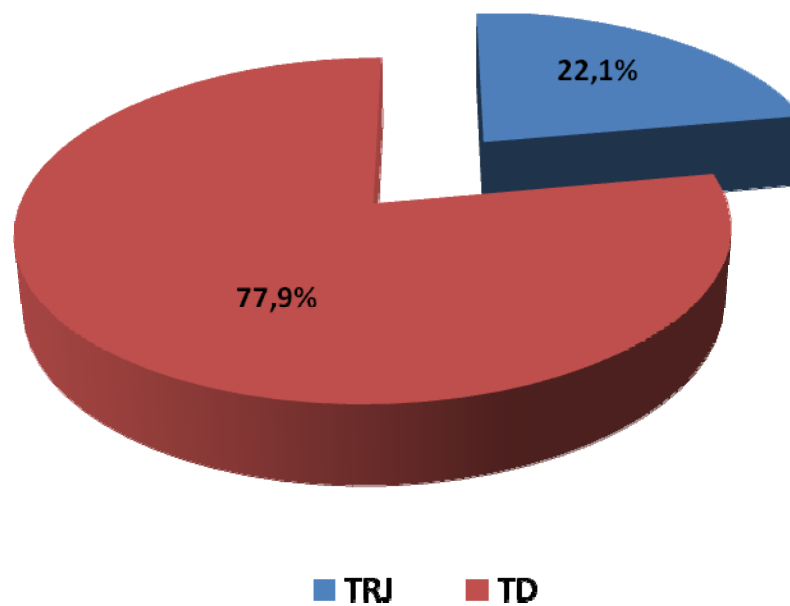
<sup>2</sup> Des de 2004 un màxim de 20 s entre punts (des del moment en que finalitza un punt fins el moment en que s'executa el següent servei). Un màxim de 90 s en els canvis de costat (des del moment en que s'acaba el joc fins el moment en que s'executa el primer servei del joc següent). Al final de cada set un màxim de 120 s (International Tennis Federation, 2007).

punts ( $r = 0,80$ ), i Christmass et al. (1998) troben que les variacions en la concentració de lactat observades durant el joc depenen directament dels temps de treball i descans (durada dels punts) i de la seva intensitat.

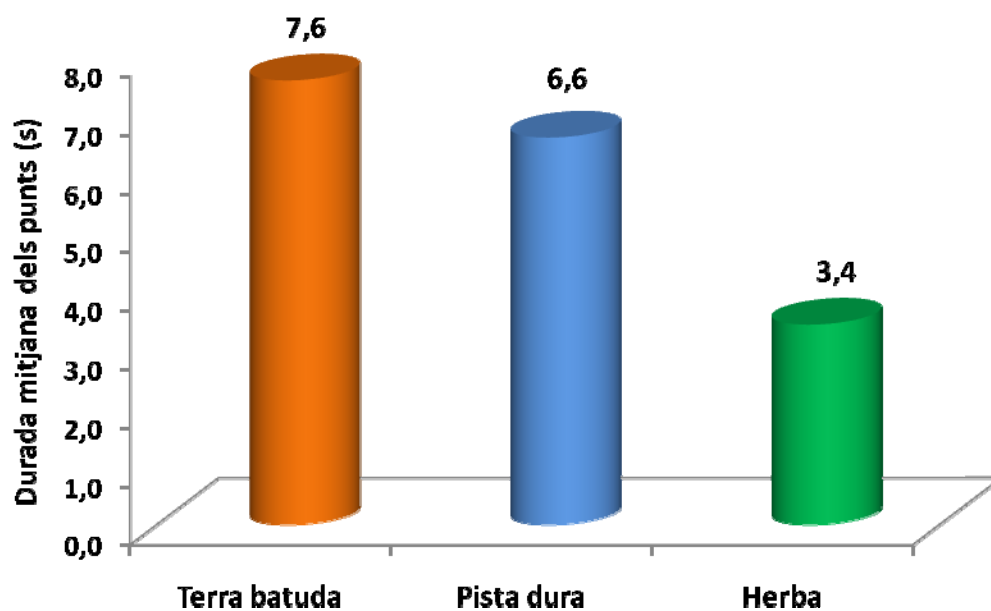
**Taula 2.** Recull de diversos estudis sobre temps real de joc i proporció entre temps de treball i de descans (T:D) segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Fernández et al., 2006).

Referència	Temps de joc (%)	T:D	Superfície	Classe
Fernández et al. (2005)	18,2 ± 5,8	1:2,2	Terra batuda	1
Ferrauti et al. (1998)	20,6 ± 8,2	-	Terra batuda	1
Smekal et al. (2001)	29,3 ± 12,1	-	Terra batuda	1
Méndez-Villanueva et al. (2007)	21,5 ± 4,9	1:2	Terra batuda	1
Smekal et al. (2003)	16,3 ± 6,6	-	Terra batuda	1
Murias et al. (2007)	-	1:2,2	Terra batuda	1
Reilly i Palmer (1994)	27,9 ± 3,9	1:2,5	Dura	2
Christmass et al. (1998)	23,3 ± 1,4	1:1,7	Dura	2
Elliot et al. (1985)	26,5 ± 3,5	1:2,9	Dura	2
Docherty (1982)	-	1:1,8	Dura	2
Weber et al. (1978)	16,4	-	Dura	2
Kovacs (2004)	-	1:2,6	Dura	2
Girard et al. (2005)	21,3 ± 3,6	-	Dura	2
Murias et al. (2007)	-	1:2,9	Dura	2

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Classe = Classificació de la superfície per la ITF: 1= lenta, 2 = mitjana/mitjana-ràpida.



**Figura 8.** Mitjana de les proporcions entre temps real de joc (TRJ) i temps de descans (TD) recollides en la literatura.



**Figura 9.** Mitjana de la durada dels punts segons diferents superfícies de joc (terra batuda, pista dura i herba) recollides en la literatura. Les dades utilitzades són a partir de l'any 2000.

**Taula 3.** Recull de la durada mitjana dels punts i temps de descans entre punts segons diferents superfícies en tennistes masculins (Adaptat de Kovacs, 2007).

Referència	Durada dels punts (s)	Temps de descans (s)	Superfície	Classe
Dawson et al. (1985)	10 ± 0,2	-	Dura	2
Elliott et al. (1985)	10 ± 0,8	-	Dura	2
Morgans et al. (1987)	7,5 ± 0,7	-	Dura	2
Therminarias et al. (1991)	12 ± 1	-	Dura	2
Chandler (1991)	12,2	-	Dura	2
Christmass et al. (1995)	10,2 ± 0,3	16,8 ± 0,2	Dura	2
Richard (1995)	8	-	Dura	2
Yoneyama et al. (1999)	6,6	-	Dura	2
König et al. (2001)	7 - 10	-	Dura	2
O'Donoghue i Ingram (2001)	5,8 ± 1,9*	-	Dura	2
O'Donoghue i Ingram (2001)	6,3 ± 1,8*	-	Dura	2
Kovacs (2004)	6,0	-	Dura	2
Kovacs et al. (2004)	6,2	-	Dura	2
Girard et al. (2005)	7,0 ± 1,3	-	Dura	2
Murias et al. (2007)	7,2 ± 4,4	20,2 ± 7,7	Dura	2
O'Donoghue i Ingram (2001)	7,7 ± 1,7*	-	Terra batuda	1
Smekal et al. (2001)	6,4 ± 4,1	-	Terra batuda	1
Mendez-Villanueva et al. (2007)	7,5 ± 7,3	16,2 ± 5,2	Terra batuda	1
Murias et al. (2007)	8,8 ± 5,3	19,4 ± 8,6	Terra batuda	1
O'Donoghue i Ingram (2001)	4,3 ± 1,6*	-	Herba	3
Hughes i Clark (1995)	2,52	-	Herba	3

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Classe = Classificació de la superfície per la ITF: 1= lenta, 2 = mitjana/mitjana-ràpida, 3 = ràpida. \*Dades de partits de categoria masculina i femenina jugats en tornejos de *Grand Slam*.

### Bioenergètica del tennis

La intensitat d'un partit de tennis i la seva bioenergètica han estat investigades per diversos mètodes com l'estudi del temps-acció o anàlisi global de l'especialitat (Fox, 1984), estimació indirecta amb la combinació d'una prova ergoespiromètrica en el laboratori i mesurament de la FC durant un partit (Elliot et al., 1985; Bergeron et al., 1991), mesurament directe del  $\text{VO}_2$  mitjançant un analitzador de gasos portàtil (Smekal et al., 2001) o mesurament de la concentració de lactat (Bergeron et al., 1991; Therminarias et al., 1991; Groppe et al., 1996). La majoria d'autors coincideixen en considerar el sistema dels fosfàgens com a proveïdor d'energia immediata (Groppe et al., 1992; Therminarias et al., 1991; Elliott et al., 1985; Smekal et al., 2001; Chandler, 1995; Renström, 2002) i que la resíntesi d'ATP i fosfocreatina (Pc) en tennistes entrenats s'assoleix principalment per mecanismes aeròbics (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985, Chandler, 1995; Renström, 2002). No obstant la coincidència en la participació de la via aeròbica i la via anaeròbica alàctica, no hi ha acord sobre en quines proporcions s'utilitza cadascuna d'aquestes vies metabòliques o quina és la naturalesa metabòlica essencial de l'esport. Seliger et al. (1973) indiquen que el 88% de la producció d'energia durant un partit de tennis prové de mecanismes aeròbics; per contra, Fox (1984) indica que aquesta participació és només del 30%. Elliot et al. (1985) consideren que la principal font energètica utilitzada durant els punts és la via dels fosfàgens, amb una resíntesi parcial de l'ATP i Pc mitjançant la via aeròbica durant la recuperació entre punts. Bergeron et al. (1991) assenyalen que, encara que el tennis està caracteritzat per períodes d'exercicis d'alta intensitat, el conjunt de respostes metabòliques s'assemblen a un exercici prolongat d'intensitat moderada. Christmass et al. (1998) observen que aquesta controvèrsia pot venir donada per les limitacions dels mètodes utilitzats per determinar la intensitat de l'exercici i les respostes metabòliques en un partit de tennis, fent notar que les prediccions del  $\text{VO}_2$  durant exercicis intermitents basades en la mesura de la freqüència cardíaca durant el joc sobreestimen la resposta aeròbica. Per altra banda, els estudis que realitzen una anàlisi de la intensitat del joc utilitzant com a indicador la concentració de lactat en sang coincideixen en que la lactatèmia durant un partit de tennis rarament supera els  $3\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Ferrauti et al., 2001; Therminarias et al., 1991; Groppe et al., 1996; Murias et al., 2007) i observen que la participació de la via glucolítica no és molt important. No obstant, Smekal et al. (2001) assenyalen que la mesura de la concentració de lactat és problemàtica quan s'associa a la intensitat de l'esforç, especialment en esports

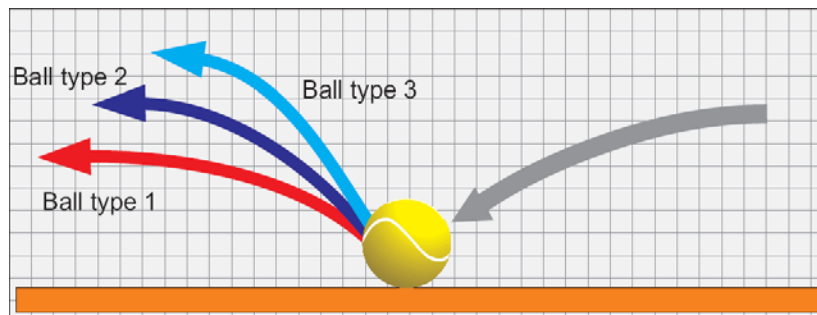
intermitents com és el cas del tennis. En la mateixa línia Smekal et al. (2003) observen que la utilització de la concentració de lactat com a paràmetre per interpretar les demandes energètiques del tennis ens pot induir a pensar que és un esport aeròbic de intensitat mitjana o baixa, quan les intensitats són altes però intermitents i de curta durada. Per tant, pensem que actualment el millor mètode per determinar la intensitat i les demandes bioenergètiques del tennis és el registre directe de paràmetres ergoespiomètrics durant el joc, i és per això que el present estudi s'ha dut a terme utilitzant un analitzador de gasos portàtil en una mostra àmplia de tennistes de competició. Tot i que actualment hi ha estudis que també utilitzen la medicació de consum d'oxigen (Smekal et al., 2001), ho fan de forma indirecta, registrant la FC durant el joc i relacionant-ne els valor amb les dades d'una prova de laboratori i en base a la relació FC-VO<sub>2</sub> durant la cursa en cinta rodant. No s'ha trobat cap estudi que realitzi una anàlisi de la competició amb mesurament directe del VO<sub>2</sub>, relacionant aquests registres amb una prova màxima específica i amb una mostra de jugadors tant nombrosa.

### **Bioenergètica del tennis en funció de les característiques del joc**

Les característiques específiques d'un partit de tennis poden ser diverses en funció d'una varietat d'aspectes. Es tracta d'un esport que es pot jugar sobre superfícies a l'aire lliure (terra batuda, herba i pista dura) o interiors (pista dura i moqueta), amb diferents tipus de pilota (tipus 1: velocitat ràpida, tipus 2: velocitat mitjana, tipus 3: velocitat lenta; ITF, 2007) i utilitzant diferents sistemes de puntuació (al millor de tres o cinc sets). Totes aquestes variables afecten al tipus de joc i a les demandes fisiològiques de la competició. Bona part dels jugadors de competició mostren diferents graus de rendiment competitiu en funció d'aquestes variables i segons el seu perfil tècnic, tàctic i estratègic o condicional. Alguns jugadors s'especialitzen en algun tipus de superfície en concret i la majoria d'ells realitzen entrenaments específics segons la superfície de la propera competició.

La superfície de joc afecta principalment la velocitat de bot de la pilota, degut a la fricció que es produeix entre la pilota i la superfície (coeficient de fricció). En superfícies lentes com la terra batuda, aquest coeficient de fricció és superior i el lliscament de pilota sobre la superfície, i per tant la seva velocitat, és menor, la qual cosa es tradueix en una menor velocitat de joc i en un augment de la durada dels punts. Es per aquesta raó que la ITF (2007) recomana que la pilota de tipus 1 (ràpida) s'hauria d'utilitzar per a jugar en superfícies de velocitat baixa, la pilota de tipus 2 (velocitat

mitjana) s'hauria d'utilitzar per a jugar en superfícies de velocitat mitjana o mitjana-alta i la pilota de tipus 3 (lenta) s'hauria d'utilitzar per a jugar en superfícies de velocitat alta (Figura 10).



**Figura 10.** Característiques del bot en funció del tipus de pilota (ITF, 2007).

O'Donoghue i Ingram (2001) analitzen les quatre competicions de *Grand Slam* jugades sobre diferents superfícies i troben que la durada dels punts és significativament més llarga en el torneig Roland Garros (terra batuda) que en la resta, i significativament més curts en el torneig de Wimbledon (herba); per altra banda observen que la proporció de punts jugats des del fons de la pista en el Roland Garros ( $51,9 \pm 14,2\%$  dels punts) és significativament superior a l'Open d'Austràlia ( $46,6 \pm 12,5\%$ ), Wimbledon ( $19,7 \pm 19,4\%$ ) i US Open ( $35,4 \pm 19,5\%$ ). Els mateixos autors conclouen que la superfície de joc influeix significativament sobre la naturalesa dels partits individuals en els tornejos de *Grand Slam*. Murias et al. (2007) constaten les diferents característiques del joc en funció de les diferents superfícies i que la major durada dels punts es correspon amb un increment de les demandes metabòliques. Aquests autors comparen les respostes metabòliques i funcionals en els mateixos jugadors sobre diferents superfícies (terra batuda i pista dura) i observen que el temps de joc per punt ( $8,8 \pm 5,3$  vs  $7,2 \pm 4,4$  s), la distància recorreguda per punt ( $11,6 \pm 1,5$  vs  $9,3 \pm 1,8$  m) i per joc ( $1.447 \pm 143$  vs  $1.199 \pm 168$  m), la FC ( $143 \pm 22$  vs  $135 \pm 21$  bat·min<sup>-1</sup>) i la concentració de lactat ( $1,65 \pm 0,60$  vs  $1,16 \pm 0,34$  mmol·L<sup>-1</sup>) són significativament més elevats sobre terra batuda que en pista dura. En aquest sentit, aquests autors assenyalen que el tipus de superfície s'ha de tenir en compte a l'hora de programar un treball de millora de la condició física dels jugadors. Johnson i McHugh (2006) analitzen el tipus i número de cops en tres competicions professionals de màxim nivell (US Open, Roland



Garros i Wimbledon) jugades sobre diferents superfícies (pista dura, terra, herba) durant el 2003. Van estudiar 22 jugadors diferents i un total de 616 jocs distribuïts en les tres competicions (186 Roland Garros, 206 Wimbledon, 225 US Open). El nombre total de cops per joc al servei oscil·lava entre 16,0 i 21,0; en la Taula 4 s'observa com en la competició sobre terra batuda (Roland Garros) es realitza un nombre superior de cops per joc, seguida de l'US Open (pista dura) i per Wimbledon (herba). Per altra banda s'observa com en la superfície de terra es realitzen més cops liftats de dreta i revés i en superfícies d'herba augmenten el nombre de cops de volea i mitja volea.

**Taula 4.** Número i distribució de cops en jocs al servei en tres competicions (Johnson i McHugh, 2006).

Tipus de cop		US Open	Roland Garros	Wimbledon
Total cops		17,9 ± 12,1	21,0 ± 10,2	16,0 ± 8,9
Servei	Primer	6,4 ± 3,2	6,5 ± 2,3	6,4 ± 2,9
	Segon	2,5 ± 2,1	2,4 ± 1,7	2,6 ± 2,0
Liftat	Dreta	4,3 ± 4,3	6,0 ± 4,2	2,9 ± 3,4
	Revés	3,4 ± 3,8	4,2 ± 4,0	1,3 ± 1,9
Tallat	Dreta	0,1 ± 0,3	0,4 ± 1,3	0,1 ± 0,3
	Revés	0,5 ± 1,0	0,7 ± 1,1	0,3 ± 0,7
Mitja volea	Dreta	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,5	0,3 ± 0,6
	Revés	0,1 ± 0,3	0,03 ± 0,2	0,2 ± 0,5
Volea	Dreta	0,2 ± 0,4	0,2 ± 0,4	0,6 ± 0,9
	Revés	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,4	0,9 ± 1,5
Esmaixada		0,1 ± 0,4	0,2 ± 0,6	0,2 ± 0,6

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ .

En el present estudi l'anàlisi bionergètica s'ha realitzat en superfície de pista dura; actualment aquesta superfície és molt utilitzada en les competicions més importants com els tornejos *Grand Slam* (Australian Open, US Open), *Masters Series* (Indian Wells, Miami Open, Roger Cup Montreal, Cincinnati) o la *Tennis Masters Cup*.

Smekal et al. (2001) van estudiar la influència que exercia el comportament tàctic i estratègic sobre les demandes energètiques del joc i observen com els paràmetres fisiològics i de temps-acció poden ser significativament diferents en funció de les característiques dels jugadors. Els autors van analitzar el comportament de diferents jugadors diferenciant-los entre jugadors defensius, els quals jugaven bàsicament des de la línia de fons, i jugadors ofensius, que utilitzaven més els recursos de servei-volea; van analitzar 10 partits i es van dividir en dos grups: 5 van ser jugats per dos jugadors defensius i 5 per dos jugadors ofensius. Van trobar diferències significatives (Taula 5) en diferents variables fisiològiques ( $VO_2$ , FC, VE, La) i variables de temps-acció (temps efectiu de joc i durada dels punts). Tant les variables fisiològiques com les variables de temps-acció eren més elevades en el cas dels partits jugats per jugadors defensius.

**Taula 5.** Consum d'oxigen ( $VO_2$ ), freqüència cardíaca (FC), ventilació pulmonar (VE), concentració de lactat (La), temps efectiu de joc, durada mitjana per punt i freqüència dels cops en dos grups de jugadors, ofensius i defensius (Smekal et al., 2001).

Variables	Jocs “defensius” (n = 126)	Jocs “ofensius” (n = 144)	Sig. (p)
$VO_2$ (mL·Kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	30,8 ± 5,7	27,5 ± 5,1	<0,001
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	158 ± 16	145 ± 19	<0,001
$V_E$ (L·min <sup>-1</sup> )	61,5 ± 13,3	57,0 ± 12,1	<0,01
La (mmol·L <sup>-1</sup> )	2,5 ± 0,9	1,7 ± 0,7	<0,001
Temps efectiu de joc (%)	29,3 ± 12,1	20,3 ± 8,2	<0,001
Durada per punt (s)	8,2 ± 5,1	4,8 ± 1,8	<0,001
Freqüència dels cops (·min <sup>-1</sup> )	42,6 ± 9,6	47,1 ± 6,9	<0,001

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ .

Per altra banda, també s'observen diferències en les demandes específiques del joc segons si el jugador es troba servint o restant. Johnson i McHugh (2006) observen que quan un jugador està servint el cop que més es realitza és el servei ( $8,9 \pm 4,7$  cops), seguits de la dreta liftada ( $4,4 \pm 4,2$  cops) i revés liftat ( $3,0 \pm 3,6$  cops); en canvi quan el jugador està restant, el cop que més es realitza és el revés liftat ( $3,0 \pm 1,9$  cops), seguit de la dreta liftada ( $2,6 \pm 3,1$  cops). Elliot et al. (1985) van observar que la FC es manté més elevada en els jocs en que el jugador està servint ( $80,4 - 82,5$  % de la FC<sub>max</sub>) que

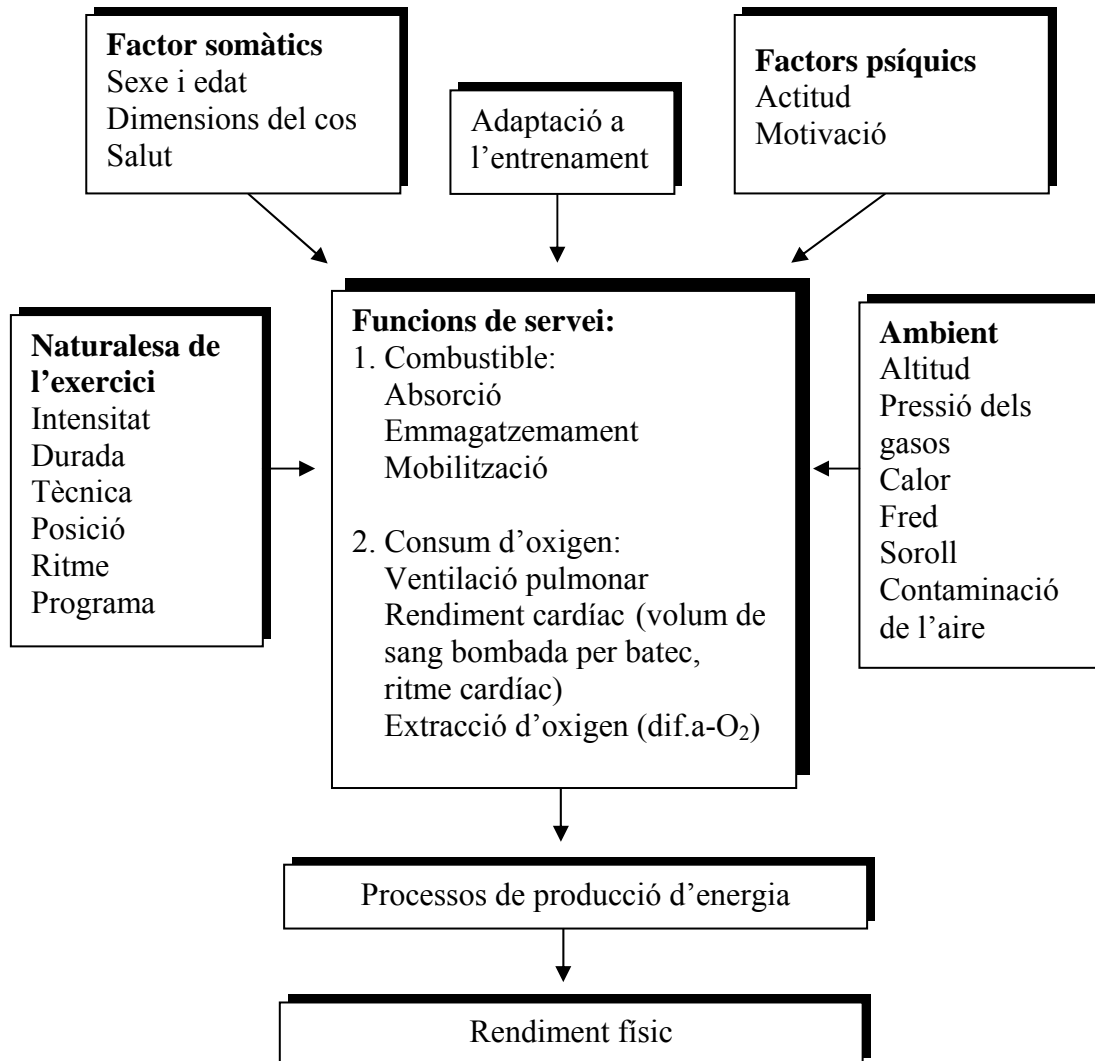
en els que està restant (74,6 - 77,4% de la FCmax). En la mateixa línia, Méndez-Villanueva et al. (2007), en partits de competició reals jugats per 8 jugadors professionals, van trobar que la concentració de lactat és significativament més elevada després dels jocs en que el jugador serveix ( $n = 27$ ;  $4,6 \pm 2,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) que en els que resta ( $n = 26$ ;  $3,2 \pm 1,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Això indica que el servei és el cop en que es genera més potència i despesa energètica i que el jugador que es troba servint adquireix un rol dominant i més actiu en relació al jugador que resta. En contraposició amb aquest resultat, Smekal et al. (2001) no van trobar diferències significatives en els valors de diferents variables fisiològiques entre els jocs servint ( $\text{VO}_2$ :  $29,5 \pm 5,7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ; FC:  $152 \pm 18 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $V_E$ :  $59,2 \pm 12,9 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; La:  $2,1 \pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) i restant ( $\text{VO}_2$ :  $28,6 \pm 5,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ; FC:  $150 \pm 20 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $V_E$ :  $59,2 \pm 12,7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ; La:  $2,0 \pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

## **AVALUACIÓ FUNCIONAL DE LA RESISTÈNCIA EN EL TENNIS**

### **La resistència en el tennis, una capacitat determinant**

Tot i que el rendiment competitiu en el tennis depèn en bona part de les capacitats tècniques, tàctiques, coordinatives, de potència, força i velocitat, el jugador necessita mantenir totes aquestes capacitats durant un temps prolongat. El principal objectiu del treball de la resistència en el tennis és mantenir la intensitat de joc durant la totalitat del partit i intentar evitar o retardar l'aparició de la fatiga; és per aquesta raó que un dels objectius estratègics del jugador és induir fatiga en l'oponent per tal de reduir la seva eficàcia tècnica i augmentar el nombre d'errors. Segons Lees (2003), la fatiga afecta el rendiment de les habilitats de raqueta i es manifesta amb un pobre joc de posició i amb una disminució de la precisió dels cops. Vergauwen et al. (1998) van trobar que després d'un partit intens d'entrenament de 2 hores incrementaven els errors dels cops de fons i el servei. En la mateixa línia, Davey et al. (2001) van observar que després d'induir fatiga al jugador mitjançant un test intermitent, els jugadors disminuïen la precisió dels seus cops. Girard et al. (2005) van estudiar els efectes que tenia un partit de tennis prolongat sobre la força màxima i explosiva, observant una disminució de la força màxima (-9%) i una disminució significativa de la força explosiva 30 minuts després del partit.

Åstrand i Rodahl (1986) en Åstrand (1996) resumeixen els factors que cal considerar a l'hora d'analitzar les demandes aeròbiques d'una prova i el potencial d'un individu per executar-les (Figura 11). En el cas del tennis, la durada mitjana de les accions durant el joc és reduïda (< 10 seg.) (Figura 9), no obstant això, la durada total d'un partit no té límits reglamentaris de temps i poden durar des d'una hora o menys en partits al millor de tres sets, fins a més de 5 hores en partits al millor de 5 sets. La final del *Masters Series* de Roma 2005 disputada entre l'espanyol Rafael Nadal i l'argentí Guillermo Coria va tenir una durada de 5 hores i 14 minuts amb un resultat de 6/4 3/6 6/3 4/6 7/6, essent la final més llarga de l'era *Open*. Per a König et al. (2000), tot i que la intensitat global durant els intercanvis es pot considerar modesta, la durada dels partits i dels tornejos, les diferents condicions climàtiques, així com la tensió mental i neuromuscular imposa als jugadors elevades demandes de resistència. La gran majoria de competicions es realitzen a l'aire lliure i en molts casos es realitzen en períodes de primavera i estiu i amb temperatures elevades; segons Lees (2003), en un partit de tennis la temperatura ambiental exerceix una influència directa sobre l'estrès fisiològic del jugador. Bergeron et al. (1995) constaten que a l'Open d'Austràlia de 1994 es va jugar a 38° C en la pista central, amb una temperatura a la superfície de la pista que freqüentment assolía els 54° C, el mateix autor assenyala que en aquests casos la taxa de pèrdua de líquids depèn, entre d'altres factors, de l'aptitud aeròbica del jugador.



**Figura 11.** Factors que influeixen en la potència i la capacitat de l'activitat muscular aeròbica (Åstrand i Rodahl, 1986 en Åstrand, 1996)

Per alta banda cal considerar la fatiga produïda per l'acumulació de partits al llarg de la setmana de competició<sup>3</sup>; el sistema de competició d'eliminàtoria implica que el jugador haurà de competir gairebé diàriament disputant un partit diari, o més si juga dobles o dobles mixtes. En aquests casos, el nivell de fatiga generada en els partits disputats anteriorment influenciaran decisivament en els resultats dels partits en les últimes rondes de la competició. La Figura 12 mostra el quadre de joc de l'Open Seat Godó de Barcelona 2007 pertanyent al circuit oficial *ATP Tour* amb categoria de

<sup>3</sup> Normalment la competició tennística es realitza per sistema d'eliminàtoria, de manera que el vencedor d'un aparellament s'enfrontarà amb el vencedor d'un altre i així successivament, fins que quedin només dos jugadors que jugaran la final (Real Federació Espanyola de Tennis, 2007).

*International Series Gold* (ATP, 2007) i jugat per sistema d'eliminatòria. S'observa com Rafael Nadal (núm. 2 de la classificació ATP), per guanyar la competició, realitza 5 partits disputats en dies successius, de dimecres a diumenge; el mateix jugador va ser finalista en la categoria de dobles, jugant 4 partits més i sumant un total de 9 en un període de 6 dies. És evident que aquest jugador, per mantenir l'alt rendiment demostrat al llarg de la setmana de competició, ha de disposar d'un elevat nivell de resistència.

En funció de tots els aspectes descrits, podem afirmar que la resistència és determinant en el rendiment dels tennistes de competició i, en conseqüència, creiem que aquesta capacitat s'hauria d'avaluar de manera vàlida, fiable i objectiva. Aquestes avaluacions s'haurien de considerar com a part integral de l'entrenament, incloent-les amb la periodicitat corresponent en les planificacions a curt i a mig termini (Rodríguez, 1989). Segons König et al. (2000) en els tennistes de competició és molt important l'avaluació de la condició física i la conseqüent elaboració de programes específics de preparació física individualitzats. Per a Rodríguez (1999) i Muller et al. (2000) cal disposar d'una bateria de proves vàlida, fiable i estandarditzada que valori les principals habilitats motores implicades en l'esport, i aquestes proves han de formar part del pla d'entrenament i planificar en funció dels resultats. Segons Fuentes (1999), el jugador de tennis de competició és un dels esportistes que més requereix d'un control periòdic dels diferents nivells funcionals, ja que aquest esport imposa un gran nombre de variables (pistes, climes, etc.) i incerteses (nombre de partits que es disputaran, contrincants, etc.) que afecten les càrregues d'entrenament i la competició. L'aplicació sistemàtica i planificada d'una prova de resistència permet conèixer quin és l'estat de forma competitiva del jugador i conèixer l'efectivitat dels mètodes d'entrenament, a més d'oferir la possibilitat de controlar l'evolució de la resistència específica del jugador al llarg de la temporada, de la seva vida esportiva i obtenir dades que es puguin relacionar amb els resultats competitius.

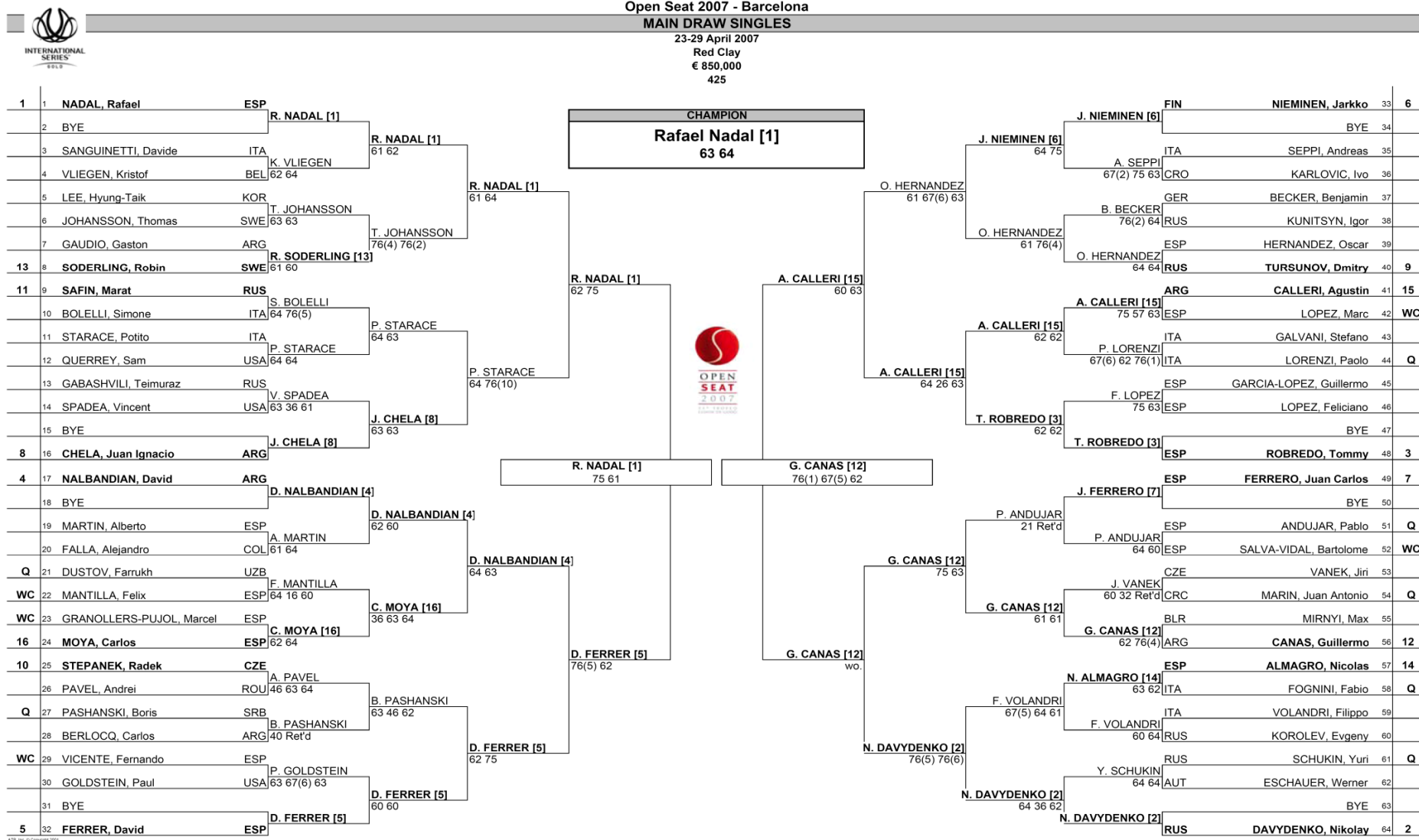


Figura 12. Quadre de joc individual masculí de l'Open Seat Godó de Barcelona 2007 (ATP, 2007).

### **Proves de valoració de la resistència en tennis**

La valoració funcional és l'avaluació objectiva de les capacitats funcionals d'un subjecte per realitzar una tasca esportiva, procés que requereix el registre i la quantificació d'una o més variables fisiològiques o físiques (Rodríguez i Aragonés, 1992). Per a Weineck (2005), si l'avaluació de l'entrenament no s'efectua, es fa de forma incompleta o sense el rigor necessari, el procés d'entrenament no es podrà dirigir de forma selectiva ni corregir en una mesura suficient.

Els *tests* o proves funcionals, són les eines fonamentals de la valoració funcional aplicada a l'activitat física i l'esport. Aquests mètodes de valoració poden ser genèrics o bé específics i es poden portar a terme en el terreny esportiu o bé en el laboratori. Els mètodes genèrics, especialment en el cas del tennis, permeten obtenir una informació global de baixa rellevància per a l'especialitat en concret o de baixa capacitat discriminativa en relació al rendiment esportiu, tot i que permeten utilitzar sistemes de mesura precisos i treballar en condicions més controlades (temperatura, humitat, etc.). Per contra, els mètodes específics són aquells que avaluen capacitats rellevants per a una modalitat esportiva concreta, tenint en compte factors com la cinemàtica, i la dinàmica, el cost energètic, les modificacions bioquímiques, els aparells o materials emprats en la competició, etc. Les proves de camp fan referència al registre d'aquests paràmetres fisiològics i funcionals durant l'esforç, en el mateix terreny esportiu i amb l'objectiu d'obtenir informació sobre la capacitat funcional específica tenint en compte l'especificitat de la resposta humana a un exercici determinat (Rodríguez i Aragonés, 1992; Rodríguez, 1999). La majoria de proves utilitzades en la valoració funcional aeròbica mitjançant mètodes directes<sup>4</sup> s'han portat a terme en condicions estandarditzades de laboratori (Balke i Ware, 1963; Naughton et al., 1964; Bruce et al., 1973; Ellestad et al., 1969; Åstrand i Rodahl, 1992), no obstant, actualment i de manera molt clara, la tendència de la valoració funcional aplicada al rendiment esportiu va encaminada a la utilització de proves específiques de camp, sempre i quan la tecnologia disponible ho permeti (Rodríguez, 1999). És per aquesta raó que la present recerca es centra en l'avaluació funcional i bioenergètica en condicions específiques i utilitzant una tecnologia d'última generació que permet la mesura directa de paràmetres ergoespiromètrics en el mateix terreny esportiu.

---

<sup>4</sup> Les proves d'esforç directes mesuren el  $VO_2$  i altres variables fisiològiques durant l'exercici a través d'analitzadors de gasos respiratoris i mitjançant l'aplicació de càrregues dosificables i reproduïbles.



Tradicionalment, la valoració funcional de la resistència en el tennis no s'ha realitzat amb exercicis semblants a situacions de joc reals i no s'ha respectat el principi d'especificitat<sup>5</sup>; la manca de proves de resistència específiques estandarditzades i validades existents a la literatura ha fet que, en la majoria de casos, els entrenadors hagin utilitzat proves de laboratori o de camp inespecífiques. Segons Smekal et al. (2000), les proves utilitzades en el laboratori o de cursa contínua són inadequades per avaluar les demandes específiques dels esports de pilota; aquests autors assenyalen que les respostes metabòliques, ventilatòries i cardiorespiratòries canvien quan són avaluades sota diferents condicions de moviment. Aquests canvis es poden atribuir a l'adaptació específica dels grups musculars a l'entrenament i la competició i a les diferències en la massa muscular activa implicada en cada tipus d'exercici. Segons Steininger et al. (1987) i Fernández (2005), el valor d'una prova de laboratori és inqüestionable en esports que impliquen moviments simples i rítmics com el ciclisme, el rem o la cursa, però, en canvi, no són adequades en esports caracteritzats per moviments complicats, no rítmics, en els quals es requereixen reaccions ràpides i el desenvolupament ràpid de la força. Cal tenir en compte que el tennis exigeix la capacitat de moure's ràpidament en totes direccions, les quals canvien constantment, amb aturades i arrancades constants, mentre que a la vegada s'exigeix un equilibri i control del cos per copejar la pilota amb eficàcia (Chandler, 1995).

En la Taula 6 es mostra un recull de les proves de resistència utilitzades en el tennis; s'observa com la majoria comparteixen característiques molt similars: no respecten les característiques específiques de l'esforç, no reflecteixen la participació muscular ni els moviments específics, ni tenen en compte el component tècnic i de precisió del joc. Els aspectes diferencials amb proves més específiques podrien resumir-se en els següents:

- Desplaçaments: haurien de ser curts, acíclics, amb canvis de sentit i direcció i amb acceleracions i desacceleracions constants, per contra de desplaçaments llargs i cíclics d'intensitat constant.

---

<sup>5</sup> Per preparar-se amb l'objectiu de rendiment en una especialitat determinada, tots els objectius, mètodes, continguts, eines i estructures de l'entrenament esportiu, en totes les etapes de la consolidació del rendiment, s'hauran d'orientar cap a les exigències de la futura estructura de rendiment de la modalitat o disciplina en qüestió (Weineck, 2005).

- Participació muscular: s'hauria de tenir en compte la participació muscular del tren superior amb l'acció de copejament, i els moviments, angles i velocitat de contracció propis de l'esport en el tren inferior.
- Component tècnic: les proves haurien de tenir en consideració els aspectes tècnics i de precisió de l'esport i no limitar-se a donar informació de caràcter condicional.

**Taula 6.** Proves de camp inespecífiques per avaluar la resistència utilitzades en el tennis.

<b>Referència</b>	<b>Prova</b>
Federació Alemanya de Tennis, 1979; Federació Txeca de Tennis (Höhm 1982, en Aparicio, 1998)	Temps de cursa en 1.000 m (homes) i 800 m (dones)
Birrer et al., 1986.; Filipic, 2000	Temps de cursa en 2.000 m
Birrer et al., 1986	Distància recorreguda en 30 minuts
Kibler et al., 1988	“Sharkey step test” (prova de l'esglaó)
Federació Francesa de Tennis, 1989	Prova de Cooper (distància recorreguda en 12 minuts)
Equip Nacional de Qatar (Aparicio, 1998)	Temps de cursa en 1.500 m
Roetert et al., 1995	Temps de cursa en 1,5 milles
USTA, United States Tennis Association (Roetert i Ellenbecker, 1998)	Temps de cursa en 440 iardes
USTA (Roetert et al., 2000)	Temps de cursa en 2.400 m
Solanellas i Rodríguez, 1991; Solanellas, 1995; Le Deuff, 2003; Hornery, 2006	Prova de cursa en 20 m (“course navette”)
Isnidarsi et al., 2005	Temps de cursa en una milla

Per tant, pensem que s'haurien d'utilitzar proves que tinguin en compte les manifestacions de resistència i els mecanismes de fatiga que es donen en l'activitat competitiva de l'esport en qüestió; en aquest sentit Platonov (2001) assenyala que el control de la resistència específica convé realitzar-lo tenint en compte factors que determinen la capacitat de treball i el desenvolupament de la fatiga, i que la localització i els mecanismes de fatiga en cada esport són específics i predeterminats pel caràcter de l'activitat muscular. En el cas del tennis, s'haurien d'utilitzar proves que prenguessin en consideració la resistència general i també la resistència local a nivell del segment dominant que copeja la pilota, la resistència a la capacitat d'acceleració implicada amb les constants frenades i acceleracions i la resistència a la força –explosivo-elàstica del tren superior amb l'acció de copejament de la pilota.

Actualment existeixen poques proves de resistència específiques en tennis i aquestes encara no s'han aplicat de manera generalitzada. Pilardeau (1985) i Van Dam i Pruimboom (1992) realitzen un primer intent d'avaluació específica i proposen dues proves realitzades a la pista utilitzant una màquina llançapilotes; no obstant aquestes proves no han estat administrades a mostres representatives de jugadors, no s'ha avaluat la seva validesa i fiabilitat i han estat publicades en revistes d'escassa difusió a nivell mundial, amb la qual cosa no han sigut gairebé aplicades. Posteriorment, Smekal et al. (2000) i Girard et al. (2006) proposen dues proves de camp específiques de resistència realitzades a la mateixa pista, avaluant directament paràmetres ergoespiromètrics mitjançant l'ús d'analitzadors de gasos portàtils (K2 i K4b<sup>2</sup>; Cosmed, Itàlia). Els estudis en que es proposen aquestes proves, les quals s'analitzen més àmpliament en l'apartat de “prova de resistència específica: SET – Test”, s'han aplicat a mostres reduïdes de jugadors (n=12) i tenen com a objectiu principal comparar les respostes metabòliques i cardiorespiratòries entre l'aplicació d'una prova de camp i una de laboratori, amb la qual cosa no es centren en l'anàlisi dels diferents tipus de validesa (interna i predictiva) i fiabilitat, encara que sí aporten dades en aquest sentit. Per altra banda, no determinen els efectes de l'ús d'un analitzador de gasos portàtil com a criteri de referència per a la realització d'aquestes avaluacions sense aquest equipament, d'altra banda molt costós i poc accessible.

Així doncs, si considerem la necessitat de conèixer les demandes bioenergètiques específiques del tennis de competició i contribuir en l'elaboració d'un model genèric de rendiment, i donada la gran importància de la condició aeròbica en el rendiment del jugador, pensem que la present recerca queda plenament justificada. És

necessari proposar una prova de resistència específica en tennis que estigui avalada per un ampli estudi de la seva fiabilitat i validesa i que sigui aplicada a una extensa mostra de jugadors de competició per tal de caracteritzar el seu perfil funcional específic.



## **OBJECTIUS GENERALS**



Els objectius primaris del conjunt d'estudis que conformen aquesta recerca són:

- Adaptar i estandarditzar una prova de camp específica de valoració de la resistència en tennis que tingui en compte aspectes tècnics i funcionals específics de l'esport.
- Establir un perfil funcional específic dels tennistes de competició en base a la prova proposada per tal de contribuir en l'elaboració d'un model genèric de rendiment.
- Caracteritzar les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals en jugadors de competició per tal d'establir un model de rendiment i, en conseqüència, d'entrenament específic en funció de les demandes funcionals de l'esport.





# **DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ**



## **PROCEDIMENT**

La recerca realitzada consisteix en una investigació de caire quasi-experimental que consta de tres estudis diferenciats, tal i com es descriu a continuació:

1) Un primer estudi consisteix en el disseny i validació d'una prova de resistència específica en tennis (SET – Test, *Specific Endurance Tennis Test*). Primerament i amb l'objectiu de comprovar la fiabilitat interna de la prova i examinar els possibles efectes que suposa la seva realització amb un analitzador de gasos portàtil, es va fer un estudi test-retest a una mostra de jugadors. També es va realitzar una anàlisi de la fiabilitat externa de la prova avaluant la fiabilitat i les possibles fonts d'error dels instruments d'avaluació. Posteriorment i amb l'objectiu d'examinar la validesa de la prova, per una banda es va administrar el SET – Test amb un analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment. Per altra banda i amb l'objectiu d'examinar la validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica avaluats amb el SET – Test, es va relacionar els resultats obtinguts en l'aplicació de la prova incremental amb el nivell competitiu dels jugadors i es van identificar variables explicatives amb l'objectiu de crear un model on es seleccionessin els paràmetres que poden influir en el nivell competitiu, descartant aquells que no aporten informació.

2) En un segon estudi, amb l'objectiu de descriure les característiques funcionals dels tennistes de competició, es va administrar el SET – Test amb l'analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment.

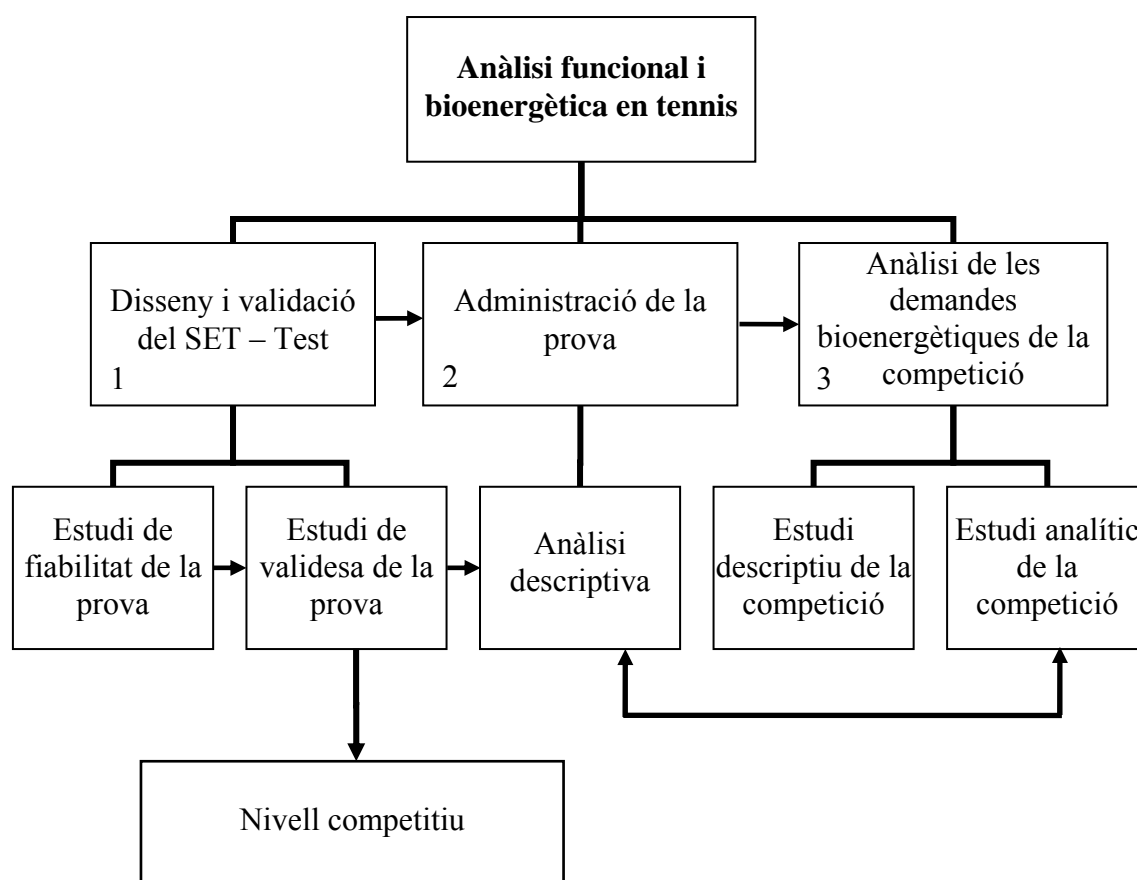
3) El tercer estudi examina les demandes bioenergètiques de la competició masculina d'individuals en tennis. A tal efecte, una submostra de tennistes va jugar un partit d'individuals de competició simulada mentre s'avaluaven paràmetres ergoespiromètrics mitjançant el mateix sistema d'anàlisi de gasos portàtil utilitzat en l'estudi anterior i es van relacionar els resultats obtinguts amb els paràmetres ergoespiromètrics obtinguts amb el SET – Test.

Es tracta, doncs, d'una investigació en tres etapes, de caire observacional, descriptiva i inferencial. És observacional perquè no s'intervé en el fenomen investigat, sinó que s'observa per extraure'n informació rellevant. És descriptiva perquè es realitza

una tasca d'organització, síntesi i presentació dels resultats obtinguts. És inferencial perquè s'extrauen conclusions presumptament vàlides per a la població estudiada a partir dels resultats observats, contrastant els resultats obtinguts amb les hipòtesis plantejades prèviament.

Al decurs dels tres estudis es van administrar un total de 63 proves de resistència específica (SET – Test), de les quals 39 es van fer amb l'analitzador de gasos portàtil i 24 sense el mateix. Durant l'aplicació de les proves es van colpejar un total de 12.000 pilotes amb una màquina llançapilotes, i es va analitzar un total de 10 partits de competició simulada, obtenint dades relatives a 20 sets administrats amb analitzador de gasos portàtil i 20 sense analitzador.

A continuació es mostra esquemàticament el conjunt dels tres estudis de que consta la recerca, així com la seqüència temporal i la relació entre ells i amb el rendiment en tennistes de competició (Figura 13).



**Figura 13.** Esquema descriptiu dels tres estudis de que consta la recerca, seqüència temporal i relació entre ells i amb el rendiment en tennistes de competició.

## SUBJECTES

Varen participar en la recerca 38 jugadors de tennis masculins de nivell competitiu nacional i internacional. Set dels jugadors eren professionals amb classificació internacional ATP (*Association of Tennis Professionals*) i la resta eren de nivell nacional i internacional, sense classificació ATP. Atès que la mostra era formada per jugadors de 19 nacionalitats diferents (Taula 7), i a fi i efecte d'establir un criteri únic i d'abast internacional, els subjectes es varen classificar seguint el criteri proposat per la ITF (*International Tennis Federation*) utilitzant l'anomenat ITN (*International Tennis Number*), en que els jugadors s'ordenen segons una escala de classificació de l'1 al 10, tal i com s'especifica en l'apartat de paràmetres (nivell competitiu dels jugadors). Tots els jugadors es trobaven entre el nivell 1 i 4 del ITN, pertanyent a la classificació d'elit a avançat, havent-hi 8 jugadors amb un ITN igual a 1, 10 jugadors amb un ITN igual a 2, 9 jugadors amb un ITN igual a 3 i 11 jugadors amb un ITN igual a 4. Els jugadors es van sotmetre voluntàriament a les proves amb el consentiment dels respectius directors tècnics dels centres d'entrenament i dels responsables de l'àrea de preparació física. Prèviament a la realització de l'estudi es va informar als responsables i als propis tennistes de les diferents valoracions a que serien sotmesos, consistentes en la realització de proves físiques o de joc i l'aplicació de tècniques no invasives ni agressives, així com sobre la confidencialitat i ús dels resultats obtinguts. La investigació es va dur a terme tot i complint els principis de la Declaració d'Helsinki d'investigació amb subjectes humans (Associació Mèdica Mundial, 1989).

Els tennistes estudiats duïen a terme una mitjana de 3,7 hores d'entrenament tècnic i 1,5 hores de preparació física diàries, 5 dies per setmana. L'edat mitjana era de 18,2 anys, amb una talla i pes mitjans de 180,1 cm i 72,7 kg (Taula 8). Totes les característiques esmentades s'ajustaven a la distribució normal (prova de Kolmogorov-Smirnov). Cinc dels 38 jugadors estudiats (13,2% de la mostra) tenien una dominància lateral esquerra i la resta (33 jugadors, 86,8%) eren dretans. La diversitat de la procedència dels jugadors estudiats es deu a que Barcelona era, en el moment de realitzar l'estudi, i és encara, un dels centres mundialment més reconeguts en l'entrenament de tennistes de competició.

**Taula 7.** Nacionalitats dels subjectes estudiats.

Nacionalitat	Núm. de subjectes
Alemanya	4
Anglaterra	3
Argentina	1
Croàcia	1
Espanya	12
Estònia	1
EUA	1
França	1
Grècia	3
Holanda	2
Índia	1
Itàlia	1
Mèxic	1
Noruega	1
Rússia	1
Suïssa	1
Tuníssia	1
Veneçuela	1
Vietnam	1

**Taula 8.** Dades generals dels subjectes estudiats.

	Edat (anys)	Talla (cm)	Pes (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Nivell competitiu (ITN)	Volum d'entrenament (h/setmana)	
						Tècnic	Físic
$\bar{x}$	18,2	180,1	72,7	22,3	2,7	3,7	1,5
s	1,3	7,9	8,6	1,4	1,3	0,5	0,4
màx	21,9	202,0	92	25,2	5	4,0	2,0
mín	16,0	167,0	56,2	18,4	1	2,5	1,0
rang	5,9	35,0	35,8	6,8	4	1,5	1,0

Els subjectes estudiats pertanyien a cinc dels més prestigiosos centres d'entrenament d'alta competició de Barcelona i Palma de Mallorca, dirigits per professionals d'un alt nivell de qualificació (Taula 9).

