


Entrenament de la propiocepció conscient de la columna vertebral lumbar:



Una aplicació a la
natació subaquàtica

Mònica Solana- Tramunt



Facultat de Psicologia, Ciències
de l'Educació i de l'Esport **Blanquerna**

Universitat Ramon Llull



Universitat Ramon Llull

TESI DOCTORAL

Títol

"Entrenament de la propiocepció conscient de la CV lumbar:
una aplicació a la natació subaquàtica."

Realitzada per Mònica Solana Tramunt en el Centre FPCEE Blanquerna i en el Departament Ciències de l'Activitat Física i l'Esport.

Dirigida per la Dra. Myriam Guerra Balich (FPCEE Blanquerna, URL) i Dr. Josep Cabedo Sanromà (FPCEE Blanquerna, URL).

Títol de la tesi doctoral:

Entrenament de la propiocepció de la columna vertebral lumbar:
Una aplicació a la natació subaquàtica.

Any:

1ª edició Setembre 2011.

Autora:

Mònica Solana-Tramunt

Fisioterapeuta postgraduada en fisioteràpia de l'esport i osteopatia

Llicenciada en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport.

Professora de Ciències de l'Esport a la FPCEE Blanquerna, Universitat Ramon Llull

Contacte: monicasolana2@gmail.com

Edició gràfica i maquetació:

Pablo Coello

www.artivated.com

Contacte: pablo@artivated.com

Impressió:

<http://www.trespuntzero.cat/>

Disseny de la portada i portades interiors:

Pablo Coello i Mònica Solana-Tramunt

Il·lustracions:

Mònica Solana-Tramunt

Dedicatòria

A la meva mare que ha sabut transmetre'm la capacitat de treball i sacrifici pel que un vol, per la seva presència i recolzament incondicional.

Al meu pare, per haver-me transmès amb l'exemple la passió per l'esport i per l'estudi.

A la meva família que han comprés les meves absències i sempre m'han recolzat.

Al Pau, per haver estat el company que en aquests moments tan difícils tothom somnia tenir. Per la paciència, afecte i suport immesurable que m'ha demostrat i per la inestimable feina que ha realitzat amb l'edició de les imatges que il·lustren aquesta tesi, que hem confegit plegats amb molta il·lusió.

Al Pep, el meu tutor, company i amic, pel seu inestimable guiatge en tot el procés i pel seu assessorament en tot el tractament estadístic, sense el qual no hagués pogut dur a terme aquesta tesi.

Als meus amics, en especial al Martin, la Sonia, l'Imma i l'Anna Bofill que sempre m'han fet sentir que tot sortiria molt bé.

Agraïments

A la Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i l'Esport Blanquerna, de la Universitat Ramon Llull, per concedir-me un semestre sabàtic, sense el qual no hagués pogut acabar la tesi.

A la Dra. Myriam Guerra Balich per acceptar dirigir la meva tesi i guiar-me en tot el procés des del treball de recerca.

A la Federació Espanyola de Natació, per confiar sempre en la meva feina, facilitar-me les mesures a la mostra de l'equip nacional i donar-me temps en la recta final