**Taula 9.** Origen dels subjectes de la mostra.

Centre d'entrenament	Responsable tècnic	Dades recollides	
		Núm. de proves	Núm. de sets
Bruguera Tennis Academy Top Team (Barcelona)	Lluís Bruguera	13	12
Acadèmia Sánchez – Casal (Barcelona)	Emilio Sánchez Vicario Sergio Casal	12	2
Centre d'entrenament de tennis de l'Escola Balear de l'Esport (Palma de Mallorca)	Jofre Porta	33*	6
Grup de competició del Club Tennis Ciutat Diagonal (Barcelona)	Martín Vilar	3	0
Centre Internacional de Tennis (CIT) de la Federació Catalana de Tennis (Cornellà de Llobregat)	Jordi Arrese	2	0

\*En aquest centre d'entrenament es va realitzar gran part de l'estudi test-retest, en que els mateixos onze subjectes van realitzar tres proves consecutives.



### **CRITERIS D'INCLUSIÓ**

Van participar en l'estudi un grup de subjectes suficientment ampli per tal d'obtenir una mostra homogènia que pogués ser considerada representativa dels tennistes de competició, tot i que no es va dur a terme un càlcul mostral previ. Els criteris de selecció de la mostra d'estudi van ser els següents:

- Participació a nivell competitiu absolut en l'àmbit nacional i internacional.
- Pertinença a algun centre d'entrenament especialitzat en l'esport que garantís un volum mínim d'entrenament de 4 hores diàries de manera controlada.
- Consentiment del responsable del centre d'entrenament, així com de l'entrenador i el preparador físic.
- Voluntarietat en la participació en l'estudi i en la realització de les diverses proves de camp i de joc.
- Absència de limitacions físiques.
- Edat mínima de 16 anys.
- Acceptació de les condicions concretes de les valoracions: portar un analitzador de gasos portàtil, observació i anotació durant l'execució de les proves i presa de diferents paràmetres fisiològics i de càrrega.

**Capítol I. PROPOSTA DE PROVA DE  
RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE  
TENNIS: “SET – TEST”**



## **I. PROPOSTA DE PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN JUGADORS DE TENNIS: “SET – TEST”**

### **I.1. Objectius**

### **I.2. Disseny de la investigació**

### **I.3. Material i mètodes**

#### I.3.1. Prova de resistència específica en tennis: “ SET – Test ”

I.3.1.1. Disseny de la prova

I.3.1.2. Material

I.3.1.3. Protocol

I.3.1.4. Paràmetres

#### I.3.2. Fiabilitat de la prova de resistència específica

I.3.2.1. Fiabilitat externa

I.3.2.2. Fiabilitat interna

I.3.2.3. Estudi de repetitivitat

I.3.2.4. Subjectes

I.3.2.5. Material

I.3.2.6. Paràmetres

I.3.2.7. Anàlisi estadística

#### I.3.3. Validesa de la prova

I.3.3.1. Validesa de contingut

I.3.3.2. Validesa ecològica

I.3.3.3. Validesa interna

I.3.3.4. Validesa predictiva

I.3.3.5. Subjectes

I.3.3.6. Material

I.3.3.7. Paràmetres

I.3.3.8. Anàlisi estadística

**I.4. Resultats**

I.4.1. Fiabilitat de la prova específica

I.4.1.1. Fiabilitat externa

I.4.1.2. Estudi de repetitivitat

I.4.2. Validesa de la prova

I.4.2.1. Maximalitat de la prova

I.4.2.2. Validesa predictiva

**I.5. Discussió**

I.5.1. Prova de resistència específica en tennis: “SET – Test”

I.5.2. Fiabilitat de la prova

I.5.2.1. Fiabilitat externa

I.5.2.2. Estudi de repetitivitat

I.5.3. Validesa de la prova

I.5.3.1. Validesa lògica

I.5.3.2. Validesa ecològica

I.5.3.3. Validesa interna

I.5.3.4. Validesa predictiva

**I.6. Conclusions**

I.6.1. Prova de resistència específica en tennis: “SET – Test”

I.6.2. Fiabilitat de la prova

I.6.3. Validesa de la prova

### **I.1. OBJECTIUS**

Els objectius primaris de la recerca són:

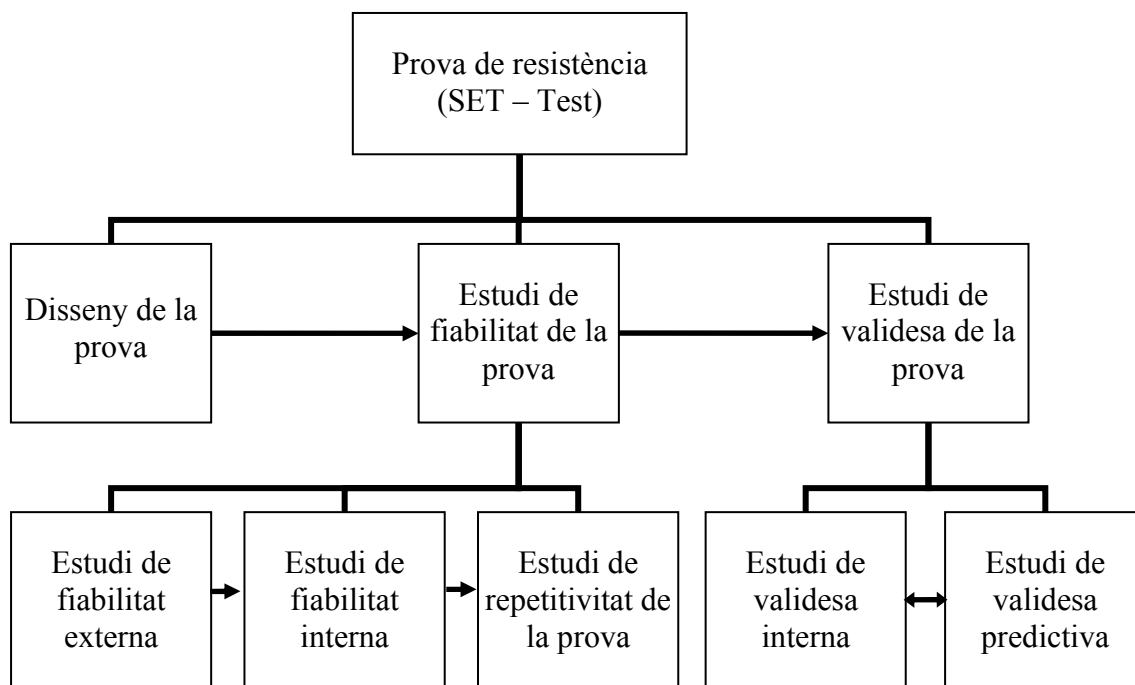
- Dissenyar una prova de camp específica de valoració de la resistència en tennis (SET – Test) que tingui en compte aspectes tècnics i funcionals específics de l'esport.
- Determinar la validesa i fiabilitat de la prova proposada.

Altres objectius secundaris són:

- Contrastar la hipòtesi de l'existència d'un punt de deflexió de la FC (PDFC) en relacionar la intensitat (I) i la freqüència cardíaca (FC) en l'aplicació del SET – Test, igualment com succeeix en els estudis en esports cíclics iniciats per Conconi et al. (1982).
- Contrastar la hipòtesi de l'existència d'una relació significativa entre la càrrega en que es dona el PDFC durant la prova i els llistats ventilatoris (LIV1 i LIV2) i, en el cas d'existir aquesta relació, validar el SET – Test com un mètode indirecte no invasiu per estimar el llistat anaeròbic en jugadors de tennis.
- Contrastar la hipòtesi de si la major disminució de l'eficiència tècnica (ET) es produeix a partir del PDFC i dels llistats ventilatoris.
- Determinar la validesa predictiva del SET – Test com una eina capaç d'estimar indirectament el  $VO_{2max}$  dels jugadors de tennis.
- Determinar la validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte el nivell competitiu dels jugadors i trobar indicadors de rendiment per a l'esport.

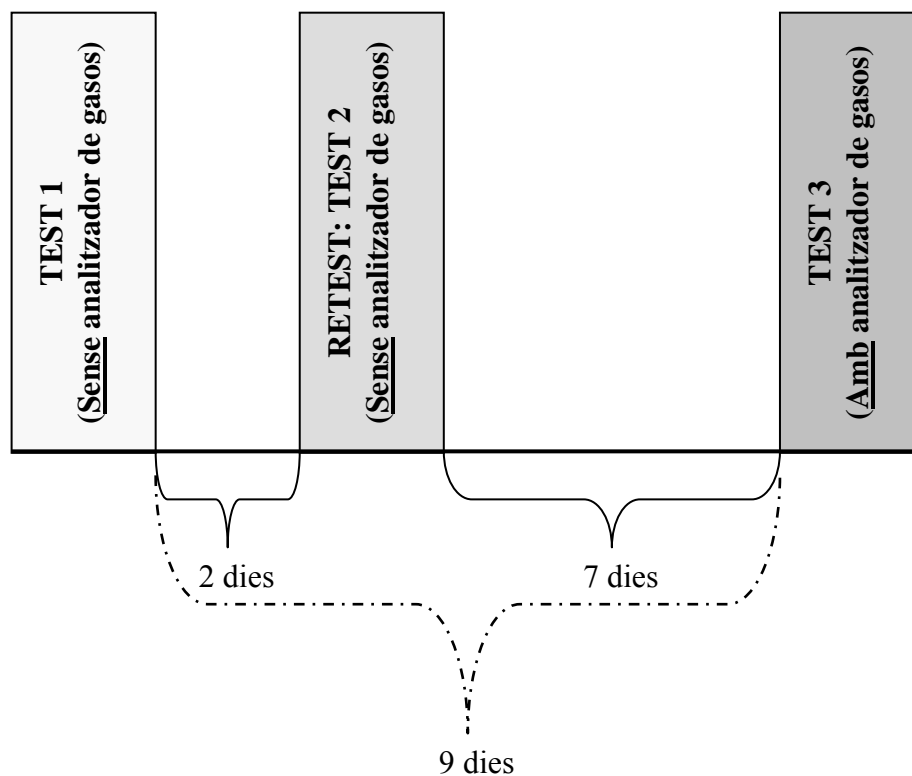
## I.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ

El primer capítol de la recerca consta del disseny i validació d'una prova de resistència específica en tennis (SET – Test, *Specific Endurance Tennis Test*).



**Figura I.1.** Esquema descriptiu del primer estudi de que consta la recerca.

Primerament es va dissenyar una prova específica de tennis adaptant la dinàmica i els paràmetres de referència utilitzats en la prova proposada per Smekal et al. (2000), posteriorment i amb l'objectiu de validar els instruments d'avaluació es va realitzar una anàlisi de la fiabilitat externa i interna de la prova. Un cop validats els instruments d'avaluació i amb l'objectiu de calcular el coeficient d'estabilitat de la prova proposada i els possibles efectes que suposa la seva realització amb un analitzador de gasos portàtil, una submostra de jugadors ( $n = 12$ ) van realitzar una prova de mesures repetides ('test-retest') consistent en realitzar tres SET – Test de manera consecutiva, en dies diferents (Figura I.2).



**Figura I.2.** Cronograma de l'estudi de repetitivitat del SET – Test.

Finalment i amb l'objectiu d'analitzar la validesa de la prova per avaluar la condició aeròbica en jugadors de competició mitjançant una tasca específica, es va administrar el SET – Test amb un analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment ( $n = 38$ ). Mitjançant el tractament de les dades i l'anàlisi estadística es van identificar les variables explicatives que ens ajudessin a crear un model on es seleccionessin les variables que poden influir en el nivell competitiu dels jugadors, descartant aquelles que no aporten informació.



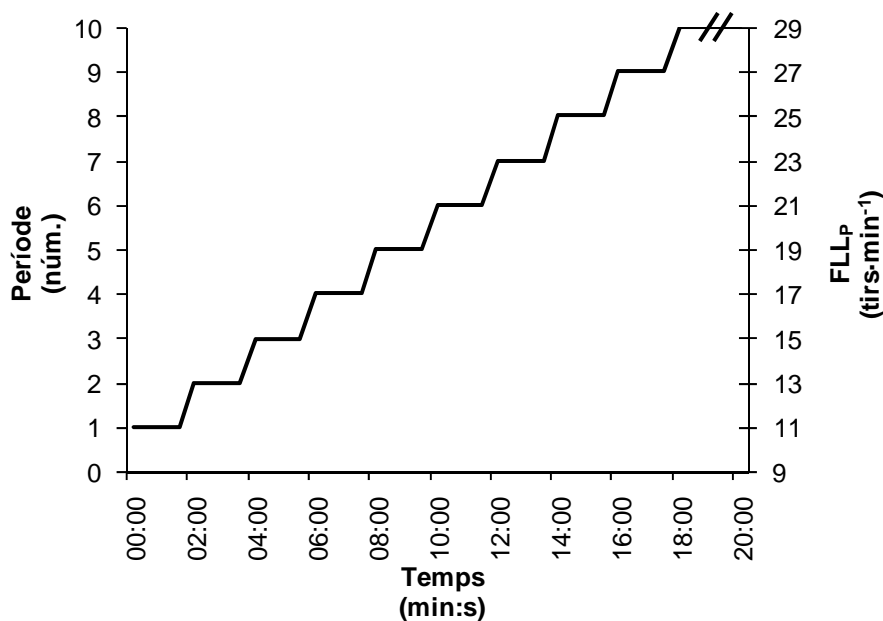
### I.3. MATERIAL I MÈTODES

#### **I.3.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “ SET – TEST ”**

##### **I.3.1.1. Disseny de la prova**

El SET – Test (*Specific Endurance Tennis Test*) es proposa com una prova de camp per valorar la resistència específica del tennista, realitzada a la pròpia pista i que inclou tasques motrius característiques del tennis, com ara desplaçaments i copejaments de pilota amb raqueta. La dinàmica de la prova i els paràmetres de referència han estat adaptats de la prova utilitzada per Smekal et al. (2000). Es tracta d'un protocol maximal, continu, esglaonat, amb càrregues determinades per la freqüència de llançament de pilotes mitjançant una màquina llançapilotes.

La prova comença amb una freqüència de llançament de pilotes ( $FLL_P$ ) de  $9 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ , que s'incrementa per períodes de 2 minuts a raó de  $2 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ , és a dir, 4 tirs per període, fins a l'exhauriment voluntari del subjecte (Figura I.3). El resultat ve determinat per la durada total de la prova i per l'últim període assolit. La velocitat de llançament de pilotes durant el test es manté constant i la prova es realitza en condicions ambientals i de vent estables ( $v_{\text{vent}} < 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).



**Figura I.3.** Esquema del protocol de la prova SET – Test.

### I.3.1.2. Material

- **Màquina llançapilotes de tennis** (Pop - Lob Airmatic 104, França). S'utilitza per al llançament de pilotes a velocitat creixent i amb un angle i abast protocol·litzat.



**Figura I.4.** Màquina llançapilotes (A) i la seva disposició a la pista de tennis (B).

- **Analitzador de gasos portàtil telemètric** (K4b<sup>2</sup> - Cosmed, Itàlia). S'utilitza per a l'anàlisi contínua respiració a respiració ('breath-by-breath') de la ventilació i els gasos respiratoris. Es tracta d'un aparell portàtil, miniaturitzat, que registra els paràmetres cardiorespiratoris i envia les dades telemètricament a una unitat receptora per al seu posterior tractament. L'equip es compon de dues unitats portàtils, una que conté els analitzadors de gasos, un equip transmissor i una bateria; aquestes unitats es col·loquen a l'esquena del subjecte mitjançant un arnés (Figura I.5). El subjecte respira a través d'una mascareta fixada al seu cap que porta acoblada una turbina que registra els fluxos ventilatoris. L'equip disposa d'una unitat receptora que rep els senyals de la unitat portàtil i els emmagatzema. Dues antenes, una connectada a la unitat emissora i una altra a la unitat receptora permeten la transmissió del senyal fins a 1000 m de distància. La unitat receptora estava connectada per un cable serial al PC, la qual cosa permetia visualitzar les dades en temps real en el monitor d'un PC, a més de ser capaç d'emmagatzemar fins a 16.000 respiracions per al seu posterior tractament. El pes total de l'equip sobre el subjecte (analitzador de gasos i bateria) es de 475 g i el seu disseny permet que el subjecte es desplaci i es mogui fàcilment. L'analitzador de gasos va ser calibrat abans de cada prova seguint estrictament les recomanacions del fabricant i utilitzant gasos de referència mesurats per cromatografia de gasos.



**Figura I.5.** Visió frontal (A) i lateral (B) d'un jugador amb l'analitzador de gasos portàtil col·locat a l'esquena mitjançant un arnés.

- **Cardiotacòmetres** (Polar S-810 i S-610, Finlàndia). El registre de la freqüència cardíaca es va realitzar telemètricament mitjançant cardiotacòmetres dotats d'un receptor que grava el senyal registrat per uns elèctrodes toràcics adossats al pit amb una banda ajustable. El senyal elèctric del cor és processat i transmès a la unitat receptora acoblada a l'analitzador de gasos i/o a un receptor de canell en forma de rellotge. El sistema permet registrar i emmagatzemar la freqüència de batecs cardíacs en fraccions de 5, 15 o 60 s.



**Figura I.6.** Cardiotacòmetre utilitzat per a la mesura de freqüència cardíaca en les proves i la competició simulada.

- **Pilotes de tennis** (Babolat Team, Japó). Pilotes homologades i aprovades per la ITF (*International Tennis Federation*).



**Figura I.7.** Pilotes de tennis utilitzades durant les proves.

- **Cronòmetres digitals** (Casio, Japó). Es van utilitzar per als registres temporals durant les proves.
- **Programari informàtic.** En la recerca es van utilitzar processadors de textos, fulls de càlcul, bases de dades, programari específic i d'integració i tractament de dades i sistemes operatius estàndard: Microsoft Office 2002, SPSS 13.0 per a Windows, Data Management Software K4b<sup>2</sup> versió 7.4b, Polar Precision Performance versió 4.03.043, Method Validator versió 1.19, i TCD (TwoCampsDisplay) Sport Suport 2006.
- **Ordinadors personals** (Acer TravelMate 290, Taiwan i Dell Inspiron, Irlanda). Utilitzats per a l'enregistrament i anàlisi posterior de les dades.
- **Anemòmetre digital** (Plastimo, França). Utilitzat per registrar la velocitat del vent a la pista on es realitzaven les proves o els partits.
- **Radar** (Stalker ATS 4.02, EUA). Utilitzat per mesurar la velocitat de llançament de la màquina llançapilotes.



**Figura I.8.** Radar utilitzat per mesurar la velocitat de llançament de la màquina llançapilotes.

### I.3.1.3. Protocol de la prova

#### Procediment

Abans d'administrar les proves es procedia a explicar detalladament el procediment als subjectes i donar les pertinents instruccions. La Figura I.9 il·lustra la situació de la màquina sobre la pista i les zones de recepció i diana sobre la pista de tennis.

Els jugadors es situaven al fons de la pista i realitzaven alternativament un cop de dreta a esquerra i d'esquerra a dreta de la pista (dreta-revés), desplaçant-se en sentit lateral d'una banda a l'altra. L'objectiu era intentar enviar la pilota per sobre de la xarxa i situar-la dins la zona marcada (diana). Es van donar instruccions als subjectes perquè ajustessin la seva velocitat de desplaçament, per que arribessin a la zona de copejament coincidint amb el bot de la pilota, la copegessin i giressin en sentit contrari per arribar a la banda contrària coincidint amb el bot de la següent pilota. Per tal d'assegurar un cost energètic homogeni dels cops en relació a la tècnica utilitzada, només es permetia realitzar l'element tècnic de cops liftats de dreta i revés.

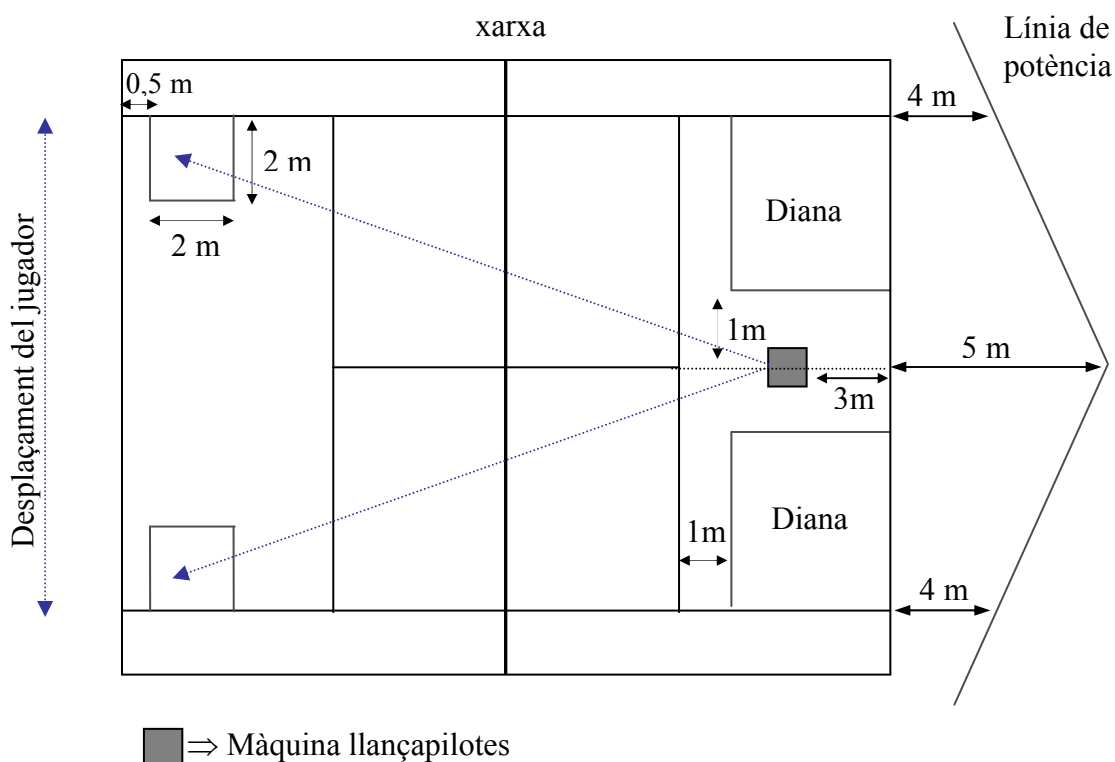
La màquina llançapilotes s'ajustava abans de cada prova de forma que les pilotes llançades botessin en una zona determinada de la pista marcada prèviament (en cada un dels vèrtex de la pista sobre un quadrat de 2 m per cada costat situat a 0,5 metres de la línia de fons).

Es va realitzar una valoració objectiva de l'efectivitat tècnica (ET) dels subjectes mitjançant el càlcul del percentatge d'encerts i errors dels copejaments, avaluant tant la precisió com la potència dels cops mitjançant unes línies marcades a la pista i a càrrec d'un observador entrenat. Els cops dels jugadors s'avaluaven com a encerts o errors en

funció de criteris de precisió i de potència. Per tal que un cop es considerés com un encert havia de complir simultàniament dos criteris:

- *Criteri de precisió:* la pilota enviada pel jugador havia de botar en la zona marcada o diana (quadrat que es situa a 1 m de la línia de servei i 1 m sobre la prolongació de la línia central de servei).
- *Criteri de potència:* una vegada la pilota havia botat dins la diana, calia que sobrepassés la línia de potència (línia situada des de 5 m del centre de pista fins a 4 m des de la línia lateral), abans de realitzar el segon bot (Figura I.9).

La prova finalitzava quan el jugador no podia copejar dues pilotes seguides o bé quan, a criteri de l'examinador, el tennista no respectava una mínima correcció tècnica en els seus cops. Quan un jugador finalitzava la prova es registrava el temps i l'esglau final assolit, que constituïen el resultat del test.



**Figura I.9.** Esquema il·lustratiu de la prova (SET – Test).

### Tasques prèvies a la prova

Per al correcte desenvolupament de les proves i de manera protocol·litzada es realitzaven les següents tasques abans de cada test:

- Registre i valoració de paràmetres ambientals: registre anemomètric (les proves només es realitzen si  $v_{\text{vent}} < 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ); col·locació del jugador a la pista o al costat de la pista en que no tingués el sol de cara.
- Mesurament i marcatge de les zones i dianes de la pista amb cinta adhesiva.
- Preparació, col·locació i calibratge de la màquina llançapilotes.
- Preparació i calibratge protocol·litzat de l'analitzador de gasos.
- Registre de dades dels subjectes.
- Supervisió de l'escalfament del jugador.

### Escalfament previ

L'escalfament previ era protocol·litzat i consistia en el següent:

- Escalfament general (10 min): cursa contínua, diferents tipus de desplaçament, acceleracions i moviments del tren superior i de mobilitat articular.
- Escalfament específic en pista (5 min): piloteig en pista amb un altre jugador.
- Familiarització amb el test (3 min): tres minuts seguint el protocol de la mateixa prova amb una freqüència de llançament de  $9 \text{ tir}\cdot\text{min}^{-1}$ .

### Recursos humans

Per tal d'assegurar un correcte funcionament durant la realització de les proves, aquestes es van realitzar amb un mínim de 3 jugadors i 4 investigadors, cadascú d'ells amb una tasca específica:

Jugadors (3): un tennista realitzava la prova i els dos restants recollien les pilotes i asseguraven el subministrament de pilotes a la màquina.



**Figura I.10.** Jugador realitzant la prova, després de copejar un revés i en desplaçament lateral.

Investigadors (4): un investigador era responsable del registre de les dades personals i antropomètriques dels subjectes, del registre de l'efectivitat tècnica mitjançant les anotacions d'encerts – errors, i de les possibles incidències durant la prova. Un segon era responsable del funcionament de la màquina llançapilotes: ajustar la freqüència de llançament en cada període (cronometratge dels intervals de 2 min), supervisió del correcte subministrament de pilotes i verificació de l'adequat funcionament de la màquina.

A



B



**Figura I.11.** Investigadors responsables del registre de l'efectivitat tècnica (A) i del funcionament de la màquina llançapilotes (B).



Un tercer investigador era responsable del funcionament de l'analitzador de gasos portàtil K4b<sup>2</sup>. Finalment, un quart investigador era responsable del funcionament general de la prova: temporalització de la prova i gestió dels subjectes.



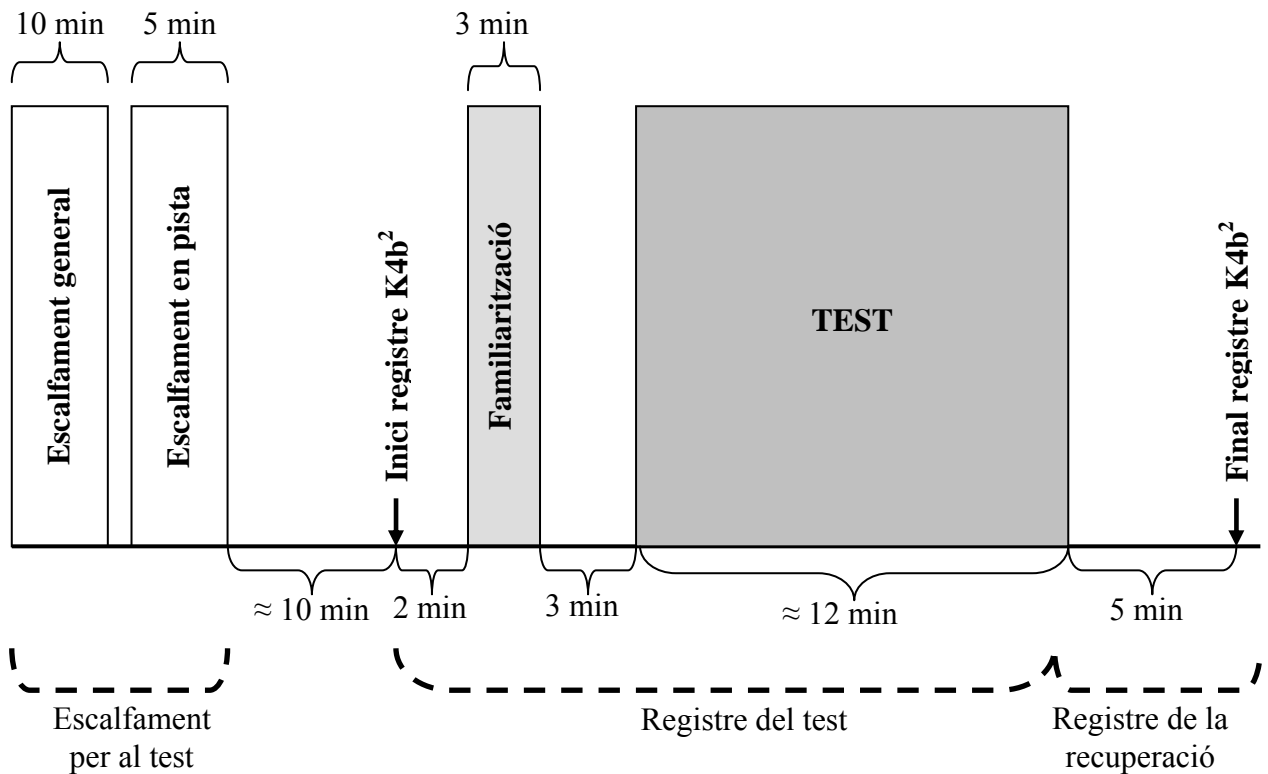
**Figura I.12.** Investigadors responsables del funcionament de l'analitzador de gasos (A) i del funcionament general de la prova (B).

### Temporalització de la prova

A la Taula I.1 i Figura I.13 es presenta la temporalització i cronograma de les diferents tasques durant les proves. La durada total de l'administració del SET – Test era, en funció de la càrrega assolida pel tennista, d'uns 40 minuts.

**Taula I.1.** Temporalització de les tasques durant l'administració del SET – Test.

Temps (min)	Tasca
10	Escalfament general
5	Escalfament específic en pista: piloteig
2	Inici i comprovació del registre de l'analitzador de gasos
3	Escalfament amb la màquina: familiarització
3	Pausa de recuperació
≈ 12	Prova
5	Recuperació
Total 40	Final del registre



**Figura I.13.** Cronograma de l'administració del SET – Test.

#### I.3.1.4. Paràmetres

##### *Paràmetres ergomètrics o de càrrega*

- **Durada de la prova (min:s):** la durada total de la prova en minuts i segons indica el temps que el tenista tarda en arribar a l'esgotament, o bé perquè el jugador no arriba a copejar dues pilotes seguides, o bé, perquè, a criteri de l'examinador, el tennista no respecta una mínima correcció tècnica en els seus cops.
- **Últim període assolit (UP):** indica el darrer període de 2 minuts que el subjecte és capaç de completar, amb una precisió de 0,5 períodes, fracció que equival a haver assolit el primer minut dins el període de 2 minuts corresponent.
- **FLL<sub>P</sub> (tir·min<sup>-1</sup>):** freqüència de llançament de pilotes durant la prova en tirs per minut. La FLL<sub>P</sub> inicial era de 9 tir·min<sup>-1</sup> i s'incrementava en 2 tirs·min<sup>-1</sup> per cada període de 2 minuts.

- **Núm. de període:** número de període assolit al llarg de la prova, corresponent al nombre de períodes de 2 minuts.

### *Paràmetres fisiològics*

Es van registrar paràmetres espiromètrics i electrocardiogràfics. Els paràmetres ergoespiromètrics es van obtenir mitjançant l'analitzador de gasos portàtil que mesura i registra la ventilació pulmonar i l'intercanvi de gasos durant la prova i elabora matemàticament un seguit de paràmetres derivats.

Les dades espiromètriques van ser enregistrades respiració a respiració i posteriorment tractades en valors mitjans cada 15 segons. El registre començava 2 minuts abans de l'escalfament específic i finalitzava 5 minuts després d'acabar la prova i es registrava en un full d'observació qualsevol incidència observada (annex 4). Els paràmetres registrats van ser els següents:

- **$\dot{V}O_2^6$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** consum d'oxigen.
- **$\dot{V}O_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** consum d'oxigen en relació al pes corporal actual del subjecte.
- **$\dot{V}O_{2\text{max}}$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** consum màxim d'oxigen en relació al pes del subjecte. S'ha considerat el valor màxim de  $\dot{V}O_2$  registrat durant un interval de 15 segons.
- **$\dot{V}CO_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** producció de diòxid de carboni.
- **$V_E$  ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ):** ventilació pulmonar o volum minut respiratori.
- **R:** quocient respiratori ( $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ).
- **$V_E / \dot{V}O_2$ :** equivalent respiratori de l'oxigen ( $\text{Eq}O_2$ ).
- **$V_E / \dot{V}CO_2$ :** equivalent respiratori del diòxid de carboni ( $\text{Eq}CO_2$ ).
- **$\text{FEO}_2$ :** fracció espirada d'oxigen (%). Indica la concentració d' $O_2$  en l'aire espirat (%).
- **$\text{PE}TO_2$  (mmHg):** pressió d'oxigen al final de la respiració (telespiratòria) en mmHg.
- **$\text{FE}CO_2$  (mmHg):** fracció espirada de diòxid de carboni (%). Indica la concentració de  $CO_2$  en l'aire espirat.
- **$\text{PE}TCO_2$  (mmHg):** pressió de diòxid de carboni al final de cada espiració en mmHg.

---

<sup>6</sup> Per raons tipogràfiques no s'utilitzarà la notació científica relativa als volums per unitat de temps ( $\dot{V}$ ), sinó l'abreujada V.

De l'anàlisi temporal de diversos paràmetres es van determinar els llindars ventilatoris (LIV). Es va utilitzar el model de Skinner i MacLellan (1980), amb detecció de dos llindars ventilatoris: LIV1 i LIV2. A aquests efectes es van analitzar els canvis temporals dels paràmetres ventilatoris i es van identificar els corresponents punts de canvi de pendent o de ruptura de la linealitat. Els paràmetres utilitzats van ser:  $V_E$ ,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ ,  $R$ ,  $V_E / VO_2$ ,  $V_E / VCO_2$  i  $PETCO_2$  (mmHg). Per a la detecció del LIV1 es va utilitzar l'aplicació informàtica de l'analitzador de gasos K4b<sup>2</sup> "Data Management Software 7.4 b" que utilitza el mètode de Beaver et al. (1986), basat en la pèrdua de linealitat de la relació entre  $VCO_2$  i  $VO_2$ ; no obstant això, en alguns casos la determinació del LIV1 i en tots els casos del LIV2 s'ha realitzat per inspecció visual dels gràfics amb el recolzament de l'aplicació informàtica. Per tal de disminuir els errors derivats de la subjectivitat en l'ús dels mètodes exposats, es va realitzar l'examen dels gràfics i de les dades numèriques a càrrec de dos examinadors experts diferents.

A continuació es descriuen criteris de detecció dels dos llindars ventilatoris:

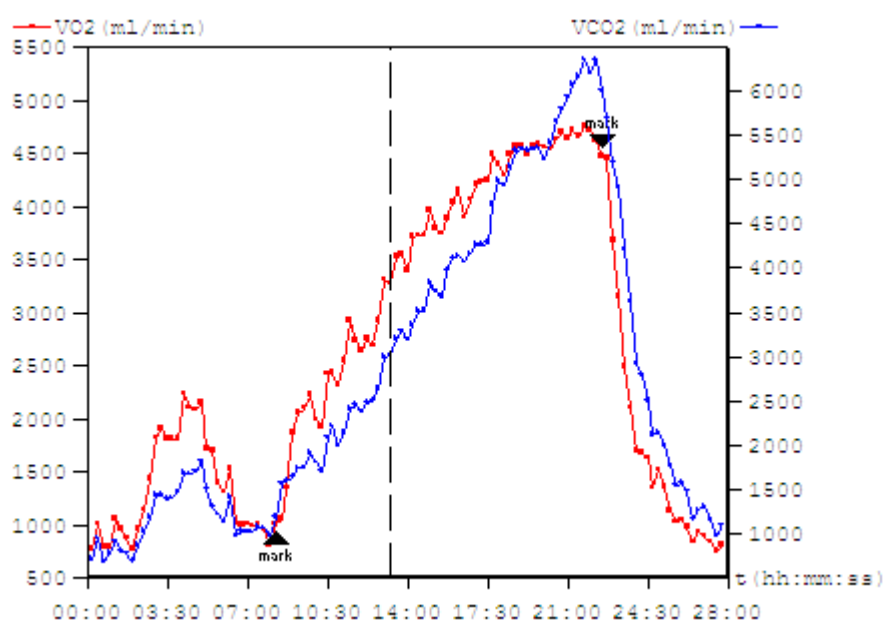
• **Primer llindar ventilatori (LIV1):** En el primer llindar ventilatori (*first ventilatory threshold, VTI*) es produeix un trencament en la relació directa entre el  $VO_2$  i  $VCO_2$ , es a dir, un increment no lineal de  $VCO_2$  respecte de  $VO_2$ , és una situació metabòlica d'acidosis compensada per una alcalosis respiratòria que es tradueix en els següents canvis:

- Increment no lineal de  $VE$  i  $VCO_2$  respecte la càrrega de treball.
- Increment de l'equivalent respiratori de l' $O_2$  ( $VE / VO_2$ ).

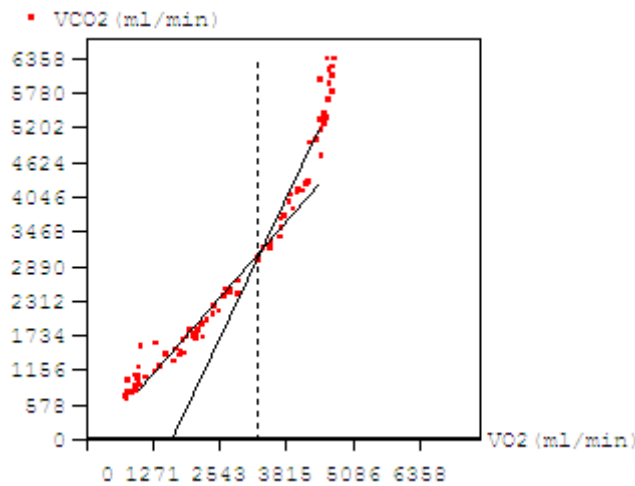
A continuació es mostren els resultats relatius a LIV1 en un subjecte (Taula I.2) i les gràfiques en que es basa (Figura I.15, Figura I.16 i Figura I.17).

**Taula I.2.** Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV1 en un subjecte.

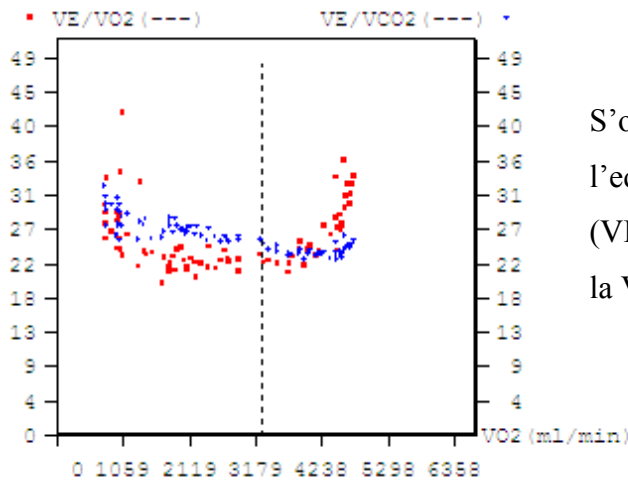
Paràmetre	Valors al LIV1	Valors màxims	% màxim
Temps inici test (min:s)	05:15	14:19	32,7
Temps total (min:s)	13:15	22:19	32,7
Període (núm.)	2,5	7	38,5
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	3267	4755	68,7
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40,3	58,7	68,7
VCO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	3008	6357	47,3
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	79,5	165	48,1
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	151	186	81,1
R	0,92	1,33	68,8



**Figura I.14.** VCO<sub>2</sub> i VO<sub>2</sub> en funció del temps durant una de les proves SET – Test en un subjecte. S’hi indica el LIV1.

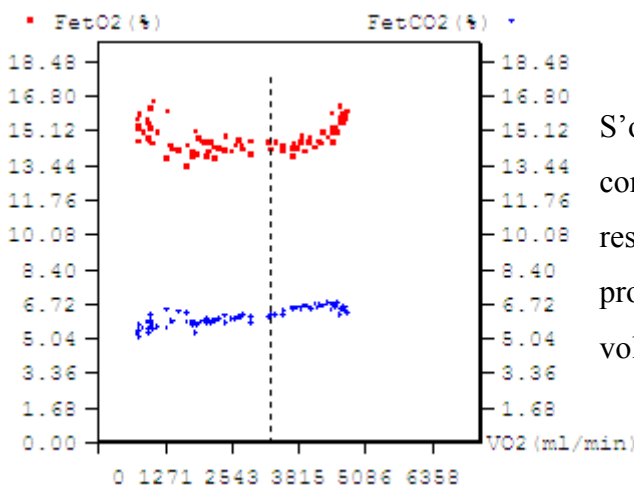


**Figura I.15.** Relació entre VCO<sub>2</sub> i VO<sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV1.



S’observa un primer increment de l’equivalent respiratori de l’oxigen (VE / VO<sub>2</sub>) ja que s’incrementa més la VE que el VO<sub>2</sub>.

**Figura I.16.** Relació entre VO<sub>2</sub> i el VCO<sub>2</sub> amb el V<sub>E</sub> (equivalent respiratori de l’O<sub>2</sub> i del CO<sub>2</sub>) en un subjecte durant la prova. S’hi indica el LIV1.



S’observa un primer increment del FEO<sub>2</sub> com a conseqüència de la hiperventilació respecte al VO<sub>2</sub>. L’augment de la V<sub>E</sub> provoca una menor extracció d’O<sub>2</sub> per volum d’aire ventilat.

**Figura I.17.** FetO<sub>2</sub> (%) i FetCO<sub>2</sub> (%) en funció del VO<sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV1.

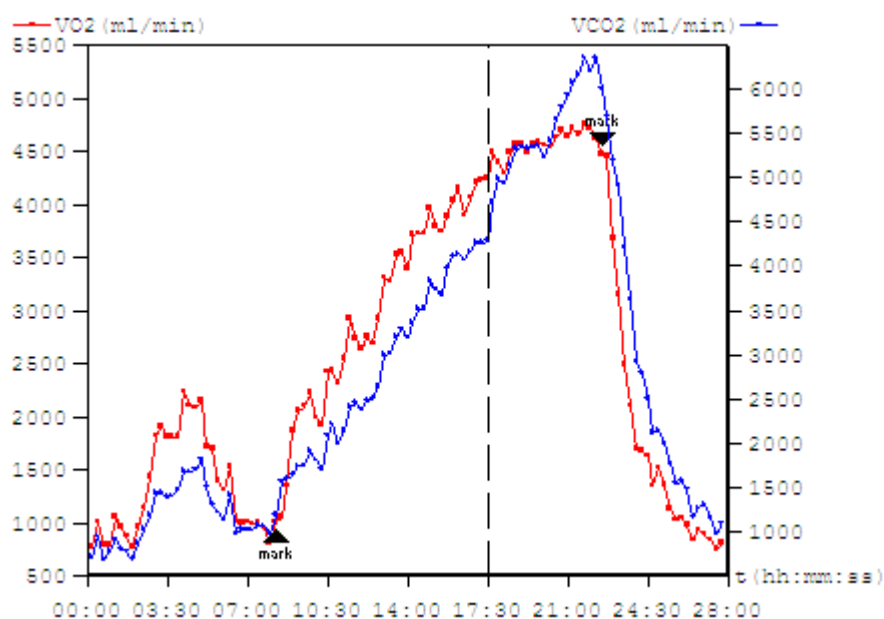
• **Segon llindar ventilatori (LIV2):** Segon llindar ventilatori (*second ventilatory threshold, VT2*) corresponent al punt de compensació de l'acidosis metabòlica de Wasserman. Aquest autor el defineix com la intensitat d'exercici o treball físic per damunt del qual comença a augmentar de forma progressiva la concentració de lactat en sang a la vegada que la ventilació s'intensifica també de manera desproporcionada respecte l'oxigen consumit (Wasserman, 1967). Quan la capacitat de tamponament de l'àcid làctic és inferior al seu ritme de producció, la concentració en sang augmenta de forma no lineal. La resposta a aquesta situació d'acidosis metabòlica descompensada és incrementar la ventilació en un intent de compensar aquesta situació de desequilibri àcid-base. Per a detectar el LIV2 s'ha utilitzat els criteris de Skinner i McLellan (1980) que descriuen la transició del metabolisme aeròbic al metabolisme anaeròbic durant la realització d'una prova incremental:

- Augment desproporcionat de VE.
- Accentuació de la no linealitat de  $VCO_2$  respecte la càrrega.
- Increments de l'equivalent respiratori de l' $O_2$  ( $VE/VO_2$ ) i del  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ).
- Descens de la fracció espirada de  $CO_2$  ( $FECO_2$ ) i ascens de la fracció espirada d' $O_2$  ( $FE O_2$ ).

A continuació es mostren tres dels indicadors per detectar el segon llindar ventilatori en un subjecte:

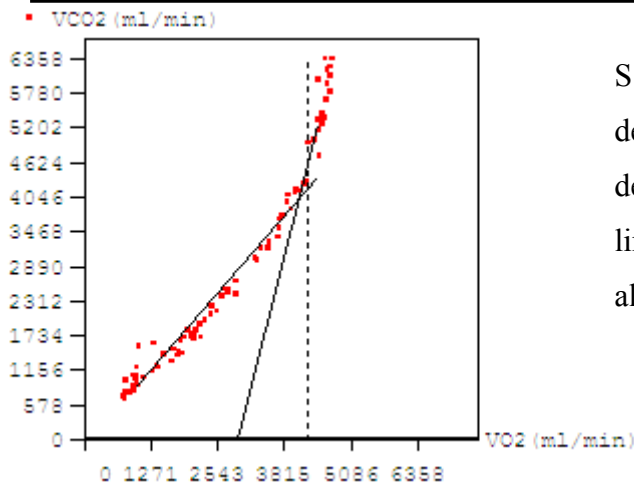
**Taula I.3.** Paràmetres fisiològics i de càrrega corresponents al LIV2 en un subjecte.

Paràmetre	Valors al LIV2	Valors màxims	% màxim
Temps inici test (min:s)	09:30	14:19	66,4
Temps total (min:s)	17:30	22:19	66,4
Període (núm.)	4,5	7	64,3
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	4248	4755	89,3
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	52,4	58,7	89,3
VCO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	4293	6357	67,5
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	104	165	63
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	168	186	89,8
R	1,01	1,33	75,6



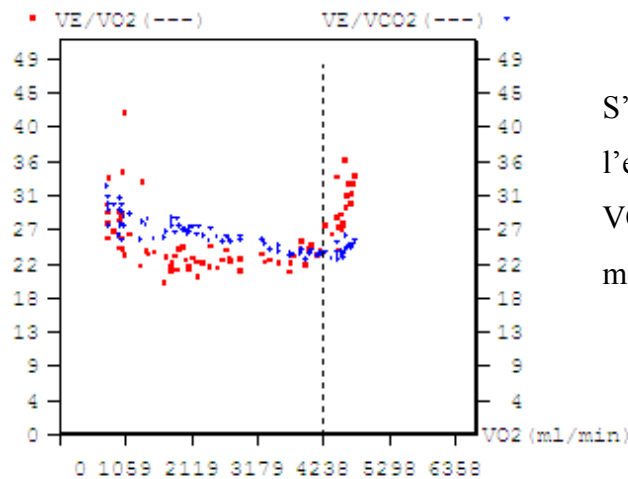
**Figura I.18.** Evolució del VO<sub>2</sub> i VCO<sub>2</sub> en un subjecte durant el test. S’hi indica el LIV2.





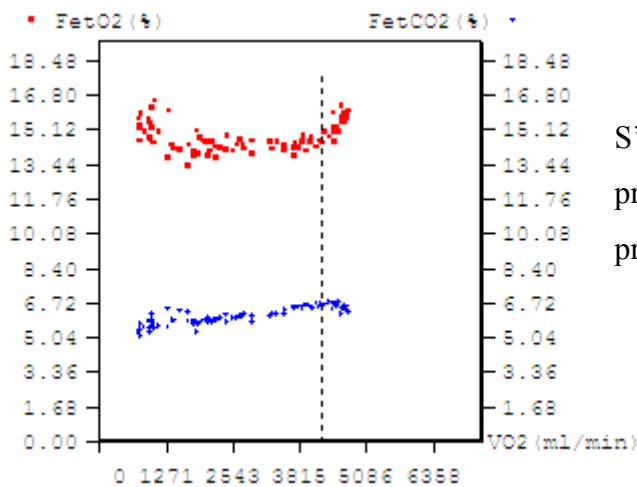
S'observa un segon augment no lineal de  $VCO_2$  respecte a  $VO_2$ , és a dir, s'ha detectat una accentuació de la no linealitat de producció de  $CO_2$  respecte al consum d' $O_2$ .

**Figura I.19.** Relació entre  $VCO_2$  i  $VO_2$  en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.



S'observa un segon increment de l'equivalent respiratori de l'oxigen ( $VE / VO_2$ ) ja que augmenta proporcionalment més VE que  $VO_2$ .

**Figura I.20.** Relació entre el  $VCO_2$  i el  $VO_2$  amb el  $V_E$  (equivalent respiratori del  $CO_2$  i de l' $O_2$ ) en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.



S'observa un segon ascens més pronunciat de la  $FEO_2$  i per contra es produeix un descens de la  $FECO_2$ .

**Figura I.21.**  $FEO_2$  (%) i  $FECO_2$  (%) en funció del  $VO_2$  en un subjecte durant el test. S'hi indica el LIV2.

Per al registre dels paràmetres relatius a la freqüència cardíaca es van utilitzar els valors mitjans en 15 s. Les dades eren transmises telemètricament i gravades a intervals de 15 s en l'aparell per ser buidades posteriorment en un PC mitjançant el software Polar Precision Performance 4.03.043. El registre en la prova començava 2 minuts abans de l'escalfament específic i finalitzava 5 minuts després de finalitzada la prova. Els paràmetres electrocardiogràfics utilitzats van ser:

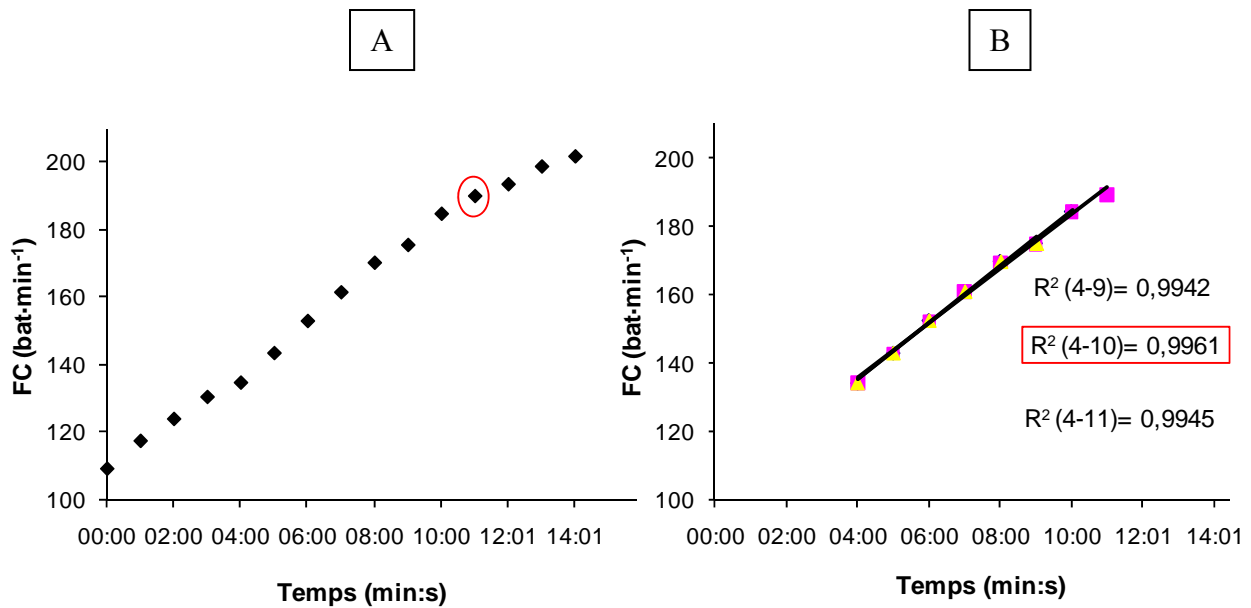
- **FC ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca en batecs per minut (*Heart rate, HR*) com a mesura indirecta de la càrrega interna del tennista i com a caracterització de la resposta cardiocirculatòria a l'esforç. Existeix una relació gairebé lineal entre els valors de freqüència cardíaca i el grau d'esforç realitzat en una prova.

- **FCmax ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** freqüència cardíaca màxima en batecs per minut. És el nombre màxim de batecs per minut durant la prova i com a mesura de la intensitat màxima assolida pel subjecte. Per determinar la FCmax es van utilitzar valors mitjans cada 15 s i es va anotar el valor més alt assolit durant l'últim minut de la prova.

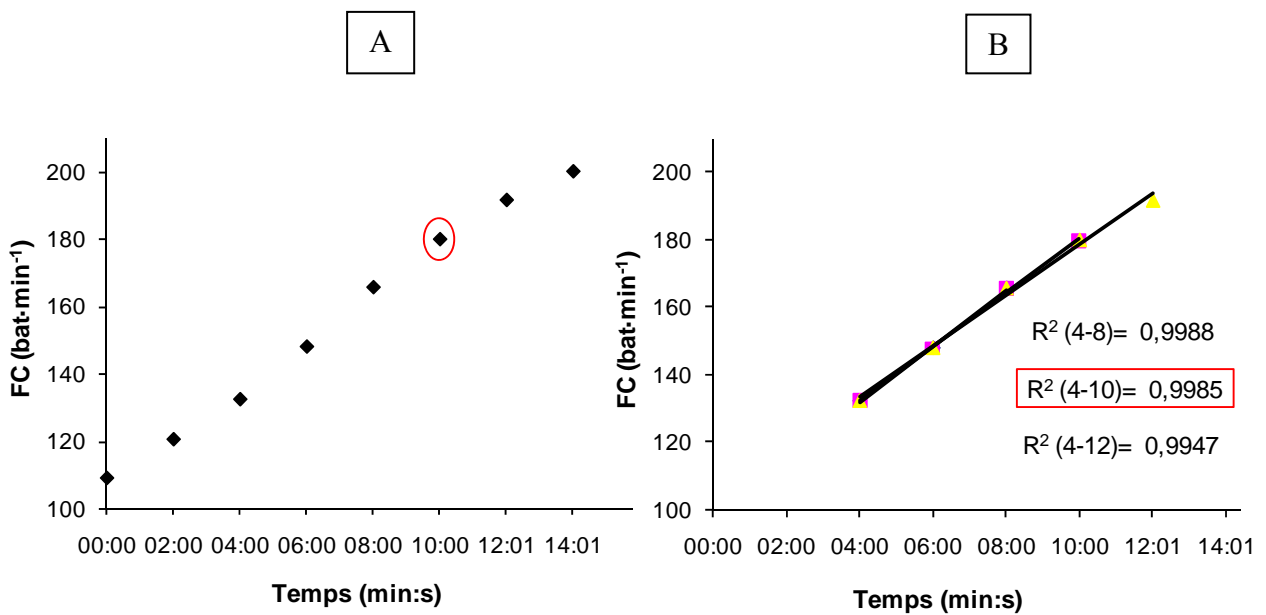
- **PDFC ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** punt de deflexió de la freqüència cardíaca (*Heart rate deflection point, HRDP*). La FC augmenta de forma gairebé lineal en relació a la intensitat de l'exercici que es realitza, fins arribar un punt a partir del qual s'estabilitza encara que segueix augmentant la intensitat de treball. Aquest punt l'anomenem PDFC (Conconi et al., 1982). El fenomen de la deflexió de FC es produeix quan es realitza un treball per sobre del llindar anaeròbic, quan augmenta més la intensitat de la càrrega que no pas la FC (Pendergast et al., 1979, en Conconi 1982). En la literatura revisada alguns autors defensen que el concepte de PDFC es controvertit, atès que alguns individus exhibeixen una resposta totalment lineal entre FC i càrrega de treball (Jones i Doust, 1995), no obstant aquests problemes en la detecció del PDFC poden venir donats per problemes de caire metodològic, ja que l'increment de la càrrega no hauria de provocar un increment superior a 8 batecs per minut, i es necessiten de 15 a 30 s per adaptar-se cardiològicament a l'esforç (Bodner i Rhodes, 2000). En el present estudi es van tenir en compte aquests dos aspectes metodològics i es va utilitzar com a paràmetre de càrrega la  $FLL_p$  i el temps, a diferència de l'estudi original de Conconi et al. que utilitza la velocitat de desplaçament.

Per tal de determinar aquest punt s'ha utilitzat l'anàlisi de regressió, amb detecció de la sèrie temporal amb un valor de coeficient de regressió lineal ( $r$ ) màxim. Les tècniques de regressió aplicades a la detecció del PDFC permeten mostrar aquest punt de manera més perceptible i objectiva (Bodner i Rhodes, 2000). Per tal de determinar-lo es va utilitzar la FC de cada minut completat en tots els subjectes, excepte en un subjecte en que es va utilitzar la mitjana en 2 minuts, i 4 subjectes en que es va utilitzar la mitjana en 30 s com a elements d'ajut per detectar la deflexió.

A la Figura I.22 i Figura I.23 es mostra el mètode utilitzat per detectar el PDFC en un subjecte mitjançant l'anàlisi de regressió de la FC mitjana d'un i dos minuts.



**Figura I.22.** Evolució de la mitjana de FC cada minut en un subjecte durant la prova (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S’hi indica el PDFC.



**Figura I.23.** Evolució de la mitjana de FC cada 2 minuts en un subjecte durant el test (A). Anàlisi de regressió per detectar el PDFC (B). S’hi indica el PDFC.

***Paràmetres d'efectivitat tècnica (ET)***

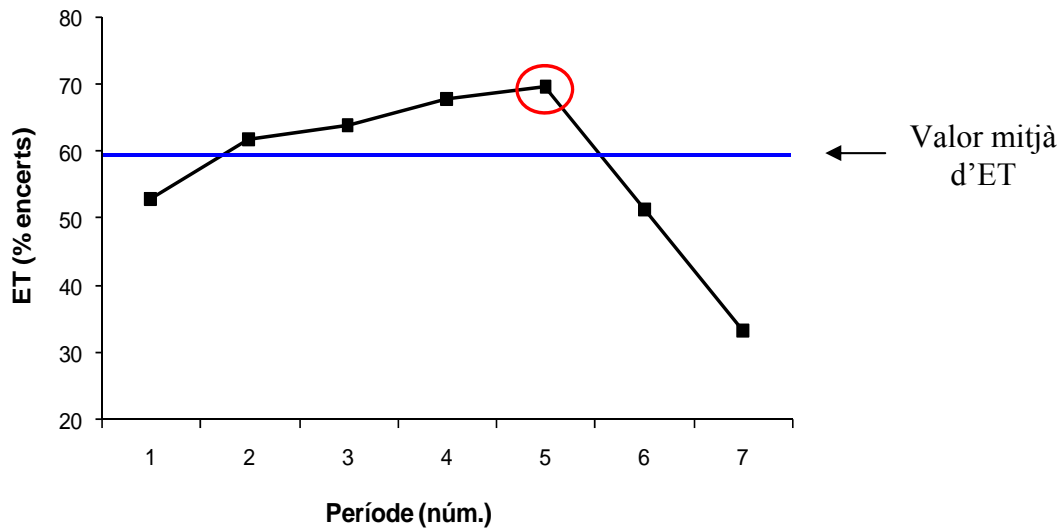
Els valors d'ET fan referència a la precisió i potència dels cops realitzats pel jugador. Els valors s'obtenen mitjançant l'avaluació objectiva d'encerts i errors durant la realització dels tests específics tal i com s'especifica en l'apartat I.3.1.3 (protocol de la prova). Les anotacions d'ET es realitzaven a intervals de 30 s per un observador entrenat mitjançant uns fulls d'observació (annex 1). Es van obtenir dades d'efectivitat tècnica globals de cada test representant el valor mitjà del total de cops i dades d'efectivitat tècnica per a cada esglaó de dos minuts. Els períodes que no van tenir una durada mínima de 45 s no es van tenir en compte les dades d'ET.

- **ET (percentatge d'encerts):** efectivitat tècnica. Càlcul objectiu del número i percentatge d'encerts dels jugadors durant la prova per un observador i en funció d'unes línies marcades a la pista tal com s'especifica en l'apartat I.3.1.3 (protocol de la prova).
- **PDET (període):** punt de deflexió de l'efectivitat tècnica. Una vegada obtinguts els percentatges d'encerts i errors totals i per esglaó, es va determinar un punt a partir del qual els subjectes disminuïen la seva ET. Es va utilitzar com a criteri de punt d'inflexió l'últim valor d'ET a partir del qual el subjecte està per sota de la seva mitjana d'efectivitat tècnica total i ja no torna a superar aquest valor mitjà (Figura I.24). L'últim període assolit es contemplava si es realitzava un mínim de 45 s, en cas que no s'assolís un mínim de 45 s aquest període no es tenia en compte per a valorar la disminució d'ET.

En el cas que algun subjecte durant la prova disminuís la seva ET per sota de la mitjana en un període i després tornés a superar aquest valor mitjà, es considerava el PDET aquell valor que disminuïa i ja no tornava a superar el valor mitjà (Figura I.25). En el cas que un subjecte acabés el test per sobre la mitjana d'ET es considerava aquell període com a PDET. A continuació es mostra el mètode de detecció del PDET en dos subjectes.

**Taula I.4.** Valors d'efectivitat tècnica d'un subjecte.

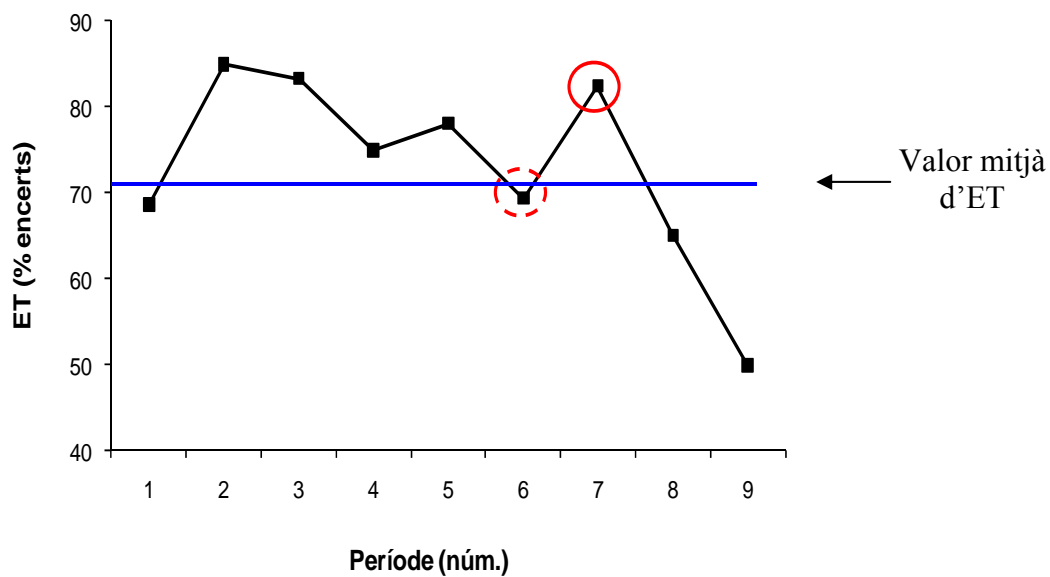
Total cops	ET			PDET (Període)
	Núm. Encerts	Núm. Errors	% Encerts	
173	103	70	59,6	5



**Figura I.24.** Evolució de la mitjana d'ET per període en un subjecte durant el test. S'hi indica el valor mitjà d'ET del subjecte i el PDET en un cas en que després de la deflexió no es torna a superar el valor mitjà.

**Taula I.5.** Valors d'efectivitat tècnica del subjecte.

Total cops	ET			PDET (Període)
	Núm. Encerts	Núm. Errors	% Encerts	
283	202	81	71,4	7



**Figura I.25.** Evolució de la mitjana d'ET per període en un subjecte durant el test. S'hi indica el valor mitjà d'ET del subjecte i el PDET en un cas en que després d'una deflexió es torna a superar el valor mitjà.

### *Nivell competitiu dels jugadors*

Amb l'objectiu d'establir el nivell competitiu de cada jugador per poder relacionar-lo amb la resta de variables de l'estudi es va realitzar una classificació dels jugadors. Degut a que en la mostra hi havia jugadors de nombroses nacionalitats, per tal de buscar un criteri únic i internacional de classificació es van classificar els subjectes amb el criteri proposat per la ITF (*International Tennis Federation*) utilitzant l'ITN (*International Tennis Number*) amb una escala de classificació de l'1 al 10.

• **ITN (escala de 1 a 10):** *Internacional Tennis Number*. És un número proposat per la *International Tennis Federation* (ITF) que representa el nivell general de joc d'un tennista. La ITF espera que amb el temps tots i cadascun dels jugadors de tennis del món tinguin un ITN. Amb aquest sistema els jugadors es classifiquen de 1 a 10, existint dins la categoria ITN 10 3 sub-categories (ITN 10.1, ITN 10.2 i ITN 10.3). El ITN 1 representa un jugador d'alt nivell (que posseeix una classificació ATP o un nivell de joc similar) i l'ITN 10 seria un jugador que es nou en l'esport (annex 2). Per poder classificar els jugadors de diferents nacionalitats i nivells l'ITN consta d'un "Quadre de comparació de l'ITN (ITF, 2005)" i una "Descripció del Nivell de Joc (ITF, 2004)". El mètode que es va utilitzar per classificar cada un dels jugador de la mostra ha estat diferent en funció dels següents casos:

- Jugadors que tenien una classificació en el seu país d'origen equiparable en el "Quadre de Comparació de l'ITN". La ITF té una taula de comparació (annex 3) per a aquells països que tenen sistemes nacionals de classificació en marxa. Aquesta taula compara les categories de classificació d'aquells països que compten amb tots el nivells ITN.
- En el cas que el jugador fos d'un país que no tenia en funcionament un sistema nacional de classificació, tenia una classificació en un país que no s'especifica en el Quadre de Comparació o bé no tenia classificació en cap país s'ha utilitzat la "Descripció del Nivell de Joc (ITF, 2005)" realitzada per 3 observadors amb la titulació d'Entrenador Nacional de Tennis. Aquesta escala de classificació s'utilitza per a descriure cada una de les deu categories de classificació. Aquesta descripció de nivells de joc ha estat elaborada i aprovada per la Comissió d'Entrenadors de la ITF i el Grup de treball de les Classificacions Internacionals de la ITF. Aquesta descripció del nivell de joc no utilitza únicament una avaluació de la tècnica de cada un dels cops sinó que utilitza els següents criteris:

- Les característiques generals de diversos nivells de joc.
- Les cinc situacions tàctiques de joc (servei, restada, fons contra fons, pujada a la xarxa i “passing”).
- Estil de joc del tennista.

### **I.3.2. FIABILITAT DE LA PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA**

La fiabilitat de la prova ve determinada pel grau de repetitivitat o reproductibilitat de les seves mesures, referint-nos al grau de consistència, estabilitat, objectivitat o constància d'aquestes. Per tal d'assegurar un adequat nivell de fiabilitat del SET – Test es van controlar possibles fonts de variabilitat en el resultat de les proves. Distingirem entre fiabilitat externa i interna.

#### **I.3.2.1. Fiabilitat externa**

La fiabilitat externa és el grau de concordança entre mesures consecutives que ve determinada per factors externs al subjecte, com ara els instruments de mesura, els examinadors, el protocol de la prova o les condicions ambientals (Rodríguez, 1999). Per tal d'assegurar un adequat control sobre les possibles fonts d'error de mesurament en el procés de recollida de dades es van controlar amb un alt grau d'exigència els següents factors:

#### ***Instruments d'avaluació: la màquina llançapilotes de tennis***

Abans de cada test es realitzava de manera manual un calibratge de les freqüències de llançament. Per altra banda, es va fer una anàlisi de la velocitat de llançament avaluada amb un radar en condicions ambientals estables. A aquests efectes, la màquina es situava a una distància de 3 metres de la línia de fons, centrada respecte la línia traçada per la prolongació de la línia central de servei tal i com s'especifica a la Figura I.9. Mitjançant un programa informàtic per al càlcul de valors cinemàtics es va determinar l'angle i l'alçada de sortida de la pilota de la màquina respecte la horitzontal del terra.

#### ***Material d'avaluació: pilotes de tennis***

Atès que la màquina llançapilotes expulsa pel tub de llançament les pilotes mitjançant aire comprimit, les diferents característiques i estats de conservació de les pilotes poden provocar una variació en la velocitat de llançament. Per tal d'assegurar la



homogeneïtat en la velocitat de llançament i per tant contribuir a la fiabilitat externa de la prova es van utilitzar un mínim de 40 pilotes de tennis (Babolat Team), amb un màxim de 100 cops per pilota i 15 dies d'utilització des de l'obertura del contenidor. Quan les pilotes deixaven de complir aquests criteris es substituïen per pilotes noves. Les pilotes van ser subministrades per la empresa Babolat i per l'àrea de docència de la "Real Federación Española de Tenis".

### ***Condicions ambientals***

Atès que totes les proves es van realitzar en pistes de tennis exteriors, la intensitat del vent podia modificar la velocitat de llançament de les pilotes i provocar un canvi en les càrregues programades. Per evitar aquest factor de variabilitat, les proves només es van realitzar amb condicions de vent estables, inferiors a una velocitat del vent de  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  mesurada amb un anemòmetre digital.

### ***Els examinadors: objectivitat i estabilitat de la prova***

Anomenem objectivitat o fiabilitat interobservador al grau de constància dels resultats entre diferents examinadors obtinguts en els mateixos subjectes, i estabilitat o fiabilitat intraobservador al grau de constància entre varies mesures repetides per un mateix observador en els mateixos subjectes. Per tal de minimitzar les fonts d'error de mesura inter- i intraobservador es van ensinistrar 4 investigadors (becaris de recerca de l'INEFC de Barcelona), cadascun dels quals realitzava una tasca concreta, amb un elevat coneixement del contingut de les observacions. Amb anterioritat a les avaluacions, els examinadors tenien un grau elevat de familiarització amb la prova i disposaven d'un protocol escrit de les tasques i accions concretes a realitzar.

### **I.3.2.2. Fiabilitat interna**

La fiabilitat interna reflecteix el grau de variabilitat biològica; és el grau de concordança que ve determinat per factors interns relatius als propis subjectes de la recerca (Rodríguez, 1999). Per tal de minimitzar l'impacte de les possibles fonts d'error deguda als mateixos participants en la recerca es van controlar els següents factors:

- Motivació dels jugadors. Varen participar a l'estudi únicament aquells jugadors que van acceptar voluntàriament i amb interès la realització de les proves. Els

subjectes van rebre instruccions molt concretes i se'ls va animar a que s'esforcessin al màxim en cada prova.

- Estat de fatiga dels jugadors. Els subjectes no van participar en cap competició o entrenament de càrrega elevada en un període mínim de 48 hores abans de les valoracions.
- Coneixements específics sobre la prova. Es van facilitar als jugadors unes instruccions estandarditzades abans de cada prova.
- Escalfament i familiarització amb la prova. Tots els subjectes van realitzar el mateix escalfament estandarditzat i de familiarització abans de cada prova.

### **I.3.2.3. Estudi de repetitivitat**

L'estabilitat de les mesures durant la prova de resistència és un aspecte cabdal en el desenvolupament de la present investigació. Un cop validats els instruments d'avaluació i amb l'objectiu d'avaluar la repetitivitat i el coeficient d'estabilitat de la prova proposada, una submostra de 12 jugadors van realitzar una prova de mesures repetides ('test-retest') consistent en realitzar tres SET – Test de manera consecutiva, en dies diferents i seguint les directrius d'administració de la prova explicades en el punt anterior (I.3.1). Els dotze subjectes van realitzar els dos primers SET – Test amb idèntiques condicions i amb 48 hores d'interval. Durant els dos primers tests es va enregistrar la FC ( $\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) com a paràmetre de càrrega interna (adaptació cardiovascular a l'esforç), la durada de la prova i l'últim període assolit en el test (UP) com a paràmetres de càrrega externa. Al mateix temps es va realitzar una valoració de l'efectivitat tècnica (ET). Posteriorment, amb un interval de 7 dies respecte la realització de la segona prova, i amb l'objectiu d'explorar els efectes sobre les variables estudiades de l'analitzador de gasos portàtil, es va dur a terme el tercer SET – Test enregistrant els paràmetres ergoespiromètrics mitjançant un analitzador de gasos portàtil K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Itàlia). Les tres proves es van realitzar dins d'un interval de 9 dies per tal que no es produïssin possibles modificacions de la condició aeròbica dels jugadors per efecte de l'entrenament o altres factors. Els jugadors de la mostra no van participar en cap competició, prova o entrenament d'alta exigència en un període mínim de 48 hores abans del test.

#### I.3.2.4. Subjectes

Per a l'estudi de repetitivitat es va utilitzar una mostra de 12 jugadors amb una mitjana d'edat de 17,2 anys ( $\pm 1,0$ ; 16,0 – 18,7); alçada 176,7 cm ( $\pm 7,4$ ; 167,0 – 190,0); pes 71,8 kg ( $\pm 9,0$ ; 55,0 – 83,0). Els subjectes dedicaven una mitjana de 3,5 h ( $\pm 0,1$ ; 3,5 – 4,0) a l'entrenament tècnic i 1,0 h ( $\pm 0,1$ ; 1,0 – 1,5) a l'entrenament físic, 5 dies a la setmana en centres d'entrenament d'alta competició. Un dels subjectes de la mostra tenia classificació internacional (ATP) i els onze restants tenien un nivell nacional. Tots els jugadors es trobaven entre el nivell 1 i 4 de l'ITN, corresponent a un nivell d'avançat a elit, amb un jugador amb un ITN 1, dos jugadors amb un ITN 2, dos jugadors amb un ITN 3 i 5 jugadors amb un ITN 4.

#### I.3.2.5. Material

- **Màquina llançapilotes de tennis** (Pop - Lob Airmatic 104, França). Utilitzada per al llançament de pilotes durant totes les proves.
- **Analitzador de gasos portàtil telemètric** (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Itàlia), utilitzat en l'aplicació de la tercera prova (T3).
- **Cardiotacòmetres** (Polar S-810 i S-610, Finlàndia).
- **Pilotes de tennis** (Babolat Team, Japó).
- **Cronòmetres digitals** (Casio, Japó).
- **Programari informàtic**. Programes de funcionalitat específica, programes d'integració i sistemes operatius: Microsoft Word 2002, Microsoft Excel 2002, SPSS 13.0 per a Windows, Data Management Software K4b<sup>2</sup> versió 7.4b, Polar Precision Performance versió 4.03.043, Method Validator versió 1.19, TCD (TwoCampsDisplay) Sport Suport 2006.
- **Ordinadors portàtils** (Acer TravelMate 290, Taiwan i Dell Inspiron, Irlanda).
- **Anemòmetre digital** (Plastimo).
- **Radar** (Stalker ATS 4.02, EUA) per avaluar la velocitat en el llançament de pilotes.

### I.3.2.6. Paràmetres funcionals

#### *Paràmetres ergomètrics o de càrrega*

Els paràmetres de càrrega van ser enregistrats en cadascuna de les tres proves (T1, T2 i T3) per a l'estudi de fiabilitat.

- **Durada de la prova (min:s).**
- **UP (període):** últim període assolit.
- **FLL<sub>P</sub> (tir·min<sup>-1</sup>):** freqüència de llançament de pilotes.

#### *Paràmetres fisiològics*

Els següents paràmetres ergoespiromètrics van ser avaluats únicament en la tercera prova (T3).

- **VO<sub>2</sub> (mL·min<sup>-1</sup>):** consum d'oxigen.
- **VO<sub>2</sub> (mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>):** consum d'oxigen en relació al pes corporal actual del subjecte.
- **VO<sub>2max</sub> (mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>):** consum màxim d'oxigen en relació al pes del subjecte.
- **VCO<sub>2</sub> (mL·min<sup>-1</sup>):** producció de diòxid de carboni.
- **V<sub>E</sub> (L·min<sup>-1</sup>):** ventilació pulmonar o volum minut respiratori.
- **R:** quocient respiratori (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>).
- **V<sub>E</sub> / VO<sub>2</sub>:** equivalent respiratori de l'oxigen (EqO<sub>2</sub>).
- **V<sub>E</sub> / VCO<sub>2</sub>:** equivalent respiratori del diòxid de carboni (EqCO<sub>2</sub>).
- **FEO<sub>2</sub>:** fracció espirada d'oxigen (%). Indica la concentració d'O<sub>2</sub> en l'aire espirat (%).
- **PETO<sub>2</sub> (mmHg):** pressió d'oxigen al final de la respiració (telexpiratòria) en mmHg.
- **FECO<sub>2</sub> (mmHg):** fracció espirada de diòxid de carboni (%). Indica la concentració de CO<sub>2</sub> en l'aire espirat.
- **PETCO<sub>2</sub> (mmHg):** pressió de diòxid de carboni al final de cada espiració en mmHg.
- **Primer llindar ventilatori (LIV1):** primer llindar ventilatori o llindar aeròbic.
- **Segon llindar ventilatori (LIV2):** segon llindar ventilatori o llindar anaeròbic.

Els següents paràmetres electrocardiogràfics van ser enregistrats en les tres proves administrades (T1, T2 i T3) en l'estudi de fiabilitat.

- **FC (bat·min<sup>-1</sup>):** freqüència cardíaca.
- **FCmax (bat·min<sup>-1</sup>):** freqüència cardíaca màxima.
- **PDFC (bat·min<sup>-1</sup>):** punt de deflexió de la freqüència cardíaca.

#### *Paràmetres d'efectivitat tècnica (ET)*

- **ET (percentatge d'encerts):** efectivitat tècnica.
- **PDET (període):** punt de deflexió de l'efectivitat tècnica.

#### *Nivell competitiu del jugador*

- **ITN (escala de 1 a 10):** *Internacional Tennis Number*.

#### **I.3.2.7. Anàlisi estadística**

Es van calcular els estadístics de correlació intraclasse (ICC) per determinar el grau d'estabilitat dels valors de les dues proves, així com el coeficient de correlació lineal de Pearson (r) o de correlació interclasse per avaluar la correlació entre les variables. Mitjançant l'ANOVA es va determinar les diferències observades en les mesures els diferents dies de la prova. També es va calcular el coeficient de variació (CV) com a mesura de variabilitat i comparació de les dispersions. Per a la valoració dels nivells de correlació es van utilitzar els criteris de Barrow i McGee (1964): 0,60-0,69 dubtosa; 0,70-0,79 escassa; 0,80-0,89 acceptable; 0,90-0,95 molt bona; >0,95 excel·lent.

### **I.3.3. VALIDESA DE LA PROVA**

Validesa és el grau en que una prova de valoració mesura aquell factor o capacitat funcional que pretén mesurar (Rodríguez, 1999). Cal dir que la validesa depèn en gran part de la fiabilitat, una prova mai serà vàlida si no és fiable, és per aquesta raó que en l'anterior l'apartat es descriuen detalladament els criteris de fiabilitat de la prova proposada. Es va determinar si el SET – Test és una prova vàlida per avaluar la condició aeròbica mitjançant una tasca específica en tennistes de competició.

S'han considerat els següents tipus de validesa del SET – Test:

#### **I.3.3.1. Validesa de contingut**

És el grau de certesa en que el resultat d'una prova es correspon al factor o capacitat funcional, a partir de la seva elecció en base a una decisió lògica i interpretada. Sol referir-se a aspectes d'aprenentatge i context motriu en relació amb l'execució de la prova (Rodríguez, 1999). El SET – Test és una prova de valoració de la resistència específica del tennista. Resulta clar que el context motriu en que es desenvolupa la prova correspon al del tennis, amb accions tècniques –apreses– característiques (desplaçaments a la pista, canvis de direcció, copejaments, etc.), mantingudes de forma prolongada i amb intensitat creixent, com és comú a la majoria de proves de resistència.

#### **I.3.3.2. Validesa ecològica**

És el grau en que la prova s'adequa a la situació real o reproduïx les característiques ambientals i d'entorn en que té lloc la prestació (Rodríguez, 1999). Un dels objectius que persegueixen les proves de camp és millorar la validesa ecològica. El SET – Test és una prova de camp que es realitza a la mateixa pista de competició i que ha estat dissenyada per adequar-se de manera notable a l'entorn físic i també des del punt de vista del material utilitzat i les condicions generals en que es duen a terme les accions motrius, com ara el fet d'haver de respondre als cops d'un rival imaginari –generats artificialment per raons de consistència– amb la potència i la precisió pròpies del joc.

#### **I.3.3.3. Validesa interna**

És el grau de correlació existent entre el factor o capacitat funcional a valorar i els resultats de la prova, sense la intervenció d'altres variables estranyes que alterin aquest resultat (Rodríguez, 1999). Per tal de determinar-lo, es van correlacionar els resultats de la prova expressats amb els paràmetres de càrrega (últim període, UP) amb paràmetres

fisiològics reconeguts com a indicadors de la resistència cardiorespiratòria i metabòlica ( $VO_{2max}$ ) (els resultats es descriuen en l'apartat de validesa predictiva). Per tal d'observar també la relació entre aquests paràmetres i els paràmetres d'eficiència tècnica es va es van correlacionar el LIV2 i el PDFC amb el PDET. Per altra banda, per tal de contrastar la participació del metabolisme aeròbic i el caràcter maximal de la prova, es va realitzar una anàlisi dels elements i característiques del protocol tal i com es descriu a continuació.

L'energia per la contracció muscular durant l'exercici pot ser generada a partir de tres fonts interdependents (fosfats d'alta energia –ATP i fosfocreatina–, glucòlisis anaeròbica i fosforilació oxidativa). L'energia derivada de cadascun d'aquests sistemes dependrà en termes relatius de la intensitat i la durada de l'exercici. Atès que l'objectiu del SET – Test és avaluar la capacitat de la via oxidativa o aeròbica, es van considerar els següents criteris de validesa:

(1) Criteris seguits per assegurar un registre adequat del  $VO_{2max}$ :

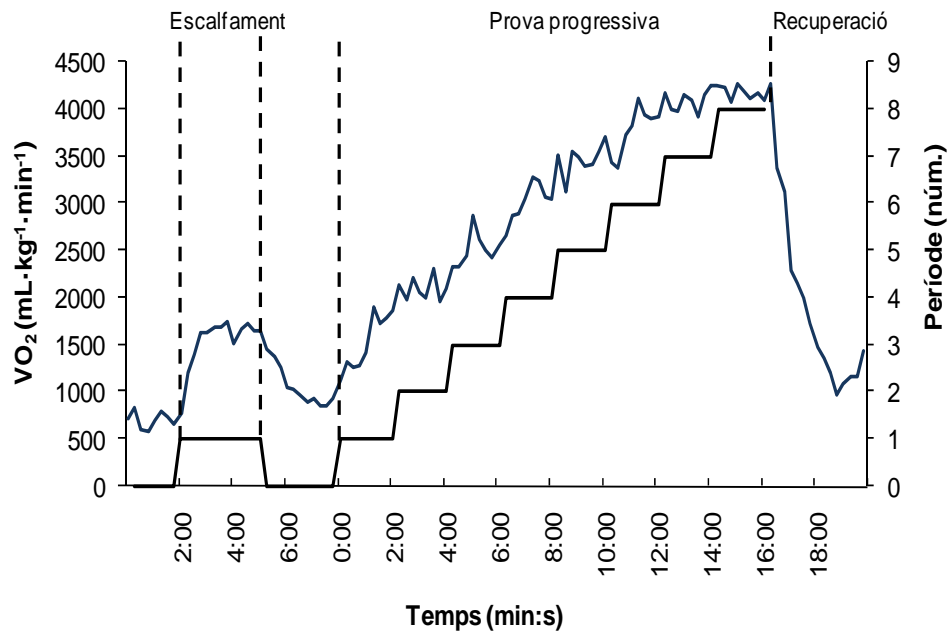
- Tipus de protocol: es va triar un protocol continu, de càrrega incremental (progressiu) i esglaonat (Figura I.26), fins a l'esgotament del subjecte, precedit d'una fase d'escalfament general i específic. Es tracta d'una prova totalment reproducible en que la càrrega ve determinada pel la freqüència i la velocitat de llançament de pilotes i en que es produeix un resultat objectiu: la durada de la prova o el nombre equivalent de l'últim període assolit (UP).
- Participació muscular: la participació dels grans grups musculars del tren superior, inferior i tronc assegura que la càrrega de treball imposada pel SET – Test permeti la màxima sobrecàrrega del sistema de transport d'oxigen.
- Durada de la prova: la prova va ser dissenyada amb una progressió tal que fes que la seva durada fos superior als 8 minuts i inferior als 20, interval generalment acceptat per proves de valoració del consum màxim d'oxigen (Wasserman, 2005).
- Increments en la càrrega i durada dels períodes: els increments de càrrega van ser lleugers ( $2 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i els períodes van ser de 2 minuts per tal d'assolir un

cert grau d'adaptació de l'intercanvi de gasos a la nova càrrega, però sense perllongar exageradament la prova i evitar el consegüent esgotament muscular del tennista.

(2) Criteris seguits per establir la maximalitat de la prova i per a la determinació del  $VO_{2max}$  i líndars ventilatoris:

- La utilització d'un analitzador de gasos portàtil va permetre determinar el  $VO_2$  de manera directa utilitzant els criteris que es descriuen a continuació (Wasserman, 2005; Rodríguez i Aragonés, 1992; López Chicharro et al., 1995).
- Consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ): el principal paràmetre utilitzat per determinar si es tractava d'una prova màxima va ser l'observació d'un 'plateau' o anivellament en la corba de consum d'oxigen durant la realització de l'exercici incremental o bé que l'augment del  $VO_2$  fos inferior a  $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  en dos períodes successius. L'estabilitat o descens del  $VO_2$ , tot i seguir augmentant la càrrega de treball, és el criteri que millor defineix la condició màxima de la prova ja que ens indica que s'ha assolit el consum màxim d'oxigen (Wasserman, 2005). La Figura I.26 mostra l'evolució del  $VO_2$  durant una prova progressiva, amb anivellament del  $VO_2$  al final de la prova. S'observa la relació lineal amb la intensitat durant les càrregues submàximes, fins un punt en que tot i seguir augmentant la càrrega de treball, no es produeix un augment en el  $VO_2$  (fenomen de 'plateau' o anivellament del  $VO_2$ ).





**Figura I.26.** Evolució del consum d'oxigen durant una prova progressiva. S'observa l'anivellament ('plateau') del VO<sub>2</sub> a la fi de la prova.

- Freqüència cardíaca màxima teòrica: el criteri de maximalitat utilitzat va ser  $FC_{max} \geq 90\% FC_{max} \text{ teòrica } (220 - \text{edat})$  (Astrand i Rhiming, 1954).
- Quocient respiratori (R): es va utilitzar  $R \geq 1,1$  com a criteri secundari de maximalitat de la prova.
- Per últim es va tenir en compte el grau d'esgotament subjectiu i aparença de fatiga que presentava el tennista al final de la prova, observat pels avaluadors.

#### I.3.3.4. Validesa predictiva

És el grau de validesa amb que els resultats de la prova estan correlacionats amb un criteri escollit com a referència (Rodríguez, 1999).

##### *Validesa predictiva per estimar paràmetres fisiològics*

Per tal d'avaluar la capacitat del SET – Test per estimar paràmetres fisiològics com la potència aeròbica màxima i el llindar anaeròbic de forma indirecta i, per tant, sense necessitat de disposar d'un analitzador de gasos durant l'esforç es va procedir a les següents anàlisis:

- Estimació de la potència aeròbica màxima: es va avaluar en quina mesura el principal paràmetre de càrrega (UP) predu el  $VO_{2max}$ .
- Estimació del llindar anaeròbic: es va avaluar en quina mesura el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) predu el segon llindar ventilatori (LIV2).

### *Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte del nivell competitiu*

En aquest apartat s'identifiquen les variables explicatives que componen un model de predicció del rendiment (nivell competitiu dels jugadors). Primerament s'analitzen les correlacions existents entre el nivell competitiu (ITN) i les variables de càrrega, fisiològiques i d'efectivitat tècnica mitjançant el càlcul del coeficient de correlació lineal de Pearson ( $r$ ). Posteriorment, per tal d'establir les correlacions multivariants, es procedeix a una anàlisi de regressió múltiple utilitzant el mètode per etapes o "stepwise". En el model s'introdueixen successivament les variables derivades de l'aplicació del SET – Test, començant amb la variable que expliqui un major percentatge de la variable rendiment i introduint-ne una a la vegada, que passa a formar part del model o no en funció del coeficient de correlació parcial i la tolerància de la variable. En les etapes successives es mira d'explicar aquell percentatge de la variable dependent que encara no ha estat explicat per les variables prèviament introduïdes a l'equació. El grau de significació predeterminat va ser  $p < \alpha = 0,05$ .

#### **I.3.3.5. Subjectes**

En l'estudi de validesa de la prova varen participar 38 jugadors de tennis de nivell competitiu nacional i internacional. Set dels jugadors eren professionals amb classificació internacional ATP (*Association of Tennis Professionals*) i la resta eren de nivell nacional i internacional, sense classificació ATP. Tots els jugadors es trobaven entre el nivell 1 i 4 de l'ITN, pertanyent doncs a nivells corresponents a la classificació d'elit a avançat, havent-hi 8 jugadors amb un ITN igual a 1, 10 jugadors amb un ITN igual a 2, 9 jugadors amb un ITN igual a 3 i 11 jugadors amb un ITN igual a 4. Els jugadors es van sotmetre voluntàriament a la realització de les proves amb el consentiment dels respectius directors tècnics dels centres d'entrenament i dels responsables de l'àrea de preparació física. Prèviament a la realització de l'estudi es va

informar als responsables i als propis tennistes de les diferents proves a que serien sotmesos, consistents en la realització de proves físiques o de joc i l'aplicació de tècniques no invasives ni agressives, així com de la confidencialitat dels resultats obtinguts. La investigació es va dur a terme complint els principis de la Declaració d'Helsinki d'investigació amb subjectes humans (Associació Mèdica Mundial, 2000).

Els tennistes estudiats duïen a terme una mitjana de 3,7 hores d'entrenament tècnic i 1,5 hores de preparació física diàries, 5 dies per setmana. L'edat mitjana era de 18,2 anys, amb una talla i pes mitjans de 180,1 cm i 72,7 kg, respectivament. Totes les variables esmentades s'ajustaven a la distribució normal, extrem determinat mitjançant la prova de Kolmogorov-Smirnov. Cinc dels 38 jugadors estudiats (13,2% de la mostra) tenien una dominància lateral esquerra i la resta (33 jugadors, 86,8%) eren dretans.

#### **I.3.3.6. Material**

El material utilitzat ha estat prèviament descrit en l'apartat de fiabilitat (veure apartat I.3.2.5.).

#### **I.3.3.7. Paràmetres**

Els paràmetres mesurats o calculats també han estat prèviament descrits en l'apartat de fiabilitat (veure apartat I.3.2.6.).

#### **I.3.3.8. Anàlisi estadística**

Es van calcular els paràmetres descriptius bàsics, mitjana ( $\bar{x}$ ), desviació estàndard (s), mediana, valors extrems (màx i mín) i el rang. Es va aplicar la prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnov a totes les variables de l'estudi, contrast que permet determinar si la distribució acumulada d'una variable contínua s'ajusta a les distribucions teòriques de la llei normal. L'estudi de relació entre variables quantitatives s'ha realitzat mitjançant una anàlisi de correlació lineal, amb càlcul del coeficient de correlació producte-moment de Pearson (r), seguit d'una anàlisi de regressió lineal simple. El grau de significació predeterminat va ser  $p < \alpha = 0,05$ .

**I.4. RESULTATS****I.4.1. FIABILITAT DE LA PROVA ESPECÍFICA****I.4.1.1. Fiabilitat externa***Fiabilitat de la màquina llançapilotes*

A la Taula I.6 i Taula I.7 es mostren les dades de freqüència (FLL<sub>p</sub>) i velocitat de llançament, i l'angle i la distància de sortida de la pilota del tub de llançament de la màquina amb els índex de fiabilitat expressats amb el coeficient de variació (CV).

**Taula I.6.** Freqüències de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat (CV).

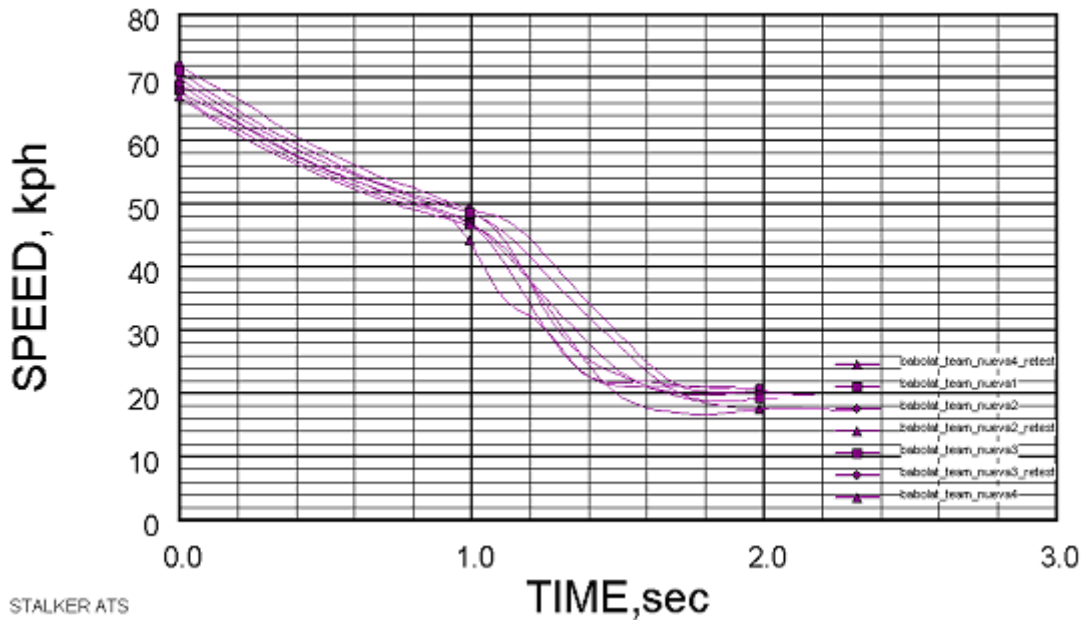
Període	FLL <sub>p</sub>						CV
	tir·min <sup>-1</sup>			tir·període <sup>-1</sup>			
	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	
1	120	8,8	0,64	60	17,5	0,81	<b>4,6</b>
2	120	10,8	0,61	60	21,6	0,83	<b>3,8</b>
3	120	12,8	0,65	60	25,6	0,91	<b>3,5</b>
4	120	14,8	0,75	60	29,6	1,18	<b>4,0</b>
5	120	16,8	0,74	60	33,7	1,05	<b>3,1</b>
6	102	18,8	0,87	45	37,7	1,18	<b>3,1</b>
7	35	20,5	0,82	17	40,4	1,69	<b>4,2</b>
8	7	22,0	0,00	3	43,5	0,71	<b>1,6</b>
CV mitjà de tots els períodes							<b>3,5</b>

CV: Coeficient de variació de Pearson.

**Taula I.7.** Velocitat de llançament de la màquina llançapilotes i variabilitat.

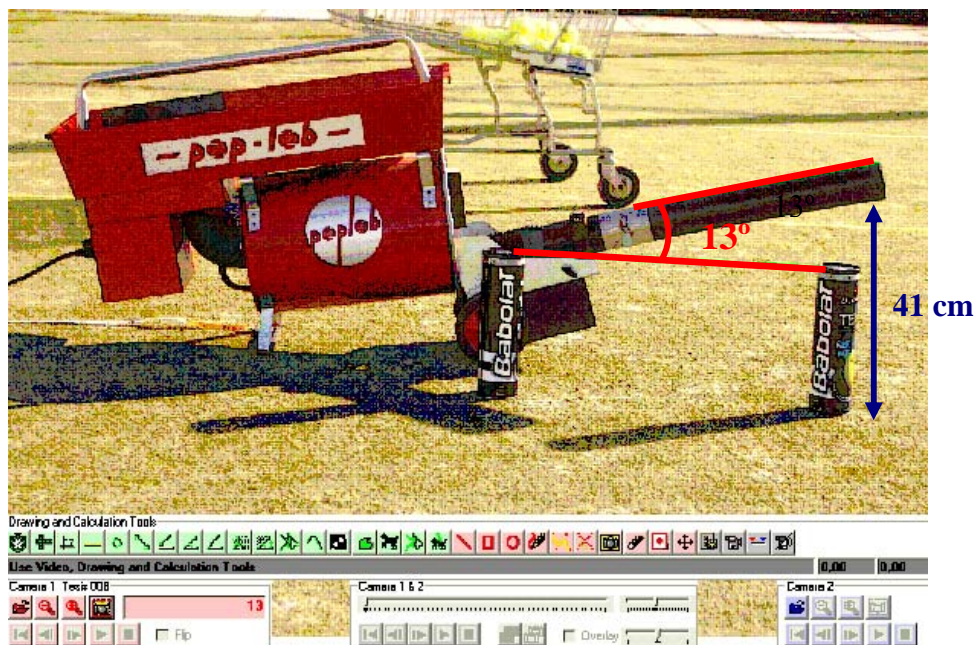
$\bar{x}$	s	mín	màx	mediana	rang	CV
68,6	1,9	66,0	71,0	68,0	5,0	2,7

CV: Coeficient de variació de Pearson.



**Figura I.27.** Corbes velocitat – temps de diferents tirs de pilota mesurats amb un radar i en condicions atmosfèriques estables.

L’angle i alçada de sortida de la pilota del tub de llançament de la màquina respecte l’ horitzontal del terra va ser 13° i de 41 cm, respectivament (Figura I.28).



**Figura I.28.** Angle i alçada de sortida de la pilota pel tub de llançament de la màquina llançapilotes.

#### I.4.1.2. Estudi de repetitivitat

Es presenten els resultats obtinguts de l'aplicació repetida de la prova ('test-retest') per cadascuna de les variables analitzades (Taula I.8). S'hi mostren els resultats del T1 (primer test sense analitzador de gasos), el T2 (segon test sense analitzador de gasos, amb idèntiques condicions i 2 dies d'interval respecte de T1) i T3 (tercer test amb analitzador de gasos i 7 dies d'interval respecte de T2). Es van mesurar els valors mitjans i extrems de cadascú dels paràmetres i per cada subjecte de la mostra ( $n = 12$ ), excepte en la variable PDFC, en la que 2 dels subjectes van mostrar una relació totalment lineal entre FC i càrrega, no essent possible determinar el PDFC ( $n = 10$ ).

Dins l'estudi de repetitivitat es distingeix entre la fiabilitat de la prova, on s'analitza els resultats de les dues primeres proves realitzades amb idèntiques condicions (T1 vs T2) i l'estudi dels efectes de la realització de la prova amb l'analitzador de gasos portàtil (T1 i T2 vs T3).

Les variables enregistrades en la prova de mesures repetides ('test – retest') en l'estudi de fiabilitat van ser les següents:

- FCmax ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ )
- Temps (min:s)
- Últim període completat (UP)
- Efectivitat tècnica (ET, % encerts)
- Punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET, període)
- Punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC,  $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ )

**Taula I.8.** Resultats de la realització dels tres test consecutius: T1, T2 i T3 (K4b<sup>2</sup>).

Variables	T1	T2	T3 (K4b <sup>2</sup> )
Durada (min:s)	11:42 ± 01:00 (10:21 – 13:35)	12:03 ± 00:55 (10:53 – 13:36)	13:06 ± 00:53 (12:01 – 14:38)
UP (període)	5,7 ± 0,5 (5,0 – 6,5)	5,8 ± 0,5 (5,0 – 6,5)	6,4 ± 0,4 (6,0 – 7,0)
ET (% encerts)	66,4 ± 8,6 (47,7 – 79,6)	65,0 ± 5,5 (58,5 – 78,3)	65,0 ± 6,9 (54,6 – 79,9)
PDET (període)	4,8 ± 0,6 (4,0 – 6,0)	4,8 ± 0,9 (3,0 – 6,0)	4,8 ± 0,9 (4,0 – 6,0)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	196,8 ± 9,5 (182,0 – 209,0)	194 ± 9,3 (179,0 – 209,0)	192,3 ± 9,4 (172,0 – 205,0)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	186,3 ± 10,8 (167,7 – 201,9)	180,1 ± 9,5 (160 – 193,4)	179,3 ± 10,4 (160,1 – 193,3)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

### ***Repetitivitat de les mesures (T1 vs T2)***

Es va avaluar la repetitivitat (reproductibilitat) de les mesures comparant dos test consecutius (T1 i T2), portats a terme en idèntiques condicions i en un interval de dos dies. El tercer test (T3) no s'inclou en l'estudi de repetitivitat per que es va considerar *a priori* que el fet de portar l'analitzador de gasos podia modificar els resultats de la prova.

La Taula I.9 mostra els resultats per a cada variable i els diferents índex de repetitivitat entre T1 i T2 (n = 12) en idèntiques condicions i amb dos dies d'interval.

**Taula I.9.** Repetitivitat del SET – Test: comparació entre la primera i la segona administració de la prova (T1 i T2) realitzades amb dos dies de diferència (n = 12).

Variables	$\bar{x}$ (s)		ANOVA	r	ICC	CV(%)	Diferència mitjana (0,95 IC)
	T1	T2					
Durada (min:s)	11:42 (01:00)	12:03 (00:55)	n.s	0,85**	0,84***	3,1	00:20 (00:00 a 00:41)
UP (període)	5,7 (0,5)	5,8 (0,5)	n.s	0,85***	0,85***	2,0	0,08 (- 0,10 a 0,27)
ET (% encerts)	66,4 (8,6)	64,5 (5,5)	n.s	0,80**	0,72***	4,7	- 1,4 (- 4,86 a 1,97)
PDET (període)	4,8 (0,6)	4,8 (0,9)	n.s	0,64*	0,59*	6,1	- 0,08 (- 0,51 a 0,34)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	196,8 (9,5)	194 (9,3)	n.s	0,91***	0,91***	1,4	- 2,8 (- 5,32 a - 0,18)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	186,3 (10,8)	180,1 (9,5)	n.s	0,88**	0,87***	2,5	- 6,1 (- 9,85 a 2,41)

\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001: nivell de significació (ns = no significativa). r: coeficient de correlació de Pearson; ICC: índex de correlació intraclasse; CV: coeficient de variació; 0,95 IC = Interval de confiança del 95%.

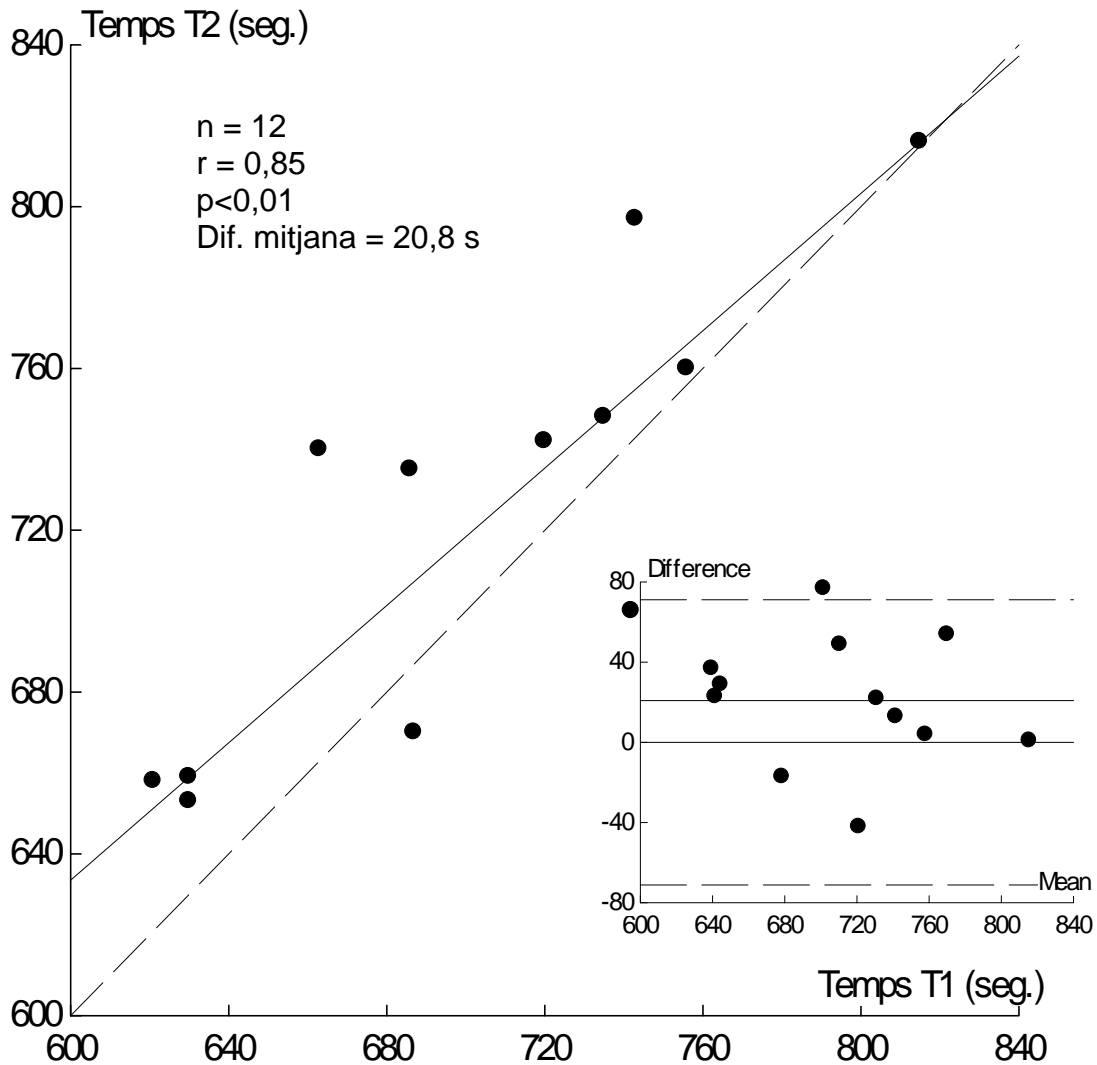
Cap de les diferències observades entre les dues repeticions ha resultat significativa. Els diferents índex de repetitivitat indiquen una bona consistència en el mesurament dels paràmetres fisiològics i de càrrega, lleugerament menor pel que fa als paràmetres d'eficiència tècnica, especialment el PDET.

Tenint en compte les magnituds escalars de cadascuna de les variables, s'observen unes diferències mínimes en totes les variables, en qualsevol cas no significatives, indicant un grau de consistència prou bo en l'aplicació repetida del test.

Les següents Figures (Figura I.29, Figura I.30, Figura I.31, Figura I.32, Figura I.33 i Figura I.34) mostren els gràfics de correlació i de diferències (gràfics de Bland-Altman) (Atkinson i Nevill, 1998) entre ambdues proves (T1 i T2) per a cadascuna de les variables. En aquests gràfics la línia contínua indica la mitjana de la diferència i les dues línies discontinües indiquen l'estimació dels límits superior i inferior esperats a

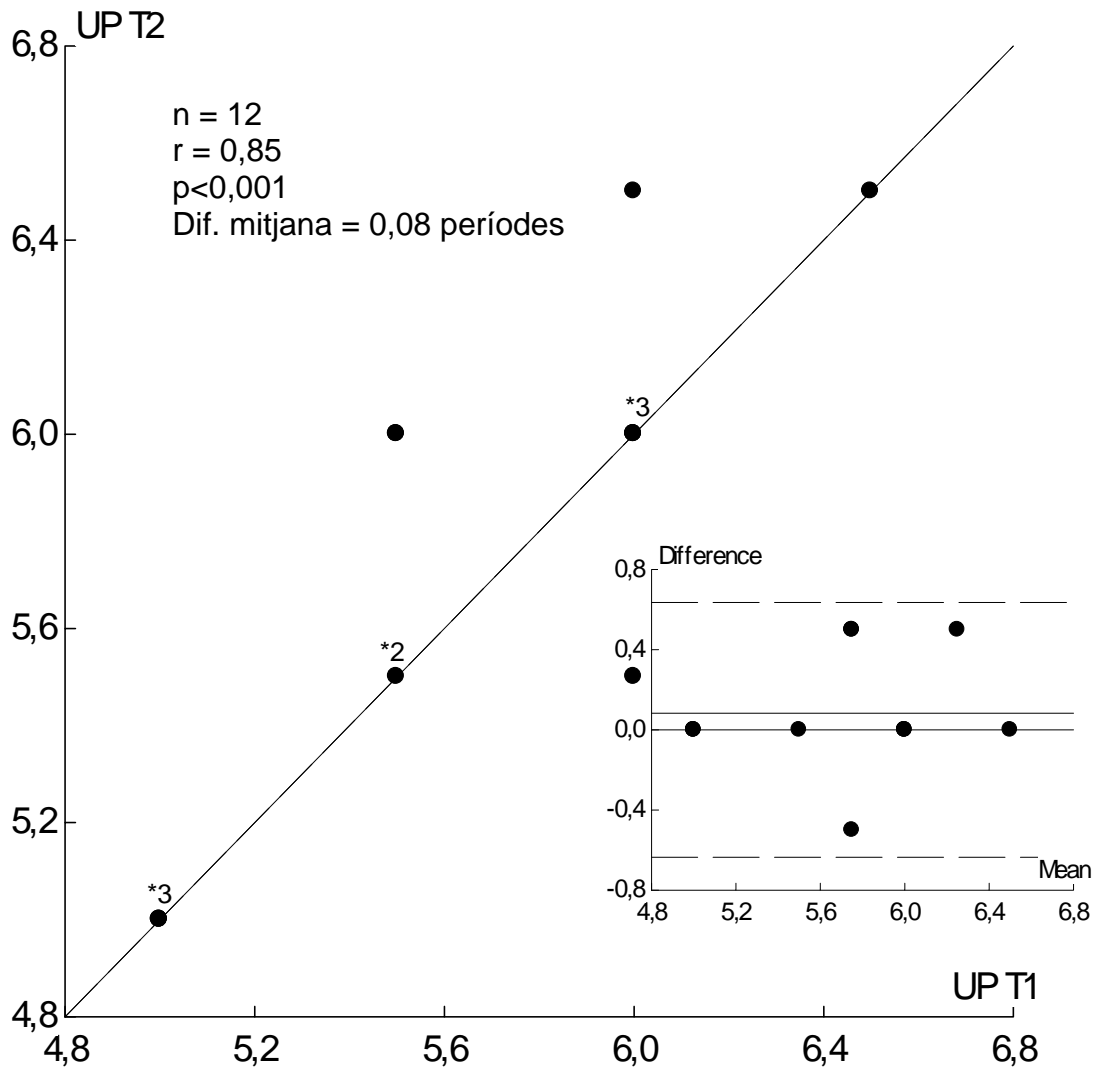


un nivell de probabilitat del 95%. També s'hi mostra la recta de regressió i s'hi indica el coeficient de correlació ( $r$ ), amb el seu nivell de significació ( $p$ ).



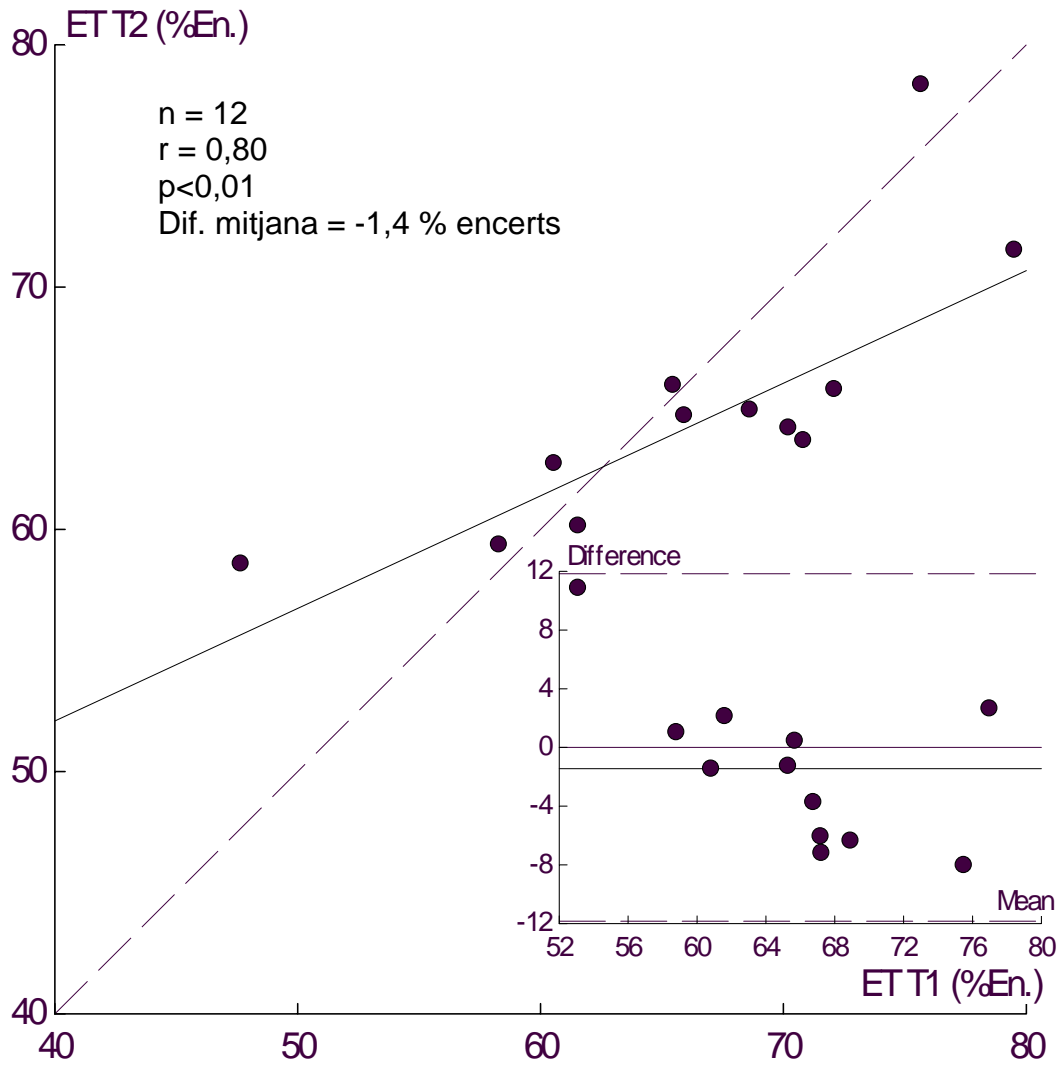
**Figura I.29.** Correlació i diferències entre la durada de la prova en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

S'observa una correlació acceptable ( $r = 0,85$ ) en la durada de la prova entre ambdues administracions successives del SET – Test, amb tots els valors menys un dins l'interval de confiança del 95%. La magnitud de la diferència mitjana observada es molt reduïda (20,8 s), amb una lleugera tendència no significativa a augmentar la durada en la segona prova en la majoria dels subjectes.



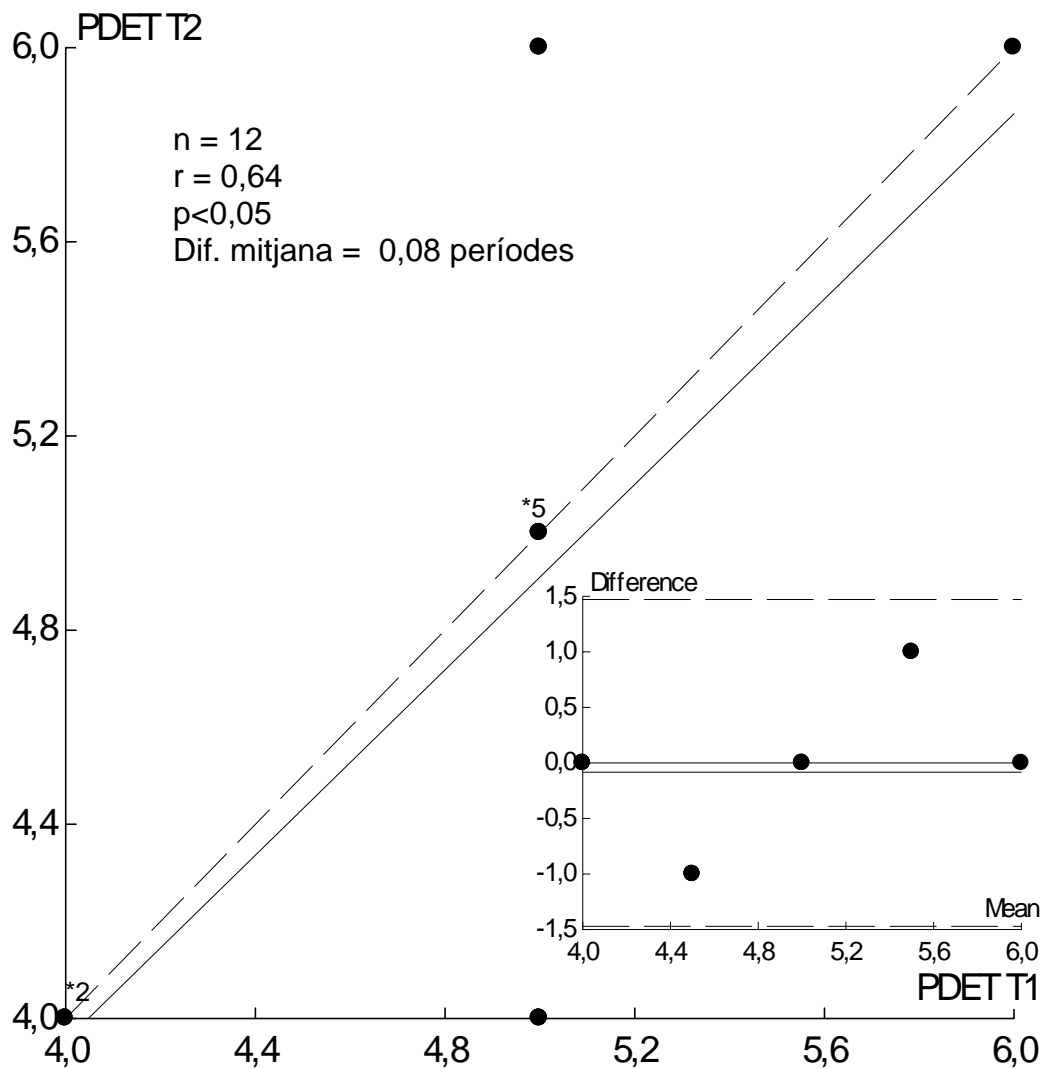
**Figura I.30.** Correlació i diferències entre l'últim període assolit (UP) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). \*3 = coincideixen tres punts, \*2 = coincideixen dos punts.

Prenent en consideració que UP està directament relacionada amb la durada de la prova, la correlació entre ambdues administracions successives del SET – Test és també acceptable ( $r = 0,85$ ), amb una diferència mitjana de només 0,08 períodes. Cal remarcar que es dona el mateix resultat en 8 dels 12 subjectes i que els 4 restants tenen una diferència de  $\pm 0,5$  períodes.



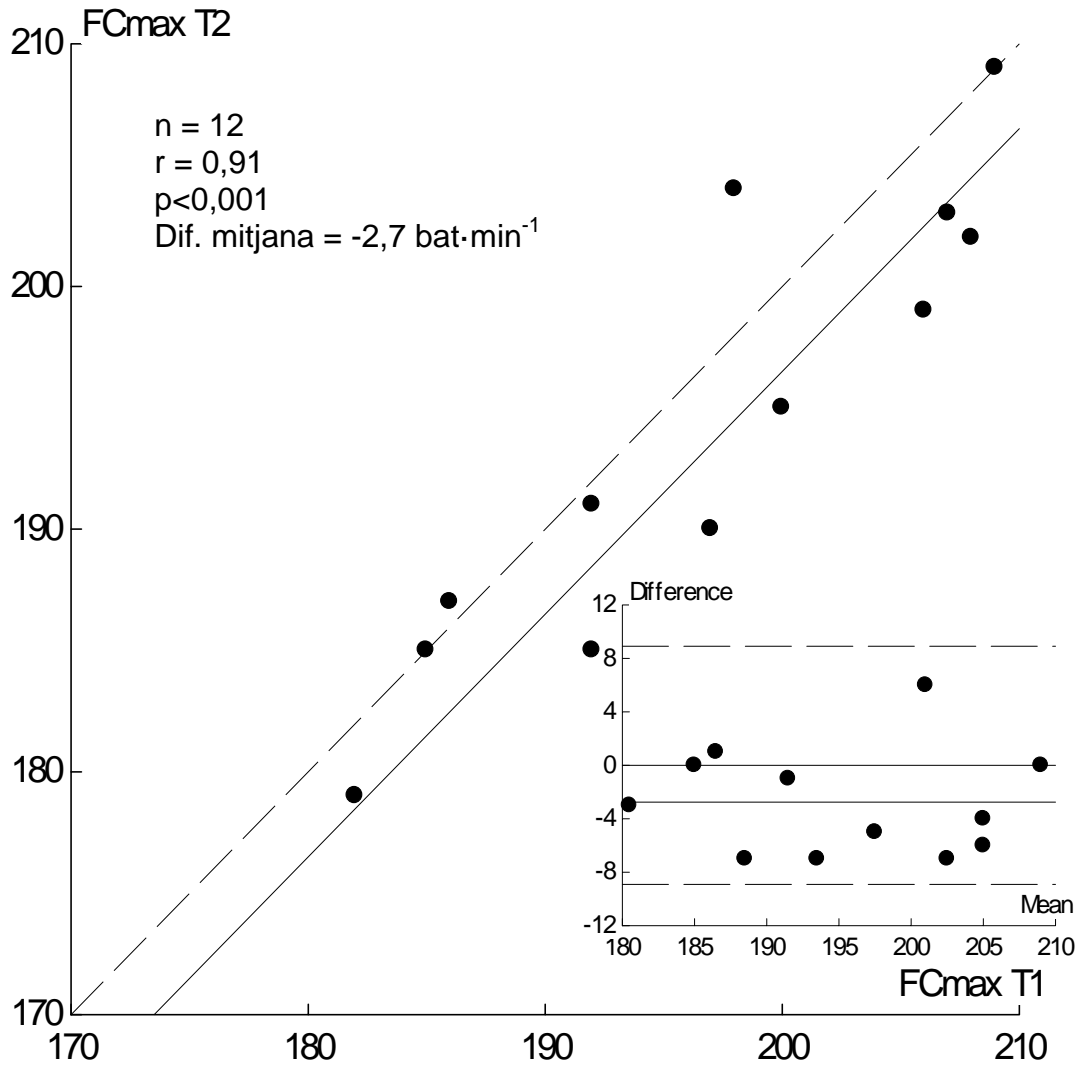
**Figura I.31.** Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

S'observa una correlació acceptable en l'efectivitat tècnica assolida en T1 i T2 ( $r = 0,80$ ). En el gràfic de Bland i Altman s'observa que tots els punts es troben dins l'interval de confiança del 95% i que la diferència mitjana és molt reduïda (-1,44).



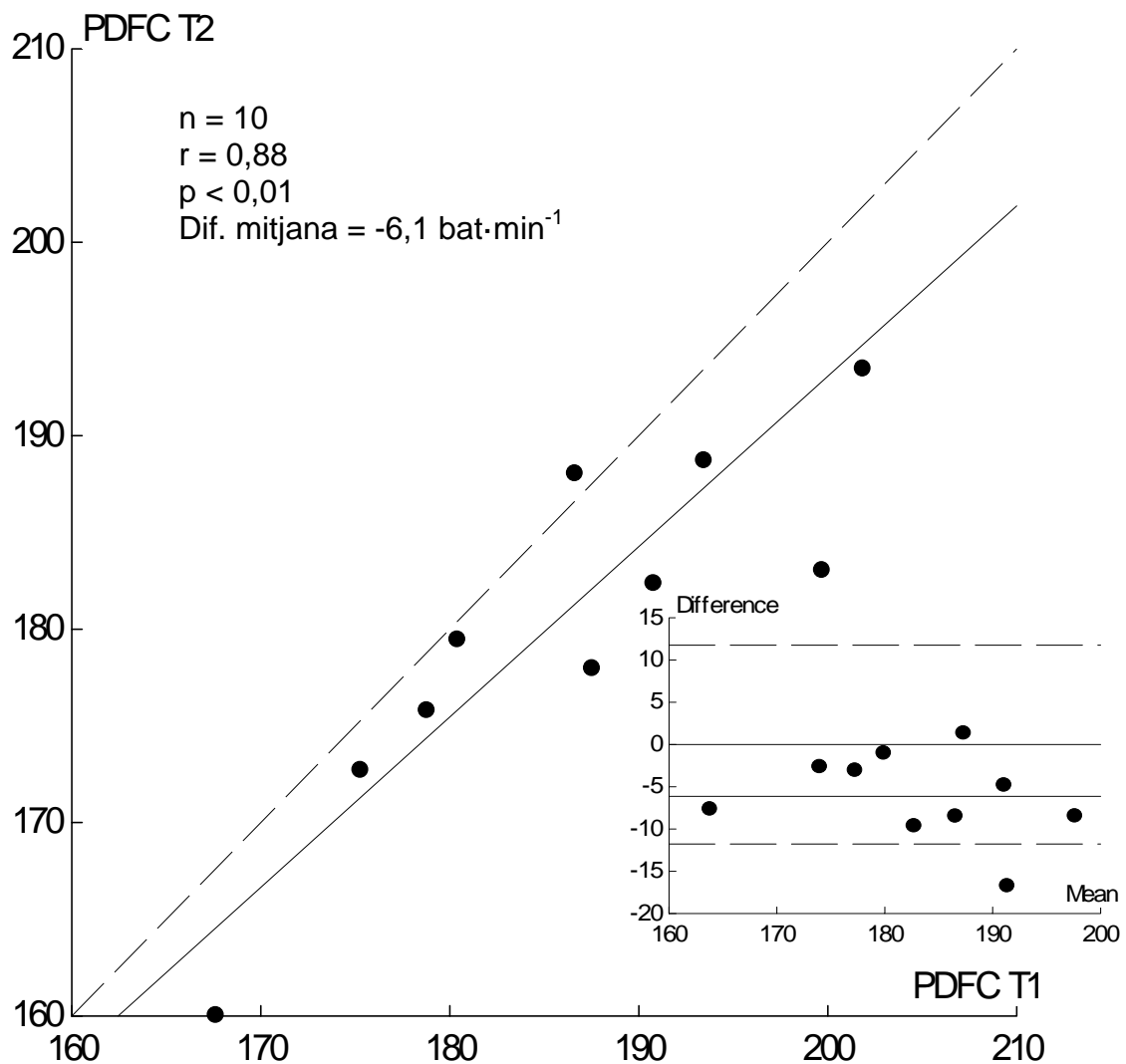
**Figura I.32.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2). \*5 = coincideixen tres punts, \*2 = coincideixen dos punts.

Pel que fa al PDET, s'observa una menor correlació entre T1 i T2 ( $r = 0,64$ ) en comparació a la resta de variables estudiades. Tanmateix, tots els valors es troben dins l'interval de confiança del 95% i la diferència mitjana és també mínima (0,08). Cal remarcar que el resultat coincideix en 7 dels 12 subjectes i que els 5 restants tenen una diferència de  $\pm 1$  període.



**Figura I.33.** Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

La correlació entre la FCmax registrada en el primer i segon test és molt elevada ( $r = 0,91$ ), amb tots els valors dins l'interval de confiança del 95% i amb una diferència mitjana molt reduïda ( $-2,74$ ).



**Figura I.34.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la primera i la segona administració del SET – Test (T1 i T2).

Els PDFC assolits en el primer i segon test assoleixen també un nivell acceptable de correlació ( $r = 0,88$ ), amb tots els valors menys un dins l'interval de confiança del 95% i una diferència mitjana reduïda (-6,1).

Globalment, podem concloure que el SET – Test és una prova amb un nivell de repetitivitat entre acceptable i molt bo, amb una lleugera tendència no significativa a millorar els resultats en una segona administració: menor FC i PDFC; major durada de la prova i PDET. Aquesta tendència podria ser deguda a un cert efecte aprenentatge que fóra raonable pensar que es podria eliminar amb un assaig previ que, tanmateix, no creiem del tot necessari a la llum dels resultats exposats.

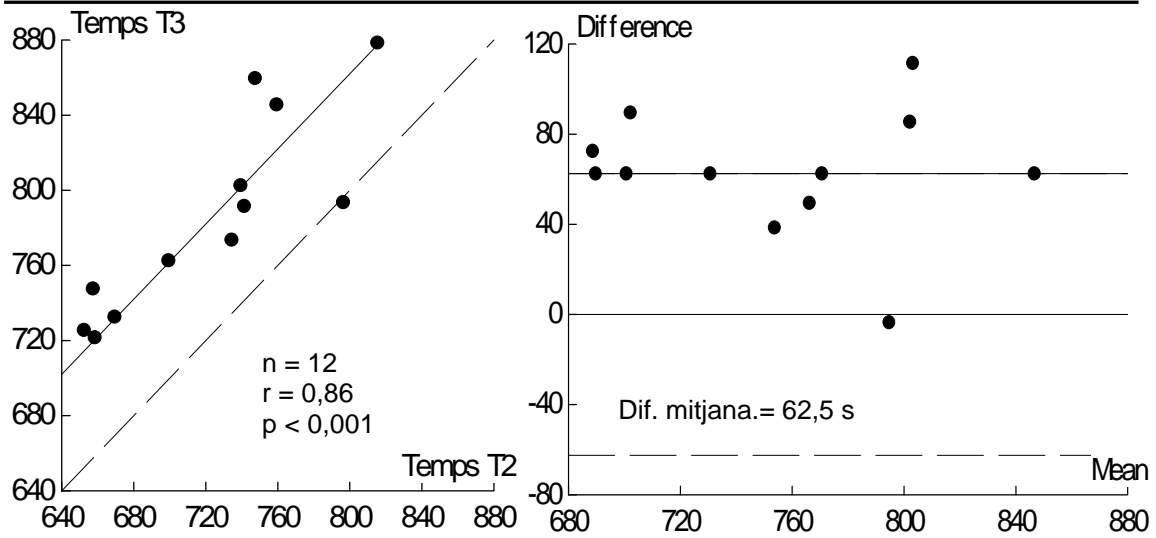
*Efectes derivats de l'administració del test amb un analitzador de gasos portàtil*

Els eventuais efectes d'administrar el test amb un analitzador de gasos portàtil K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Itàlia) van ser avaluats mitjançant la realització d'un tercer test (T3) en un interval de set dies respecte del segon (T2). Aquest tercer test no ha estat inclòs dins l'estudi de fiabilitat degut a que aquesta prova s'ha portat a terme en diferents condicions de realització, precisament pel fet de portar l'analitzador de gasos. A la Taula I.10 i Taula I.11 es mostren els resultats de correlació i diferències entre T2 i T3, així com entre T1 i T3 per a cada una de les variables registrades.

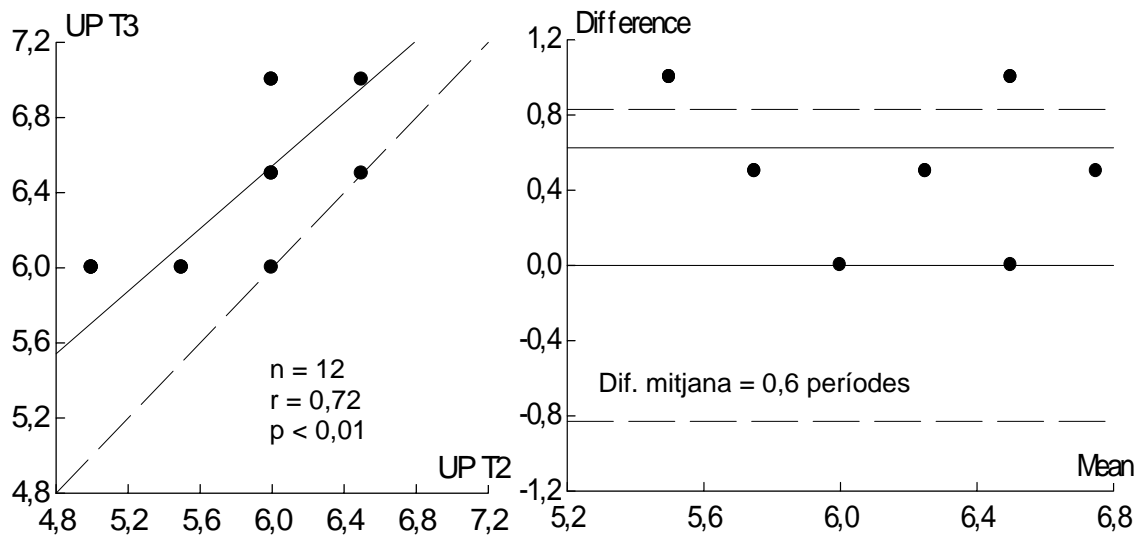
**Taula I.10.** Influència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T2 i T3 (K4b<sup>2</sup>) realitzats en un interval de 7 dies (n = 12).

Variables	$\bar{x}$ (s)		ANOVA	r	ICC	CV (%)	Diferència mitjana (0,95 IC)
	T2	T3					
Durada (min:s)	12:03 (00:55)	13:06 (00:53)	*	0,86***	0,86***	6,0	01:02 (01:02 a 01:20)
UP (període)	5,8 (0,5)	6,4 (0,4)	n.s.	0,72**	0,71***	7,4	0,63 (0,39 a 0,86)
ET (% encerts)	65,0 (5,5)	65,0 (6,9)	n.s.	0,95***	0,93***	1,7	0,08 (- 1,43 a 1,58)
PDET (període)	4,8 (0,9)	4,8 (0,9)	n.s.	0,52	0,59*	6,2	- 0,08 (- 0,51 a 0,34)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	194,0 (9,3)	192,4 (9,4)	n.s.	0,92***	0,92***	1,0	- 1,7 (- 4,08 a 0,67)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	180,1 (9,5)	179,3 (10,3)	n.s.	0,87**	0,87***	1,3	0,05 (- 3,61 a 3,72)

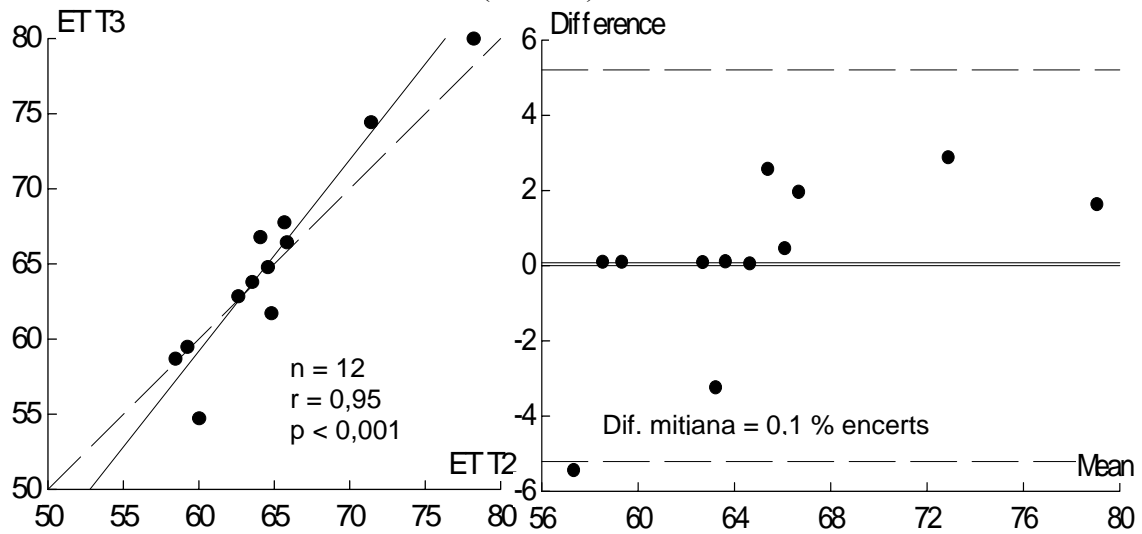
\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001: nivell de significació (ns = no significativa). r: coeficient de correlació de Pearson; ICC: índex de correlació intraclasse; CV: coeficient de variació; 0,95 IC = Interval de confiança del 95%.



**Figura I.35.** Correlació i diferències entre la durada de la prova (temps) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).

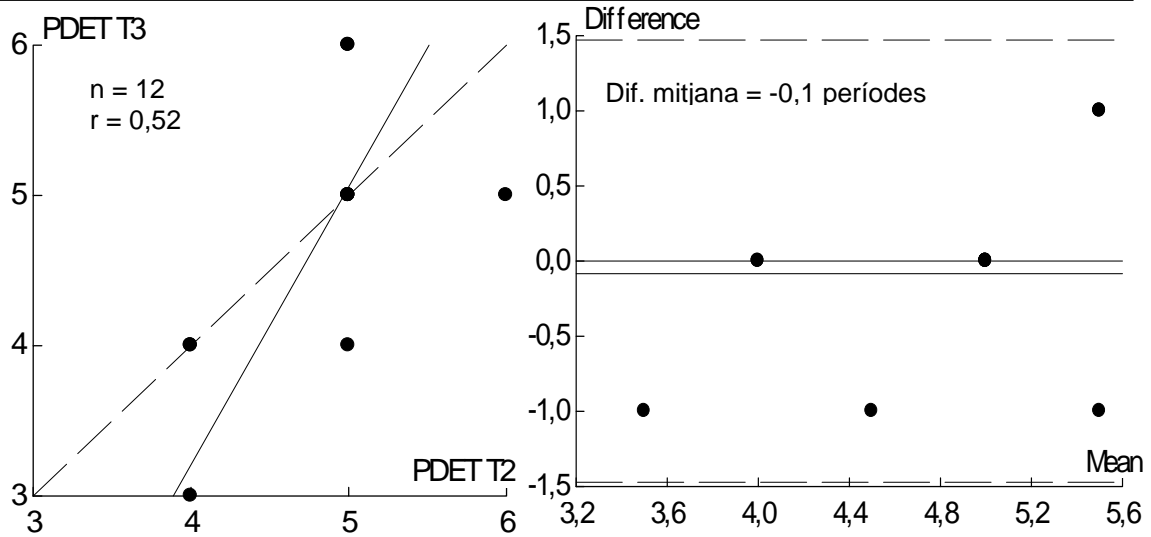


**Figura I.36.** Correlació i diferències entre l'últim període absolut (UP) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).

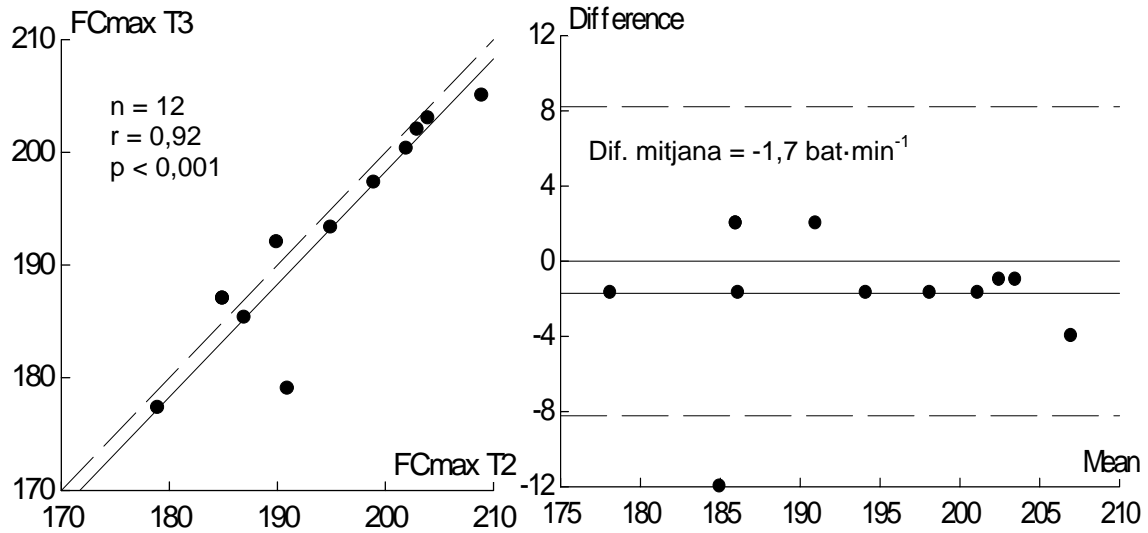


**Figura I.37.** Correlació i diferències entre l'efectivitat tècnica (ET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).

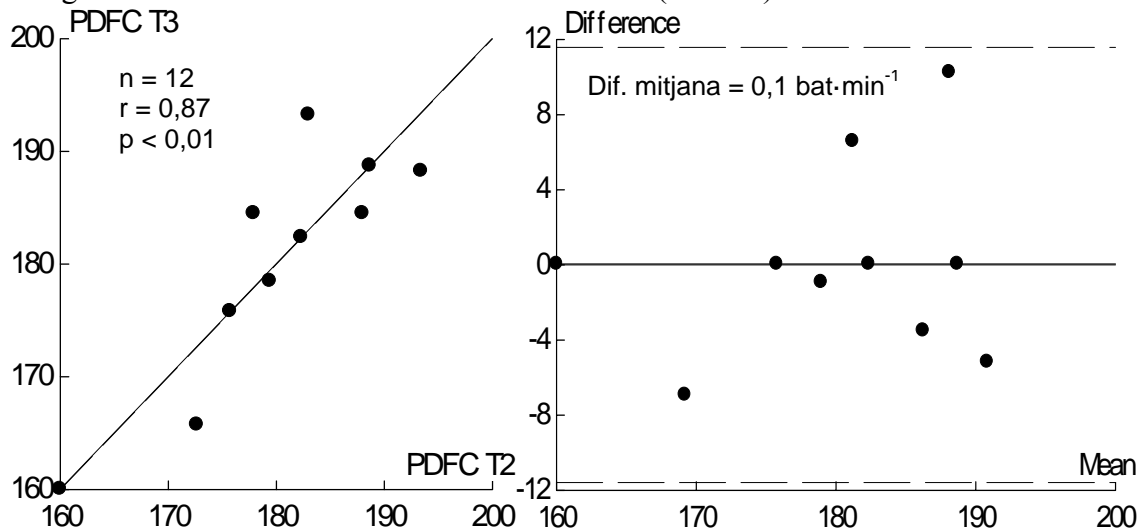




**Figura I.38.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



**Figura I.39.** Correlació i diferències entre la freqüència cardíaca màxima (FCmax) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).



**Figura I.40.** Correlació i diferències entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en la segona i la tercera administració del SET – Test (T2 i T3).

De la comparació entre T2 i T3 ( $K4b^2$ ) s'observa que existeixen nivells entre acceptables i molt bons de repetitivitat i consistència en les variables de FCmax, durada, ET i PDFC, escassos en la variable d'UP i dubtosos en la variable de PDET. Tanmateix, no s'han trobat diferències significatives en cap variable excepte la durada de la prova, que augmenta prop d'1 minut en la tercera aplicació del test ( $p < 0,05$ ) tot i realitzar-se amb l'analitzador portàtil.

**Taula I.11.** Inflència de realitzar el test amb un analitzador portàtil: comparació entre T1 i T3 ( $K4b^2$ ) realitzats en un interval de 9 dies ( $n = 12$ ).

Variables	$\bar{x}$ (s)		ANOVA	r	ICC	CV(%)	Diferència mitjana (0,95 IC)
	T1	T3					
Temps (min:s)	11:42 (01:00)	13:06 (00:53)	**	0,81**	0,80**	8,0	01:23 (01:00 a 01:46)
UP (període)	5,7 (0,5)	6,3 (0,4)	n.s.	0,75**	0,74**	8,4	0,71 (0,50 a 0,92)
ET (% encerts)	66,4 (8,6)	65,0 (6,9)	n.s.	0,77**	0,75**	5,1	-1,36 (-4,85 a 2,12)
PDET (període)	4,8 (0,6)	4,8 (0,9)	n.s.	0,64*	0,52*	7,5	0,0 (-0,54 a 0,54)
FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	196,8 (9,5)	192,4 (9,4)	n.s.	0,87***	0,87***	2,0	- 4,46 (-7,51 a -1,41)
PDFC (bat·min <sup>-1</sup> )	186,3 (10,8)	179,3 (10,4)	n.s.	0,94***	0,94***	2,3	- 6,08 (-8,80 a -3,36)

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ : nivell de significació (ns = no significativa). r: coeficient de correlació de Pearson; ICC: índex de correlació intraclasse; CV: coeficient de variació; 0,95 IC = Interval de confiança del 95%.

De manera semblant, entre el T1 i T3 es troben nivells de repetitivitat entre acceptables i molt bons en les variables de durada de la prova, FCmax i PDFC, escassos en les variables ET, UP i dubtosos en la variable PDET. Tanmateix, la única diferència significativa entre T1 i T3 és l'augment de la durada de la prova malgrat fer-ho amb l'analitzador portàtil ( $p < 0,01$ ).

## I.4.2. VALIDESA DE LA PROVA

### I.4.2.1. Maximalitat de la prova

La Taula I.12 mostra el número i proporció de subjectes que han complert cadascun dels criteris de maximalitat de la prova per separat.

**Taula I.12.** Número i percentatge de subjectes que van complir cadascun dels criteris de maximalitat de la prova (n=38).

Criteri	Núm. subjectes	%
Anivellament VO <sub>2</sub> <sup>a</sup>	32	84,2
R ≥ 1,1	28	73,6
FC ≥ 90%FCmax	36	94,7

<sup>a</sup> Anivellament o descens del VO<sub>2</sub>, tot i augmentar la càrrega de treball, o augment inferior a 150 mL·min<sup>-1</sup> en dos períodes successius.

La Taula I.13 i Taula I.14 mostren els resultats descriptius en relació als dos criteris quantitius de maximalitat observats durant la prova: quocient respiratori i freqüència cardíaca màxima.

**Taula I.13.** Quocient respiratori (R) màxim registrat durant la prova progressiva (n = 38).

$\bar{x}$	s	mín	màx
1,15	0,13	0,93	1,42

**Taula I.14.** Freqüència cardíaca màxima registrada durant la prova progressiva (n = 38). Es mostra el percentatge de la freqüència cardíaca màxima teòrica (220 - edat).

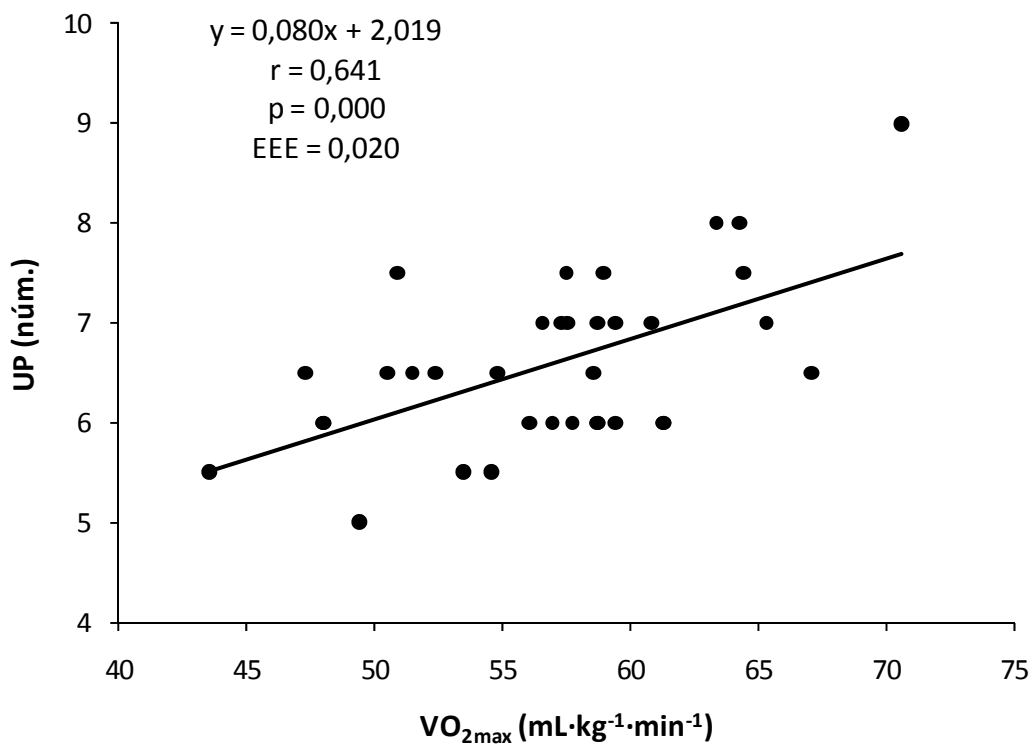
	FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	% FCmax teòrica
$\bar{x}$	193,7	95,9
s	7,6	3,7
mín	179,0	88,2
màx	206,0	101,8

### I.4.2.2. Validesa predictiva

Es presenten els resultats referents a la capacitat del SET – Test per estimar de manera indirecta la potència aeròbica màxima i el segon llindar ventilatori.

#### *Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega en relació al $VO_{2max}$*

La Figura I.41 mostra la correlació observada entre el  $VO_{2max}$  i el paràmetre de càrrega UP. S'hi indica la recta i l'equació de regressió lineal i el coeficient de correlació (r), el grau de significació estadística i l'error típic d'estimació (EEE).



**Figura I.41.** Correlació entre l'últim període assolit a la prova (UP) i el consum màxim d'oxigen màxim  $VO_{2max}$  (n = 38). r = coeficient de correlació; p = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.

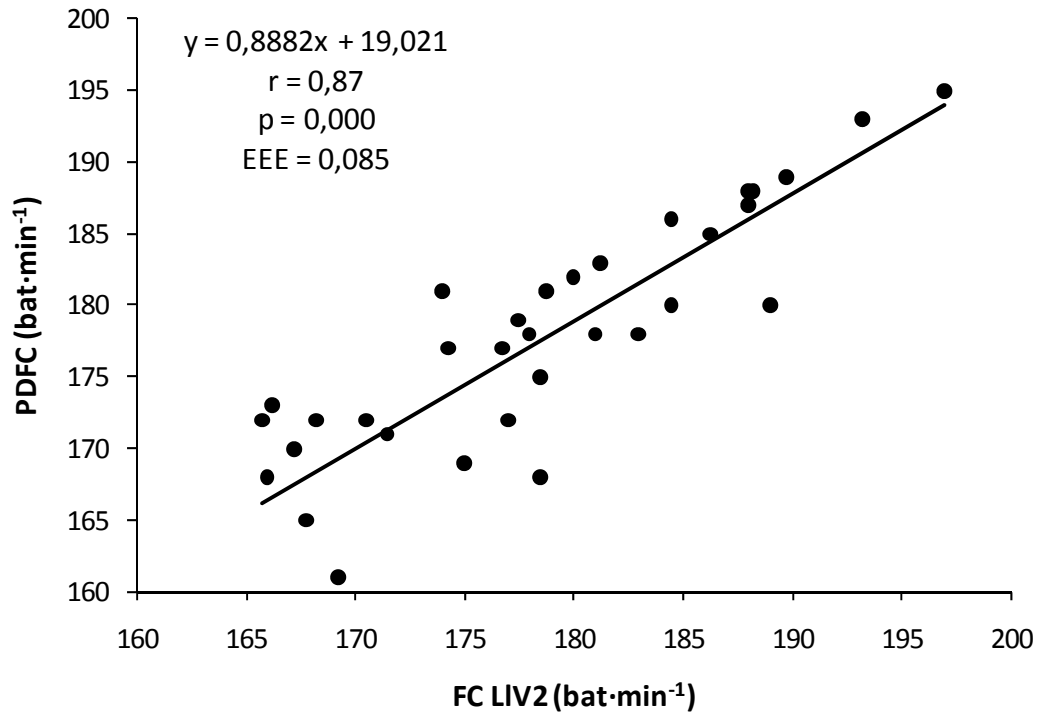
**Validesa predictiva del PDFC en relació al LIV2**

Es va registrar un punt de deflexió de la freqüència cardíaca en 35 dels 38 subjectes, corresponent al 92% del total. Es presenta la correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el segon llinar ventilatori valorats amb temps, període i FC corresponents.

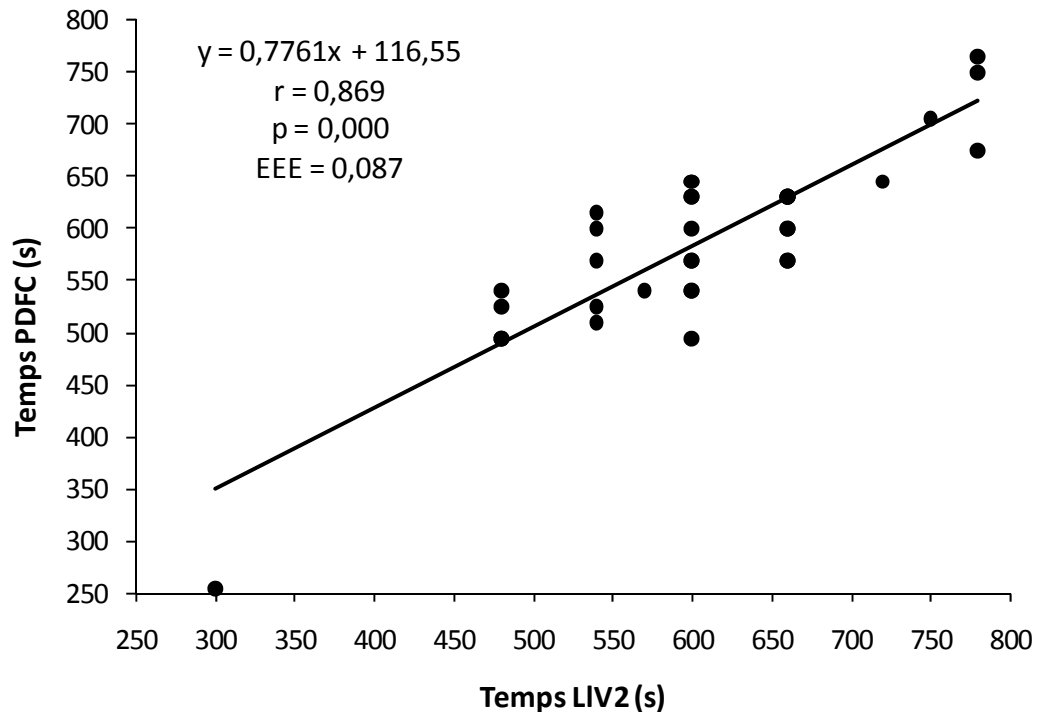
**Taula I.15.** Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el segon llinar ventilatori (LIV2) valorats amb temps, període i FC corresponents.

		LIV2		
		Temps	Període	FC al LIV2
	Temps	0,869 (p < 0,001)	–	–
PDFC	Període	–	0,834 (p < 0,001)	–
	FC al PDFC	–	–	0,871 (p < 0,001)

La Figura I.42 i Figura I.43 mostren les equacions de regressió i la graficació de les rectes entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) amb el segon llinar ventilatori avaluats amb FC i temps.



**Figura I.42.** Correlació entre el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i la freqüència cardíaca en el segon llindar ventilatori (FC LIV2).  $r$  = coeficient de correlació;  $p$  = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.



**Figura I.43.** Correlació entre el temps en que apareix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) i el temps en que apareix el segon llindar ventilatori (Temps LIV2).  $r$  = coeficient de correlació;  $p$  = grau de significació estadística; EEE = error típic d'estimació.

***Validesa predictiva del PDET en relació al LIV2 i el PDFC***

La Taula I.16 mostra els coeficients de correlació entre l'efectivitat tècnica, expressada com càrrega corresponent al punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET), i paràmetres fisiològics (LIV2 i PDFC).

**Taula I.16.** Coeficients de correlació (r) entre la càrrega corresponent al punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) i paràmetres fisiològics (LIV2 i PDFC).

Variables	LIV2 (període)	PDFC (període)
PDET (període)	0,463 (p = 0,004)	0,419 (p = 0,012)

PDET: punt de deflexió de l'efectivitat tècnica; LIV2: segon llindar ventilatori; PDFC: punt de deflexió de la freqüència cardíaca.

***Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte del nivell competitiu***

- ***Anàlisi de regressió simple***

S'ha trobat una relació estadísticament significativa entre tots els paràmetres avaluats i el nivell competitiu dels jugadors quantificat amb el ITN amb coeficients de correlació entre baixos i moderats (Taula I.17). La variable que mostra una correlació més elevada es la d'efectivitat tècnica (ET), seguida de les variables fisiològiques ( $VO_{2max}$  i LIV2 ) i la de càrrega (UP), essent el LIV1 la variable amb un nivell més baix de correlació amb el rendiment.



**Taula I.17.** Coeficients de correlació (r) entre el nivell competitiu (ITN) i les diferents variables que resulten del SET – Test.

Variables	ITN	
	r	p
UP (període)	0,50**	0,001
VO <sub>2max</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0,55**	0,001
LIV1 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0,35*	0,038
LIV2 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0,55**	0,001
PDFC (període)	0,43*	0,011
ET (% encerts)	0,61**	0,000

r = coeficient de correlació de Pearson; \*p<0,05. \*\*p<0,01. = nivell de significació.

#### ▪ *Anàlisi de regressió múltiple*

La Taula I.18 mostra els resultats de les dues etapes de l'anàlisi de regressió múltiple que complien els criteris d'inclusió. S'observa com a la primera etapa, en que el model únicament considera l'ET, s'explica el 37% de la variància del nivell competitiu. En el model final utilitzant el mètode d'inserció successiva, per una banda inclou, a més, el segon llindar ventilatori (LIV2), i arriba a explicar un 56% de la variància de la variable rendiment (ITN), i per altra banda succeeix pràcticament el mateix amb el VO<sub>2max</sub> amb el qual s'arriba a explicar un 53% de la variància de la variable rendiment. Per tant s'observa com tant el VO<sub>2max</sub> com el LIV2 combinades amb l'ET, són igualment bons predictors del rendiment en tennis.

**Taula I.18.** Resultat de les anàlisis multivariants de regressió múltiple. S'indiquen els valors del coeficient de correlació ( $r_m$ ) i de determinació múltiple ( $r_m^2$ ), així com l'error estàndard d'estimació (EEE).

Model	$r_m$	$r_m^2$	EEE
ET	0,61	0,37	1,00
ET i LIV2	0,75	0,56	0,86
ET i VO <sub>2max</sub>	0,73	0,53	0,89

**Taula I.19.** Estadístics dels models de regressió múltiple.

Variable	B	EEE (B)	IC (B) 95%	Beta	t	Sig.
ET	- 0,069	0,016	- 0,101 a - 0,036	- 0,515	- 4,325	0,000
LIV2	- 0,101	0,027	- 0,157 a - 0,045	- 0,439	- 3,688	0,001
VO <sub>2max</sub>	- 0,79	0,027	- 0,134 a - 0,024	- 0,377	- 2,934	0,006

B = coeficient de regressió; EEE = error típic d'estimació; IC (B) 95% = interval de confiança del 95% pel coeficient de regressió; Sig. = grau de significació estadística (p).

## I.5. DISCUSSIÓ

### **I.5.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”**

El SET – Test és una prova màxima d'intensitat creixent, contínua i esglaonada conduïda per una màquina llançapilotes de tennis fins arribar a l'esgotament del tennista. Es tracta d'una prova específica de camp i intenta apropar-se a les característiques de desplaçament i tècniques del tennis.

El SET – Test utilitza desplaçaments específics semblants als que es donen en un partit de tennis, s'hi donen moviments acíclics consistents en acceleracions i frenades produïdes pels diferents canvis de sentit en el desplaçament lateral realitzat pel jugador segons la freqüència de llançament imposada per la màquina; per altra banda es realitza l'acció específica de copejament de dreta i revés amb un objectiu de precisió tècnica i de potència. Durant la prova s'avaluen paràmetres de càrrega i fisiològics que reflecteixen de manera predominant l'activació del metabolisme aeròbic i paràmetres d'eficiència tècnica que reflecteixen l'eficàcia en la realització de la tasca motriu específica. En l'avaluació funcional d'esports com el tennis, a més dels paràmetres que descriuen la capacitat del sistema de subministrament energètic, poden utilitzar-se diferents característiques que mostren l'eficàcia de la realització de tasques motrius en condicions d'un estat relativament estable i sota una activitat física i mental intensa (Mishin, 1985; Koriaguin et al., 1989, en Platonov, 2005).

Per al seu disseny es va utilitzar una dinàmica i paràmetres de referència adaptats de Smekal et al. (2000). Aquests autors realitzen un estudi comparant la resposta metabòlica i cardiorespiratòria en un test de camp específic per a tennis i un test de laboratori, i avaluen els cops realitzats durant la prova. També utilitzen un protocol incremental conduït per una màquina llançapilotes començant a una  $FLL_p$  de  $12 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$  que s'incrementa en 2 tirs cada 3 minuts. A diferència de la prova de Smekal et al. el SET – Test utilitza períodes d'inferior durada (2 min) i comença amb una  $FLL_p$  també inferior ( $9 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ ), amb un increment també divers de  $2 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$  per cada període. En el SET – Test es va considerar que 2 minuts per període eren adequats per caracteritzar els paràmetres ergoespiromètrics i fisiològics; en la prova de Smekal et al. també s'obtenien dades de lactat i possiblement aquesta es la raó per la qual utilitzen una durada superior. En relació a la les diferències trobades en la  $FLL_p$  inicial entre les dues proves, cal dir que aquest paràmetre està molt relacionat amb la velocitat de llançament de pilotes; en l'estudi de Smekal et al. no s'especifica aquesta

variable i és possible que la velocitat de llançament en aquest cas sigui inferior; com a conseqüència s'utilitza una  $FLL_p$  inicial superior.

Girard et al. (2006) també realitzen un estudi comparant les respostes metabòliques i cardiorespiratòries en una prova específica en tennis i una inespecífica en cinta rodant. El protocol de la prova específica es basa en la realització de patrons de moviments repetits simulant el joc del tennis, consisteix en realitzar diferents períodes cadascú dels quals consta de set desplaçaments des d'un punt central fins a una de les sis marques col·locades a la pista. Els grups de set desplaçaments inclouen dos trajectes cap endavant (ofensius), tres laterals (neutres) i dos enrere (defensius) realitzats aleatòriament. Una vegada el jugador arriba a la zona marcada ha d'imitar un cop amb una potència d'execució semblant a la de competició oficial. La durada del primer període és de 40,5 segons i es redueix en 0,8 segons per a cada període. La prova finalitza quan el jugador no arriba a la zona en el temps determinat o bé hi ha una diferència de més d'un metre. El protocol de la prova proposada per Girard et al. a diferència del SET – Test i el test proposat per Smekal et al. no és continu, sinó que inclou pauses de recuperació passives; a més, els desplaçaments es realitzen en diferents direccions. Per altra banda, en la prova de Girard et al. no es produeix l'acció tècnica de copejament sinó que es realitza una simulació del gest i per tant no es realitza una avaluació de l'eficàcia tècnica; a més, la freqüència de desplaçaments no ve determinada pel llançament de pilotes per part d'una màquina sinó que es realitza a partir d'uns sons emesos per un ordinador.

En el cas d'altres esports de raqueta com el bàdminton també s'han proposat proves de camp específiques per avaluar la resistència (Steininger et al., 1987; Chin et al., 1995; Girard et al., 2005). En les proves proposades per Steininger i Chin et al. el jugador realitza els desplaçaments específics en funció de sis llums situades a la pista que emeten senyals lluminosos amb una seqüència determinada en que es copegen globus de goma situats sota els llums coincidint amb l'encesa de la mateixa. La prova proposada per Steininger et al. consisteix en períodes de 3 minuts començant amb una freqüència de 12 “light pulses·min<sup>-1</sup>” i un augment de 6 “light pulses·min<sup>-1</sup>” per cada període fins arribar a l'esgotament del jugador. Chin et al. també utilitzen períodes de 3 minuts però es comença amb una freqüència de 16 “light pulses·min<sup>-1</sup>” augmentant 6 “light pulses·min<sup>-1</sup>”. El protocol de la proposada per Girard et al. consisteix en desplaçar-se a sis zones diferents de la pista de bàdminton amb l'objectiu de simular un cop; els desplaçaments es realitzen en funció dels sons emesos per un ordinador.

Les adaptacions fisiològiques a l'entrenament són específiques en funció de l'activitat realitzada i el concepte d'especificitat en l'entrenament és important per a les adaptacions cardiorespiratòries i conseqüentment també adquireix molta importància en el control i avaluació funcional de la resistència. Per a avaluar amb precisió les millores en la resistència, cal controlar als esportistes mentre realitzen activitats similars a l'esport o activitat en la que participen. Per confeir un pla d'entrenament específic d'un esport orientat a l'alta competició és necessari conèixer els paràmetres específics i rellevants de la disciplina i utilitzar tests que cobreixin aquests paràmetres específics (Müller et al., 2000).

Diferents autors i estudis realitzats en diferents esports com ara el tennis (Smekal et al., 2000; Girard et al., 2006), el bàdminton (Steininger et al., 1987 i Girard et al., 2005) i esports individuals tancats de resistència (Magel et al., 1975; Stromme et al., 1977) tenen en compte l'especificitat de l'adaptació cardiorespiratòria a l'entrenament i comparen l'avaluació de la resistència realitzada en condicions específiques i en una prova de laboratori en cinta rodant. En el cas del tennis Smekal et al. van trobar que les respostes metabòliques, ventilatòries i cardiorespiratòries canvien quan són avaluades en condicions diferents de moviment, trobant diferències significatives entre els valors del llindar anaeròbic entre la prova de laboratori i la prova de camp: FC ( $165 \pm 16$  vs.  $175 \pm 11$ ,  $p < 0,001$ ),  $VO_2$  ( $44,4 \pm 4,3$  vs.  $47,8 \pm 4,8$ ,  $p < 0,05$ ), lactat ( $3,1 \pm 0,5$  vs.  $2,5 \pm 0,4$ ,  $p < 0,001$ ), així com en els valors màxims:  $VO_2$  ( $52,4 \pm 3,7$  vs.  $58,3 \pm 4,3$ ,  $p < 0,001$ ) i lactat màxim ( $12,5 \pm 1,3$  vs.  $10,0 \pm 2,1$ ,  $p < 0,001$ ). Els autors conclouen que aquests canvis poden venir donats per l'adaptació específica dels grups musculars que intervenen durant l'entrenament específic i la competició i per la diferència de la massa muscular activa implicada en l'exercici en concret. Girard et al. van trobar que els paràmetres cardiorespiratoris no canvien en intensitats submàximes, no obstant el  $VO_{2max}$  avaluat en una prova de laboratori és inferior a l'avaluat en una prova de camp específica: ( $58,9 \pm 5,3$  vs.  $63,8 \pm 5,7$ ,  $p < 0,05$ ). En bàdminton Girard et al. troben diferències significatives en el  $VO_{2max}$ : ( $54,9 \pm 2,5$  vs.  $63,6 \pm 3,0$ ,  $p < 0,001$ ), Steininger et al. van trobar que els valors màxims de lactat eren significativament més elevats en la prova de camp i que la recuperació de la freqüència cardíaca després de la prova era més ràpida.

En estudis realitzats en altres esports, Magel et al. (1975) van avaluar l'especificitat de l'adaptació cardiorespiratòria en l'entrenament de la natació, mitjançant l'estudi de les millores en el  $VO_{2max}$  produïdes amb l'entrenament de

natació durant una hora al dia, tres dies per setmana, durant 10 setmanes, en 15 nedadors masculins de nivell no competitiu. Es va mesurar el  $VO_{2max}$  amb cinta ergomètrica i amb l'activitat específica de natació abans i després de l'entrenament. El rendiment en natació va augmentar de manera significativa el  $VO_{2max}$  ( $380 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $p < 0,01$ ), i el temps (4,0 min,  $p < 0,01$ ) després del període d'entrenament; per contra no van trobar diferències significatives en el rendiment mesurat en cinta ergomètrica.

Stromme et al. van dur a terme un estudi amb remers, ciclistes i esquiadors de fons d'alt nivell a on es varen mesurar el  $VO_{2max}$  en cinta ergomètrica amb inclinació i en la seva activitat esportiva específica. Els valors de  $VO_{2max}$  trobats van ser significativament superiors durant l'avaluació realitzada en la seva activitat esportiva en esquiadors ( $p < 0,005$ ), ciclistes i remadors ( $p < 0,01$ ). Els autors conclouen que en l'avaluació del consum màxim d'oxigen és important seleccionar un tipus de treball físic que permeti l'òptima utilització de les fibres musculars específicament entrenades.

### **Límits de la investigació**

En relació al grau d'especificitat del SET – Test, cal dir que al tractar-se d'una prova funcional per determinar la condició aeròbica és necessari controlar i establir unes càrregues distribuïdes en diferents períodes determinats per una freqüència de llançament de pilotes. Això fa que no sigui possible arribar a un nivell màxim d'especificitat tal i com es dona en la competició, on els tipus de desplaçament del jugador ve determinat per les múltiples situacions de joc en funció de velocitats, direccions, alçades i efectes de la pilota enviades aleatòriament per l'oponent. A diferència d'un partit de tennis l'avaluació de l'eficàcia tècnica en el SET – Test es dona sota una activitat física intensa però en condicions relativament estables. Per altra banda també cal tenir en compte que en aquest esport hi intervenen de manera determinant els processos cognitius que es tradueixen en accions tàctiques que es fan impossibles de reproduir en una prova protocol·litzada.

## I.5.2. FIABILITAT DE LA PROVA

### I.5.2.1. Fiabilitat externa

#### *Fiabilitat de la màquina llançapilotes*

Els resultats de l'estudi de fiabilitat de la màquina llançapilotes (Pop - Lob Airmatic 104, França) mostren que és un instrument prou fiable i apte per a la recerca científica en estudis de camp. El protocol del SET – Test es basa en la utilització d'una màquina que permeti controlar la freqüència i la velocitat de llançament de les pilotes, essent la fiabilitat d'aquests dos paràmetres un aspecte clau per controlar la intensitat o càrrega de cada període.

Així, es va realitzar un estudi de la fiabilitat d'aquests dos paràmetres i es va determinar l'angle ( $13^\circ$ ) i l'alçada (41 cm) de sortida pel tub de llançament. Tot i que hi ha altres estudis on s'utilitza una màquina llançapilotes per dur a terme una prova en tennis (Vergauwen et al., 1998; Smekal et al., 2000), en cap cas hem pogut trobar dades sobre la fiabilitat dels mesuraments per a estudis científics de camp. Els índexs de fiabilitat obtinguts en la freqüència ( $CV = 3,5\%$ ) i en la velocitat ( $CV = 2,7\%$ ) de llançament indiquen un grau elevat de fiabilitat. Com a referència, s'accepta que el marge d'error metòdic en mesures ergomètriques no hauria de superar en cap cas un coeficient de variació del 5%, la qual cosa exigeix controls de calibratge precisos i repetits dels aparells (Rodríguez, 1999).

La velocitat estable de llançament obtinguda ( $68,6 \pm 1,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) és semblant a la obtinguda per Vergauwen et al. (1998) ( $66 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ); aquests autors proposen una prova per avaluar el rendiment en l'execució tècnica (Leuven Tennis Performance Test: LPTP), simulant les condicions d'un partit mitjançant una màquina llançapilotes (Tretorn Pro Trainer, Helsingborg, Sweden). El present estudi, en canvi, estableix la fiabilitat de la màquina per tal d'imposar una càrrega externa als jugadors. A més, estableix la fiabilitat del protocol utilitzat, més enllà de la pròpia màquina.

### I.5.2.2. Estudi de repetitivitat

Els resultats demostren que el SET – Test és una prova prou fiable per avaluar la resistència específica en tennistes i permet realitzar una avaluació de paràmetres ergoespiromètrics, sense que això exerceixi una variació significativa dels paràmetres estudiats. Així, mostra uns elevats índexs de repetitivitat, semblants als trobats en

altres proves de camp específiques per avaluar la resistència en tennis i en altres esports de pilota. Tanmateix, s'ha observat que en l'administració de la tercera prova es produeix una lleugera millora en la durada total, possiblement com a conseqüència de la millora en l'eficiència degut a l'aprenentatge i, potser també, al factor motivacional relacionat amb la pròpia monitorització: els subjectes es sometien per primera vegada a una prova ergoespiromètrica de camp.

Per a l'estudi de repetitivitat es va utilitzar el mètode de mesures repetides ('test-retest', consistent en realitzar tres SET – Test de manera consecutiva i en dies diferents. Podem considerar aquesta prova de consistència com una de les més rigoroses degut a que els errors associats a les mesures es fan més evidents quan s'administren les proves amb un dia o més de separació (Thomas i Nelson, 2007). Com a criteris de fiabilitat del SET – Test s'han utilitzat els estadístics proposats per Atkinson i Nevill (1998). Els mètodes més comuns són la determinació de la magnitud de la variància (ANOVA) i el coeficient de correlació de Pearson ( $r$ ). Altres mètodes citats en la literatura són l'anàlisi de regressió, el càlcul del coeficient de variació (CV) i de l'índex de correlació intraclasse (ICC), així com els més recents proposats per Bland i Altman (1983) i Atkinson et al. (1998). Tots els mètodes s'han utilitzat en aquest estudi.

Els resultats demostren una elevada repetitivitat i constància tant dels paràmetres fisiològics com la FCmax ( $r = 0,91$ , ICC = 0,91, CV = 1,4%), el PDFC ( $r = 0,88$ , ICC = 0,87, CV = 2,5%), com dels paràmetres de càrrega com són la durada de la prova ( $r = 0,85$ , ICC = 0,84, CV = 3,1%) i l'UP ( $r = 0,85$ , ICC = 0,85, CV = 2,0%). Aquests valors són similars als obtinguts en altres estudis de fiabilitat com ara el de Smekal et al. (2000), qui obtenen valors de FCmax ( $r = 0,96$ ) i el de Girard et al. (2005), qui obtenen valors de FCmax (CV = 2,6%) i durada (CV = 1,2%).

Per altra banda s'observa una repetitivitat acceptable en els paràmetres d'eficiència tècnica, encara que menor en relació als anteriors: ET ( $r = 0,80$ , ICC = 0,72, CV = 4,7%) i PDET ( $r = 0,64$ , ICC = 0,59, CV = 6,1%). Aquests resultats estan en consonància amb els obtinguts per Smekal et al. (2000) (ET:  $r = 0,76$ ) i Vergauwen et al. (1998) (ICC = 0,81).

En el present estudi no s'han trobat diferències significatives en cap dels paràmetres estudiats i s'han obtingut unes correlacions iguals o superiors a  $r = 0,8$  en totes les variables excepte la de PDET. Tant si utilitzem els exigents criteris de Barrow i McGee (1964), com en una lectura menys rigorosa dels nostres resultats segons Coolican (1994) qui considera que si  $r > 0,8$  i estadísticament significativa, la prova es



considera suficientment fiable, podem afirmar que la fiabilitat del SET – Test és satisfactòria i, per tant, adequada als efectes de realització d'una prova de resistència.

Estudis realitzats en altres esports on s'avalua la fiabilitat d'una prova de resistència específica mostren índexs de fiabilitat similars als obtinguts pel SET – Test. Així, Mújika et al. (2006) desenvolupen una prova de camp per avaluar la resistència en jugadors de waterpolo anomenada WIST (Water Polo Intermittent Shuttle Test) i obtenen uns valors similars de repetitivitat de la FCmax ( $r = 0,96$ , CV = 1,2%) i de rendiment en distància ( $r = 0,98$ , CV = 5,4%). Krustup et al. (2003) realitzen un estudi de fiabilitat i validesa del “Yo – Yo Intermittent Recovery Test” en jugadors de futbol obtenint uns valors de fiabilitat de la FCmax (CV = 1%) i del rendiment en distància (CV = 4,9%) també comparables. Krustup et al. (2006) estudien la fiabilitat del “Yo – Yo Intermittent Recovery Test 2” i obtenen valors de fiabilitat lleugerament inferiors al SET – Test en rendiment en distància (CV = 9,6%;  $p < 0,05$ ).

Pel que fa a l'estudi dels efectes de realitzar el SET – Test amb analitzador de gasos portàtil, no hem trobat estudis de camp comparables. Dels resultats obtinguts es desprèn que es mantenen els bons nivells de repetitivitat i consistència en tots els paràmetres fisiològics i de càrrega, i que segueix produint-se una major variabilitat en el paràmetre d'eficiència tècnica PDET (T2 vs T3:  $r = 0,52$ , ICC = 0,59, CV = 6,2%; T1 vs T3:  $r = 0,64$ , ICC = 0,52, CV = 7,5%), no obstant es manté l'elevada repetitivitat de l'ET (T2 vs T3:  $r = 0,95$ , ICC = 0,93, CV = 1,7%; T1 vs T3:  $r = 0,77$ , ICC = 0,75, CV = 5,1%). En conclusió, no es troben diferències significatives pel fet de portar aquest analitzador portàtil de gasos, excepte en que la durada total de la prova és superior, sense que això afecti al darrer període de càrrega assolit. Aquest increment observat de la durada total en la tercera prova pot ser degut a dos factors: 1) el factor aprenentatge, el qual fa que a partir de la tercera realització del SET – Test els subjectes siguin més eficients i aconseguixin augmentar la càrrega de treball amb la mateixa despesa energètica; aquest augment de l'eficiència podria ser degut a una millora en els desplaçaments per un millor ajustament de les distàncies a recórrer per colpejar la pilota i/o a una millora de la interpretació de la velocitat i característiques de la pilota enviada per la màquina, així com una optimització de la despesa en la acció de copejament de la pilota; aquest fet, doncs, faria adequat, tot i que no estrictament necessari, realitzar una prova d'aprenentatge per tal que el tennista s'adapti millor a la nova tasca; 2) es pot plantejar la hipòtesi d'una major motivació

dels subjectes pel fet de realitzar la prova monitoritzant el paràmetres ergoespiomètrics de manera directa amb un aparell d'alta tecnologia.

### ***Límits de la investigació***

La major variabilitat observada del paràmetre PDET en les tres proves pot ser deguda a que es tracta d'una mesura d'eficiència tècnica avaluada amb criteris bàsicament objectius però amb un cert marge de subjectivitat per part dels investigadors. És possible que calgui modificar o millorar el criteri de disminució de l'ET, o bé que la variabilitat observada estigui relacionada amb diversos paràmetres aleatoris no controlables. Encara que la repetitivitat dels paràmetres d'ET es menor, especialment el PDET, l'acceptable fiabilitat de l'ET pot permetre discriminar en funció del nivell tècnic dels jugadors i aportar una informació addicional de gran valor. Per bé que el nivell obtingut en determinades capacitats físiques té un elevat valor predictiu del rendiment competitiu en esports on la varietat tècnica i tàctica és menor que en el tennis, la predicció del rendiment tennístic a partir exclusivament de la valoració de la condició física és menys fiable (Solanelas, 1995).

## **I.5.3. VALIDESA DE LA PROVA**

### **I.5.3.1. Validesa de contingut i ecològica**

La resistència és la capacitat de l'esportista per resistir psíquica i físicament una càrrega (Zintl, 1991; Platonov, 2001; Weineck, 2005). Tant la progressió de la prova, la durada, com les característiques específiques de realització indueixen clarament un grau de fatiga física i psíquica al subjecte que ha estat avaluat mitjançant variables fisiològiques com el  $VO_{2max}$ . D'altra banda, el SET – Test és una prova de camp realitzada a la mateixa pista de tennis i assoleix una millora en la validesa ecològica respecte a la majoria de les proves utilitzades tradicionalment. En l'avaluació funcional de la resistència en tennis s'han utilitzat diferents proves inespecífiques basades en la cursa contínua (Birrer et al., 1986; Aparicio, 1998; Sanchis, 2000; Roetert, 2000; Le Deuff, 2003), que s'allunyen clarament de l'entorn de joc. El SET – Test pot considerar-se una prova ecològicament vàlida atès que permet realitzar l'avaluació en el mateix entorn físic, amb el mateix material utilitzat per al joc i amb realització de tasques motrius (com ara copejaments de pilota i desplaçaments) difícilment reproduïbles en un laboratori o en camps esportius no tennístics.

### I.5.3.2. Validesa interna

L'elevat percentatge de compliment de cadascun dels criteris de maximalitat de la prova per part dels subjectes –nivellament del  $\text{VO}_2$  (84,2%),  $\text{FC}_{\text{max}} \geq 90\% \text{FC}_{\text{max}} \text{ teòrica}$  (94,7%),  $R \geq 1,1$  (73,6%)– demostra que el SET – Test és una prova de intensitat màxima. Aquests percentatges són comparables o superiors als obtinguts en altres proves específiques per avaluar la resistència en tennistes –nivellament del  $\text{VO}_2$  (78%),  $\text{FC}_{\text{max}} \geq 90\% \text{FC}_{\text{max}} \text{ teòrica}$  (89%),  $R \geq 1,1$  (89%)– (Girard et al., 2006). Aquest resultat demostra que la important participació muscular del tren inferior en el desplaçament i del tren superior en l'acció de copejament aconseguix sobrecarregar el sistema de transport d'oxigen sense un esgotament prematur dels músculs que realitzen l'esforç. La durada mitjana de la prova ( $13:39 \pm s = 01:34$ ), l'augment gradual de la càrrega mitjançant períodes de dos minuts i el caràcter maximal de la prova asseguren que el protocol del SET – Test es vàlid per determinar el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  i proporciona la possibilitat de determinar els llindars ventilatoris. En els protocols triangulars, la potència de l'exercici augmenta per períodes de 1 a 4 minuts, sense descans entre les diferents etapes, fins a assolir l'anivellament del  $\text{VO}_2$  o fins l'esgotament del subjecte (Rodríguez i Aragonés, 1992; Billat, 2002). Aquestes característiques són semblants a les utilitzades en algunes proves de resistència incrementals que s'han comprovat vàlides, fiables i que són àmpliament utilitzades per l'avaluació d'aquesta capacitat (Cooper, 1968; Léger i Boucher, 1980; Conconi et al., 1982; Léger i Lambert, 1982).

En conclusió, podem considerar que el SET – Test és una prova contínua de càrrega progressiva i intensitat màxima vàlida per avaluar la resistència i la condició aeròbica en tennistes de competició, assegurant una mesura adequada del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , així com dels llindars ventilatoris.

### I.5.3.3. Validesa predictiva

#### *Validesa predictiva per estimar paràmetres fisiològics*

L'elevada correlació trobada entre el PDFC i la freqüència cardíaca al segon llindar ventilatori ( $r = 0,87$ ,  $p < 0,001$ ) posen de manifest una bona validesa d'aquest paràmetre per determinar el llindar anaeròbic de forma indirecta. Aquesta correlació és inferior a la trobada per Conconi et al. (1982) en una prova de cursa contínua ( $r = 0,99$ ), però superior a la registrada en una prova comparable per estimar aquest paràmetre en el bàdminton (Wonisch et al., 2002) ( $r = 0,78$ ,  $p < 0,001$ ).

Els tennistes de nivell mundial mostren un rendiment aeròbic més elevat amb menors nivells de lactat a una intensitat comparable en relació amb tennistes amb pitjor classificació (König et al., 2001). Els llindars aeròbic i anaeròbic dels jugadors de tennis professionals són molt superiors als de la població mitjana sedentària i saludable, tant en homes com en dones (Hollman, 1994, en Sanchis, 1994). Cal destacar l'interès del SET – Test com a prova que permet estimar el llindar anaeròbic de forma vàlida, fiable i accessible a la mateixa pista, sense material sofisticat, en condicions específiques de l'esport i, per tant, fàcilment integrable dins la planificació de l'entrenament.

Conconi et al. (1982) van dissenyar un mètode per valorar el llindar anaeròbic en corredors de fons de manera no invasiva. En aquest estudi, la velocitat en la qual es perd la linealitat entre la velocitat de carrera i la FC s'anomena velocitat de deflexió (Vd), trobant-se una relació significativa entre la Vd i el llindar de lactat. Aquest protocol ha estat utilitzat per Conconi i altres investigadors en diferents esports com el rem, natació, ciclisme, patinatge (Conconi et al., 1996) i adaptat per a un test específic en bàdminton (Wonisch et al., 2002), mentre que mai no ha estat provat en jugadors de tennis. En el present estudi es va determinar de forma novedosa el PDFC en una mostra de tennistes de competició, i igual que succeeix en l'avaluació d'aquest paràmetre en esports cíclics tancats, en el tennis, com a esport acíclic, obert i situacional, també es detecta un PDFC en la majoria dels casos (92%), en consonància amb resultats trobats en una prova específica per a bàdminton (94,1%) (Wonisch et al., 2002). El fenomen de la deflexió de la FC es produeix donat que quan es realitza un treball per sobre del llindar anaeròbic augmenta més la intensitat que no pas la FC (Pendergast et al., 1979, en Conconi et al., 1982). En la literatura revisada, alguns autors plantegen que el concepte de PDFC és, com a poc, controvertit, ja que alguns individus exhibeixen una resposta totalment lineal entre FC i intensitat de treball (Jones i Doust, 1995). Tanmateix, aquests problemes en la detecció del PDFC poden venir donats per problemes de caire metodològic, ja que l'increment de la càrrega no hauria de provocar un augment superior a  $8 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$ , i es necessiten de 15 a 30 segons per adaptar-se cardiològicament a l'esforç (Bodner i Rhodes, 2000). En el present estudi es van tenir en compte aquests dos aspectes metodològics i es va utilitzar com a paràmetre d'intensitat la freqüència de llançament de pilotes (FLL<sub>p</sub>), el temps i el període, a diferència de l'estudi de Conconi on s'utilitza la velocitat de desplaçament en cursa.

La discreta correlació entre el paràmetre de càrrega i el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $r = 0,641$ ;  $p = 0,000$ ) indica una dubtosa validesa predictiva de la potència aeròbica màxima, segons

valors de referència publicats (Léger et al., 1984; Rodríguez, 1999). No s'han trobat valors de referència en proves de camp per a tennistes, no obstant això, els valors registrats són clarament inferiors als publicats per Berthoin et al. (1996, 1999), Léger i Boucher (1980) i Léger i Lambert (1982), que avaluen la validesa predictiva del  $VO_{2max}$  en base a la cursa ( $r = 0,80, 96, 84$  respectivament;  $p < 0,001$ ). En canvi, sí que estan en consonància amb els resultats obtinguts per Chamari et al. (2007), que avaluen la validesa predictiva d'una prova de resistència específica (Hoff, 2002) en que intervenen mòbils i accions tècniques específiques per a futbolistes ( $r = 0,68, p < 0,01$ ). En aquest sentit, podem plantejar la hipòtesi que l'elevat error d'estimació i per tant l'escassa validesa predictiva del  $VO_{2max}$  en base a la càrrega màxima durant la prova es deu a la importància relativa dels paràmetres d'eficiència tècnica associats al desplaçament i l'acció de copejament de pilota. La càrrega final assolida en l'execució del SET – Test estaria en funció dels paràmetres de càrrega interna efectivament registrats (p.e.  $VO_{2max}$ ) i del nivell d'eficiència tècnica, que pot suposar una despesa d'energia addicional difícilment controlable i en qualsevol cas, variable segons cada individu.

D'altra banda, la relació significativa trobada entre el PDET i el LIV2 ( $r = 0,463, p = 0,004$ ), tot i que no molt estreta, indica que els jugadors mostren una clara tendència a disminuir l'efectivitat tècnica a partir del segon llindar ventilatori i que, per tant, els subjectes que experimenten aquest llindar en una càrrega més elevada experimentaran el PDET més tard. A intensitats superiors al LIV2 el jugador entra en un estat d'acidosis metabòlica com a conseqüència de l'augment de la concentració d'àcid làctic a la sang. L'impacte d'aquesta acumulació d'àcid làctic sobre el rendiment depèn essencialment del corresponent canvi de la concentració d'ions hidrogen (Shephard i Astrand, 1996). Aquesta situació va acompanyada d'un descens de l'ET probablement deguda a una disminució de la sincronització dels cops, de la coordinació dinàmica general, d'una inadequada posició de copejament i d'una manca de força. Atès que el tennis és un esport amb marcades característiques aeròbiques i anaeròbiques alàctiques (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985; Chandler, 1995; Renström, 2002; present estudi) i que durant l'activitat competitiva rarament es participa a intensitats per sobre del llindar anaeròbic o properes al  $VO_{2max}$  (Ferrauti et al., 2001; Christmas et al., 1998; Smekal et al., 2003; Fernández et al., 2005; Dansou et al., 2001; present estudi), el jugador de tennis no està preparat específicament per realitzar l'activitat de copejament amb un estat d'acidosis metabòlica. Les adaptacions a l'entrenament i a la competició són específiques a l'activitat realitzada (Platonov, 2001). Alguns autors han observat

que concentracions de lactat superiors a  $7\text{-}8\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  s'associen a una disminució del rendiment, tant tècnic com tàctic (McCarthy 2000, en Lees, 2003; Liesen, 1983 en Davey et al., 2002). En la mateixa línia, Davey et al. (2002) observen una elevada disminució de l'exactitud dels cops (69%) entre el començament d'una prova intermitent específica (Loughborough Intermittent Tennis Test) i l'exactitud observada al final de la prova ( $35,4 \pm 4,6$  minuts) i l'atribueixen a la elevada concentració de lactat sanguini ( $9,6 \pm 0,9\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). És lògic pensar que tenir un segon llinzar ventilatori més elevat farà retardar l'aparició de fatiga i la conseqüent disminució de l'efectivitat tècnica en situacions, com ara durant la disputa de punts, d'elevada intensitat i durada. Un altre factor a considerar en la coincidència entre aquests dos punts és que el PDET té lloc al final de la prova progressiva (període  $5,2 \pm 1,1$ ) d'igual manera que succeeix amb el LIV2 (període  $4,6 \pm 0,8$ ). En aquests períodes finals existeix una fatiga acumulada en els períodes anteriors que pot influir en la disminució de l'ET. La fatiga es va instaurant de forma progressiva des de pràcticament l'inici d'un esforç (López Calbet i Dorado García, 2006). En aquet sentit Vergauwen et al. (1998) observen que la fatiga induïda per un entrenament específic de tennis de 2 hores de joc es tradueix en un augment significatiu del percentatge d'errors i en una disminució també significativa de la velocitat de copejament de pilota. Lees (2003) observa que la fatiga afecta el rendiment de les habilitats de raqueta i es manifesta amb un pobre joc de posició i amb una disminució de la precisió dels cops.

En conclusió, els resultats sobre la validesa predictiva del SET – Test indiquen que és una prova de camp vàlida per determinar de manera indirecte el segon llinzar ventilatori en tennistes, tot i que degut a factors d'eficiència tècnica individual s'ha trobat una dubtosa validesa predictiva de la potència aeròbica màxima.

## LÍMITS DE LA INVESTIGACIÓ

L'aplicació del SET – Test sense analitzador de gasos portàtil permet avaluar la resistència en jugadors de tennis de manera accessible i fàcil. No obstant això, si bé és possible estimar el segon llinzar ventilatori i determinar les modificacions del rendiment mitjançant el control de la càrrega assolida, l'escassa validesa predictiva de la potència aeròbica fa que no sigui possible conèixer en quina mesura la modificació de la màxima càrrega assolida pel subjecte és degut a una millora d'aquest paràmetre fisiològic o bé degut a la modificació de l'eficiència tècnica en les accions específiques. Per altra

banda, cal dir que aquesta manca de validesa predictiva de la potència aeròbica es veu compensada amb una notable millora de l'especificitat i validesa ecològica i de contingut d'aquesta prova respecte a les proves inespecífiques.

### *Validesa predictiva dels paràmetres de càrrega, fisiològics i d'efectivitat tècnica respecte del nivell competitiu*

Es van seleccionar les variables més representatives de l'avaluació funcional realitzada i es van relacionar amb el nivell competitiu dels jugadors amb l'objectiu de sospesar el seu valor com a indicadors de rendiment. Posteriorment es van integrar en un model de regressió múltiple capaç d'ajudar a predir el rendiment competitiu en tennis. Són pocs els estudis que analitzin la validesa predictiva de paràmetres funcionals en jugadors de tennis i revelen, a més, resultats contraposats. Aquest és el primer estudi en que l'anàlisi multivariant s'aplica a indicadors funcionals en una prova específica.

### *Estudi de correlació simple*

S'ha trobat una relació estadísticament significativa entre tots els paràmetres escollits com a representatius del resultat de la prova de valoració funcional específica i el nivell competitiu dels jugadors. No obstant això, els coeficients de correlació són entre moderats i baixos, la qual cosa posa de manifest el caràcter multifactorial del rendiment en tennis. Cal fer notar que en aquesta recerca no s'han tingut en compte altres capacitats i habilitats determinants com són les tàctiques, les estratègiques o les psicològiques. L'ET ha estat la variable que mostra una millor correlació amb el rendiment ( $r = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ), en consonància a l'opinió generalitzada entre entrenadors i jugadors de que el tennis és un esport eminentment tècnic degut a la gran diversitat de moviments i a la precisió necessària per poder practicar aquesta modalitat amb èxit (Comité Olímpico Español, 1993). En aquest mateix sentit, diferents autors consideren aquest paràmetre com un bon pronosticador del rendiment (Birrner et al., 1986; Vergauwen et al., 1997; Smekal et al., 2000; Vergauwen et al., 2004). Tanmateix, les correlacions observades per alguns d'aquests autors (Birrner et al., 1986; Smekal et al., 2000) són sensiblement més elevades ( $r > 0,85$ ) que les observades en el present estudi. Així, Birrner et al. (1986), en un estudi realitzat sobre 531 (319 nens i 112 nenes) jugadors preadolescents ( $11,9 \pm 1,2$  anys), avaluen diferents variables de caràcter tècnic trobant nivells alts de correlació (dreta:  $r = 0,89$ ; revés:  $r = 0,91$ , volea:  $r = 0,91$  i esmaixada:  $r = 0,85$ ) amb el nivell competitiu. Aquesta elevada correlació pot ser

deguda a les edats primerenques dels jugadors, tot i que en el procés d'aprenentatge en tennis els components tàctics i tècnics s'han de treballar de manera conjunta (Turner et al., 2002; Cabello et al., 2001; Hernández, 1998; Sanz, 2004), els jugadors de categoria aleví i infantil es troben encara en etapes de formació de les habilitats tècniques i el grau d'aprenentatge d'aquests paràmetres influeixen notablement el seu rendiment. Per altra banda Smekal et al. (2000), en una prova similar al SET – Test aplicada a 12 jugadors sèniors ( $26,4 \pm 5,2$  anys) de nivell nacional, també troben una elevada correlació entre l'ET i la classificació dels jugadors ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,001$ ), conclouent que el nivell d'ET pot ser menys important en jugadors de nivell mundial, però pot ser-ho més en jugadors de categoria júnior. En aquests dos casos el nivell de competició es veu notablement influenciat per les habilitats tècniques degut al nivell no professional dels jugadors; a mesura que augmenta el nivell global dels jugadors el rendiment competitiu és més homogeni i augmenta paral·lelament la importància d'altres paràmetres com són les habilitats tàctiques, estratègiques o psicològiques. Cal recordar que el present estudi ha estat realitzat amb jugadors de nivell nacional i internacional amb una dedicació plena al tennis de competició. Altres autors (Vergauwen et al., 1997; Vergauwen et al., 2004) apliquen proves específiques a la pista per avaluar el comportament tècnic i observen diferències en els resultats en funció del seu nivell. Vergauwen et al. (1997) proposen el Leuven Tennis Performance Test (LTPT) i l'apliquen a una mostra de 27 jugadors de competició de nivell nacional i internacional (edat  $21 \pm 1$  anys). La qualitat dels cops era avaluada en funció del percentatge d'errors, la velocitat de pilota, la precisió del cop i uns índex de velocitat/precisió (VP) i velocitat/precisió/errors (VPE), trobant que els millors jugadors realitzaven menys errors, que la velocitat i la precisió dels seus cops era superior, i que la VP i la VPE també eren millors. De manera semblant i amb jugadors infantils, Vergauwen et al. (2004) proposen el ForeGround test i l'apliquen en jugadors joves ( $12,7 \pm 0,7$  anys) de nivell baix a mitjà; el rendiment dels cops va ser avaluat mitjançant el percentatge d'encerts, i la precisió i velocitat dels cops observant que els jugadors amb major experiència obtenien millors resultats en percentatge d'encerts, velocitat i precisió de pilota.

S'ha trobat una moderada relació entre el nivell competitiu i els paràmetres fisiològics ( $VO_{2max}$  i LIV2;  $r = 0,55$ ;  $p < 0,01$ ) i el paràmetre de càrrega UP ( $r = 0,50$ ;  $p < 0,01$ ). Aquests resultats indiquen que la potència aeròbica màxima i la resistència aeròbica són factors clarament relacionats amb el rendiment en tennis. D'això es pot deduir que un adequat nivell de resistència aeròbica permetria donar al joc més



intensitat i assegurar una correcta recuperació entre punts, tot i que la condició aeròbica no suposi la variable més determinant del rendiment. Per altra banda Birrer et al. (1986) destaquen la importància d'un bon nivell de resistència per tolerar correctament les demandes específiques de l'esport però, en contraposició amb els resultats observats, no troben cap relació ni entre el nivell competitiu i els resultats en proves de resistència –temps en 2000 m i distància recorreguda en 30 min de cursa– ( $r = -0,13$ ;  $r = 0,15$ ), ni entre els resultats en altres proves de condició física –llançament de pilota medicinal, temps en 10 m o distància en el salt vertical ( $r = 0,04$ ,  $-0,16$  i  $0,19$ , respectivament). Pensem que la raó d'aquestes pobres relacions entre nivell competitiu i condició física es deu a que els autors utilitzen proves de condició física genèriques, en que no es tenen en compte factors tècnics específics de l'esport.

En estudis que utilitzen proves específiques de resistència realitzades a la pista trobem resultats contraposats en diferents esports de raqueta. Així, Smekal et al. (2000), en una prova específica aplicada a 12 jugadors de tennis no van trobar cap relació entre la classificació dels jugadors i variables de resistència ( $VO_{2max}$ , LIV2, FLLP, velocitat màxima assolida). En canvi, Chin et al., (1995), en 12 jugadors de bàdminton de nivell internacional (6 homes i 6 dones;  $24,4 \pm 2$  anys) troben correlacions comparables a les del present estudi ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,05$ ). Steininger et al. (1987), en 13 jugadors d'esquaix de competició de categoria júnior de nivell inferior a l'anterior (7 nois i 6 noies) sí que troben una elevada correlació ( $r = 90$ ;  $p < 0,001$ ) entre la classificació de resultats obtinguts amb la prova i el rendiment competitiu.

Les diferències observades en els diversos estudis possiblement es deuen a la diversitat d'edats i nivell dels jugadors, als diferents protocols de valoració i paràmetres seleccionats com a indicadors del nivell de condició física i tècnica i al paràmetre de rendiment triat. Pensem que seria interessant aplicar els principals indicadors de rendiment trobats a mostres de jugadors suficientment àmplies, juntament amb altres paràmetres no avaluats en aquest estudi (tècnics, tàctics, psicològics, etc.).

Per altra banda s'ha observat una dèbil correlació entre el nivell competitiu i el PDFC ( $r = 0,42$ ;  $p < 0,05$ ) i el LIV1 ( $r = 0,35$ ;  $p < 0,05$ ), amb la qual cosa podem dir que aquests dos paràmetres mostren una baixa capacitat com a indicadors del rendiment en tennistes.

*Anàlisi de correlació múltiple (multivariant)*

El model predictor del rendiment competitiu al qual s'ha arribat inclou per una banda l'ET i el LIV2 i explica el 56% de la variabilitat observada en el nivell competitiu dels jugadors i per altra banda inclou l'ET i el  $VO_{2max}$  i explica el 53%. Per tant, pot afirmar-se que el rendiment en el tennis de competició pot ser predit en bona part en funció del nivell de condició aeròbica i tècnica dels jugadors. Durant el joc el jugador ha de realitzar una sèrie d'accions explosives amb un elevat component tècnic i coordinatiu com són els diferents cops, i aquestes habilitats s'han de mantenir durant períodes d'1 a 4 hores de durada. No obstant això, i degut al caràcter multifactorial del rendiment en tennis, per millorar la capacitat predictiva del model probablement caldria introduir-hi variables tàctiques, estratègiques i psicològiques. Com a conseqüència de la homogeneïtat de les habilitats tècniques i condicionals dels jugadors d'alt nivell, la importància dels paràmetres tàctics, estratègics i psicològics són especialment rellevants en el tennis competitiu i el rendiment final d'un partit depèn en molts casos d'aquestes habilitats. Pensem que la precisió de la predicció d'aquest model pot augmentar en jugadors de categories inferiors o de menor nivell competitiu en els quals el rendiment tècnic i condicional pot influir en major mesura el rendiment final. En aquesta mateixa línia, en un ampli estudi en que es valoren 516 jugadors i jugadores de totes les categories, incloent-hi variables d'antecedents esportius, condició física, cineantropomètriques, ergoespiromètriques i psicològiques (Solanelas, 1995; Solanelas i Rodríguez, 1996), els autors observen que en les categories superiors no s'aconsegueix predir el rendiment de forma tan acurada com en les categories més primerenques, en que s'aconsegueix explicar la major part de la variància del rendiment amb les variables cineantropomètriques, de condició física i de valoració dels antecedents esportius, prescindint dels factors tècnics i tàctics. Els mateixos autors observen que a partir de la categoria cadet (<15 anys), els factors tecnicotàctics apareixen com a molt rellevants i la predicció del nivell de rendiment hauria d'incloure aquests paràmetres. Els autors conclouen que la millor edat per detectar el talent esportiu en tennis és, en el gènere masculí, la categoria infantil i cadet, mentre que en el femení es podria fer amb anterioritat.

Tot i l'elevat component tècnic de l'esport, si únicament tenim en compte el paràmetre d'ET, aquest aconsegueix explicar el 37% de la variància de l'ITN. La inclusió del LIV2 i per altra banda el  $VO_{2max}$  augmenta la predicció de la variància fins

el 56 i 53% respectivament. En aquesta línia, en els apartats anteriors del present estudi s'ha discutit àmpliament el paper de la condició aeròbica en el tennis.

No s'ha trobat cap estudi que realitzi una regressió múltiple amb els paràmetres funcionals avaluats en el present estudi. En l'estudi citat anteriorment (Solanelas, 1995; Solanelas i Rodríguez, 1996) els autors observen que l'anàlisi multivariant s'ha de realitzar de forma independent per a cada categoria i sexe; d'aquesta manera els resultats de la regressió múltiple pel que fa a la predicció de la varianza en el rendiment són molt esclaridors: aleví masculí 46,1%, infantil masculí 67,3%, cadet masculí 67,7%; júnior masculí 45,7%. Potser degut al reduït nombre de jugadors de competició de categoria absoluta o potser degut a la multifactorialitat del rendiment a aquest nivell, en el model de regressió múltiple no va entrar cap variable en aquesta categoria.

### **LÍMITS DE LA INVESTIGACIÓ**

S'ha investigat la capacitat predictiva del rendiment del conjunt de variables resultants de l'avaluació per mitjà d'una prova de resistència específica, obtenint un model amb una capacitat predictiva moderada. Cal tenir en compte que el tennis és un esport obert i situacional en que hi intervenen variables difícilment avaluables amb una sola prova funcional, cosa que impedeix crear un model amb una major capacitat de predicció del rendiment. Per a Smith (1982) en Arellano (1999), les habilitats tancades es desenvolupen sota unes condicions predictibles en les que l'executant és lliure de realitzar una habilitat sense haver de prendre decisions ràpides, mentre que en les habilitats obertes la resposta motriu és difícil de preveure, i en aquest cas pot ser més important la percepció i una ràpida decisió-resposta que la pròpia execució sota uns criteris purament biomecànics. Per tant l'objectiu d'aquesta recerca no és crear un model global de predicció del rendiment sinó observar quins són els principals indicadors de rendiment avaluables amb una prova de resistència.

## **I.6. CONCLUSIONS**

### **I.6.1. PROVA DE RESISTÈNCIA ESPECÍFICA EN TENNIS: “SET – TEST”**

- L’avaluació de la resistència en tennis s’hauria de realitzar amb tasques que tinguin en compte la cinemàtica, dinàmica, material i instal·lacions utilitzades durant la competició.
- El SET – Test és una prova específica, progressiva, maximal i esglaonada realitzat a la pista de tennis que valora paràmetres de càrrega, fisiològics i d’efectivitat tècnica.

### **I.6.2. FIABILITAT DE LA PROVA**

- El SET – Test és una prova de camp objectiva i fiable per avaluar la resistència específica en tennistes i permet realitzar una avaluació directa de paràmetres ergoespiromètrics sense que això afecti significativament els paràmetres estudiats.
- Es recomanable, tot i que no estrictament necessari, realitzar un mínim d’una prova prèvia per tal que el tennista s’adapti a la nova tasca i la millora del rendiment no pugui ser atribuïda a la millora de l’eficiència deguda a l’aprenentatge.

### **I.6.3. VALIDESA DE LA PROVA**

- El SET – Test és una prova de camp contínua, progressiva i màxima, vàlida per avaluar la resistència específica i la condició aeròbica en tennistes de competició.
- S’ha trobat una relació estadísticament significativa entre els paràmetres de càrrega i els paràmetres fisiològics, no obstant això, degut a factors de variabilitat individual de l’eficiència tècnica, la relació no és suficientment forta com per permetre estimar la potència aeròbica màxima.
- Es verifica la hipòtesi de l’existència d’un punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en relacionar-la amb la intensitat de càrrega durant el SET – Test, igualment com succeeix en els estudis en esports cíclics iniciats per Conconi et al. (1982). Aquest PDFC es relaciona significativament amb el segon llinar ventilatori.

- L'elevada correlació trobada entre el PDFC i la freqüència cardíaca al segon llinar ventilatori ( $r = 0,87$ ,  $p < 0,001$ ) posen de manifest una bona validesa d'aquest paràmetre per determinar el llinar anaeròbic de forma indirecta.
- La relació significativa trobada entre el PDET i el LIV2 ( $r = 0,463$ ,  $p = 0,004$ ), tot i que no molt estreta, indica que els jugadors mostren una clara tendència a disminuir l'efectivitat tècnica a partir del segon llinar ventilatori possiblement degut a l'impacte de l'augment d'àcid làctic en sang.
- S'han observat relacions significatives entre totes les variables resultants de la prova de resistència específica i el nivell competitiu dels jugadors. No obstant això, aquests paràmetres mostren una capacitat predictiva moderada del rendiment en tennis, degut al caràcter multifactorial d'aquest esport.
- L'ET és el millor indicador del rendiment competitiu, seguit dels paràmetres fisiològics de resistència i potència aeròbica (LIV2 i  $VO_{2max}$ ), tot i que cal esperar que a mesura que augmenti el nivell competitiu dels jugadors, pot augmentar la rellevància d'altres variables no condicionals.
- Bona part de la variabilitat en el nivell competitiu dels jugadors (56 i 53%) s'explica en funció de paràmetres d'efectivitat tècnica (ET) i fisiològics (LIV2 i  $VO_{2max}$ ), i possiblement la resta de variància només pugui ser explicada pel nivell en les habilitats tàctiques, estratègiques i psicològiques no avaluades.

**Capítol II. CARACTERÍSTIQUES FUNCIONALS  
DELS TENNISTES D'ALT RENDIMENT**



## **II. CARACTERÍSTIQUES FUNCIONALS DELS TENNISTES D'ALT RENDIMENT**

### **II.1. Objectius**

### **II.2. Disseny de la investigació**

### **II.3. Material i mètodes**

II.3.1. Subjectes

II.3.2. Material

II.3.3. Procediment

II.3.4. Paràmetres funcionals

II.3.5. Anàlisi estadística

### **II.4. Resultats**

II.4.1. Característiques fisiològiques i dels tennistes

II.4.2. Resultats d'efectivitat tècnica

### **II.5. Discussió**

II.5.1. Característiques fisiològiques i dels tennistes

II.5.2. Resultats d'efectivitat tècnica

### **II.6. Conclusions**



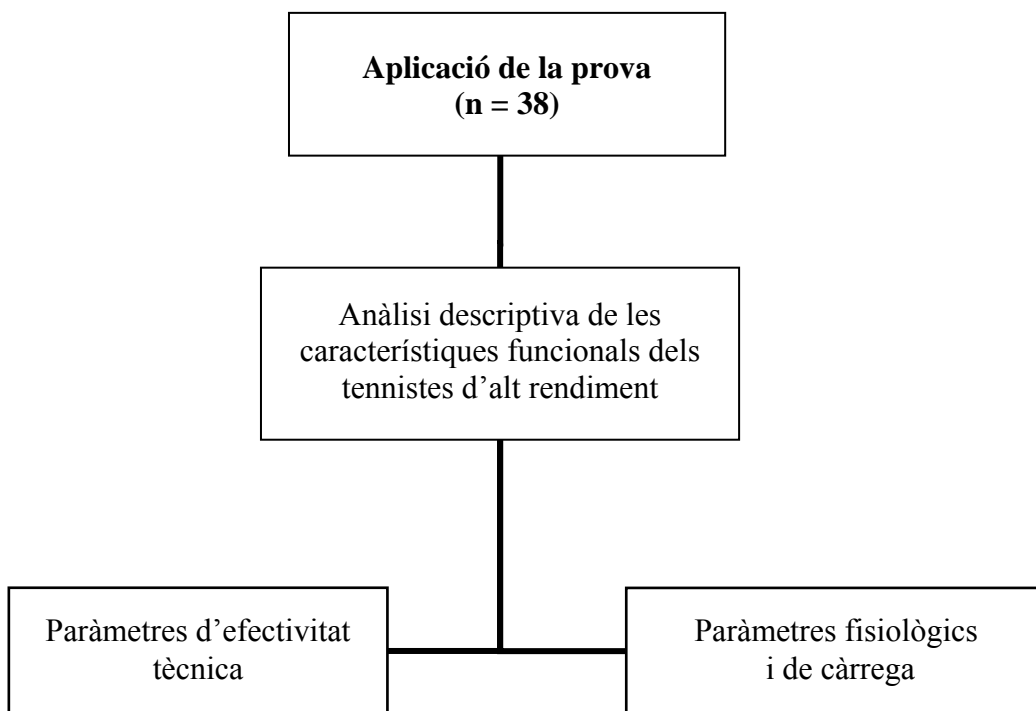
**II.1. OBJECTIUS**

Els objectius primaris d'aquest segon estudi són:

- Establir un perfil funcional específic dels tennistes de competició en base a la prova proposada per tal de contribuir en l'elaboració d'un model genèric de rendiment.
- Caracteritzar el comportament de l'efectivitat tècnica durant l'aplicació d'una prova progressiva de resistència en jugadors de tennis.

**II.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ**

En aquest segon estudi es van descriure les característiques funcionals dels tennistes de competició mitjançant l'administració del SET – Test amb l'analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra de tennistes d'alt rendiment (n = 38).



**Figura II.1.** Esquema descriptiu del segon estudi de que consta la recerca.

### **II.3. MATERIAL I MÈTODES**

Amb l'objectiu de descriure les característiques funcionals dels tennistes de competició es va administrar el SET – Test amb l'analitzador de gasos portàtil telemètric a una mostra àmplia i heterogènia de tennistes d'alt rendiment.

#### **II.3.1. Subjectes**

Ha estat descrit anteriorment en l'apartat de 'Subjectes' del 'Disseny de la investigació'.

#### **II.3.2. Material**

Ha estat descrit anteriorment en l'apartat I.3.1.2.

#### **II.3.3. Procediment**

Les avaluacions es van realitzar segons el protocol i criteris exposats en l'apartat I.3.1.3. (protocol de la prova específica) utilitzant l'analitzador de gasos portàtil per tal d'obtenir dades ergoespiromètriques rellevants. Les proves es van realitzar entre el mesos de febrer i juny, majoritàriament en hores de matí ( $11:43 \pm 01:33$ , rang 09:03–16:03). Es va controlar l'absència de processos infecciosos i no haver ingerit aliments en un període de 2 hores abans de la prova.



**Figura II.2.** Accions de cop de revés (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant la realització del SET–Test.

**II.3.4. Paràmetres funcionals**

Ha estat descrit anteriorment en l'apartat I.3.1.4.

**II.3.5. Anàlisi estadística**

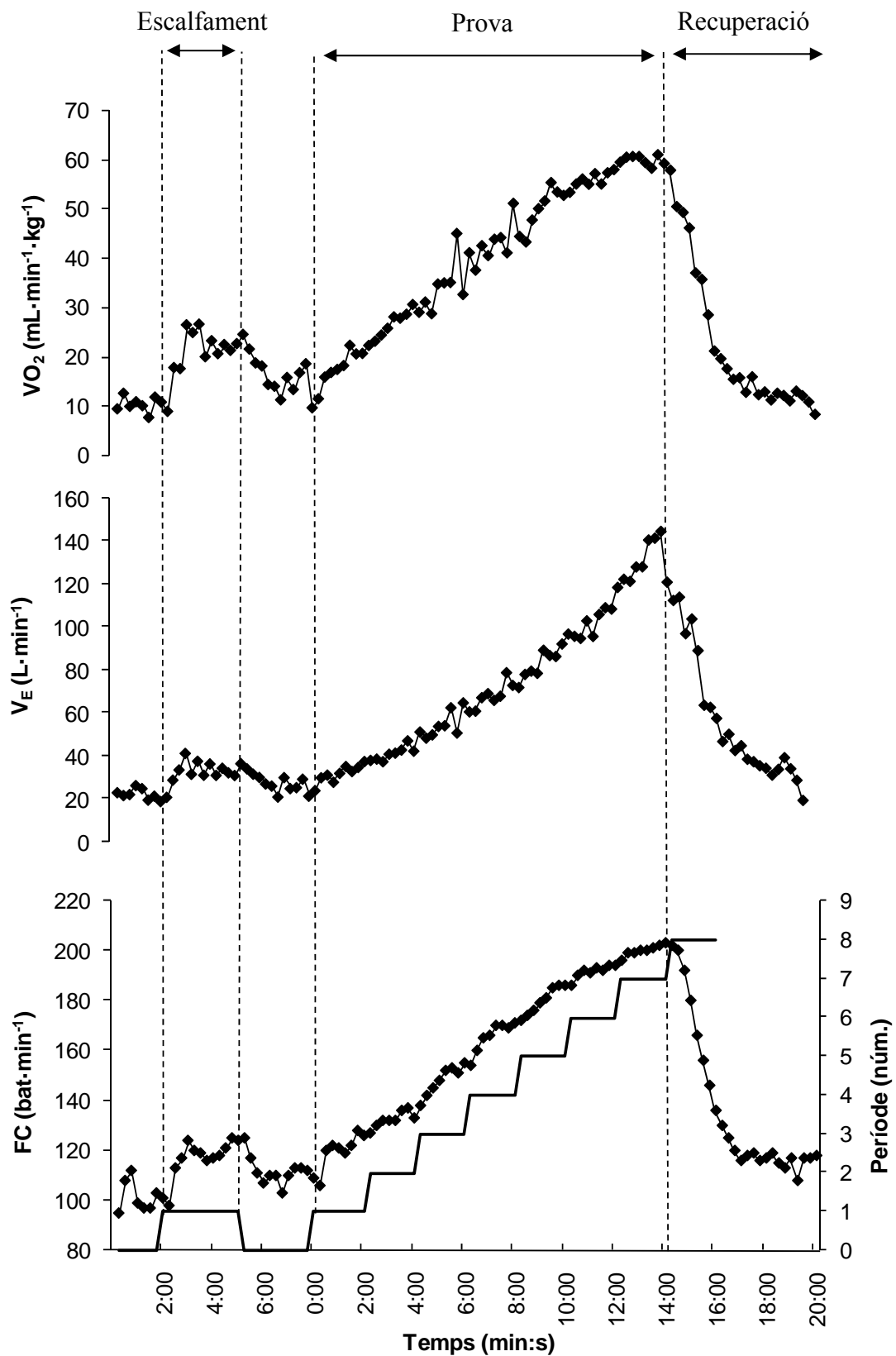
Es van calcular paràmetres descriptius bàsics: mitjana ( $\bar{x}$ ), desviació estàndard (s), mediana, valors extrems (màxim i mínim) i el rang. Es va aplicar la prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnov a totes les variables de l'estudi. Es presenten taules de percentils de les principals variables avaluades.

## **II.4. RESULTATS**

### **II.4.1. Característiques fisiològiques dels tennistes**

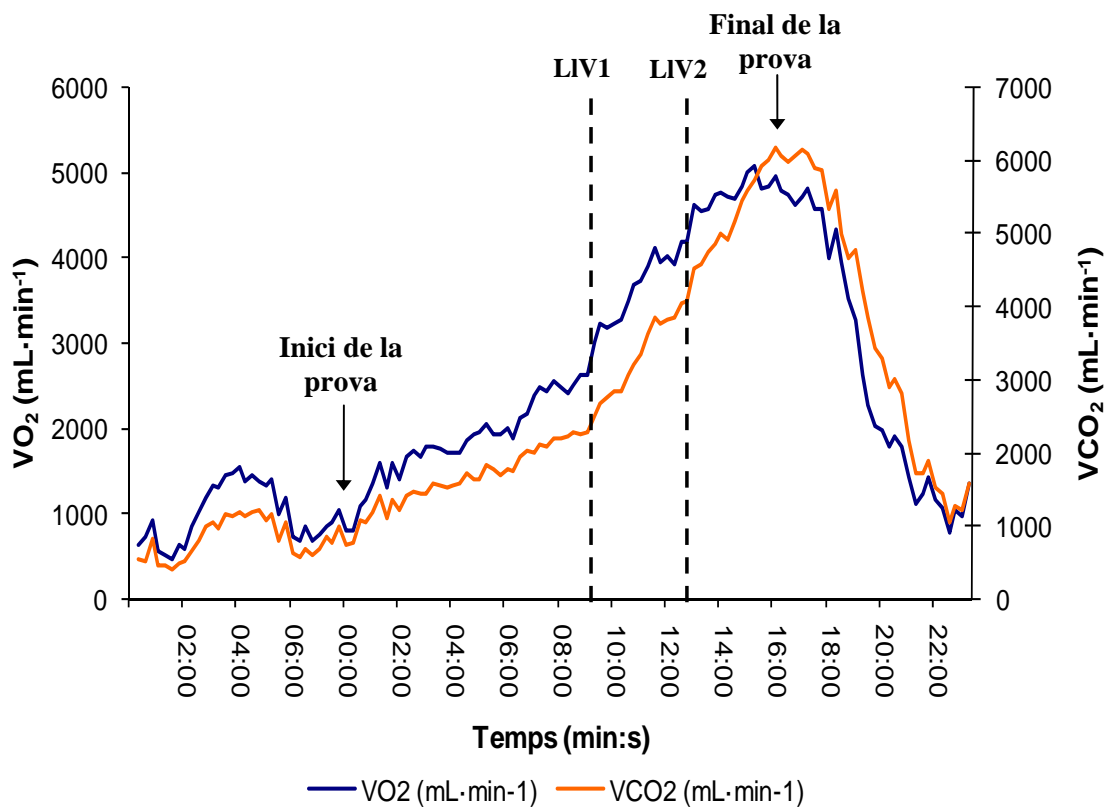
A continuació es descriuen els valors ergoespiromètrics, de freqüència cardíaca i de càrrega derivats de la aplicació del SET – Test amb l'analitzador de gasos a la totalitat dels subjectes de la mostra ( $n = 38$ ).

La Figura II.3 mostra l'evolució de diferents paràmetres ergoespiromètrics ( $VO_2$ ,  $V_E$ ) i cardíacs (FC) avaluats en un subjecte, així com la distribució dels períodes al llarg de la prova (períodes). El registre comença amb una primera fase d'escalfament en que el jugador piloteja 3 minuts a una intensitat baixa ( $9 \text{ tirs} \cdot \text{min}^{-1}$ ), seguit d'un descans passiu de 2 minuts, del posterior desenvolupament de la prova progressiva i de la recuperació. S'observa l'evolució dels diferents paràmetres en relació amb la intensitat de l'esforç. En el cas del  $VO_2$ , s'observa que al final de la prova s'estabilitza i fins i tot disminueix lleugerament ('plateau' o anivellament del  $VO_2$ ). A partir de l'últim terç de la prova s'observa una deflexió de la corba de FC (PDFC). En el cas de la  $VE$  es produeixen dos punts de ruptura de la linealitat corresponents als dos llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).



**Figura II.3.** Consum d'oxigen ( $VO_2$ ), ventilació pulmonar ( $V_E$ ), freqüència cardíaca i període (FC, període) durant la realització de la prova en un subjecte. Es presenten els valors mitjans a intervals de 15 s.

La Figura II.4 mostra l'evolució del consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) i de la producció de diòxid de carboni ( $\text{VCO}_2$ ) en un subjecte durant la prova. S'observa la relació lineal inicial del  $\text{VO}_2$  i la  $\text{VCO}_2$  en funció de la intensitat de l'esforç i s'indiquen els punts de ruptura de la linealitat corresponents als llindars ventilatoris; així, es produeix un primer trencament, amb un increment no lineal de la  $\text{VCO}_2$  respecte al  $\text{VO}_2$  corresponent al llindar anaeròbic de Wasserman o primer llindar ventilatori (LIV1); posteriorment s'observa un segon punt de ruptura de la  $\text{VCO}_2$  corresponent a la fi del període de tamponament isocàptic o punt de compensació per acidosis metabòlica de Wasserman (LIV2). També s'indica l'inici de la prova precedit d'un escalfament de 3 minuts de durada i seguit de 2 minuts de descans, així com el final de la prova amb el posterior registre de 5 minuts durant la recuperació.



**Figura II.4.** Evolució del consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) i la producció de diòxid de carboni ( $\text{VCO}_2$ ) en un subjecte durant l'aplicació del SET-Test. S'hi indiquen el final i l'inici de la prova i els punts corresponents al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2).

**Paràmetres màxims assolits**

Es van obtenir els següents valors màxims (pic) ergoespiromètrics, de càrrega i de freqüència cardíaca:

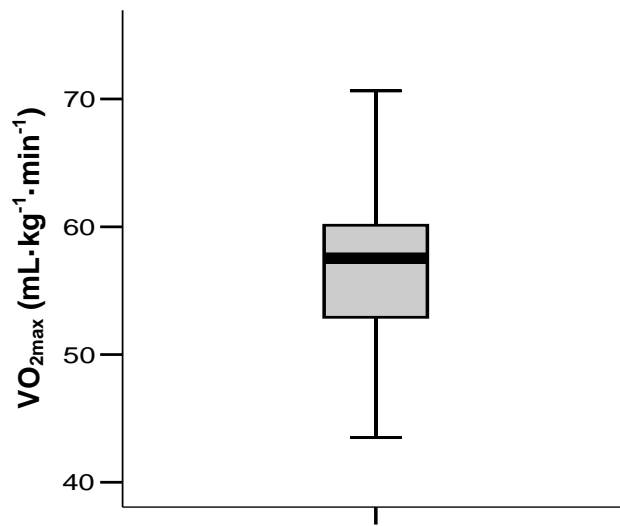
**Taula II.1.** Valors màxims assolits durant la prova (n = 38).

	Valors màxims
Temps (min:s)	13:39 ± 01:34 (10:30 – 18:00)
UP (període)	6,61 ± 0,82 (5 – 9)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	193,7 ± 7,6 (179 – 206)
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	57,0 ± 6,0 (70,6 – 43,5)
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	4194 ± 653 (3089 – 5541)

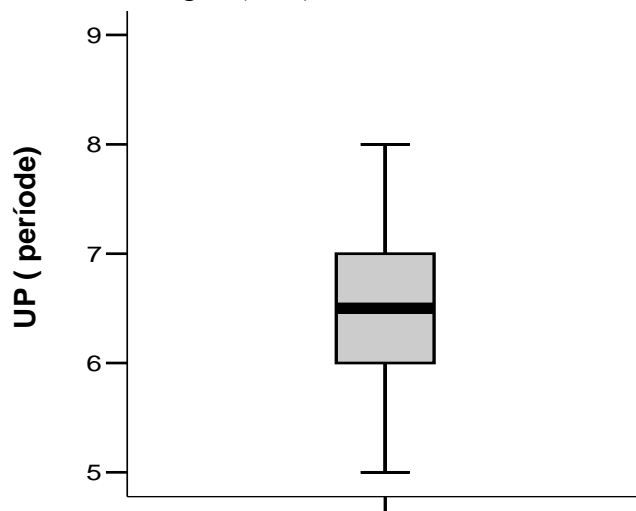
Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A continuació es presenta, mitjançant diagrames de caixa (boxplot), la distribució de les diferents variables estudiades (Figura II.5, Figura II.6 i Figura II.7).

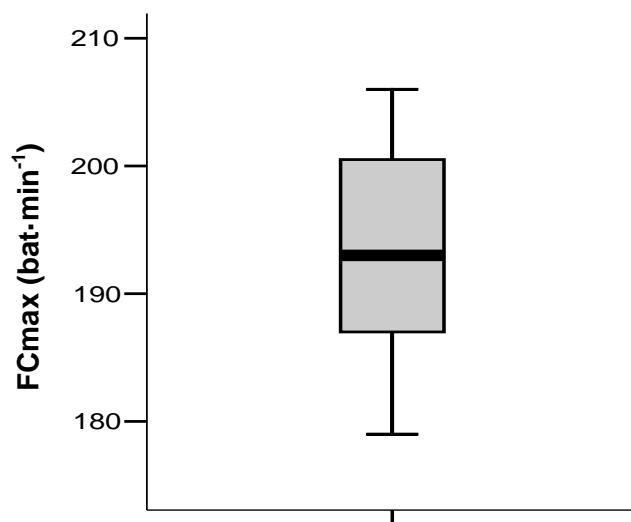




**Figura II.5.** Valors màxims de consum d'oxigen (VO<sub>2</sub>).



**Figura II.6.** Màxima càrrega assolida expressada com a últim període (UP).



**Figura II.7.** Valors màxims de freqüència cardíaca (FC).

Els valors ergoespiromètrics, de carrega i freqüència cardíaca corresponents a la intensitat en que s'assoleix el consum màxim d'oxigen van ser els següents:

**Taula II.2.** Valors corresponents a la intensitat en que s'assoleix el consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) (n = 38).

Variables	Valors al $VO_{2max}$
Temps (min:s)	12:54 ± 01:49 (09:00 – 16:30)
Període (núm.)	6,2 ± 0,9 (4 – 8)
$VO_2$ (mL·min <sup>-1</sup> )	4194 ± 653 (3089 – 5541)
$VO_2$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	57,0 ± 6,0 (70,6 – 43,5)
$VCO_2$ (mL·min <sup>-1</sup> )	4685 ± 892 (2357 – 6357)
$VCO_2$ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	64,3 ± 10,88 (34,7 – 95,3)
$V_E$ (L·min <sup>-1</sup> )	134,9 ± 17,3 (98 – 172,8)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	189,5 ± 10,6 (156 – 204)
% FCmax	98,5 ± 1,6 (92,8 – 100)
R	1,15 ± 0,13 (0,93 – 1,42)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

*Llindars ventilatoris*

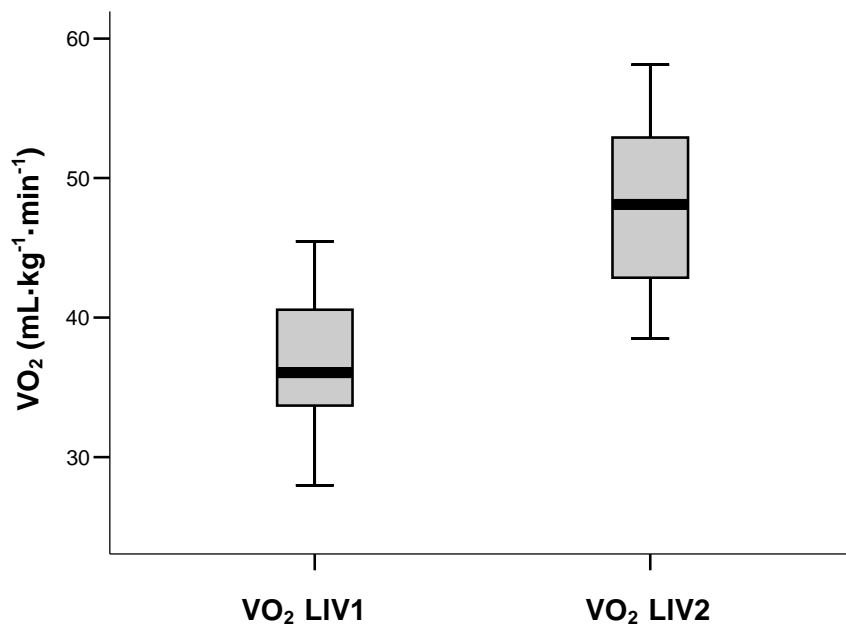
Tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. es van determinar els llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) en funció de criteris objectius i a càrrec de dos investigadors amb experiència. A continuació es presenten els valors ergoespiromètrics, de freqüència cardíaca i de càrrega obtinguts a la intensitat corresponent a cadascun dels llindars ventilatoris.

**Taula II.3.** Variables fisiològiques i de càrrega corresponents al primer (LIV1) i segon (LIV2) llindars ventilatoris (n = 38). S'indiquen els percentatges respecte dels valors màxims de cada variable.

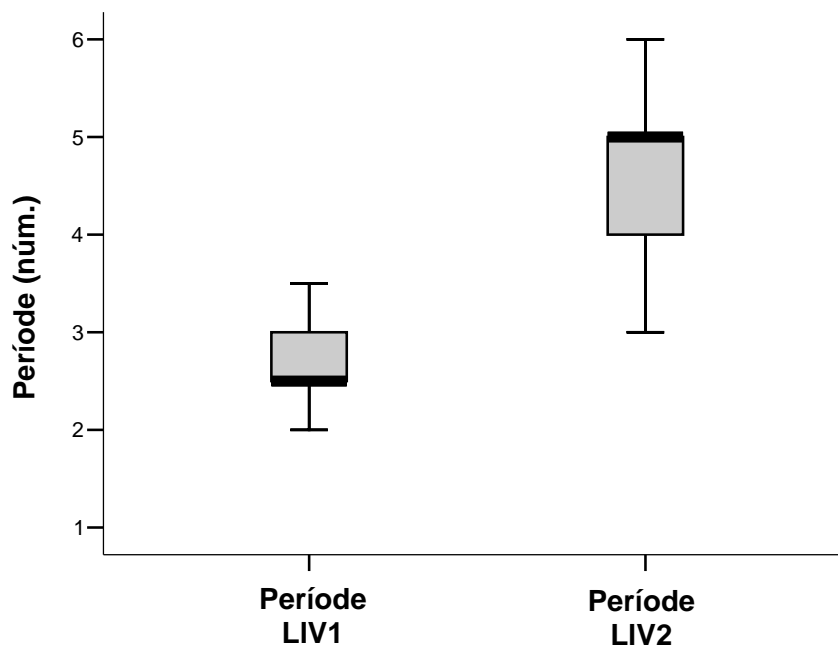
Variables	LIV1	% màxim	LIV2	% màxim
Temps (min:s)	05:57 ± 01:32 (02:15 – 10:15)	44,2 ± 13,7 (15,2 – 79,6)	09:43 ± 01:31 (04:15 – 12:45)	71,5 ± 8,7 (40,5 – 84,5)
Període (núm.)	2,7 ± 0,8 (1 – 5)	43,7 ± 11,0 (22,2 – 72,7)	4,6 ± 0,8 (2 – 6)	70,0 ± 9,9 (40,0 – 83,3)
VO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	2679 ± 4367 (1087 – 3709)	64,5 ± 4,5 (55,1 – 76,2)	3506 ± 535 (2532 – 4659)	84,6 ± 3,3 (71,6 – 89,3)
VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	36,8 ± 4,2 (27 – 45,5)	64,5 ± 4,5 (55,1 – 76,2)	48,2 ± 5,4 (38,5 – 58,1)	84,6 ± 3,3 (71,6 – 89,3)
VCO <sub>2</sub> (mL·min <sup>-1</sup> )	2350 ± 447 (1022 – 3349)	51,7 ± 7,8 (40,7 – 82,5)	3419 ± 605 (1588 – 5114)	74,6 ± 8,9 (63,2 – 97,3)
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	65,0 ± 8,3 (44,7 – 79,5)	49,3 ± 7,3 (37,8 – 69,6)	93,2 ± 10,9 (70,5 – 118,1)	70,6 ± 9,5 (54,1 – 97,0)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	153,3 ± 11,4 (123 – 182)	79,1 ± 4,5 (64,7 – 88,8)	177 ± 9,1 (157 – 195)	91,8 ± 2,6 (82,6 – 96,1)
R	0,87 ± 0,1 (0,41 – 1,03)	78,4 ± 6,8 (64,7 – 96,3)	0,98 ± 0,12 (0,46 – 1,2)	87,4 ± 8,1 (75,6 – 112,4)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

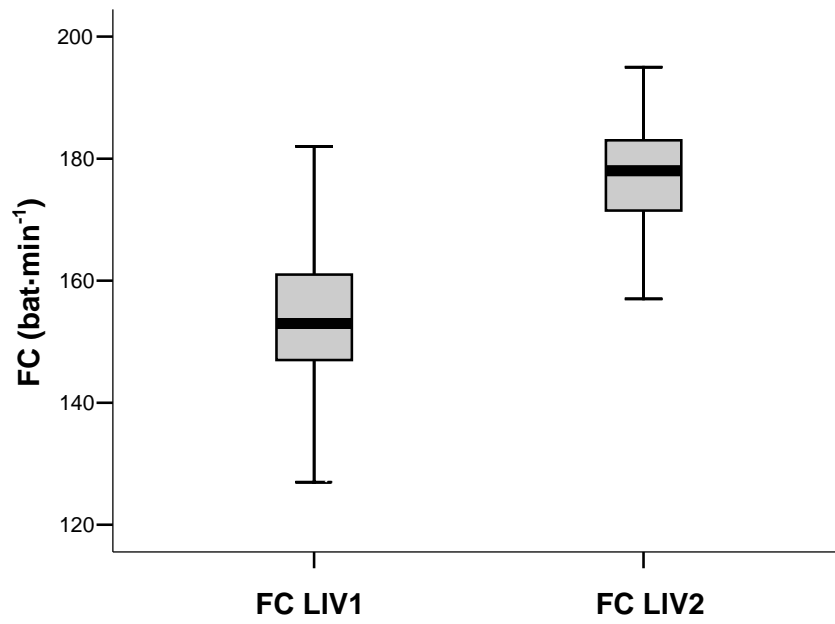
A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la distribució de les diferents variables (Figura II.8 i Figura II.9).



**Figura II.8.** Consum d'oxigen relatiu al pes en el primer (VO<sub>2</sub> LIV1) i segon (VO<sub>2</sub> LIV2) llindars ventilatoris.



**Figura II.9.** Número de període en el primer (Període LIV1) i segon (Període LIV2) llindars ventilatoris.



**Figura II.10.** Freqüència cardíaca (FC) en el primer (FC LIV1) i segon (FC LIV2) llindars ventilatoris.

***Punt de deflexió de la freqüència cardíaca***

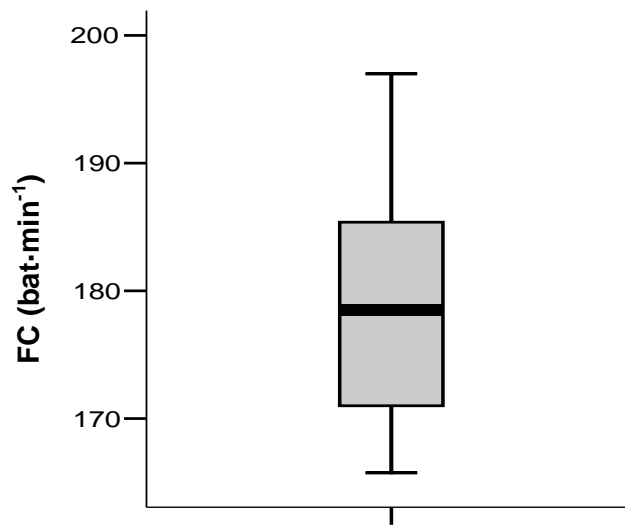
Es va determinar un punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) per a cada prova tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. Es va observar aquest punt en 35 dels 38 subjectes de mostra (92% dels subjectes).

**Taula II. 4.** Valors corresponents al punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35). S'indica els percentatges respecte els valors màxims.

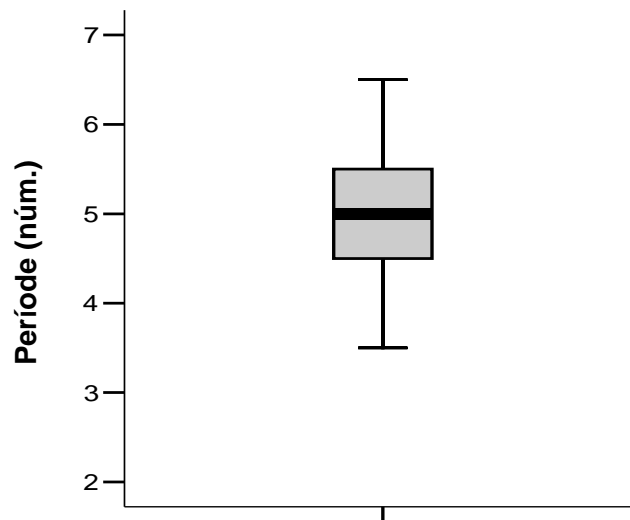
	PDFC	% màxim
Temps (min:s)	10:03 ± 01:39 (05:00 – 13:00)	73,4 ± 8,5 (47,6 – 87,4)
Període (núm.)	5,0 ± 0,9 (2,5 – 6,5)	74,7 ± 10,4 (50 – 92,3)
FC (bat·min <sup>-1</sup> )	178,6 ± 8,7 (165,8 – 197)	92,2 ± 2,7 (87,5 – 96,1)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín - màx).

A continuació es presenten, mitjançant diagrames de caixa, la distribució de les diferents variables relacionades amb el PDFC (Figura II.11 i Figura II.12).



**Figura II.11.** Punt de deflexió de la freqüència cardíaca observat (PDFC) (n = 35).



**Figura II.12.** Període en que s'assoleix el punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) (n = 35).

**II.4.2. Resultats d'efectivitat tècnica**

En cada prova es va realitzar una avaluació objectiva de l'efectivitat tècnica dels jugadors utilitzant criteris de precisió i potència tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. A continuació (Taula II.5) es mostren les dades d'efectivitat tècnica en un subjecte en una prova.



**Taula II.5.** Dades d'efectivitat tècnica (ET) en un subjecte.

Període (núm.)	Tirs		Minut (núm.)	Interval (min:s)	Encerts Interval		Errors Interval		Tirs Interval (núm.)	Tirs Minut (núm.)	Encerts Període		Errors Període		Tirs Període (núm.)
	min <sup>-1</sup>	període <sup>-1</sup>			freq.	%	freq.	%			freq.	%			
1	9	18	1	00:30	2	50,0	2	50,0	4	9	11	57,9	8	42,1	19
				01:00	3	60,0	2	40,0	5						
			2	01:30	3	60,0	2	40,0	5	10					
				02:00	3	60,0	2	40,0	5						
2	11	22	3	02:30	3	60,0	2	40,0	5	11	11	47,8	12	52,2	23
				03:00	4	66,7	2	33,3	6						
			4	03:30	0	0,0	6	100,0	6	12					
				04:00	4	66,7	2	33,3	6						
3	13	26	5	04:30	5	83,3	1	16,7	6	13	21	77,8	6	22,2	27
				05:00	6	85,7	1	14,3	7						
			6	05:30	4	57,1	3	42,9	7	14					
				06:00	6	85,7	1	14,3	7						
4	15	30	7	06:30	5	71,4	2	28,6	7	15	19	63,3	11	36,7	30
				07:00	6	75,0	2	25,0	8						
			8	07:30	5	62,5	3	37,5	8	15					
				08:00	3	42,9	4	57,1	7						
5	17	34	9	08:30	5	55,6	4	44,4	9	17	17	50,0	17	50,0	34
				09:00	3	37,5	5	62,5	8						
			10	09:30	4	44,4	5	55,6	9	17					
				10:00	5	62,5	3	37,5	8						
6	19	38	11	10:30	8	80,0	2	20,0	10	20	24	60,0	16	40,0	40
				11:30	6	60,0	4	40,0	10						
			12	11:30	5	50,0	5	50,0	10	20					
				12:00	5	50,0	5	50,0	10						
7	21	42	13	12:30	6	54,5	5	45,5	11	22	20	46,5	23	53,5	43
				13:00	7	63,6	4	36,4	11						
			14	13:30	3	30,0	7	70,0	10	21					
				14:00	4	36,4	7	63,6	11						
<b>TOTAL</b>			<b>13:59</b>	<b>123</b>	<b>56,9</b>	<b>93</b>	<b>43,1</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>123</b>	<b>56,9</b>	<b>93</b>	<b>43,1</b>	<b>216</b>	

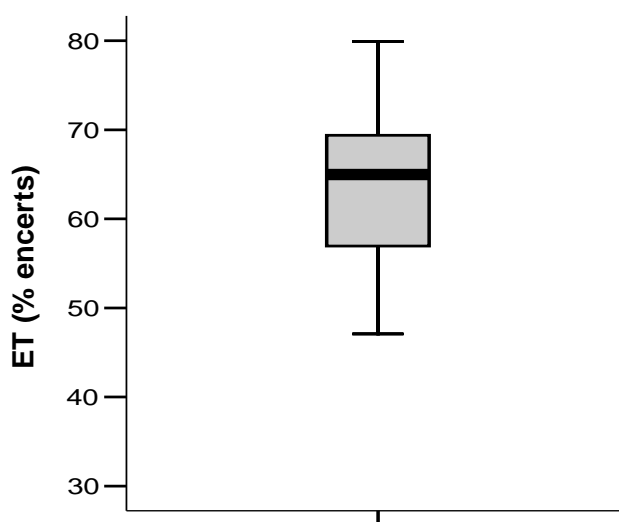
Es mostren (Taula II.6) els valors globals mitjans d'efectivitat tècnica avaluats com a encerts i errors. També es presenta el registre d'efectivitat tècnica en un subjecte.

**Taula II.6.** Efectivitat tècnica (ET) durant el SET – Test (n = 38).

Total cops (núm.)	Encerts		Errors	
	Freqüència	%	Freqüència	%
197,7 ± 30,8 (136 – 283)	125,5 ± 29,1 (67 – 202)	63,1 ± 9,1 (38 – 79,9)	72,3 ± 18,1 (41 – 111)	36,9 ± 9,1 (20,1 – 62)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A la Figura II.13 es presenta la distribució de l'ET mitjançant una diagrama de caixa (n = 38).



**Figura II.13.** Efectivitat tècnica (ET) global avaluada amb percentatge d'encerts.

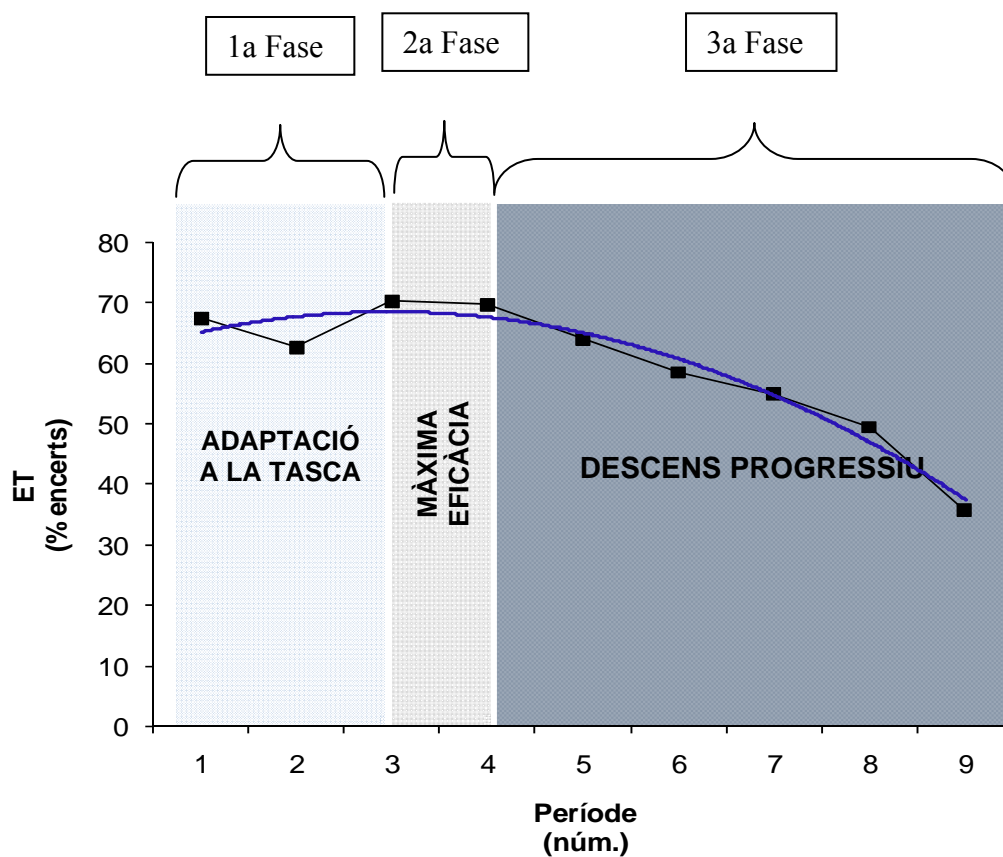
La Taula II.7 mostra els valors mitjans d'efectivitat per cadascun dels períodes avaluats com a encerts. S'hi indica el percentatge d'ET en relació al valor mitjà global de tots els períodes realitzats i s'observa com a partir del cinquè període els subjectes disminueixen la seva ET per sota d'aquesta mitjana global d'encerts.

**Taula II.7.** Resultats d'efectivitat tècnica (ET) per període (n = 38). S'hi indica el percentatge d'efectivitat tècnica en relació a la mitjana d'encerts global.

Període (núm.)	FLL <sub>p</sub>		ET (encerts)		% ET global
	(tir·min <sup>-1</sup> )	(tir·per <sup>-1</sup> )	(núm.)	(%)	
1	9	18	11,7 ± 2,3 (6 – 17)	67,44 ± 14,2 (31,6 – 94,4)	107,2
2	11	22	13,5 ± 3,0 (5 – 19)	62,8 ± 14,2 (21,7 – 90,5)	99,6
3	13	26	17,9 ± 2,9 (10 – 22)	70,4 ± 12,1 (37 – 88)	111,8
4	15	30	20,2 ± 3,6 (10 – 27)	69,7 ± 13,2 (32,3 – 90)	110
5	17	34	21,3 ± 3,9 (13 – 29)	64,1 ± 12,3 (39,4 – 87,9)	101,7
6	19	38	22,1 ± 4,9 (6 – 30)	60,1 ± 11,9 (28,6 – 81,1)	92
7	21	42	19,7 ± 8,6 (3 – 33)	55 ± 14,6 (20 – 86,8)	84,2
8	23	46	16,4 ± 8, (2 – 28)	49,6 ± 16,3 (11,1 – 65,1)	74,8
9	25	50	12,5 ± 13,4 (3 – 22)	35,7 ± 20,2 (21,4 – 50)	51,9

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

La Figura II.14 mostra l'evolució de l'efectivitat tècnica del conjunt dels subjectes amb indicació de la línia de tendència. S'observa com en una primera fase de la prova (1r i 2n períodes), tot i que la intensitat de càrrega és baixa, no s'assoleix el millor percentatge d'encerts; en una segona fase (3r i 4t períodes) els subjectes assolixen els millors resultats d'ET per, en una tercera fase (del 5è al 9è períodes), començar a empitjorar progressivament coincidint amb els períodes d'intensitat més elevada.



**Figura II.14.** Evolució de l'efectivitat tècnica (ET) avaluada com a percentatge d'encerts, en funció dels períodes del SET – Test. S'hi indica la línia de tendència i les diferents fases en la seva evolució.

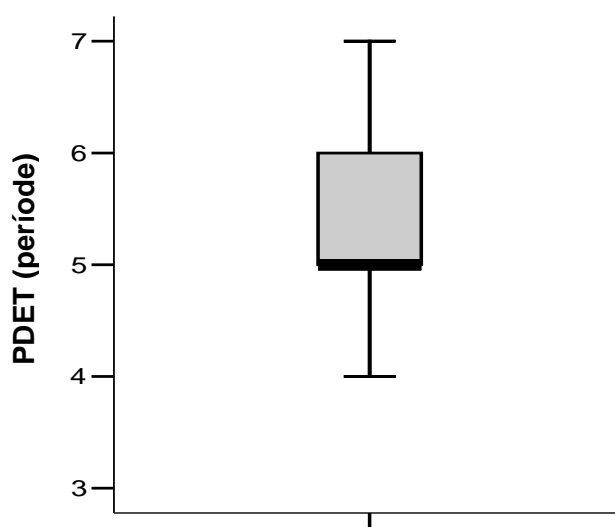
**Punt de disminució de l'efectivitat tècnica**

Un cop obtinguts els percentatges d'encerts i errors totals i per període, es va determinar un punt a partir del qual els subjectes disminuïen la seva ET, tal i com es descriu en l'apartat I.3.1.4. A aquest punt el denominem 'punt de disminució de l'efectivitat tècnica' (PDET).

**Taula II.8.** Període en que es produeix la disminució d'efectivitat tècnica (PDET). S'hi indica el percentatge en relació al període màxim (n = 38).

Variables	PDET	% màxim
Període (núm.)	5,2 ± 1,1 (3 – 7)	79,6 ± 14,6 (42,8 – 100,0)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).



**Figura II.15.** Punt de disminució d'efectivitat tècnica (PDET) en relació amb el període de càrrega.

La Taula II.9 mostra la distribució en percentils dels principals paràmetres funcionals avaluats amb el SET – Test en la mostra de jugadors de tennis d'alt nivell estudiada (n = 38).

**Taula II.9.** Taula de percentils dels principals paràmetres funcionals avaluats amb el SET – Test (n = 38).

Percentil	Talla (cm)	Pes (kg)	UP (núm.)	Durada (s)	VO <sub>2</sub> max (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	LIV1 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	LIV2 (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	ET (% encerts)
5	168,9	57,4	5,5	602,9	46,5	30,1	40,0	46,6
10	171,8	61,3	5,5	679,4	48,0	30,8	40,9	49,2
15	172,0	64,1	6,0	723,7	49,8	31,9	41,3	52,5
20	173,6	66,6	6,0	734,2	51,0	32,1	42,0	54,5
25	174,0	68,0	6,0	755,3	52,4	33,6	42,5	56,7
30	174,7	68,5	6,0	760,7	54,3	34,6	44,6	58,8
35	175,0	69,0	6,0	765,0	55,5	35,7	46,0	61,7
40	176,0	70,0	6,3	772,6	56,7	35,8	46,7	63,1
45	179,0	70,8	6,5	786,5	57,3	35,9	47,5	63,8
50	179,5	71,0	6,5	806,0	57,5	36,0	48,1	65,0
55	180,0	72,1	6,5	824,5	58,4	36,3	49,1	65,5
60	180,7	72,3	7,0	839,4	58,7	38,2	50,2	65,7
65	182,0	73,3	7,0	842,4	58,8	39,4	50,8	66,5
70	183,7	77,2	7,0	850,0	59,4	40,3	52,3	67,9
75	184,5	80,8	7,0	854,3	60,8	40,6	52,9	69,8
80	186,2	81,0	7,1	898,4	61,3	41,0	53,4	71,4
85	190,3	81,2	7,5	908,0	63,9	41,5	54,3	72,8
90	192,1	86,2	7,6	945,9	64,8	41,9	55,1	74,4
95	194,4	88,5	8,1	999,3	67,8	43,2	57,2	76,9
$\bar{x}$	179,9	72,6	6,6	807,8	57,0	36,8	48,1	63,3
s	7,2	8,2	0,7	94,2	5,7	4,0	5,3	8,5

## II.5. DISCUSSIÓ

### II.5.1. Característiques fisiològiques i de càrrega

#### *Valors màxims*

El *consum màxim d'oxigen* ( $VO_{2max}$ ) és un indicador vàlid de la màxima capacitat del sistema de transport de l'oxigen durant l'exercici físic; quan s'expressa en relació amb el pes corporal es coneix com a potència aeròbica màxima. Els valors trobats ( $57,0 \pm 6,0$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) indiquen que els jugadors de tennis tenen una potència aeròbica màxima entre moderada i alta, d'acord amb la naturalesa predominantment aeròbica de l'esport; tanmateix, aquests valors també indiquen que la potència aeròbica no representa el factor limitant del rendiment físic en el tennis. Tot i que tenir una adequada condició aeròbica és un requisit bàsic en tennistes de competició, un augment excessiu d'aquest paràmetre podria anar en contra de les capacitats de potència i velocitat determinants per al rendiment. Els valors observats en el present estudi denoten una notable adaptació a l'esforç aeròbic; així (veure Taula II.1 i Taula II.2), són superiors als valors registrats en subjectes sedentaris en les mateixes franges d'edat ( $47-56$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) (Wilmore i Costill, 2007), són també superiors als valors observats en grups d'esportistes d'especialitats de potència ( $40-55$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) o esports acrobàtics ( $52-58$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). En canvi, són sensiblement inferiors als registrats en esportistes de resistència (atletes de fons:  $60-85$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; esquí nòrdic:  $65-94$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; o ciclisme:  $62-74$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>), la qual cosa indica la importància relativa d'aquest paràmetre en el tennis en relació a altres esports en que la potència aeròbica màxima és determinant. D'altra banda, els valors observats són similars als descrits en esportistes de jocs com el futbol ( $54-64$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) o l'handbol ( $55-60$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) (Taula II.11) i en jugadors de tennis en proves de laboratori (Solanelas i Rodríguez, 1991; Bergeron et al., 1991; Solanelas, 1995; Smekal et al., 2000; Girard et al., 2006; Dansou et al., 2001; Smekal et al., 2003; Fernández et al., 2005) (Taula II.10). Existeixen poques dades d'avaluació ergoespiromètrica realitzada a la pista de tennis amb proves específiques de camp i, a més, mostren resultats heterogenis; així, Smekal et al. (2000), amb un protocol equiparable amb el del SET – Test obtenen valors inferiors ( $52,4 \pm 3,7$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) als del present estudi, i Girard et al. (2006), amb un protocol progressiu maximal realitzat a la pista i basat en la realització de patrons de moviments repetits simulant el joc, obtenen en canvi valors superiors ( $63,8 \pm 5,7$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). És possible que

algunes d'aquestes diferències vinguin donades per la utilització de diferents protocols, diferents equipaments i materials i el diferent nivell dels jugadors de les respectives mostres. No obstant, els valors publicats a la literatura (Taula II.10) oscil·len entre  $54,3 \pm 1,9$  i  $65,9 \pm 6,3$  mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> la qual cosa indica un perfil relativament homogeni dels tennistes de competició. No s'ha trobat cap estudi en que es realitzi una avaluació específica en una mostra tan àmplia de jugadors de competició.

Del nivell de potència aeròbica dels jugadors de competició se'n desprèn la necessitat de tenir una condició aeròbica prou elevada. König et al. (2000) observa que el consum màxim d'oxigen és marcadament superior en tennistes de nivell mundial que en tennistes de nivell recreatiu. Cal tenir en compte que la durada d'un partit de tennis pot oscil·lar entre 1 a 5 hores i que, tot i que la via anaeròbica alàctica té un paper notable en l'abastament d'energia (Groppel et al., 1992; Therminarias et al., 1991; Elliott et al., 1985; Smekal et al., 2001; Chandler, 1995), la síntesi d'ATP i fosfocreatina (Pc) en tennistes entrenats es fa principalment per mecanismes aeròbics (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985, Chandler, 1995). Kovacs (2006) observa que tenir una bona capacitat aeròbica és important per a la recuperació durant el joc i entre diferents sessions, el mateix autor indica que per recuperar-se ràpidament entre punts i poder mantenir una intensitat de joc elevada és recomanable un VO<sub>2max</sub> superior a 50 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>, especialment en jugadors de competició. Per altra banda, cal recordar que, tot i la notable importància que adquireix la condició aeròbica en el tennis, es tracta d'un esport amb un elevat component de potència i velocitat. Un excessiu desenvolupament de les capacitats aeròbiques podria anar en detriment de les capacitats anaeròbiques alàctiques determinants del rendiment en tennis, reduint els nivells de velocitat i potència; en aquesta línia, König et al. (2000) observen que una millora del VO<sub>2max</sub> per sobre de 65 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> en jugadors masculins no és desitjable i que pot anar acompanyada d'una pèrdua de força, velocitat i potència.

Els valors de *freqüència cardíaca màxima (FCmax)* registrats ( $193,7 \pm 7,6$  bat·min<sup>-1</sup>) indiquen clarament la sol·licitació màxima de la prova, semblants com són als registrats en proves de resistència específica en pista ( $190,0 \pm 5,2$  i  $192,9 \pm 9$  bat·min<sup>-1</sup>) (Girard et al., 2006; Smekal et al., 2000), a les obtingudes en proves de laboratori (Taula II.12) i a les obtingudes en tests específics de camp en altres esports de raqueta com el bàdminton ( $195 \pm 6$  i  $193,7 \pm 7,6$  bat·min<sup>-1</sup>) (Wonisch et al., 2003).

Els *paràmetres de càrrega (durada i període)*, a l'igual que succeeix amb els paràmetres fisiològics màxims, mostren l'homogeneïtat de la mostra i determinen el



perfil corresponent a un grup de tennistes de competició. Atès que no existeixen dades sobre aquests paràmetres, ja que es tracta d'una prova novedosa, s'aporten valors de referència en forma de percentils (Taula II.9) de les principals variables de la valoració funcional realitzada.

**Taula II.10.** Recull de valors de consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) i consum d'oxigen en el primer i segon llindar ventilatori ( $VO_2$  LIV1 i  $VO_2$  LIV2) en jugadors de competició.

Referència	Edat (anys)	n	Prova	$VO_{2max}$ ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	LIV1 ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	LIV2 ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )
Elliot et al. (1985)	20,3 ± 1,3	8	Cinta	65,9 ± 6,3	-	-
Bergeron et al. (1991)	20,3 ± 2,5	10	Cinta	58,5 ± 9,4	-	-
Solanellas i Rodríguez (1991)	17-19	50	Cinta	58,2 ± 3,1	-	51,3 ± 1,8
Solanellas i Rodríguez (1991)	>19	10	Cinta	58,9 ± 4,5	-	52,0 ± 7,2
Christmass et al. (1998)	24 ± 2	7	Cinta	53,4 ± 1,8	-	-
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Pista	52,4 ± 3,7	-	47,8 ± 4,8
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Cinta	58,3 ± 4,3	-	44,4 ± 4,3
Dansou et al. (2001)	26 ± 5	10	Cinta	58,5 ± 2,2	-	-
Smekal et al. (2003)	26,0 ± 3,7	20	Cinta	57,3 ± 5,1	-	45,2 ± 5,0
Davey et al. (2003)	21,7 ± 1,0	5	<i>Shuttle run test*</i>	58,0 ± 1,7	-	-
Fernández et al. (2005)	23,9 ± 2,5	6	Cinta	58,2 ± 2,2	-	-
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Pista	63,8 ± 5,7	44,2 ± 5,5	53,8 ± 5,5
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Cinta	58,9 ± 5,3	43,4 ± 5,8	50,5 ± 7,6
Murias et al. (2007)	16,9 ± 2,3	4	Cinta	55,5 ± 2,3	-	-
Present estudi	18,2 ± 1,3	38	Pista	57,0 ± 6,0	36,8 ± 4,2	48,2 ± 5,4

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; \*mètode indirecte per estimar el  $VO_{2max}$ .

**Taula II.11.** Valors de consum màxim d'oxigen en grups d'esportistes i no esportistes de gènere masculí (Adaptat de Costill i Willmore, 2007).

Grup	Edat (anys)	VO <sub>2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
<i>No esportistes</i>		
	10 – 19	47 – 56
	20 – 29	43 – 52
	30 – 39	39 – 48
	40 – 49	36 – 44
<i>Esports de resistència</i>		
Ciclisme	18 – 26	62 – 74
Rem	20 – 35	60 – 72
Esquí nòrdic	20 – 28	65 – 94
Natació	10 – 25	50 – 70
Atletisme de fons	18 – 39	60 – 85
<i>Jocs esportius</i>		
Beisbol	18 – 32	48 – 56
Basquetbol	18 – 30	40 – 60
Futbol americà	20 – 36	42 – 60
Hoquei sobre gel	10 – 30	50 – 63
Futbol	22 – 28	54 – 64
Handbol	-	55 – 60
<i>Esports de combat</i>		
Lluita	20 – 30	52 – 65
Judo	-	55 – 60
Esgrima	-	45 – 50
<i>Esports de potència</i>		
Llançament de pes	18 – 22	40 – 46
Halterofília	20 – 30	38 – 52
Salt amb perxa	-	45 – 50
Salt de llargada	-	50 – 55
<i>Esports tècnics acrobàtics</i>		
Gimnàstica artística	18 – 22	52 – 58
Patinatge artístic	-	50 – 55

**Taula II.12.** Recull de valors de freqüència cardíaca màxima (FCmax) i freqüència cardíaca en el primer i segon llindar ventilatori (FC LIV1 i FC LIV2) en tennistes masculins de competició.

Referència	Edats (anys)	n	Prova	FCmax (bat·min <sup>-1</sup> )	FC LIV1 (bat·min <sup>-1</sup> )	FC LIV2 (bat·min <sup>-1</sup> )
Elliot et al. (1985)	20,3 ± 1,3	8	Cinta	192 ± 11	-	-
Bergeron et al. (1991)	20,3 ± 2,5	10	Cinta	195,6 ± 6,3	-	-
Solanellas (1995)	>19	10	Cinta	189,8 ± 9,0	152,5 ± 7,6	176,9 ± 9,1
Christmass et al. (1998)	24 ± 2	7	Cinta	189 ± 3	-	-
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Cinta	193 ± 10	-	165 ± 16
Smekal et al. (2000)	26,4 ± 5,2	12	Pista	192 ± 9	-	175 ± 11
Dansou et al. (2001)	26 ± 5	10	Cinta	188 ± 2	-	-
Smekal et al. (2003)	26,0 ± 3,7	12	Cinta	193 ± 9	-	173 ± 11
Fernández et al. (2005)	23,9 ± 2,5	6	Cinta	191 ± 4	-	-
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Cinta	194,1 ± 7,7	161,1 ± 9,2	179,3 ± 9,3
Girard et al. (2006)	16,0 ± 1,6	9	Pista	190,0 ± 5,2	158,8 ± 9,3	174,9 ± 5,4
Present estudi	18,2 ± 1,3	38	Pista	193,7 ± 7,6	153 ± 11,4	177,0 ± 9,1

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ .

### *Llindars ventilatoris*

El llindar anaeròbic és un índex important de l'habilitat del sistema cardiovascular per aportar oxigen a un ritme adequat per evitar la anaerobiosis muscular durant l'exercici (Wasserman et al., 2005). El fet de tenir un elevat llindar anaeròbic proporciona a l'esportista la possibilitat de realitzar un esforç sostingut d'alta intensitat sense que s'activin de forma significativa els processos anaeròbics, amb els canvis metabòlics que això representa, la qual cosa permet treballar econòmicament a una major intensitat de càrrega.

Els valors de  $VO_2$  registrats en el segon llindar ventilatori ( $VO_2$  LIV2) ( $48,2 \pm 5,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) són clarament superiors als trobats en esportistes joves d'àmbit recreatiu ( $35,9 \pm 5,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Smith et al., 1996), però són inferiors als trobats en esportistes de resistència de nivell competitiu ( $59,0 \pm 1,1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Lucia et al., 1999). De la mateixa manera, el percentatge del  $VO_{2\text{max}}$  en que es dona el LIV2 en el present estudi ( $84,6 \pm 3,3 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) és superior al registrat en subjectes sedentaris ( $50 - 60 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) (García Manso et al., 2006), o als trobats en esportistes d'àmbit recreatiu ( $78,9 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) (Smith et al., 1996), però en canvi són netament inferiors als registrats en atletes de fons d'elit ( $94,8 \pm 2,9 \%$ ) (Jousselin i Stephan en García Manso et al., 2006). Els valors trobats en jugadors de tennis de competició en proves de laboratori (de  $44,4 \pm 4,3$  a  $52,0 \pm 7,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Taula II.10) estan en consonància als trobats en el present estudi ( $48,2 \pm 5,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Tot i que existeixen menys dades en proves específiques de camp, Smekal et al. (2000) en una prova específica també troba valors molts similars ( $47,8 \pm 4,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), mentre que Girard et al. (2006) observa valors superiors ( $53,8 \pm 5,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Tot i que la mitjana global d'intensitat d'un partit de tennis és força inferior al  $VO_{2\text{max}}$ ,  $-76,7 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$  segons Smekal et al. (2003) i només  $51,6 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$  en el present estudi— tradicionalment no s'ha donat molta importància a l'avaluació dels paràmetres submàxims, contràriament amb el que succeeix amb l'avaluació del  $VO_{2\text{max}}$ . L'avaluació dels llindars ventilatoris pot aportar una informació valuosa sobre la resistència del jugador de competició, cal remarcar que el  $VO_{2\text{max}}$  i el LIV2 mostren la mateixa capacitat predictiva del rendiment en jugadors de tennis; l'estudi de regressió múltiple realitzat en l'apartat anterior (Taula I.18) mostra com tant el  $VO_{2\text{max}}$  com el LIV2 arriben a explicar pràcticament el mateix percentatge ( $53\%$  i  $56\%$ ) de la variància de rendiment (ITN). El mateix succeeix amb l'anàlisi de regressió simple en que tant el

LIV2 com el  $VO_{2max}$  obtenen la mateixa correlació ( $r = 0,55$ ;  $p = 0,001$ ) amb la variable de rendiment (ITN).

El primer llindar ventilatori (LIV1) marca una zona a partir de la qual la contribució del metabolisme anaeròbic comença a ser rellevant en el subministrament d'energia al múscul. D'igual manera que succeeix amb el LIV2, els valors registrats en el LIV1 ( $36,8 \pm 4,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  al  $64,5 \pm 4,5 \%$  del  $VO_{2max}$ ) són superiors als trobats en subjectes físicament actius d'àmbit recreatiu ( $23,4 \pm 4,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  al  $51,5 \pm 6,6 \%$  del  $VO_{2max}$ ) (Smith et al., 1996), però netament inferiors als percentatges del  $VO_{2max}$  trobats en atletes de fons d'elit ( $86,7 \pm 4,1\%$ ) (Jousselin i Stephan en García Manso et al., 2006). Són pocs els estudis que avaluen aquest paràmetre en tennistes de competició, Girard et al. (2006) troba uns valors superiors ( $44,2 \pm 5,5$  i  $43,4 \pm 5,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) als trobats en el present estudi. Els valors de FC en el LIV1 ( $153 \pm 11,4 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) són semblants als trobats per Solanellas (1995) ( $152,5 \pm 7,6 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) però inferiors als trobats per Girard et al. (2006) ( $161,1 \pm 9,2$  i  $158,8 \pm 9,3 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Pel que fa a la freqüència cardíaca registrada en el segon llindar ventilatori ( $177,0 \pm 9,1 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ), està en consonància amb els valors observats en altres proves específiques ( $175 \pm 11 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Smekal et al., 2000), ( $174,9 \pm 5,4 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Girard et al., 2006) i també són similars als observats en proves de laboratori ( $176,9 \pm 9,1 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Solanellas, 1995), ( $179,3 \pm 9,3 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Girard et al., 2006), no obstant són lleugerament inferiors als observats per Smekal et al. (2000) ( $165,16 \pm 16 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) i Smekal et al. (2003) ( $173 \pm 9,3 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) també en proves de laboratori. Per altra banda és superior a la trobada en subjectes físicament actius d'àmbit recreatiu (Smith et al., 1996) ( $169 \pm 15 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$  al  $88,1 \%$  de la  $FC_{max}$ ).

### ***Punt de deflexió de la freqüència cardíaca***

La freqüència cardíaca és un paràmetre cardiovascular senzill de mesurar i reflexa la intensitat de l'esforç que ha de fer el sistema circulatori per satisfer les demandes incrementades de la activitat. Conconi et al. (1982) van trobar un punt de deflexió de la FC en funció de la velocitat de cursa (PDFC) i el van relacionar amb la velocitat en que apareixia el llindar de lactat. No existeixen antecedents de determinació del PDFC en una prova específica en tennistes i, per tant, no existeixen valors de referència. Els valors de PDFC registrats ( $178,6 \pm 8,7 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) són superiors als trobats en ciclistes  $-169,4 \pm 9,4 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$  (Conconi et al., 1996);  $171,7 \pm 9,6 \text{ bat}\cdot\text{min}^{-1}$  (Bodner et al.,

2002);  $165 \pm 4$  bat·min<sup>-1</sup> (Lucía et al., 2001)–, però semblants als obtinguts amb protocols que utilitzen la cursa  $-179 \pm 10$  bat·min<sup>-1</sup> (Pokan et al., 1998),  $177,0 \pm 6,0$  bat·min<sup>-1</sup> (Bunc et al., 1988) o  $178 \pm 7,7$  bat·min<sup>-1</sup> (Petit et al., 1997 en Bodner i Rhodes, 2000). Possiblement aquest fet és degut a que en les proves realitzades en ciclisme la massa muscular implicada és menor respecte a les proves realitzades amb cursa o en el cas de el SET–Test, en que s'utilitza activament tant el tren superior (copejaments), com el tren inferior (desplaçaments). Aquests valors també coincideixen amb els publicats per Wonisch et al. (2003) ( $179 \pm 5,5$  bat·min<sup>-1</sup>), qui determinen la validesa del PDFC per avaluar el rendiment aeròbic en jugadors de bàdminton.

### II.5.2. Resultats d'efectivitat tècnica

Durant la realització de les proves i amb la intenció d'obtenir informació sobre la precisió i potència dels cops es va realitzar una avaluació d'efectivitat tècnica (ET) mitjançant el registre del percentatge d'encerts i errors. Després d'una primera fase d'adaptació i una segona de màxima eficàcia, l'evolució de l'ET durant la prova és inversament proporcional a la intensitat. Els valors globals d'ET trobats (% errors:  $36,9 \pm 9,1$ ; % encerts:  $63,1 \pm 9,1$ ) mostren un elevat grau de precisió que es correspon a un nivell de competició, aquestes dades es van obtenir a partir d'un nombre important de cops per prova ( $125,5 \pm 29,1$ ). Tot i no tractar-se d'una variable fisiològica, s'observa una dispersió baixa dels resultats, la qual cosa ens indica un perfil homogeni de la mostra. Els resultats estan en consonància als obtinguts en altres proves específiques realitzades en tennistes de competició; així, Smekal et al. (2000), en una prova amb un protocol semblant al SET – Test mostra valors lleugerament inferiors (% errors  $40,9 \pm 11,7$ ). Vergauwen et al. (1997), en una prova per avaluar el rendiment dels cops simulant les condicions d'un partit en diferents situacions (neutral, defensiva i ofensiva) (Leuven Tennis Performance Test, LTPT), obté millors percentatges d'errors en una situació neutral de joc (jugadors nacionals:  $26 \pm 4$  %; jugadors internacionals:  $16 \pm 3$  %). En canvi, en una situació defensiva, més semblant a la dinàmica que es dona en el SET –Test, els percentatges van ser semblants (jugadors nacionals  $36 \pm 2$  %; jugadors internacionals  $27 \pm 2$  %). Degut a la moderada intensitat de participació, els primers períodes del SET – Test són equiparables a una situació neutral de joc en la qual els jugadors assoleixen elevats percentatges d'encerts ( $70,4 \pm 12,1$  %); l'augment progressiu de la intensitat en el decurs de la prova fa que s'arribi a un nivell de

participació equiparable a una situació de joc defensiva de gran dificultat, en la que s'assoleixen nivells pobres d'encerts ( $35,7 \pm 20,2 \%$ ). En l'evolució de l'ET per període s'observen tres fases diferenciades (Figura II.14). Una primera fase (1r i 2n períodes) en que, tot i que la intensitat de càrrega és la més baixa ( $9$  i  $11$  tirs·min<sup>-1</sup>), el nivell d'ET no és el més elevat, tot i que s'observa una tendència a la millora. Possiblement aquests dos primers períodes correspondrien a una primera fase d'adaptació a la tasca. Posteriorment (3r i 4t períodes) s'observa una segona fase de màxima eficàcia tècnica, on la intensitat de moderada a mitjana ( $13$  i  $15$  tirs·min<sup>-1</sup>) no afecta al rendiment tècnic. Finalment s'observa una tercera i última fase (del 5è al 9è períodes), on es produeix un descens progressiu de l'ET degut a l'elevada intensitat de la prova i a l'acúmulo de fatiga dels períodes anteriors.

#### ***Punt de deflexió de l'efectivitat tècnica***

Com a paràmetre d'efectivitat tècnica (ET) es va utilitzar un punt de deflexió de l'efectivitat tècnica (PDET) que determina el moment a partir del qual el jugador es troba per sota de la seva mitjana d'efectivitat tècnica global i ja no tornava a superar aquest valor mitjà. Aquest punt es va donar en els períodes finals de la prova (període:  $5,2 \pm 1,1$  al  $79,6 \pm 14,6 \%$  del màxim) i, tal i com es descriu en l'apartat de validesa interna, existeix una relació significativa ( $r = 0,46$ ,  $p = 0,004$ ) amb el període on s'assoleix el segon llinzar ventilatori (període  $4,6 \pm 0,8$  al  $70,0 \pm 9,9 \%$  del màxim). Per tant, podem dir que el PDET assenyala una zona a partir de la qual el jugador disminueix notablement el seu rendiment en precisió i potència dels cops, degut a la fatiga al llarg de la prova i a l'elevada intensitat dels últims períodes. En aquesta línia Vergauwen et al. (1998) i Davey et al. (2002) observen que la fatiga afecta al comportament del jugador amb un descens de l'efectivitat tècnica dels cops. Aquest paràmetre d'efectivitat tècnica és també inèdit i no existeixen resultats de referència. Possiblement aquest índex determini l'habilitat del jugador per mantenir el seu nivell d'ET en condicions de fatiga general, muscular i metabòlica.



## II.6. CONCLUSIONS

- Existeixen poques dades d'avaluació ergoespiromètrica realitzada a la pista de tennis i mitjançant proves específiques de camp; tampoc no s'ha trobat cap estudi que dugui a terme una avaluació específica en una mostra tan àmplia de jugadors de competició com en el present estudi. S'aporten valors de referència dels principals paràmetres avaluats.
- Els jugadors de tennis de competició presenten valors de  $VO_{2max}$  ( $57,0 \pm 6,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) entre moderats i alts d'acord amb la naturalesa aeròbica de l'esport, tot i que el nivell de potència aeròbica no representa el paràmetre més determinant.
- Tot i que un adequat nivell dels llindars ventilatoris permetrà al jugador participar en el joc de manera més eficient i que tant el  $VO_{2max}$  com el LIV2 obtenen els mateixos nivells de validesa predictiva del rendiment competitiu, tradicionalment, en l'avaluació ergoespiromètrica en tennis s'ha donat poca importància al registre de paràmetres submàxims.
- Els valors dels LIV1 i LIV2 ( $36,8 \pm 4,2$  i  $48,2 \pm 5,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) en jugadors de tennis de competició són superiors als observats en subjectes físicament actius però inferiors als valors observats en esportistes de resistència.
- Els valors globals d'efectivitat tècnica trobats (% encerts:  $63,1 \pm 9,1$ ) mostren un elevat nivell de precisió i potència i indiquen el perfil dels tennistes de competició en relació a aquesta variable.
- En l'evolució de l'ET durant la prova s'observen tres fases: una primera fase d'adaptació a la tasca, una segona de màxima eficàcia i una tercera de deteriorament de l'ET; globalment, l'ET evoluciona de manera inversament proporcional a la intensitat de l'esforç.

**Capítol III. ANÀLISI DE LES DEMANDES  
BIOENERGÈTIQUES DE LA COMPETICIÓ  
INDIVIDUAL**



### **III. ANÀLISI DE LES DEMANDES BIOENERGÈTIQUES DE LA COMPETICIÓ INDIVIDUAL**

#### **III.1. Objectius**

#### **III.2. Disseny de la investigació**

#### **III.3. Material i mètodes**

III.3.1. Subjectes

III.3.2. Material

III.3.3. Procediment

III.3.4. Paràmetres

III.3.5. Anàlisi estadística

#### **III.4. Resultats**

III.4.1. Resultats dels partits

III.4.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

III.4.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

#### **III.5. Discussió**

III.5.1. Resultats dels partits

III.5.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

III.5.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

#### **III.6. Conclusions**

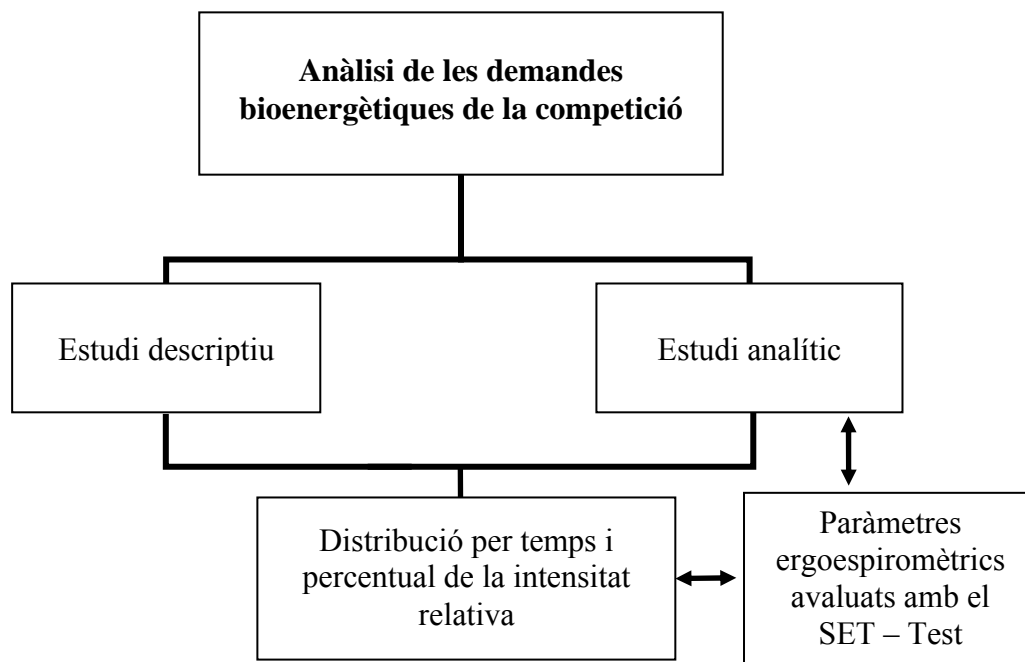
**III.1. OBJECTIUS**

L'objectiu primari d'aquest tercer estudi és:

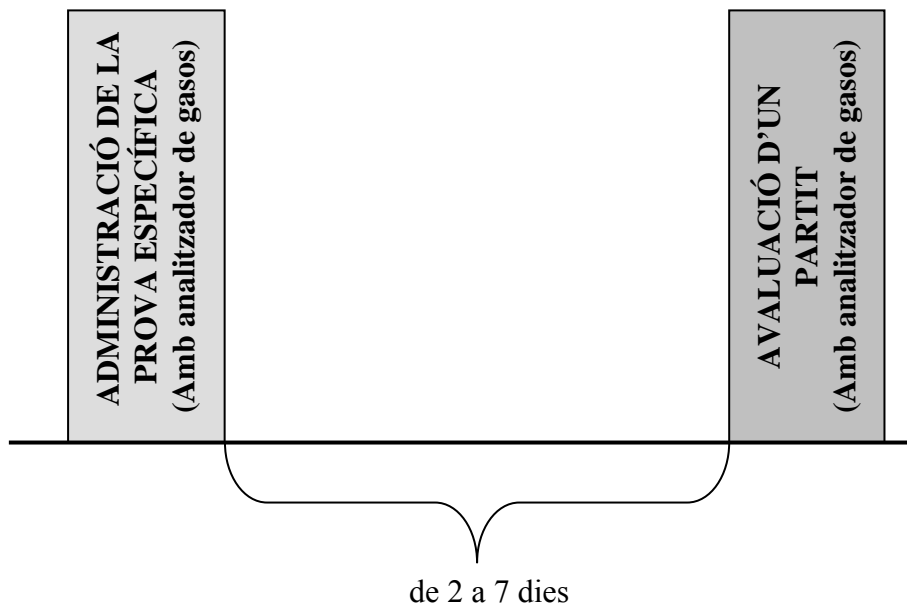
- Caracteritzar les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals en jugadors de competició per tal d'establir un model de rendiment i, en conseqüència, d'entrenament específic en funció de les demandes funcionals de l'esport.

### III.2. DISSENY DE LA INVESTIGACIÓ

En aquest tercer estudi es van determinar les demandes a nivell bioenergètic d'un partit de tennis d'individuals (Figura III.1). Un grup de 20 tennistes –dels qui varen participar en l'estudi anterior– va jugar deu partits de competició simulada al millor de dos sets cadascun i es van registrar paràmetres ergoespiromètrics amb un primer objectiu de realitzar una anàlisi descriptiva. Els partits es van jugar amb un interval d'entre 2 i 7 dies després d'haver realitzat la prova específica (Figura III.2). Posteriorment es va realitzar un estudi analític relacionant els paràmetres ergoespiromètrics obtinguts amb els partits amb els mateixos paràmetres obtinguts pels mateixos subjectes ( $n = 20$ ) i avaluats amb el SET – Test, obtenint d'aquesta manera la distribució per temps i percentual de la intensitat relativa dels partits.



**Figura III.1.** Esquema descriptiu del tercer estudi de que consta la recerca.



**Figura III.2.** Cronograma de l'administració de les proves i avaluació dels partits.

**III.3. MATERIAL I MÈTODES****III.3.1. Subjectes**

Van participar 20 jugadors de la mostra total de 38. La Taula III.1 resumeix les seves característiques generals. Tots els jugadors es trobaven entre el nivell ITN 1 i 4, corresponent a uns nivells d'elit a avançat: cinc jugadors amb ITN 1, nou jugadors amb un ITN 2, cinc jugadors amb un ITN 3 i 1 jugador amb un ITN 4. Quatre dels subjectes de la mostra tenien classificació internacional ATP i els setze restants tenien un nivell nacional.

**Taula III.1.** Dades generals dels subjectes.

	Edat (anys)	Talla (cm)	Pes (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Volum d'entrenament (h/setmana)	
					Tècnic	Físic
$\bar{x}$	18,0	179,0	71,9	22,2	3,9	1,7
s	1,2	8,4	9,5	1,4	0,2	0,5
màx	20,3	194,0	92,0	24,4	4	2
mín	16,5	167,0	56,2	18,4	3	1
rang	3,8	27	35,8	6	1	1

**III.3.2. Material**

- **Analitzador de gasos portàtil telemètric** (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Itàlia), utilitzat en l'aplicació de la tercera prova (T3).
- **Cardiotacòmetres** (Polar S-810 i S-610, Finlàndia).
- **Pilotes de tennis** (Babolat Team, Japó).
- **Cronòmetres digitals** (Casio, Japó).
- **Programari informàtic.** Programes de funcionalitat específica, programes d'integració i sistemes operatius: Microsoft Word 2002, Microsoft Excel 2002, SPSS 13.0 per a Windows, Data Management Software K4b<sup>2</sup> versió 7.4b, Polar Precision Performance versió 4.03.043, Method Validator versió 1.19, TCD (TwoCampsDisplay) Sport Suport 2006.
- **Ordinadors portàtils** (Acer TravelMate 290, Taiwan i Dell Inspiron, Irlanda).

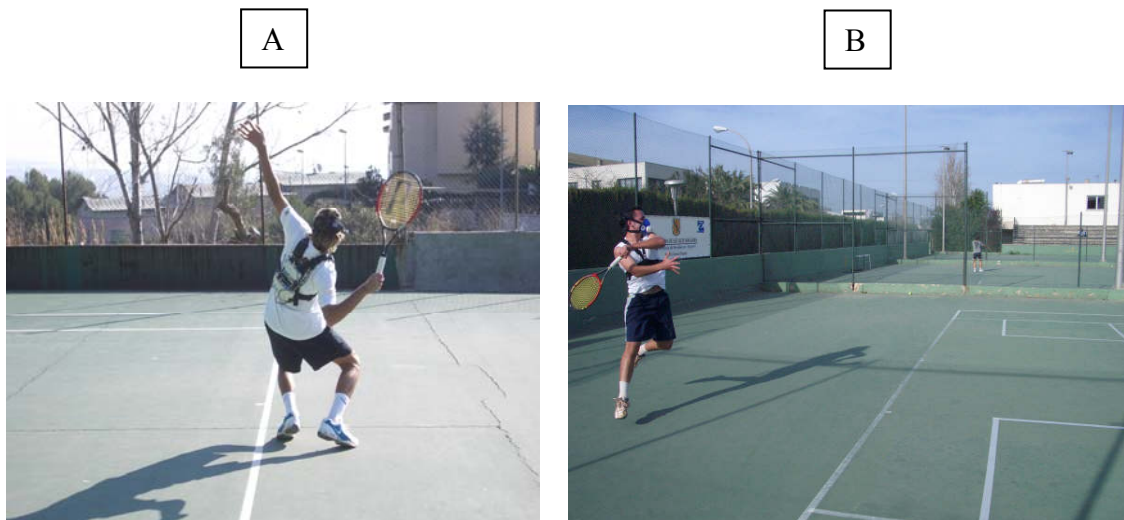


### III.3.3. Procediment

Amb l'objectiu de determinar les demandes cardiorespiratòries i bioenergètiques d'un partit de tennis d'individuals i comparar els resultats obtinguts amb els paràmetres ergoespiromètrics trobats en la prova progressiva, una submostra de jugadors va realitzar 20 sets de competició simulada amb la disputa de 10 partits de dos sets de durada. Els partits es van realitzar amb un interval mínim de 2 a 7 dies després d'haver realitzat la prova específica (Figura III.2). Els partits van ser al millor de dos sets, de manera que un dels jugadors portava l'analitzador de gasos portàtil durant el primer set (registre de dades cardiorespiratòries i metabòliques) mentre que l'altre jugador portava un cardiotacòmetre (registre de la freqüència cardíaca). Durant el segon set es realitzava un canvi del material de registre entre els jugadors (Taula III.2). D'aquesta manera es van obtenir dades relatives a 20 sets administrats amb analitzador de gasos portàtil i 20 sense analitzador. Els partits es van realitzar seguint les directrius marcades pel reglament oficial de tennis (International Tennis Federation, 2007), en superfícies de velocitat mitjana (Green set<sup>®</sup>) i pilotes homologades per la ITF (Babolat Team<sup>®</sup>). Els partits es van iniciar amb pilotes noves. Tots els partits van estar precedits d'un escalfament específic de la mateixa manera que es realitza abans d'una competició. Els jugadors podien veure aigua i begudes isotòniques en els canvis de camp. Tant l'entrenador com els propis investigadors van animar als jugadors per tal que s'esforcessin al màxim durant el desenvolupament dels partits i simulessin de la millor manera les condicions pròpies de la competició.

**Taula III.2.** Esquema de la distribució de l'analitzador de gasos i cardiotacòmetre en els partits avaluats.

Jugador	1r set	2n set
1	Analitzador de gasos	Cardiotacòmetre
2	Cardiotacòmetre	Analitzador de gasos



**Figura III.3.** Imatges de les accions de servei (A) i cop de dreta (B) en dos subjectes durant el registre ergoespiromètric dels partits.

### III.3.4. Paràmetres

#### *Paràmetres ergomètrics o de càrrega*

- **Durada dels sets (min:s).**

#### *Paràmetres fisiològics*

- **$\text{VO}_2$  ( $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** consum d'oxigen.
- **$\text{VO}_2$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** consum d'oxigen en relació al pes corporal actual del subjecte.
- **$\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** consum màxim d'oxigen en relació al pes del subjecte.
- **$\text{VCO}_2$  ( $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** producció de diòxid de carboni.
- **$\text{V}_E$  ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ):** ventilació pulmonar o volum minut respiratori.
- **R:** quocient respiratori ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ).
- **$\text{V}_E / \text{VO}_2$ :** equivalent respiratori de l'oxigen ( $\text{EqO}_2$ ).
- **$\text{V}_E / \text{VCO}_2$ :** equivalent respiratori del diòxid de carboni ( $\text{EqCO}_2$ ).
- **$\text{FEO}_2$ :** fracció espirada d'oxigen (%). Indica la concentració d' $\text{O}_2$  en l'aire espirat (%).
- **$\text{PETO}_2$  (mmHg):** pressió d'oxigen al final de la respiració (telexpiratòria) en mmHg.
- **$\text{FECO}_2$  (mmHg):** fracció espirada de diòxid de carboni (%). Indica la concentració de  $\text{CO}_2$  en l'aire espirat.
- **$\text{PETCO}_2$  (mmHg):** pressió de diòxid de carboni al final de cada espiració en mmHg.

- **Primer llindar ventilatori (LIV1):** primer llindar ventilatori o llindar aeròbic.
- **Segon llindar ventilatori (LIV2):** segon llindar ventilatori o llindar anaeròbic.
- **FC (bat·min<sup>-1</sup>):** freqüència cardíaca.
- **FCmax (bat·min<sup>-1</sup>):** freqüència cardíaca màxima.

*Nivell competitiu del jugador*

- **ITN (escala de 1 a 10):** *Internacional Tennis Number*.

### III.3.5. Anàlisi estadística

Es van calcular els paràmetres descriptius bàsics: mitjana ( $\bar{x}$ ), desviació estàndard (s), valors extrems (màxim i mínim) i el rang . Es va aplicar la prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnov a totes les variables de l'estudi, prova que permet la comparació de la distribució acumulada d'una variable contínua amb les distribucions teòriques de la llei normal.

**III.4. RESULTATS****III.4.1. Resultats dels partits**

Es van analitzar un total de 170 jocs distribuïts en 20 sets i 10 partits (Taula III.3), dels quals 4 (40% del total) es van acabar amb dos sets a zero i els 6 restants (60% del total) amb empat a 1 set. Dels 20 sets realitzats, 6 d'ells (30% del total) van ser guanyats pel jugador que portava l'analitzador de gasos i els 14 restants realitzats (70% del total) van ser guanyats pel jugador que no portava l'analitzador de gasos. La durada mitjana dels sets va ser de 31:03 ± 11:23 min:s (entre 15:15 i 59:00).

**Taula III.3.** Resultats dels partits i durada dels sets disputats amb i sense analitzador de gasos portàtil.

n <sup>o</sup>	Partit		Resultat			Durada	
	Jugadors (núm.)	1r set* (jocs)	2n set (jocs)	Final (sets)	1r set (min:s)	2n set (min:s)	
1	1 vs. 2	4/6	6/0	1 – 1	35:46	15:00	
2	3 vs. 4	6/2	6/3	2 – 0	25:50	22:05	
3	5 vs. 6	6/0	6/0	2 – 0	19:00	15:30	
4	7 vs. 8	2/6	6/4	1 – 1	21:30	23:30	
5	9 vs.10	5/7	6/2	1 – 1	56:49	32:30	
6	11 vs. 12	3/6	3/6	0 – 2	40:50	30:14	
7	13 vs. 14	2/6	3/6	0 – 2	24:30	24:00	
8	15 vs. 16	3/6	6/3	1 – 1	30:17	27:00	
9	17 vs. 18	4/6	6/4	1 – 1	35:45	31:48	
10	19 vs. 20	6/1	1/6	1 – 1	24:58	32:25	

\*Durant el primer set portava l'analitzador de gasos el primer dels dos jugadors indicats.

#### III.4.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

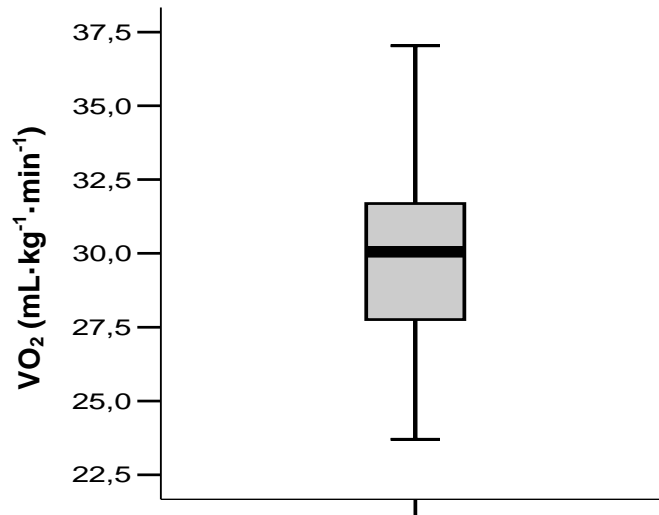
Per tal de determinar la intensitat absoluta dels partits es van monitoritzar de forma contínua els diferents paràmetres ergoespiromètrics dels jugadors durant el joc. Dels valors descriptius d'aquests paràmetres (Taula III.4, Taula III.5 i Taula III.6) se'n desprèn que la sol·licitació funcional en els 10 partits va ser moderada. També es va determinar la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmetrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) avaluats amb el SET – Test dins un interval de 2 a 7 dies previs a la disputa dels partits. S'observa que aquesta intensitat relativa de joc queda clarament per sota de la intensitat corresponent al  $VO_{2max}$  i al LIV2 i es més propera a la intensitat del LIV1, tot i que no arriba a assolir aquest nivell. La mitjana dels valors màxims sobrepassen la intensitat del LIV1 i arriben a la intensitat aproximada del LIV2. Els valors mitjans mínims són reduïts i queden allunyats de les intensitats dels llindars ventilatoris i del  $VO_{2max}$ .

**Taula III.4.** Valors ergoespiromètrics mitjans registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

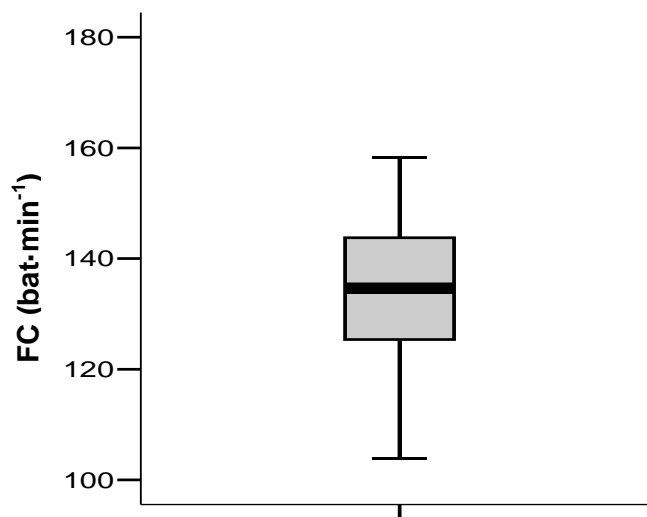
Variables	Valors mitjans	% $VO_{2max}$	% LIV1	% LIV2
$VO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	2151 ± 362,5 (1544 – 2667)	51,6 ± 8,6 (41,1 – 70,1)	80,7 ± 15,2 (64,2 – 115,8)	60,7 ± 11,3 (47,3 – 84,9)
$VO_2$ ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	29,9 ± 3,7 (23,7 – 37,0)	51,6 ± 8,6 (41,1 – 70,1)	80,7 ± 15,2 (64,2 – 115,8)	60,7 ± 11,3 (47,3 – 84,9)
$VCO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	1996,4 ± 312,9 (1456,5 – 2437,9)	41,6 ± 7,8 (28,6 – 57,0)	82,6 ± 15,0 (65,6 – 110,3)	56,6 ± 9,9 (43,4 – 77,9)
$V_E$ ( $L \cdot min^{-1}$ )	54,9 ± 8,6 (43,5 – 71,4)	40,1 ± 6,2 (30,7 – 49,1)	83,8 ± 14,8 (63,7 – 112,2)	56,9 ± 9,5 (43,0 – 72,8)
FC ( $bat \cdot min^{-1}$ )	138,1 ± 14,5 (123,5 – 173,8)	71,5 ± 6,5 (63,4 – 86,0)	89,7 ± 12,5 (70,7 – 123,7)	76,9 ± 9,8 (56,8 – 96,9)
R	0,94 ± 0,03 (0,89 – 1,02)	82,8 ± 7,9 (70,9 – 97,7)	104,3 ± 7,2 (92,8 – 117,5)	95,0 ± 7,5 (84,6 – 113,5)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la distribució dels valors mitjans de consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) (Figura III.4) i freqüència cardíaca (FC) (Figura III.5) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

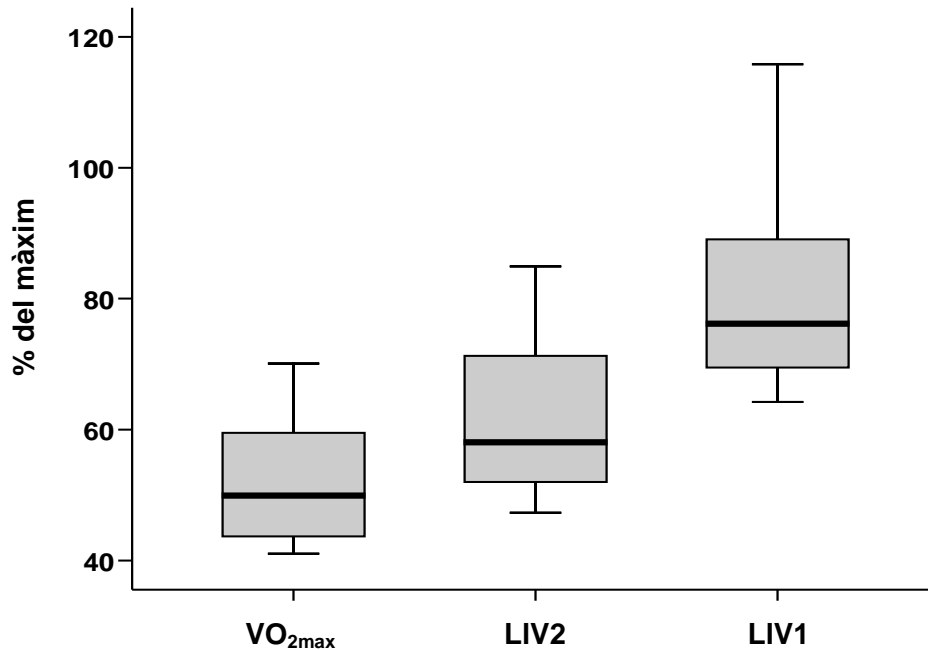


**Figura III.4.** Valors mitjans de consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

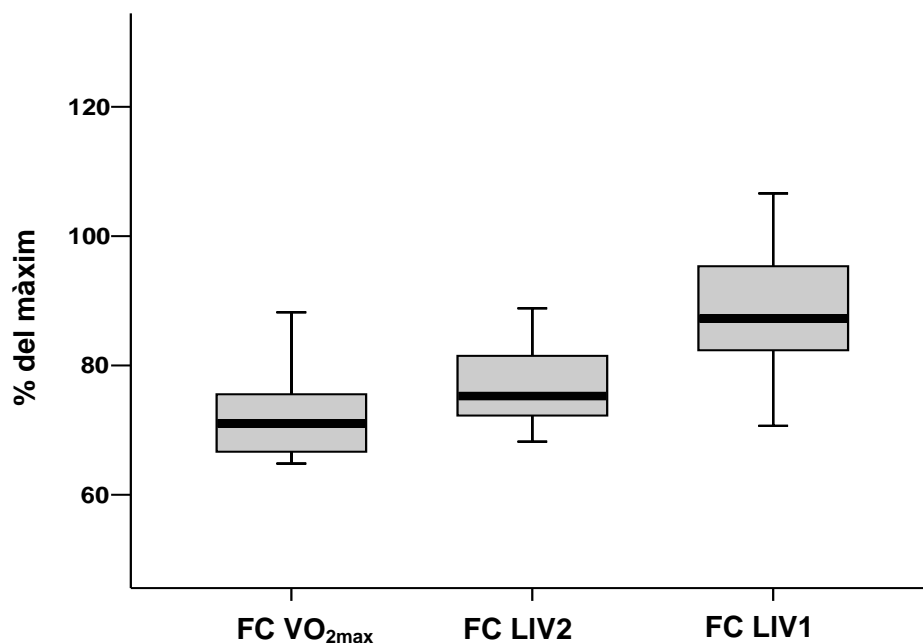


**Figura III.5.** Valors mitjans de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la intensitat relativa corresponent als valor mitjans de VO<sub>2</sub> (Figura III.6) i de FC (Figura III.7) registrats en els partits, relatius als valors dels paràmetres ergoespiromètrics (VO<sub>2max</sub>, LIV1 i LIV2) determinats individualment amb l'aplicació del SET – Test.



**Figura III.6.** Distribució percentual dels valors mitjans de VO<sub>2</sub> registrat durant els sets disputats (n = 20) respecte del consum màxim d'oxigen (VO<sub>2max</sub>) i del primer i segon llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET –Test.



**Figura III.7.** Distribució percentual dels valor mitjans de FC registrada durant els sets disputats (n = 20), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC VO<sub>2max</sub>) i al primer i segon llinars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2) determinats en el SET –Test.

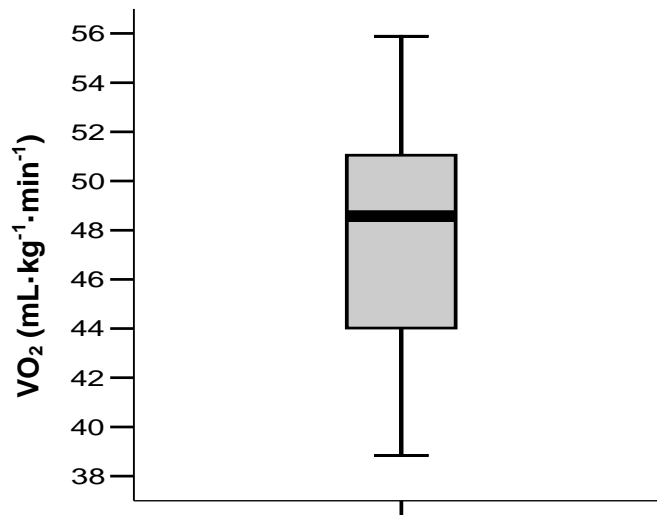


**Taula III.5.** Valors ergoespiromètrics màxims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmètrics màxims ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

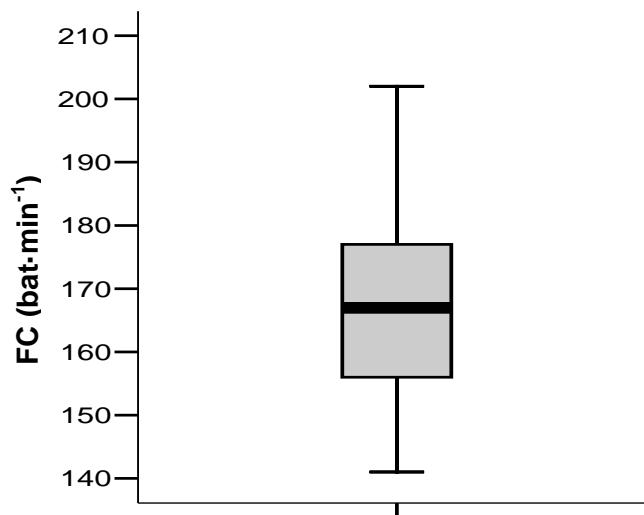
Variables	Valors màxims	% $\text{VO}_{2\text{max}}$	% LIV1	% LIV2
$\text{VO}_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$3459,7 \pm 643,6$ (2618,1 – 4866,9)	$82,6 \pm 10,9$ (67,9 – 96,6)	$129,2 \pm 19,9$ (105,0 – 160,2)	$97,0 \pm 14,5$ (78,6 – 118,4)
$\text{VO}_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$47,9 \pm 4,5$ (38,8 – 55,9)	$82,6 \pm 10,9$ (67,9 – 96,6)	$129,1 \pm 19,9$ (105,0 – 160,2)	$97,0 \pm 14,5$ (78,6 – 118,4)
$\text{VCO}_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$3216,6 \pm 590,8$ (2391,1 – 4203,5)	$66,8 \pm 11,6$ (49,4 – 89,8)	$133,2 \pm 26,1$ (103,2 – 198,6)	$90,8 \pm 14,8$ (72,6 – 116,9)
$\text{V}_E$ ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$88,4 \pm 17,7$ (63,2 – 120,5)	$64,3 \pm 11,7$ (49,6 – 87,9)	$135,2 \pm 30,6$ (87,4 – 202,3)	$91,2 \pm 17,2$ (69,5 – 119,5)
FC ( $\text{bat} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$167 \pm 17,1$ (141,0 – 202,0)	$86,1 \pm 7,9$ (72,5 – 100,0)	$109,8 \pm 15,2$ (90,1 – 153,7)	$94,0 \pm 10,5$ (78,7 – 120,4)
R	$1,34 \pm 0,23$ (1,10 – 1,90)	$119,7 \pm 25,6$ (83,4 – 171,6)	$151,1 \pm 31,9$ (115,5 – 211,6)	$94,0 \pm 10,5$ (78,7 – 120,4)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la distribució dels valors màxims de consum màxim d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) (Figura III.8) i freqüència cardíaca (FC) (Figura III.9) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

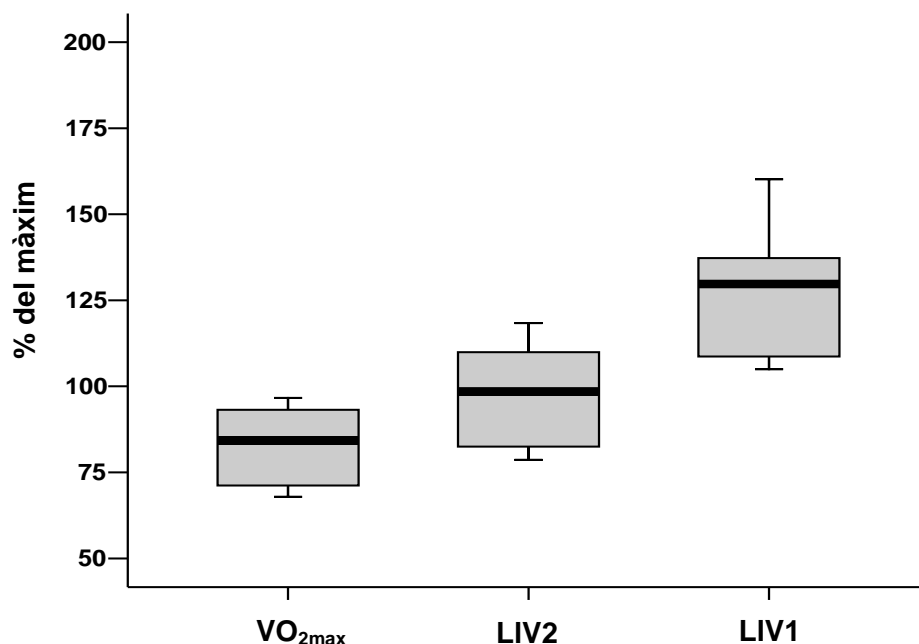


**Figura III.8.** Valors màxims de consum d'oxigen ( $\text{VO}_2$ ) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

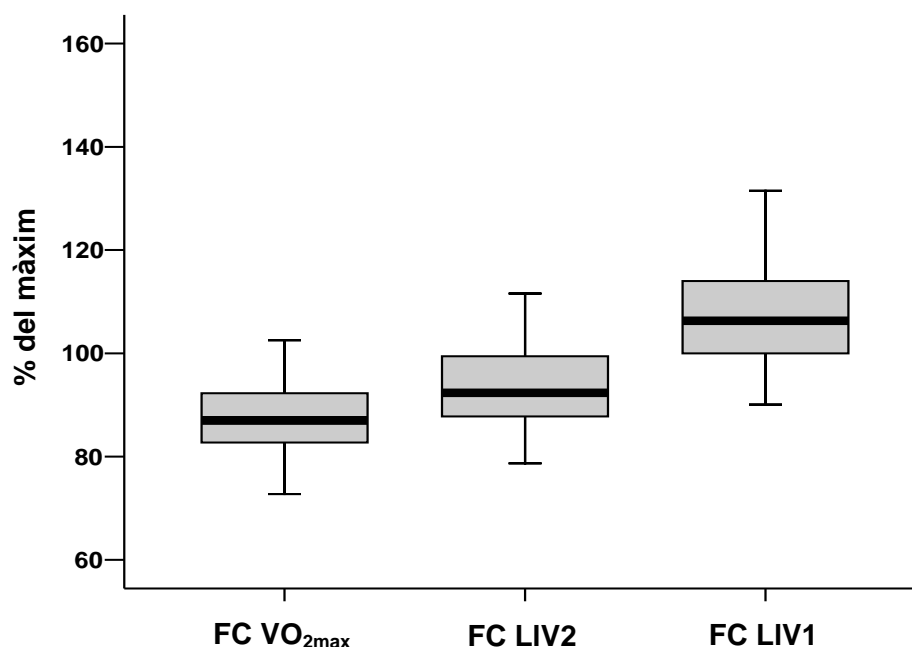


**Figura III.9.** Valors màxims de freqüència cardíaca (FC) registrats durant els sets disputats ( $n = 20$ ).

A continuació es presenten mitjançant diagrames de caixa la intensitat relativa corresponent als valors màxims de  $VO_2$  (Figura III.10) i de FC (Figura III.11) registrats durant els sets disputats, relatius als valors dels paràmetres ergoespiromètrics ( $VO_{2max}$ , LIV1 i LIV2) determinats individualment amb l'aplicació del SET – Test.



**Figura III.10.** Distribució percentual dels valors màxims de  $VO_2$  registrat durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte del consum màxim d'oxigen ( $VO_{2max}$ ) i el primer i segon llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.



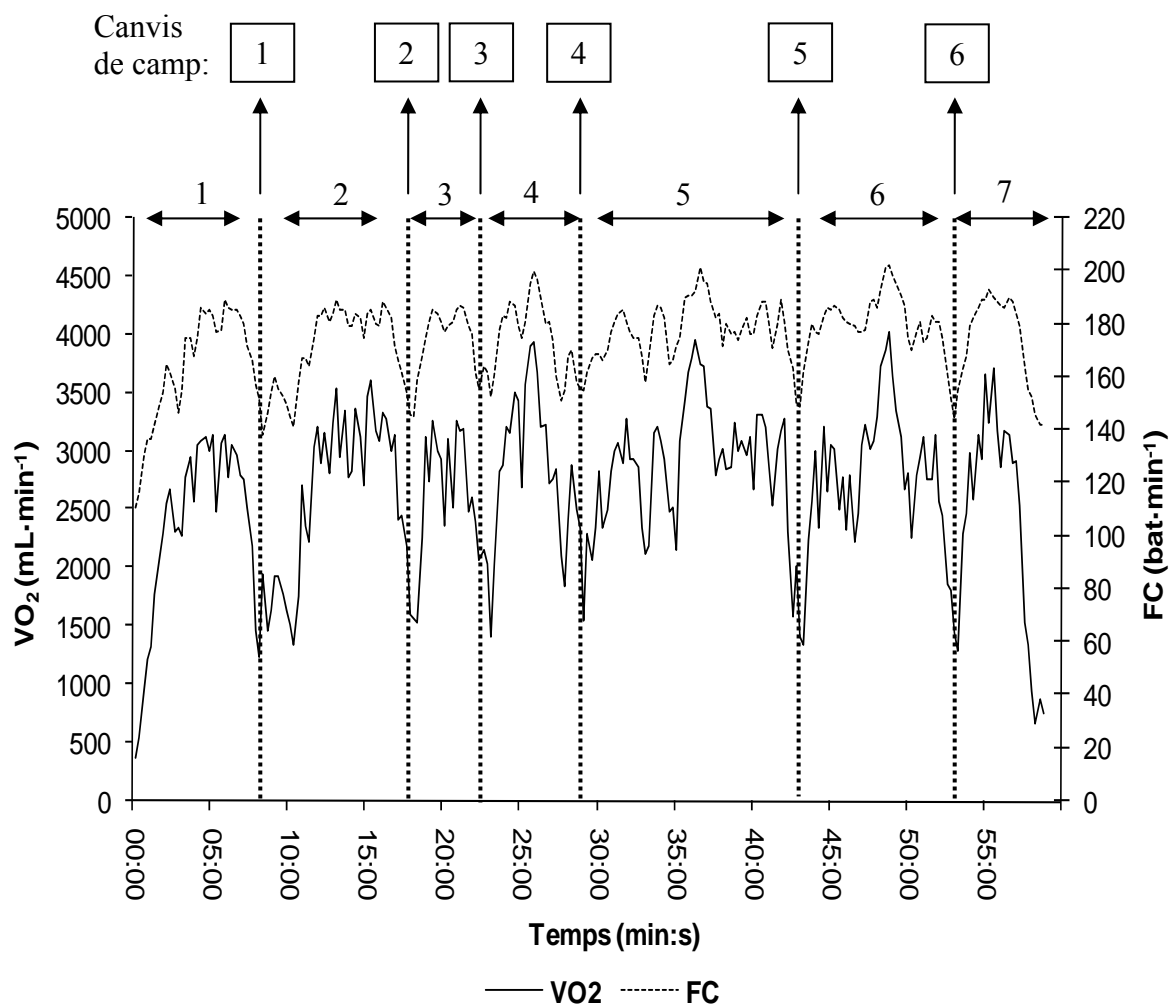
**Figura III.11.** Distribució percentual dels valors màxims de FC registrada durant els sets disputats ( $n = 20$ ), respecte de la FC al consum màxim d'oxigen (FC  $VO_{2max}$ ) i al primer i segon llinars ventilatoris (FC LIV1 i FC LIV2) determinats en el SET – Test.

**Taula III.6.** Valors ergoespiromètrics mínims registrats durant els sets disputats (n = 20). S'indica la intensitat relativa en funció dels paràmetres ergoespiròmetrics màxims ( $VO_{2max}$ ) i submàxims (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

Variables	Valors mínims	% $VO_{2max}$	% LIV1	% LIV2
$VO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	$546,0 \pm 171,3$ (230,1 – 845,5)	$13,7 \pm 3,4$ (8,8 – 20,8)	$21,1 \pm 5,4$ (12,5 – 31,6)	$16,1 \pm 4,1$ (10,3 – 24,9)
$VO_2$ ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	$8,1 \pm 1,9$ (5,1 – 11,7)	$13,7 \pm 3,4$ (8,8 – 20,8)	$21,1 \pm 5,4$ (12,5 – 31,6)	$16,1 \pm 4,1$ (10,3 – 24,9)
$VCO_2$ ( $mL \cdot min^{-1}$ )	$598,7 \pm 168,5$ (353,2 – 819,0)	$12,5 \pm 4,4$ (7,5 – 21,9)	$24,3 \pm 9,1$ (14,1– 43,4)	$16,2 \pm 5,4$ (7,3 – 29,1)
$V_E$ ( $L \cdot min^{-1}$ )	$20,3 \pm 5,0$ (12,2 – 27,9)	$15,3 \pm 4,5$ (9,7 – 22,9)	$31,2 \pm 8,9$ (20,5 – 52,3)	$21,6 \pm 5,9$ (51,8 – 9,2)
FC ( $bat \cdot min^{-1}$ )	$96,4 \pm 13,3$ (81,0 – 121,0)	$48,6 \pm 6,7$ (37,9 – 62,7)	$61,7 \pm 8,2$ (49,7 – 78,0)	$51,8 \pm 9,2$ (29,8 – 67,9)
R	$0,75 \pm 0,05$ (0,62 – 0,81)	$65,7 \pm 6,7$ (56,2 – 78,9)	$83,0 \pm 8,3$ (65,6 – 97,7)	$75,5 \pm 7,4$ (61,0 – 87,8)

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

La Figura III.12 mostra l'evolució de la FC i el VO<sub>2</sub> durant la disputa d'un set amb una durada de 56:49 min:s i un resultat de 7/5. S'indiquen els canvis de camp realitzats, que delimiten 7 intervals de joc. S'observen les variacions en la intensitat determinades pels descansos en els canvis de camp (un màxim de 90 s); també s'observa que dins de cada interval de joc també es produeixen fluctuacions de la intensitat de joc, encara que no tan pronunciades.



**Figura III.12.** Evolució de la freqüència cardíaca (FC) i del consum d'oxigen (VO<sub>2</sub>) en un jugador durant la disputa d'un set. S'indiquen els descansos corresponents als canvis de camp i els intervals de joc definits pels descansos.

### III.4.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

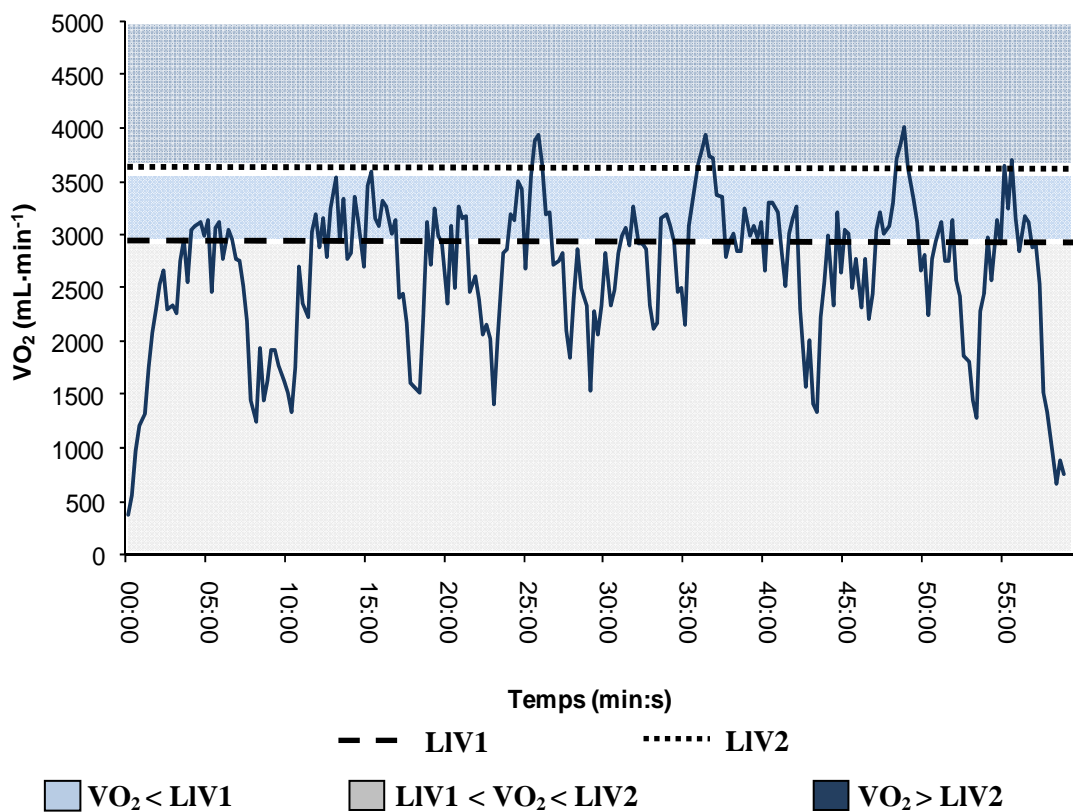
En base als paràmetres ergoespiromètrics determinats amb l'aplicació del SET – Test es va procedir a calcular el temps (min:s) i el percentatge de temps (%) en relació als intervals definits pel consum d'oxigen en els llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2) (Taula III.7). S'observa com durant la major part del temps la intensitat era inferior al LIV1, només en moments puntuals la intensitat de joc va ser superior al LIV2.

**Taula III.7.** Distribució temporal i percentual de la intensitat durant els sets disputats (n = 20) en relació al VO<sub>2</sub> en els llinars ventilatoris (LIV1 i LIV2).

Zones d'intensitat	Temps (min:s)	% del temps total
VO <sub>2</sub> < LIV1	22:14 ± 08:26 (06:45 – 36:15)	77,2 ± 24,5 (14,3 – 99,0)
LIV1 < VO <sub>2</sub> < LIV2	07:14 ± 09:25 (00:15 – 33:30)	20,0 ± 21,2 (1,0 – 70,9)
VO <sub>2</sub> > LIV2	01:00 ± 01:55 (00:00 – 07:00)	2,9 ± 4,7 (0,0 – 14,8)

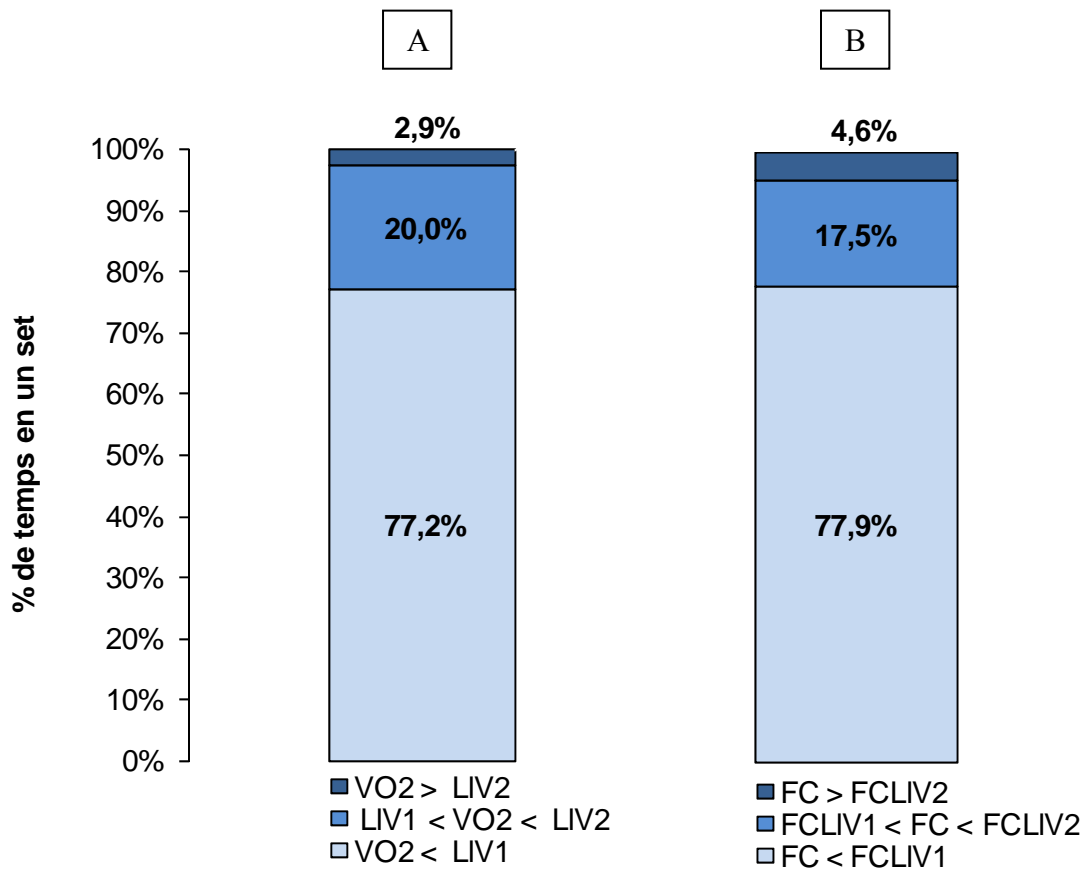
Les dades són:  $\bar{x} \pm s$  (mín – màx).

La Figura III.13 mostra el registre de  $VO_2$  mesurat mitjançant la monitorització telemètrica d'un subjecte durant la disputa d'un set. Amb una línia discontinua s'indiquen els valors de LIV1 i amb una línia de punts s'indica els valors de LIV2. En funció d'aquests dos paràmetres es defineixen tres zones diferents d'intensitat identificables segons diferents coloracions. S'observa com la major part de la disputa del set el jugador va participar amb un nivell d'intensitat inferior al LIV1, com en menor mesura participa en una intensitat definida entre els dos llindars ventilatoris i com en moments puntuals del partit participa a una intensitat superior al segon llindar ventilatori.



**Figura III.13.** Evolució del consum d'oxigen ( $VO_2$ ) d'un subjecte durant un set. S'indiquen les zones de  $VO_2$  intensitat relatives al primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) determinats en el SET – Test.

La Figura III.14 mostra la distribució temporal de la intensitat en relació amb els llindars ventilatoris i el  $VO_{2max}$  durant els 20 sets disputats.



**Figura III.14.** Distribució percentual de la durada total dels sets segons els intervals definits pel  $VO_2$  en el primer i segon llindars ventilatoris (LIV1 i LIV2) (A), i la FC per aquests dos llindars (FC LIV1 i FC LIV2) (B).



### **III.5. DISCUSSIÓ**

En la preparació d'una modalitat determinada a nivell d'elit, tots els objectius, mètodes, continguts, eines i estructures de l'entrenament esportiu s'han d'orientar cap a les exigències de la futura estructura de rendiment en la modalitat o disciplina en qüestió (Weineck, 2005). Obtenir informació sobre les demandes bioenergètiques d'un partit de tennis és essencial per poder planificar l'entrenament de manera específica. Identificant el perfil fisiològic del tennis, els entrenadors podran dissenyar programes d'entrenament per optimitzar les millores en la direcció desitjada (Groppel i Roetert, 1992). Segons Godik (1989) la magnitud de la càrrega de la competició es pot avaluar en funció del seu component extern o físic (durada i velocitat d'execució, nombre de repeticions, etc.) o segons la càrrega interna o fisiològica en funció de les reaccions funcionals de l'organisme. Aquest mateix autor assenyala que en els esports de pilota, resulta més complex utilitzar indicadors físics que no pas fisiològics, degut a la considerable variabilitat dels exercicis, de la intensitat i de la magnitud de les respostes. Bergeron et al. (1991) assenyalen que atès que el tennis inclou exercicis intermitents de diferents intensitats i durades, amb períodes de recuperació, i es realitza durant un període de durada llarga, aquest escenari és difícilment reproduïble en un laboratori i, per tant, es fa necessari realitzar una anàlisi de l'esport en la mateixa pista. Davey et al. (2003) desenvolupen un protocol realitzat a la pista, basat en l'anàlisi de diferents partits, amb l'objectiu de simular un partit de tennis. Aquests autors, mitjançant aquest protocol, aconseguixen simular algunes de les respostes fisiològiques del joc, no obstant el tennis és un esport obert que depèn de multitud de factors que són difícilment reproduïbles en condicions protocol·litzades. En conseqüència, és necessari obtenir més informació sobre els requeriments d'un partit de tennis i analitzar indicadors fisiològics de càrrega interna en condicions de pràctica específica. No s'ha trobat cap estudi que realitzi una avaluació de la competició simulada amb un nombre tant important de jugadors i que compari els registres directes amb una avaluació específica realitzada a la pista.

#### **III.5.1. Resultats dels partits**

Per tal de registrar dades ergoespiromètriques en competició simulada es van jugar partits de dos sets dels quals un es jugava amb analitzador de gasos i l'altre sense. El nombre de partits que van finalitzar amb empat a un set (60% del total) mostra la homogeneïtat de la mostra en relació al nivell de rendiment en joc. Tot i que, tal i com

es descriu en l'apartat de fiabilitat de la prova progressiva, la realització del SET – Test amb analitzador de gasos no altera significativament el resultat del mateix, el major percentatge de sets guanyats sense l'analitzador de gasos (70% del total), fa pensar que els jugadors es desenvolupaven millor durant el joc sense l'aparell. La durada mitjana observada dels sets ( $31:03 \pm 11:23$  min:s) es correspondria a una durada aproximada d'entre 62 i 93 minuts de joc, en partits de dos sets i tres sets, respectivament, el que s'ajusta a la durada real en partits de competició sobre pista dura indicats per Vila (1999).

### III.5.2. Estudi descriptiu i analític dels paràmetres fisiològics

Un dels paràmetres fonamentals que determinen la càrrega total de la competició és la seva intensitat. Alguns dels millors indicadors per monitoritzar la intensitat durant la competició són la freqüència cardíaca (FC) i, especialment, el consum d'oxigen ( $VO_2$ ). El registre d'aquests paràmetres durant la competició simulada mostren uns valors mitjans moderats ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7$  mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; FC:  $138 \pm 14,5$  bat·min<sup>-1</sup>), que es corresponen a una intensitat relativa submàxima també moderada ( $VO_2$ :  $51,6 \pm 8,6$  % del  $VO_{2max}$ ; FC:  $71,5 \pm 6,5$  % de la FCmax), amb la qual cosa podem dir que el sistema de transport d'oxigen no és un factor limitant en el tennis. Si analitzem aïlladament aquests valors mitjans i si tenim en compte aspectes com la durada d'un partit de tennis (d'1 a 4 hores), hom pot pensar que aquest esport representa un esforç perllongat d'intensitat moderada i que es tracta d'un esport predominantment aeròbic. En aquesta línia, Bergeron et al. (1991) assenyalen que el conjunt de respostes metabòliques s'assemblen a un exercici de llarga durada i d'intensitat moderada. No obstant això, cal tenir en compte la naturalesa intermitent del tennis: durant el joc es dona una successió d'accions explosives d'alta intensitat (cops i desplaçaments) i d'una durada mitjana inferior als 10 s (Yoneyama et al., 1999; O'Donoghue i Ingram, 2001; Smekal et al., 2001; Kovacs, 2004; Girard et al., 2005; Murias et al., 2007; Mendez-Villanueva et al., 2007), que s'alternen amb períodes de 20 s de descans entre punts i 90 s en els canvis de camp segons el reglament vigent (International Tennis Federation, 2007). En aquest escenari, el metabolisme anaeròbic làctic adquireix molt protagonisme com a abastador d'energia i diversos autors destaquen la importància d'aquesta via metabòlica durant el joc (Groppe et al., 1992; Thereminarias et al., 1991; Elliott et al., 1985; Smekal et al., 2001; Chandler, 1995; Renström, 2002). Per altra banda, cal remarcar que el temps real

de joc en el tennis actual es situa clarament per sota del 30% del temps total del partit (Elliot et al., 1985; Ferrauti et al., 1998; Christmass et al., 1998; Smekal et al., 2001; Girard et al., 2005; Mendez-Villanueva et al., 2007; Murias et al., 2007) i que, per tant, la major part del joc el jugador es troba en una situació de recuperació dels esforços realitzats durant els punts, fet que provoca que els valors mitjans dels paràmetres de càrrega interna disminueixin significativament. En la Figura III.12 s'observa com en els períodes de descans corresponents als canvis de camp, els registres de FC i  $\text{VO}_2$  disminueixen de manera pronunciada, mentre que durant els intervals corresponents a la disputa del joc els valors es mantenen clarament més elevats. En conseqüència, si tenim en compte l'elevat temps de descans durant un partit ( $> 70\%$ ), juntament amb la curta durada de les accions ( $< 10$  s), és lògic pensar que en tennistes de competició la resíntesi de l'ATP i la fosfocreatina es realitzi principalment per mecanismes aeròbics, sense recórrer a la glucòlisi anaeròbica làctica, la qual conduiria a una possible fatiga metabòlica i a una impossibilitat de mantenir la intensitat de joc; diversos autors coincideixen amb aquestes observacions (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Elliott et al., 1985, Chandler, 1995; Renström, 2002). En aquesta mateixa línia, s'han trobat baixes concentracions de lactat durant partits de tennis:  $1,24 \pm 0,37 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Ferrauti et al., 2001),  $2,3 \pm 1,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Bergeron et al., 1991),  $2,07 \pm 0,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Smekal et al., 2003) i  $1,65 \pm 0,6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  (Murias et al., 2007), les quals indiquen la pobre participació del metabolisme glicolític i apunten a que la fatiga en aquest esport no ve induïda fonamentalment per l'acumulació de lactat. Per tant, pensem que en un partit de tennis es donen esforços predominantment anaeròbics alàctics, amb un alt component aeròbic, i que la participació de les vies aeròbica i la anaeròbica alàctica són molt importants i complementàries, d'acord amb les observacions realitzades per diferents autors (König et al., 2001; Smekal et al., 2001; Kovacs, 2006). Un adequat nivell de resistència permetrà un restabliment més ràpid de les concentracions musculars d'ATP i fosfocreatina durant els períodes de descans, la qual cosa permetrà participar de manera més intensa i eficient en la disputa dels punts i retardar l'aparició de la fatiga durant la competició. En aquesta mateixa línia Tomlin i Wenger (2001) assenyalen que la majoria d'estudis que examinen la relació entre recuperació d'energia i les capacitats aeròbiques suggereixen que una millor resistència aeròbica augmenta la capacitat de recuperació durant la realització d'exercicis intermitents d'alta intensitat augmentant la resíntesi de fosfocreatina. No obstant això, també cal tenir en compte que la majoria d'estudis en que es valora la intensitat de l'esport i la participació de les vies metabòliques s'han

realitzat amb jugadors d'alt nivell competitiu i amb un elevat nivell d'entrenament; és possible que en jugadors no entrenats amb programes específics de resistència, la participació de la via anaeròbica làctica pugui ser superior.

A la Taula III.8 i Taula III.9 s'exposen els valors de  $\text{VO}_2$  i FC avaluats durant el joc recollits en la literatura juntament amb la intensitat relativa en funció del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ,  $\text{LIV}_2$  i  $\text{FC}_{\text{max}}$ . Els valors mitjans de  $\text{VO}_2$  absoluts i relatius trobats en el present estudi coincideixen amb els observats en terra batuda per Smekal et al. (2003) en jugadors sèniors, són lleugerament inferiors als descrits per Fernández et al. (2005) en jugadors sèniors i Murias et al. (2007) en jugadors júnior, i estan en la mateixa línia que els descrits per Murias et al. (2007) en la mateixa superfície (pista dura) i en franges d'edat similars ( $18,0 \pm 1,2$  anys vs  $16,9 \pm 2,3$  anys). Els valors mitjans de FC trobats són semblants ( $138,1 \pm 14,5$  bat·min<sup>-1</sup> vs  $135 \pm 21$  bat·min<sup>-1</sup>) als observats per Murias et al. (2007) amb jugadors amb una franja d'edat similar i realitzada sobre la mateixa superfície de joc, no obstant són inferiors als observats per Bergeron et al. (1991) i Girard et al. (2005) en la mateixa superfície i als observats per Smekal et al. (2003), Fernández et al. (2005) i Murias et al. (2007) en superfície de terra batuda. Murias et al. (2007) en un estudi amb l'objectiu de comparar les respostes metabòliques sobre diferents superfícies (terra batuda i pista dura) atribueixen la menor FC observada en pista dura a que el temps de recuperació per unitat de treball és superior respecte al que es produeix en terra batuda. Per altra banda cal observar que tot i que en valors absoluts de FC la intensitat és inferior respecte els valors observats per Fernández et al. (2005) en valors relatius és superior ( $75,1 \pm 6,5$  % vs  $65,9 \pm 10,2$ %). No obstant pensem que la principal raó de les diferències observades en les intensitats absolutes i relatives descrites per diferents autors poden venir donades pel caràcter obert de l'esport, cal tenir en compte que la intensitat del joc depèn de multitud de factors com són les característiques de l'oponent a nivell tàctic, estratègic i tècnic, paritat de nivell dels oponents, motivació dels jugadors, condicions climatològiques, tipus de pista o pilotes utilitzades. En relació als valors observats en altres esports de raqueta, Faude et al. (2007) observen en jugadors masculins de bàdminton ( $21,3 \pm 1,7$  anys) de categoria internacional una elevada intensitat mitjana de joc ( $\text{VO}_2$ :  $46,0 \pm 4,5$  mL·Kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> al  $74,8 \pm 5,3$  % del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ; FC:  $166,6 \pm 6$  bat·min<sup>-1</sup> al  $90,3 \pm 3,7$  % de la  $\text{FC}_{\text{max}}$ ), aquests mateixos autors atribueixen aquesta major intensitat trobada respecte a les observades en tennis a que el temps efectiu de joc ( $31,2$  % vs.  $\sim 25$  %) i la freqüència de colpeig ( $0,92$  vs.  $0,75$  tirs·s<sup>-1</sup>) és superior en bàdminton.

La mitjana dels valors màxims de  $VO_2$  ( $47,9 \pm 4,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $82,6 \pm 10,9 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ,  $97,0 \pm 14,5 \%$  del LIV2) indiquen que es tracta d'una intensitat propera al LIV2 i que durant el joc no s'assoleixen intensitats màximes a nivell cardiorespiratori amb la qual cosa el nivell de maximalitat d'aquests paràmetres no constitueix el factor més determinant per a l'esport. Aquests resultats són similars als obtinguts ( $47,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $76,7\%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) per Smekal et al. (2003).

Els valors mitjans mínims de  $VO_2$  ( $8,1 \pm 1,9 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $13,7 \pm 3,4 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ,  $16,1 \pm 4,1\%$  del LIV2) són baixos i similars a un nivell d'intensitat de situació de repòs. Això és degut a que aquests valors es corresponen als moments dels canvis de camp en que els jugadors tenen un màxim de 90 segons de descans fins a tornar a jugar. Aquests valors coincideixen amb els observats ( $13,7 \pm 5,3 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) per Murias et al. (2007) en la mateixa superfície de joc i en jugadors de les mateixes franges d'edat.

**Taula III.8.** Recull de diferents registres de consum d'oxigen ( $VO_2$ ) absolut i relatiu al consum màxim d'oxigen ( $\% VO_{2\text{max}}$ ) i al segon llinzar ventilatori ( $\% \text{LIV2}$ ) durant un partit de tennis en jugadors masculins.

Referència	Edat (anys)	n	$VO_2$ ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$\% VO_{2\text{max}}$	$\% \text{LIV2}$	Sup.
Ferrauti et al. (2001)	$47,0 \pm 5,4$	6	$25,6 \pm 2,8$	54,0	-	T
Smekal et al. (2003)	$26,0 \pm 3,7$	12	$29,1 \pm 5,6$	$51,1 \pm 10,9$	$64,8 \pm 13,3$	T
Fernández et al. (2005)	$23,9 \pm 2,5$	6	$26,62 \pm 3,3$	$46,4 \pm 7,2$	-	T
Murias et al. (2007)	$16,9 \pm 2,3$	4	$26,33 \pm 3,25$	$47,6 \pm 6,5$	-	T
Murias et al. (2007)	$16,9 \pm 2,3$	4	$27,48 \pm 2,46$	$49,5 \pm 4,8$	-	D
Present estudi	$18,0 \pm 1,2$	20	$29,9 \pm 3,7$	$51,6 \pm 8,6$	$60,7 \pm 11,3$	D

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Sup. = superfície de joc; T = Terra batuda; D = Pista dura.

**Taula III.9.** Recull de diferents registres de freqüència cardíaca (FC) absoluta i relativa a la freqüència cardíaca màxima (% FCmax) durant un partit de tennis en jugadors masculins.

Referència	Edat (anys)	n	FC (bat·min <sup>-1</sup> )	% FCmax	Sup.
Seliger et al. (1973)	24,7 ± 3,7	16	143,0 ± 13,9	-	-
Bergeron et al. (1991)	20,3 ± 2,5	10	144,6 ± 13,2	-	D
Girard et al. (2005)	23,4 ± 1,6	12	144 ± 8	-	D
Murias et al. (2007)	16,9 ± 2,3	4	135 ± 21	-	D
Ferrauti et al. (2001)	47,0 ± 5,4	6	142,5 ± 12,7	-	T
Smekal et al. (2003)	26,0 ± 3,7	12	151 ± 19	-	T
Fernández et al. (2005)	23,9 ± 2,5	6	147 ± 15	65,9 ± 10,2	T
Murias et al. (2007)	16,9 ± 2,3	4	143 ± 22	-	T
Present estudi	18,0 ± 1,2	20	138,1 ± 14,5	71,5 ± 6,5	D

Les dades són:  $\bar{x} \pm s$ ; Sup. = superfície de joc; T = Terra batuda; D = Pista dura.

### III.5.3. Dinàmica temporal de la intensitat relativa durant la competició

L'anàlisi de la participació dels tennistes en relació als intervals definits pel consum d'oxigen en el primer i segon llindar ventilatori (LIV1 i LIV2) confirma la hipòtesi de la naturalesa aeròbica i anaeròbica alàctica de l'esport i la menor participació del metabolisme anaeròbic làctic. S'observa com la major part del temps d'un partit (77,2 ± 24,5 %) el jugadors van participar a un nivell d'intensitat moderat o baix ( $VO_2 < VO_2$  LIV1). Aquest percentatge coincideix amb el percentatge de temps de descans (77,9 %) durant un partit observat per diferents autors (Figura 8), en conseqüència podem pensar que l'elevat temps en que el jugador es troba en un nivell d'intensitat inferior a LIV1 és degut a l'elevat temps de descans i per tant el reduït temps real de joc de l'esport. El percentatge de temps (20,0 ± 21,2 %) en que els jugadors es trobaven entre els dos llindars ventilatoris ( $LIV1 < VO_2 < LIV2$ ) és clarament menor al temps en que  $VO_2 < LIV1$  i és similar a la mitjana de percentatge de temps real de joc (22,1%) observat per diferents autors (Figura 8). Possiblement aquest temps en que el jugador es troba en una zona de transició aeròbica – anaeròbica es correspon als intervals de temps en que el

jugador participa activament en el joc. Es va observar un mínim percentatge de temps ( $2,9 \pm 4,7 \%$ ) en el qual el jugador participava a un nivell d'intensitat superior al llindar anaeròbic, d'aquest fet se'n desprèn que aquesta intensitat es dona únicament en moments puntuals del joc (Figura III.13 i Figura III.14). Possiblement aquests petits períodes d'elevada intensitat es produeixin durant els punts de llarga durada coincidint en moments importants en el desenvolupament del partit. Per tant tot i que el global del temps d'un partit indica que la participació del jugador a un nivell d'intensitat superior al LIV2 no té importància, aquesta via pot ser utilitzada en moments claus del partit.

### **Aplicacions pràctiques**

Les mitjanes de  $VO_2$  i FC observades durant els partits es troben suficientment elevades com per que es produeixi un efecte d'entrenament cardiorespiratori si es mantenen durant un període de temps suficient, i per tant, un partit de tennis pot suposar un mètode d'entrenament de la resistència aeròbica. Segons l'American College of Sports Medicine (ACSM) (1991) l'exercici d'entre un 40 i un 60% del  $VO_{2max}$  pot reportar guanys significatius de la capacitat aeròbica en subjectes sedentaris. No obstant en el cas de tennistes de competició en el quals el nivell de capacitats físiques és elevat, és possible que no sigui un estímul suficient per generar adaptacions aeròbiques significatives i es necessitin intensitats superiors. Heyward (2001) recomana amb subjectes físicament actius intensitats mitjanes d'entrenament d'entre el 60 i 80% del  $VO_{2max}$  i Navarro (1998) observa que en el desenvolupament de la resistència, a intensitats del 50 a 70 % del  $VO_{2max}$  el nivell d'esforç és bàsic i que per a obtenir un nivell d'esforç de desenvolupament el criteri de càrrega ha de superar el 70% del  $VO_{2max}$ . En conseqüència es fa necessari que els jugadors realitzin entrenaments específics d'intensitats superiors a la d'un partit a banda de la pròpia activitat competitiva i amb l'objectiu de millorar la resistència. Tot i que en alguns casos en els jocs esportius s'utilitza la pròpia acció competitiva com a mètode per a desenvolupar la resistència, en el cas del tennis i amb l'objectiu d'obtenir millores significatives de la condició aeròbica es fa necessari modificar alguns paràmetres de l'activitat per tal d'augmentar la mitjana d'intensitat global. És important realitzar entrenaments basats en els requeriments del tennis segons les intensitats observades durant el joc, l'entrenament específic de la resistència s'hauria de realitzar mitjançant tasques específiques a la pròpia pista i amb activitats intervàliques amb períodes de participació curts amb una relació de temps i de descans d'entre 1: 2-3. En períodes de preparació específica de la

competició creiem que no és necessari treballar amb intensitats superiors al llindar anaeròbic ni realitzar tasques de tolerància al lactat, tot i que no obstant és possible que el jugador hagi de participar en aquest nivell d'intensitat en moments claus del partit. Per altra banda cal remarcar la importància de l'entrenament de potència i velocitat.



### III.6. CONCLUSIONS

- Els moderats valors mitjans de consum d'oxigen observats durant el joc ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $51,6 \pm 8,6 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) indiquen una intensitat mitjana submàxima moderada, posant de manifest que el sistema de transport d'oxigen no és un factor limitant del rendiment en aquest esport.
- Atès que durant el joc es donen esforços majoritàriament anaeròbics alàctics amb un alt component aeròbic sense recórrer a la glucòlisi anaeròbica làctica, la participació de la via aeròbica i la anaeròbica alàctica són importants i complementàries.
- L'elevat percentatge de temps ( $77,2 \pm 24,5 \%$ ) en que els jugadors participen a un nivell d'intensitat baixa o moderada ( $VO_2 < LIV2$ ) és degut al l'elevat percentatge de temps de descans durant el joc ( $77,9 \%$ ).
- La majoria d'accions es realitzen a una intensitat que es correspon a la zona de transició aeròbica-anaeròbica ( $LIV1 < VO_2 < LIV2$ ); les participacions a intensitats superiors al  $LIV2$  són mínimes, no obstant es poden donar en moments importants del partit.
- En jugadors de competició és necessari realitzar programes d'entrenament específic per a la millora de la resistència a banda de la pròpia activitat competitiva.

## **CONCLUSIONS GENERALS**



En base als resultats obtinguts i després de la interpretació i la discussió dels mateixos, les conclusions a les que arribem són les següents:

- El SET – Test és una prova de camp objectiva, fiable i vàlida per avaluar la resistència específica en tennistes i permet mesurar de forma directe els paràmetres ergoespiromètrics, inclòs el consum màxim d'oxigen, sense que això afecti significativament el rendiment a la prova.
- El SET – Test és una prova de camp vàlida per estimar el segon llindar ventilatori en tennistes, encara que, degut a factors d'eficiència tècnica individual, s'ha trobat una dubtosa validesa predictiva de la potència aeròbica màxima.
- Es verifica la hipòtesi de l'existència d'un punt de deflexió de la freqüència cardíaca (PDFC) en relacionar-la amb la intensitat de càrrega durant el SET – Test, igualment com succeeix en els estudis en esports cíclics iniciats per Conconi et al. (1982). Aquest PDFC es relaciona significativament amb el segon llindar ventilatori.
- S'ha trobat una relació estadísticament significativa entre totes les variables avaluades per mitjà de la prova i el nivell competitiu dels jugadors, sent l'efectivitat tècnica (ET) el millor indicador de rendiment esportiu, seguit dels paràmetres fisiològics de resistència i potència aeròbica (consum màxim d'oxigen i segon llindar ventilatori;  $VO_{2max}$  i LIV2).
- Els paràmetres d'efectivitat tècnica avaluats, juntament amb els fisiològics (LIV2 i  $VO_{2max}$ ), expliquen bona part de la variabilitat en el nivell competitiu dels jugadors (56 i 53%, respectivament). Possiblement la resta d'aquesta variabilitat pugui ser explicada pel nivell dels jugadors en quan a habilitats tàctiques, estratègiques o psicològiques, no avaluades amb el SET – Test.
- S'han obtingut valors de  $VO_{2max}$  ( $57,0 \pm 6,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) entre moderats i alts d'acord amb la naturalesa aeròbica de l'esport, tot i que el nivell de potència aeròbica no representa el paràmetre més determinant del rendiment.

- Durant la prova, l'efectivitat tècnica evoluciona de manera inversament proporcional a la intensitat de l'esforç per efecte de la fatiga; els valors registrats (% encerts:  $63,1 \pm 9,1$ ) mostren un elevat nivell de precisió i potència.
- La relació significativa trobada entre el PDET i el LIV2 ( $r = 0,463$ ,  $p = 0,004$ ), tot i que no molt estreta, indica que els jugadors mostren una clara tendència a disminuir l'efectivitat tècnica a partir del segon llindar ventilatori, possiblement degut a l'impacte de l'augment d'àcid làctic en sang.
- S'aporten per primera vegada valors de referència dels principals paràmetres avaluats mitjançant una prova específica de resistència a la pista en una àmplia mostra de jugadors de competició, que permeten determinar el perfil aeròbic específic dels jugadors de tennis.
- Els moderats valors mitjans de consum d'oxigen observats durant el joc ( $VO_2$ :  $29,9 \pm 3,7 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $51,6 \pm 8,6 \%$  del  $VO_{2\text{max}}$ ) i l'elevat percentatge de temps ( $77,2 \pm 24,5 \%$ ) en que els jugadors participen a un nivell d'intensitat baixa o moderada ( $VO_2 < \text{LIV2}$ ) indiquen que el sistema de transport d'oxigen no és un factor limitant del rendiment durant el joc.
- La majoria d'accions durant el joc es realitzen a una intensitat que correspon a la zona de transició aeròbica–anaeròbica ( $\text{LIV1} < VO_2 < \text{LIV2}$ ); la durada de les accions a intensitats superiors al LIV2 són mínimes, però poden donar-se en moments decisius del partit, com ara la disputa de punts de llarga durada.
- Considerant la intensitat submàxima durant el joc, resulta evident la necessitat de realitzar programes d'entrenament específic per a la millora de la resistència, a banda de la pròpia activitat competitiva.

## **PERSPECTIVES D'INVESTIGACIÓ**



A continuació, i després d'exposar les conclusions generals de l'estudi de recerca realitzat, es plantegen perspectives futures d'investigació que puguin compensar les seves possibles limitacions i contribuir a eixamplar el coneixement sobre aspectes funcionals i bioenergètics del tennis.

Durant els darrers anys s'ha produït una notable millora en l'especificitat de les avaluacions de camp; concretament, en la present tesi s'ha intentat millorar el nivell d'especificitat respecte de les proves d'avaluació de la resistència proposades anteriorment. Precisament aquesta millora del nivell d'especificitat de les proves de camp es presenta com un dels reptes de futur més importants en l'avaluació funcional en esports oberts i de situació. No obstant això, cal dir que pensem que en proves funcionals protocol·litzades on es determinen de manera precisa càrregues distribuïdes en diferents períodes, és difícil simular de manera real les condicions de joc, en les que es donen situacions obertes i en les que hi intervenen de manera determinant els processos cognitius determinats en bona part per les múltiples situacions de joc i les corresponents accions de l'oponent.

Respecte de l'aplicació del SET – Test, per una banda proposem la seva administració a poblacions de jugadors de diferents franges d'edats, sexe, nivells i categories, per tal de categoritzar més acuradament el seu perfil funcional. Per altra banda, es proposa realitzar una anàlisi longitudinal dels diferents paràmetres funcionals estudiats per comprovar la seva evolució en la progressió del nivell del jugador i al llarg de diversos cicles d'entrenament i de competició.

Pel que fa a la validesa predictiva de les variables avaluades respecte del nivell competitiu, s'ha intentat crear un model per predir el rendiment en competició tenint en compte les variables valorades amb la prova funcional; no obstant això, s'ha deixat de banda l'avaluació d'altres factors que es consideren de gran importància en el rendiment del jugador de tennis. La inclusió en el model de diferents paràmetres no avaluables en una prova de resistència, com són els factors psicològics (motivacionals, afectius, emocionals, etc.), els tècnic-tàctics (estratègies, situacions de partit, automatismes, etc.), els tècnic-biomecànics (posicions, accions, economia i optimització tècnica, etc.), els neurològics (lateralitat, temps de reacció, etc.) i altres factors (higiene, lesions, nutrició, etc.) possiblement ajudaran notablement a predir amb més precisió el rendiment dels jugadors.

En relació a l'avaluació bioenergètica de la competició individual cal dir que la intensitat d'un partit de competició real és difícilment reproduïble en un estudi científic



i que el tennis és un esport obert de situació en que les necessitats bioenergètiques poden variar en funció de factors molt diversos com ara la superfície, les característiques de l'oponent, les condicions climatològiques, etc. Per tant, pensem que caldrien més estudis d'avaluació bioenergètica basats en l'administració d'una prova funcional que intenti aproximar-se més encara a les condicions de competició real i es realitzin en diferents superfícies i en jugadors amb diferents estils de joc.

## **BIBLIOGRAFIA**



American College of Sports Medicine. Guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia: Lea i Febiger, 1991.

Aparicio J. Preparación física en el tenis. Madrid: Gymnos, 1998.

Arellano R. Bases generales para la evaluación funcional de la técnica deportiva. Madrid: COE, 1999.

Arranz JA, Andrade JC, Crespo M. La técnica del tenis. COE. Tenis I. Madrid: COE, 1993: 213-463.

Associació Mèdica Mundial. Principis ètics per a les investigacions mèdiques en éssers humans. Declaració d'Helsinki. Edimburg: 2000.

Åstrand PO. Medidas de la resistencia. Shephard RJ, Astrand PO. La resistencia en el deporte. Barcelona: Editorial Paidotribo, 1996: 229-40.

Åstrand PO, Rodahl K. Fisiología del trabajo físico. Bases fisiológicas del ejercicio. 3ª edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1992.

Åstrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. J Appl Physiol 1954; 7(2):218-21.

Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. Sports Med 1998; 26(4):217-38.

ATP. The official site for men's professional tennis [Pàgina Web]. Disponible a: <<http://www.atptennis.com/en/tournaments/profile/425.asp>> [Consulta: Juliol de 2007].

Baiget E, Iglesias X, Rodríguez FA. Prova de camp específica de valoració de la resistència en tennis: resposta cardíaca i efectivitat tècnica en jugadors de competició. Apunts Educació Física i Esports (en premsa).

Baiget E, Rodríguez FA. Aplicación de un test de campo específico de valoración de la resistencia en tenis: análisis entre frecuencia cardíaca y efectividad técnica en

- jugadores de competición. III Congreso de la Sociedad Española de Medicina de la Educación Física y el Deporte (II Congreso Internacional ISMA y Jornadas Nacionales FEDAMEFIDE). Tarragona 2003 (Premio L'Aliança a la millor comunicació).
- Balke B. A simple field test for the assessment of physical fitness. *Rep Civ Aeromed Res Inst US* 1963; 53:1-8.
- Ballarin E, Sudhues U, Borsetto C *et al.* Reproducibility of the Conconi test: test repeatability and observer variations. *Int J Sports Med* 1996; 17(7):520-4.
- Barrow. H.M. , McGee R. *A Practical Approach to Measurement in Physical Education.* Philadelphia: Lea and Febiger, 1964.
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; 60(6):2020-7.
- Bergeron MF, Armstrong LE, Maresh CM. Fluid and electrolyte losses during tennis in the heat. *Clin Sports Med* 1995; 14(1):23-32.
- Bergeron MF, Maresh CM, Kraemer WJ, Abraham A, Conroy B, Gabaree C. Tennis: a physiological profile during match play. *Int J Sports Med* 1991; 12(5):474-9.
- Berthoin S, Baquet G, Rabita J, Blondel N, Lensele-Corbeil G, Gerbeaux M. Validity of the Université de Montréal Track Test to assess the velocity associated with peak oxygen uptake for adolescents. *J Sports Med Phys Fitness* 1999; 39(2):107-12.
- Berthoin S, Pelayo P, Lensele-Corbeil G, Robin H, Gerbeaux M. Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *Int J Sports Med* 1996; 17(7):525-9.
- Billat V. *Fisiología y metodología del entrenamiento, de la teoría a la práctica.* Barcelona: Editorial Paidotribo, 2002.
- Birrer RB, Levine R, Gallippi L, Tischler H. The correlation of performance variables in preadolescent tennis players. *J Sports Med Phys Fitness* 1986; 26(2):137-9.

- Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Med* 2000; 30(1):31-46.
- Bodner ME, Rhodes EC, Martin AD, Coutts KD. The relationship of the heart rate deflection point to the ventilatory threshold in trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2002; 16(4):573-80.
- Bunc V, Heller J, Leso J. Kinetics of heart rate responses to exercise. *J Sports Sci* 1988; 6(1):39-48.
- Cabello D, Carazo A. Consideraciones didácticas de la iniciación a los deportes de raqueta. *Revista Española de Educación Física y Deportes* 2001; 8(3):6-14.
- Calvo V. Entrenamiento en pista del jugador de tenis. *Set-Tenis & Padel*, 2007.
- Cervelló EM. Introducción al entrenamiento psicológico en el tenis. Fuentes JP, Cervelló EM, Del Villar F, Gusi N, Moreno FJ. Enseñanza y entrenamiento del tenis. Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.
- Chamari K, Hachana Y, Kaouech F, Jeddi R, Moussa-Chamari I, Wisloff U. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med* 2005; 39(1):24-8.
- Chandler TJ. Exercise training for tennis. *Clin Sports Med* 1995; 14(1):33-46.
- Chin MK, Wong AS, So RC, Siu OT, Steininger K, Lo DT. Sport specific fitness testing of elite badminton players. *Br J Sports Med* 1995; 29(3):153-7.
- Christmass M, Richmond S, Cable T, Hartmann P. Training energy systems in tennis players. *ITF Coaches Review* 1996; 8:5-6.
- Christmass MA, Richmond SE, Cable NT, Arthur PG, Hartmann PE. Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *J Sports Sci* 1998; 16(8):739-47.
- COE (Comité Olímpico Español). *Tenis I*. Madrid: COE (Comité Olímpico Español), 1993.
- Comellas J, López P. Anàlisi de les requestes metabòliques del tennis. *Apunts Educació*

- Física i Esports 2001; (65):60-3.
- Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol* 1982; 52(4):869-73.
- Conconi F, Grazi G, Casoni I. The Conconi test: methodology after 12 years of application. *Int J Sports Med* 1996; 17(7):509-19.
- Crespo M, Reid M. Control del entrenamiento de tenis en la cancha. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2004; 32:13-4.
- Dansou P, Oddu MF, Delaire M, Thereminarias A. Dépense énergétique aérobie au cours d'un match de tennis, du laboratoire au terrain. *Science & Sports* 2001; 16:16-22.
- Davey PR, Thorpe RD, Williams C. Simulated tennis matchplay in a controlled environment. *J Sports Sci* 2003; 21(6):459-67.
- Davey PR, Thorpe RD, Williams C. Fatigue decreases skilled tennis performance. *J Sports Sci* 2002; 20(4):311-8.
- Docherty D. A comparison of heart rate responses in racquet games. *Br J Sports Med* 1982; 16(2):96-100.
- Ellenbecker TS, Roetert EP, Riewald S. Isokinetic profile of wrist and forearm strength in elite female junior tennis players. *Br J Sports Med* 2006; 40(5):411-4.
- Elliot B, Dawson B, Pyke F. The energetics of singles tennis. *Journal of Human Movement Studies* 1985; 11:11-20.
- Escuela Nacional de Maestría de Tenis. Curso de Entrenador Nacional. Madrid: Federación Española de Tenis, 1998.
- Faude O, Meyer T, Rosenberger F, Fries M, Huber G, Kindermann W. Physiological characteristics of badminton match play. *Eur J Appl Physiol* 2007; 100(4):479-85.
- Federació Alemanya de Tennis. El tenis. Escuela de campeones. Barcelona: Hispano

- Europea, 1979.
- Fernández J. Specific field tests for tennis players. *Medicine and Science in Tennis* 2005; 10(2):22-3.
- Fernández J, Mendez-Villanueva A, Pluim BM. Intensity of tennis match play. *Br J Sports Med* 2006; 40(5):387-91; discussion 391.
- Fernández J. La fatiga y el rendimiento en el tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2007; 21(2):27-33.
- Fernández J, Fernández B, Méndez A, Terrados N. Exercise intensity in tennis: simulated match play versus training drills. *Medicine and Science in Tennis* 2005.
- Ferrauti A, Bergeron MF, Pluim BM, Weber K. Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 2001; 85(1-2):27-33.
- Ferrauti A, Pluim BM, Weber K. The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *J Sports Sci* 2001; 19(4):235-42.
- Ferrauti A, Weber K, Struder HK. Effects of tennis training on lipid metabolism and lipoproteins in recreational players. *Br J Sports Med* 1997; 31(4):322-7.
- Ferrauti A, Weber K, Stüder HK, Predel G, Rost R. Tennis versus golf: profile of demands and physical performance in senior players. Lees A, Maynard I, Hughes M, Reilly T. *Science and Racket Sports II*. London: E & FN Spon, 1998: 27-30.
- Ferrero JA, Fernández Vaquero A. Consumo de oxígeno: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. López - Chicharro J, Fernández - Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 1995.
- Filipic A. La fiabilidad y validez de los test motrices en el tenis. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2000; 20:14-5.
- Fox EL. *Fisiología del deporte*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1984.



- Fuentes JP. Enseñanza y entrenamiento del tenis: Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.
- Galiano D. La selección de talentos en tenis. Barcelona: Paidotribo, 1992.
- Galiano D, Escoda J, Pruna R. Aspectes fisiològics del tennis. Apunts Educació Física i Esports 1996; (44-45):115-21.
- Gallach JE. Entrenamiento físico del tenista. COEMadrid: COE, 193: 192-273.
- Garcia J, Villa JG, Rodríguez FA, Morante JC, Álvarez E, Jover R. Aplicació d'un test d'esforç intervalic (Test de Probst) per valorar la quantitat aeròbica en futbolistes de la lliga espanyola. Apunts Educació Física i Esports 2003; (71):80-5.
- Garcia JM, Navarro M, Ruiz JA. Bases teóricas del entrenamiento deportivo. Principios y aplicaciones. Madrid: Gymnos, 1996.
- Garcia JM, Navarro M, Ruiz JA. Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte. Evaluación de la condición física . Madrid: Gymnos, 1996.
- George JD, Garth A, Vehrs PR. Test y pruebas físicas . Tercera edición. Barcelona: Paidotribo, 2001.
- Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP, Millet GP. Prueba incremental específica de tenis. ITF Coaching & Sport Science Review 2006; 38:13-5.
- Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP, Millet GP. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. Br J Sports Med 2006; 40(9):791-6.
- Girard O, Lattier G, Micallef JP, Millet GP. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. Br J Sports Med 2006; 40(6):521-6.
- Girard O, Sciberras P, Habrard M, Hot P, Chevalier R, Millet GP. Specific incremental test in elite squash players. Br J Sports Med 2005; 39(12):921-6.
- Girard O, Vaseux D, Millet GP. Comparaison de l'efficacité de trois modalités

- d'entraînement chez des joueurs de tennis. *Science & Sports* 2004.
- Godik M. El control de las cargas competitivas y de entrenamiento. Zatsiorski V. *Metrología Deportiva*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1989.
- Grazzi G, Casoni I, Mazzoni G, Manfredini F, Uliari S, Conconi F. On the Methodology of the Conconi Test. *Int J Sports Med* 2005; 26:397-8.
- Grazzi G, Casoni I, Mazzoni G, Uliari S, Conconi F. Protocol for the Conconi test and determination of the heart rate deflection point. *Physiol Res* 2005; 54(4):473-5.
- Groppe JL, Roetert EP. Applied physiology of tennis. *Sports Med* 1992; 14(4):260-8.
- Gusi N. La preparación física del tenista. Dins: Fuentes JP. Enseñanza y entrenamiento del tenis. Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.
- Hamilton AL, Nevill ME, Brooks S, Williams C. Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *J Sports Sci* 1991; 9(4):371-82.
- Hernández M. Deportes de raqueta. Madrid: Ministerio de Educación y Cultura, 1999.
- Heyward VH. Evaluación i prescripción del ejercicio. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2001.
- Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 2002; 36(3):218-21.
- Hofmann P, Pokan R, Bachl N, Schmid P. A short communication regarding the article by M. Kara et al. "Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method." (*J Sports Med Phys Fitness* 1996;36(1):31-4). *J Sports Med Phys Fitness* 1997; 37(2):151-5.
- Hofmann P, Pokan R, von Duvillard SP, Seibert FJ, Zweiker R, Schmid P. Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29(6):762-8.
- Hofmann P, Von Duvillard SP, Seibert FJ *et al.* %HRmax target heart rate is dependent

- on heart rate performance curve deflection. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(10):1726-31.
- Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young W. Fatigue in tennis: mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Med* 2007; 37(3):199-212.
- Hornery DJ. A comprehensive profile of elite tennis and strategies to enhance match play performance. Tesi doctoral Ballarat: University of Ballarat, 2006.
- Iglesias X. Valoració funcional específica en l'esgrima. Tesi doctoral Barcelona: Universitat de Barcelona. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya , 1997.
- International Tennis Federation. International Tennis Number [Pàgina Web]. Disponible a <<http://www.itftennis.com/itn/>> [Consulta: Agost de 2006].
- International Tennis Federation. Descripción del Nivel de Juego [en línia]. Juny de 2004. [Consulta: Agost de 2006]. Disponible a <<http://www.itftennis.com/itn/Ratings/>>.
- International Tennis Federation. Cuadro de Comparación del ITN [en línia]. Juliol de 2005. [Consulta: Agost de 2006]. Disponible a <<http://www.itftennis.com/itn/news/newsarticle.asp?articleid=12038>>
- International Tennis Federation. List of classified court surfaces [Pàgina Web]. Disponible <<http://www.itftennis.com/technical/equipment/courts/courtlist.asp>> [Consulta: Agost de 2007].
- International Tennis Federation. Rules of Tennis 2007. London: 2007.
- Isnidarsi EM, Gonçalves AC. Battery of Test for Prediction and Evaluation of Tennis Players. *ITF Coaching* 2005.
- ITF. Programa de la ITF para formación de entrenadores. *ITF Coaching* 2007.
- Johnson CD, McHugh MP, Wood T, Kibler B. Performance demands of professional male tennis players. *Br J Sports Med* 2006; 40(8):696-9; discussion 699.
- Jones AM, Doust JH. Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int J*

- Sports Med 1995; 16(8):541-4.
- Kibler WB, McQueen C, Uhl T. Fitness evaluations and fitness findings in competitive junior tennis players. Clin Sports Med 1988; 7(2):403-16.
- Konig D, Huonker M, Schmid A, Halle M, Berg A, Keul J. Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. Med Sci Sports Exerc 2001; 33(4):654-8.
- Kovacs M. Un nuevo enfoque para el entrenamiento de la resistencia en el tenis. ITF Coaching & Sport Science Review 2006; 38:2-3.
- Kovacs MS. Applied physiology of tennis performance. Br J Sports Med 2006; 40(5):381-5; discussion 386.
- Kovacs MS. Tennis physiology: training the competitive athlete. Sports Med 2007; 37(3):189-98.
- Kraemer WJ, Hakkinen K, Triplett-Mcbride NT *et al.* Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. Med Sci Sports Exerc 2003; 35(1):157-68.
- Kraemer WJ, Ratamess N, Fry AC *et al.* Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. Am J Sports Med 2000; 28(5):626-33.
- Krustrup P, Mohr M, Amstrup T *et al.* The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. Med Sci Sports Exerc 2003; 35(4):697-705.
- Krustrup P, Mohr M, Ellingsgaard H, Bangsbo J. Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. Med Sci Sports Exerc 2005; 37(7):1242-8.
- Krustrup P, Mohr M, Nybo L, Jensen JM, Nielsen JJ, Bangsbo J. The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer. Med Sci Sports Exerc 2006; 38(9):1666-73.

- Labsy Z, Collomp K, Frey A, De Ceaurriz J. Assessment of maximal aerobic velocity in soccer players by means of an adapted Probst field test. *J Sports Med Phys Fitness* 2004; 44(4):375-82.
- Le Deuff H. El entrenamiento físico del jugador de tenis. Paperback edition. Barcelona: Paidotribo, 2003.
- Lees A. Science and the major racket sports: a review. *J Sports Sci* 2003; 21(9):707-32.
- Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci* 1980; 5(2):77-84.
- Léger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict  $\text{VO}_2 \text{max}$ . *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982; 49(1):1-12.
- Locke S, Colquhoun D, Briner M *et al.* Squash racquets. A review of physiology and medicine. *Sports Med* 1997; 23(2):130-8.
- Loehr JE. El juego mental. Madrid: Tutor, 1990.
- Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Perez M, Carvajal A, Chicharro JL. Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *Br J Sports Med* 2002; 36(2):113-7.
- Lucia A, Sanchez O, Carvajal A, Chicharro JL. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *Br J Sports Med* 1999; 33(3):178-85.
- López Calbet JA, Dorado Garcia C. Fatiga, dolor muscular tardío y sobreentrenamiento. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. 3ª edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- Mac Dougall JD, Wenger HA, Green HJ. Evaluación fisiológica del deportista. Barcelona: Paidotribo, 2000.
- Magel JR, Foglia GF, McArdle WD, Gutin B, Pechar GS, Katch FI. Specificity of swim

- training on maximum oxygen uptake. *J Appl Physiol* 1975; 38(1):151-5.
- Maquirrián J. *Analysis of Tennis-Related Scientific Literature. Medicine and Science in Tennis* 2005.
- Marks BL. Health benefits for veteran (senior) tennis players. *Br J Sports Med* 2006; 40(5):469-76; discussion 476.
- Martínez EJ. *Pruebas de aptitud física. Barcelona: Paidotribo, 2002.*
- Méndez-Villanueva A, Fernández-Fernández J, Bishop D, Fernández-García B, Terrados N. Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *Br J Sports Med* 2007; 41(5):296-300; discussion 300.
- Metaxas TI, Koutlianos NA, Kouidi EJ, Deligiannis AP. Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *J Strength Cond Res* 2005; 19(1):79-84.
- Mora J. *Teoría del entrenamiento y del acondicionamiento físico. Sevilla: COPLEF Andalucía, 1995.*
- Moreno FJ. *Bases del control motor y del aprendizaje aplicado al tenis. Fuentes JP. Enseñanza y entrenamiento del tenis: Fundamentos didácticos y científicos. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1999.*
- Morrow JR. *Measurement Issues of the Assessment of Physical Activity. Welk J. Physical activity assessments for health-related research. Champaign: Human Kinetics, 2002: 35-49.*
- Morrow JR, Jackson AW, Disch JG, Mood DP. *Measurement and evaluation in human performance. Illinois: Human Kinetics, 1995.*
- Mújika I, McFadden G, Hubbard M, Royal K, Hahn A. The Water-Polo Intermittent Shuttle Test: A Match-Fitness Test for Water-Polo Players. *Int J Sports Physiol & Performance* 2006; 1(1):27-30.
- Muller E, Benko U, Raschner C, Schwameder H. *Specific fitness training and testing in*

- competitive sports. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(1):216-20.
- Muntañola MT. Evolució de l'esport del tennis. *Apunts Educació Física i Esports* 1996; 44-45:12-8.
- Murias JM, Lanatta D, Arcuri CR, Laino FA. Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. *J Strength Cond Res* 2007; 21(1):112-7.
- Naughton J, Balke B, Nagle F. Refinements in method of evaluation and physical conditioning before and after myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1964; 14:837-43.
- Navarro F. *La Resistencia*. Madrid: Gymnos, 1998.
- Novas AM, Rowbottom DG, Jenkins DG. A practical method of estimating energy expenditure during tennis play. *J Sci Med Sport* 2003; 6(1):40-50.
- O'Donoghue P, Ingram B. A notational analysis of elite tennis strategy. *J Sports Sci* 2000; 19:107-15.
- O'Donoghue P, Liddle D. A notational analysis of time factors of elite men's and ladies' singles tennis on clay and grass surfaces. Lees A, Maynard I, Hughes M, Reilly T. *Science and Racket Sports II*. London: E & FN Spon, 1998: 241-6.
- Ortiz RH. *Tenis: potencia, velocidad y movimiento*. Barcelona: Inde, 2004.
- Pávlov I. *Fisiología y Psicología*. Madrid: Alianza Editorial, 1968.
- Pilardeau P. Test d'effort adapté à la joues de tennis. *Sports Et Medicine Actualités* 1985; (3):18-20.
- Platonov VN. *Teoría General del Entrenamiento Deportivo Olímpico*. 1ª edición. Barcelona: Paidotribo, 2001.
- Pokan R, Hofmann P, von Duvillard SP *et al*. The heart rate turn point reliability and methodological aspects. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31(6):903-7.
- Real Federación Española de Tennis. *Reglamento Técnico de la RFET*. Madrid: RFET, 2007.

- Renström P. Handbook of Sports Medicine and Science. Tennis. Oxford: Blackwell Science, 2002.
- Riera J. Bases generales para el analisis funcional de la táctica. Madrid: COE, 1999.
- Riera J. Introducción a la Psicología del Deporte. Barcelona: Martínez Roca, 1985.
- Rodríguez FA. Fisiologia, valoració funcional i esport d'alt rendiment. Apunts Educació Física i Esports 1989; 15:48-56.
- Rodríguez FA., Aragonés MT. Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. Dins: Gonzalez J. (ed.), Fisiología de la actividad física y el deporte. Vol. 11. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill, 1992: 237-78.
- Rodríguez FA. Bases metodológicas de la valoración funcional. Ergometría. Dins: González Iturri J.J., Villegas J.A. (coord.), Valoración del deportista. Aspectos biomédicos y funcionales. Monografías FEMEDE nº 6. Pamplona: Federación Española de Medicina del Deporte, 1999: 229-271.
- Roetert EP, Garret GE, Brown SW, Camaione DN. Performance profiles of nationally ranked junior tennis players. J Strength Conditioning Reserarch 1992; 6(4):225-31.
- Roetert EP, Piorkowski PA, Woods RB, Brown SW. Establishing percentiles for junior tennis players based on physical fitness testing results. Clin Sports Med 1995; 14(1):1-21.
- Roetert P, Ellenbecker T. Preparación física completa para el tenis. Madrid: Tutor, 2000.
- Roetert P, Piorkowski P, Woods R, Brown S. USTA sports science testing prtocols. ITF Coaches Review 1995; 6:4-6.
- Sanchís J. Consideraciones sobre el entrenamiento de la fuerza muscular en el tenis. Revista de Entrenamiento Deportivo 2004; 18(1):23-6.
- Sanchís J. Efectes de la competició sobre la força dinàmica màxima en el jugador de tennis d'èlit. Estudi d'un cas. Apunts Educació Física i Esports 2002; 67:28-44.



- Sanchís J. Metabolismo energético y nutrición en el tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2002; 15(3):5-12.
- Sanchís J, Dorado C, López JA. La evaluación de la condición física en el tenis . *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2000; 14(2):27-39.
- Sanchís J, Garcia-Lleó F, Chavarren J, Lopez JA. Factores condicionales determinantes del rendimiento en el tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 1994; 11(1):33-9.
- Sanz D. *El tenis en la escuela*. Barcelona: Paidotribo, 2004.
- Sanz D, Vila F. Aplicació de l'entrenament de la força al tennis. La importancia del control de moviment. *Apunts Educació Física i Esports* 2003; 71:89-91.
- Seliger V, Ejem M, Pauer M, Safarik V. Energy metabolism in tennis. *Int Z Angew Physiol* 1973; 31(4):333-40.
- Shephard R.J. Resistencia muscular y lactato de la sangre. Shephard RJ, Astrand PO. *La resistencia en el deporte*. Barcelona: Editorial Paidotribo, 1996: 229-40.
- Shephard RJ, Astrand PO. *La resistencia en el deporte*. Barcelona: Paidotribo, 1996.
- Signorile JF, Sandler DJ, Smith WN, Stoutenberg M, Perry AC. Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *J Strength Cond Res* 2005; 19(3):519-26.
- Silla D, Rodríguez FA. Valoració de la condició física en jugadors d'hoquei sobre herba d'alt nivell. *Apunts, Educació Física i Esports* 2005; 80:37-44.
- Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport* 1980; 51(1):234-48.
- Skorodumova A. La resistencia en el tenis. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2005; 35:6-7.
- Smekal G, Pokan R, von Duvillard SP, Baron R, Tschan H, Bachl N. Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *Int J Sports Med* 2000; 21(4):242-9.

- Smekal G, von Duvillard SP, Pokan R *et al.* Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89(5):489-95.
- Smekal G, von Duvillard SP, Rihacek C *et al.* A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(6):999-1005.
- Smith TD, Thomas TR, Londeree BR, Zhang Q, Ziogas G. Peak oxygen consumption and ventilatory thresholds on six modes of exercise. *Can J Appl Physiol* 1996; 21(2):79-89.
- Solanellas F. Valoració funcional de tennistes de diferents categories. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, 1995.
- Solanellas F, Rodríguez FA. Physiological, kinanthropometric and attentional profile of tennis players. Abstract. In: Proceedings Second IOC World Congress on Sport Sciences. International Olympic Committee. Barcelona: COOB'92; 1991; 265-266.
- Solanellas F, Rodríguez FA. Multidisciplinary evaluation and performance prediction of tennis players of different age and sex categories. Book of Abstracts. First Annual Congress of the European College of Sport Science. Nice, France, 1996; 345-349.
- Sosa S. La preparació física en el tennis d'alt nivell. *Apunts Educació Física i Esports* 1996; 44-45:166-73.
- Steininger K, Wodick RE. Sports-specific fitness testing in squash. *Br J Sports Med* 1987; 21(2):23-6.
- Stromme SB, Ingjer F, Meen HD. Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Appl Physiol* 1977; 42(6):833-7.
- Svensson M, Drust B. Testing soccer players. *J Sports Sci* 2005; 23(6):601-18.
- Terreros JL, Navas FJ, Gómez-Carramiñana MA, Aragonés MT. Valoración funcional. Aplicaciones al entrenamiento deportivo. Madrid: Gymnos, 2003.

- Therminarias A, Dansou P, Chirpaz-Oddou MF, Gharib C, Quirion A. Hormonal and metabolic changes during a strenuous tennis match. Effect of ageing. *Int J Sports Med* 1991; 12(1):10-6.
- Therminarias A, Dansou P, Chirpaz-Oddou MF, Quirion A. Effects of age on heart rate response during a strenuous match of tennis. *J Sports Med Phys Fitness* 1990; 30(4):389-96.
- Thomas JR, Nelson JK. Métodos de investigación en actividad física. Badalona: Editorial Paidotribo.
- Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001; 31(1):1-11.
- Torres G, Carrasco L. Investigación en deportes de raqueta: tenis y bádminton. Murcia: Universidad Católica San Antonio , 2004.
- Torres G, Carrasco L. Tenis en la escuela. Barcelona: INDE, 2005.
- Tuimil JL, Rodríguez FA. La velocidad aeróbica máxima de carrera (VAM). Concepto, evaluación y entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 2003; 17(1):31-5.
- Turner A, Crespo M, Reid M, Miley D. El enfoque de la comprensión del juego. *ITF Coaching & Sport Science Review* 2002; 26:2-3.
- Vachon JA, Bassett DR Jr, Clarke S. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. *J Appl Physiol* 1999; 87(1):452-9.
- Van Dam B, Pruijboom L. Un nuevo test en tenis. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 1992; 6(3):29-33.
- Vaquero MC. Preparació física amb jugadors d'elit. *Apunts Educació Física i Esports* 1996; 44-45:174-82.
- Vergauwen L, Madou B, Behets D. Authentic evaluation of forehand groundstrokes in young low- to intermediate-level tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(12):2099-106.

- Vergauwen L, Spaepen AJ, Lefevre J, Hespel P. Evaluation of stroke performance in tennis. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(8):1281-8.
- Vila C. Fundamentos prácticos de la preparación física en el tenis. Barcelona: Paidotribo, 1999.
- Wasserman K. Lactate and related acid base and blood gas changes during constant load and graded exercise. *Can Med Assoc J* 1967; 96(12):775-83.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue D, Stringer WW, Whipp BJ. Principles of Exercise Testing and Interpretation. Including Pathophysiology and Clinical Applications. Fourth edition edition. Philadelphia: Lippincot Williams & Williams, 2005.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973; 35(2):236-43.
- Weineck J. Entrenamiento total. Barcelona: Paidotribo, 2005.
- Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del deporte. Badalona: Editorial Paidotribo, 2007.
- Wonisch M, Hofmann P, Schwabberger G, von Duvillard SP, Klein W. Validation of a field test for the non-invasive determination of badminton specific aerobic performance. *Br J Sports Med* 2003; 37(2):115-8.
- Woods RB. Racquet Sports, the future. *Clin Sports Med* 1995; 14(1):277-80.
- Zabala D, Chiroso IJ, Chiroso LJ, Veciana J. Tecnología y metodología científica aplicada al control y evaluación del rendimiento deportivo. Granada: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de Granada, 2002.
- Zatsiorski VM. Metrología Deportiva. Moscu: Editorial Planeta, 1989.
- Zintl F. Entrenamiento de la resistencia: fundamentos, métodos i dirección del entrenamiento. Barcelona: Martinez Roca, 1991.



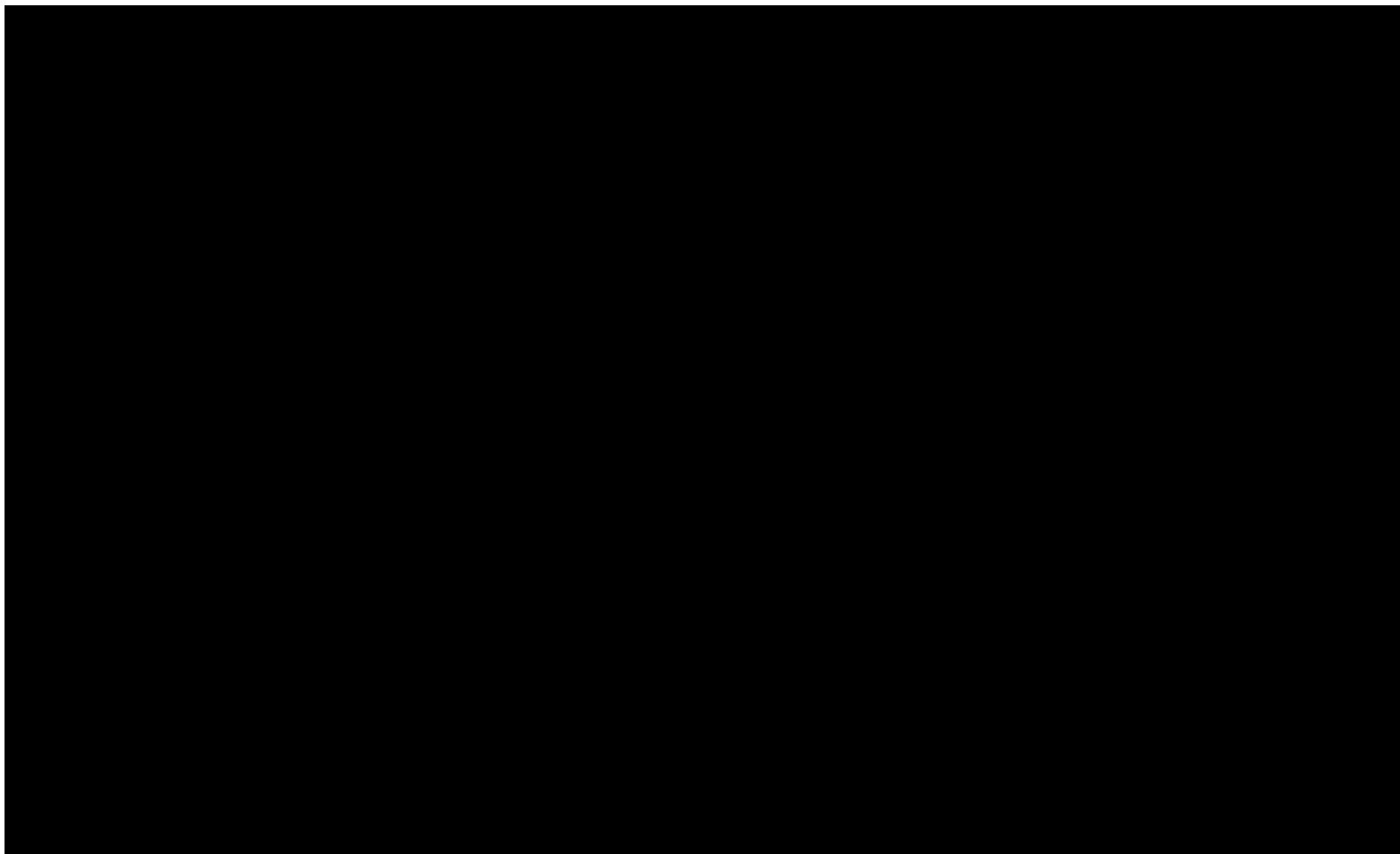
## **ANNEXES**



**ANNEX 1: Full d'observació d'efectivitat tècnica**









**ANNEX 2: Resum de les deu categories de l'*International Tennis Number* (ITF, 2005)**



Cat.	Característiques tècniques i tàctiques del jugador
ITN 1	Aquest jugador ha tingut un entrenament intensiu per a competir de júnior i sènior en competicions nacionals, i té una àmplia experiència en el circuit professional. Posseeix o és capaç de posseir una classificació ATP / WTA i la seva major font d'ingressos són les competicions amb premis en metàl·lic.
ITN 2	Aquest jugador ha fet de la potència i la consistència la seva millor arma. Sap variar estratègies i estils de joc en una situació de competició. Generalment és un jugador amb classificació nacional.
ITN 3	Aquest jugador té una bona anticipació del cop i sovint té un cop excepcional o un talent al voltant del qual estructurar el seu joc. Amb regularitat sap jugar-se tirs guanyadors i forçar errors amb pilotes curtes. És capaç d'acabar les volees i remats, i domina una gamma de serveis en els que pot confiar.
ITN 4	Aquest jugador és capaç d'utilitzar la potència i els efectes i ha començat a dominar el ritme de pilota. Té un bon joc de pues i pot controlar la profunditat dels cops, a més de variar el pla de joc segons els rivals. Està capacitat per a jugar primers serveis amb potència i per imprimir efecte en els segons.
ITN 5	Aquest jugador té cops sòlids, la qual cosa suposa que domina direccions i profunditats per ambdós costats i davant cops moderats. Té suficient habilitat com per jugar globus, remats, pujades i volees, amb cert èxit.
ITN 6	Aquest jugador exhibeix un joc de xarxa més agressiu, ha millorat cobrint la pista i també en control dels cops, i està aprenent a jugar en parella en dobles.
ITN 7	Aquest jugador és força consistent quan juga cops amb velocitat mitjana, però encara no es sent còmode amb tots els cops. Li manca control en la profunditat, direcció i potència.
ITN 8	Aquest jugador sap jutjar cap a on va la pilota i pot mantenir un piloteig curt i de baixa intensitat.
ITN 9	Aquest jugador necessita guanyar experiència en pista, en canvi és capaç de finalitzar els cops amb cert èxit.
ITN 10	Aquest jugador comença a jugar competició (sap servir i restar) en tota la pista utilitzant una pilota normal aprovada per la ITF.
ITN 10.1*	Aquest jugador és capaç de pilotejar amb moviment i control.
ITN 10.2*	Aquest jugador ha desenvolupat algunes habilitats simples i específiques del

---

tenis per a colpejar de forma regular la pilota que li arriba, no obstant, encara no ha aconseguit pilotejar amb moviment i control.

---

**ITN  
10.3\***

Aquest jugador està en les primeres fases de desenvolupament de les habilitats tennístiques i bàsicament està aprenent tasques simples de coordinació i exercicis de tennis.

---

Cat = categoria. \*Les categories ITN entre 10.1 i 10.3 suposaran normalment jugar en un entorn modificat, com pot ser utilitzant pilotes toves, transició en una pista reduïda i/o utilitzant raquetes adaptades segons convingui.

**ANNEX 3: Quadre de comparació de l'*International Tennis Number*  
(ITF, 2007)**





# Cuadro De Comparacion Del ITN



ITN	Bélgica	Canadá	Francia	GBR	Italia	Luxembourg	Marruecos	Holanda	Espagne	Suecia	Suiza	EEUU
1	A Int'l A Nat'l B-15/4 (23bis-35bis)	7.0	1 <sup>st</sup> série Promotion -30 -15 -4/6 -4/6	1.1 1.2	Cat. 1 2.1 2.2 2.3	N° 1 à 2	1 <sup>st</sup> série	Cat 1	No 1- 150	Más de 600p	N1 N2	7.0
2	B-15/4 (50bis-65 bis) B-15/2	6.5 6.0	-2/6 0 1/6	2.1 2.2	2.4 2.5 2.6	N° 3 à 16	-30 -15 -4/6	Cat 2	No 151 - 300	401-600p	N3	6.5 6.0
3	B-15/1 B-15	5.5	2/6 3/6	3.1 3.2	2.7 2.8	N° 17 à 25	-2/6 0	Cat 3	3eme Cat Groupe 10	301-400p	N4	5.5
4	B-2/6 B 0 B+2/6	5.0	4/6 5/6 15	4.1 4.2	3.2 3.3 3.4	N° 26 à 48	4/6 15 15/1	Cat 4	3eme Cat Groupe 9	201-300p	R1	5.0
5	B +4/6	4.5	15/1 15/2	5.1 5.2	3.5 4.1	N° 49 à 112	15/2 15/4	Cat 5	3eme Cat Groupe 8	61-200p	R2	4.5
6	C +15	4.0	15/3 15/4	6.1 6.2	4.2 4.3	N° 113 à 172	30	Cat 6	3eme Cat Groupe 7	51-60p	R3	4.0
7	C +15/2	3.5	15/5 30	7.1 7.2	4.4 4.5	N° 173 à 240	30/1	Cat 6	3eme Cat Groupe 6 & 5	50p	R4	3.5
8	C +15/4	3.0	30/1 30/2	8.1 8.2	NC	N° 241 à 496	30/2	Cat 7	3eme Cat Groupe 4 & 3	NR	R5	3.0
9	C +30	2.5	30/3 30/4	9.1 9.2	NC	N° 497 à 1008	NR	Cat 8	3eme Cat Groupe 2	NR	R6	2.5
10	C +30/2 C +30/4	2.0	30/5	10	NC	N° 1009 à ....	NR	Cat 9	3eme Cat Groupe 1	NR	R7	2.0
10.1 to 10.3	NR	1.5 1.0	NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1.5 1.0



**ANNEX 4: Full d'observació d'incidències del registre amb l'analitzador de gasos K4b<sup>2</sup>**



Dia:	Núm. Test:	Nom subjecte:	
Hora:	V <sub>vent</sub> :		

<b>Fase Test</b>	<b>Temps (min.)</b>	<b>OBSERVACIONS</b>
Dades K4 repòs	2	
Escalfament: familiarització test	3	
Pausa Recuperació	3	
Test		
Recuperació Test	5	
Total temps		
Altres observacions		

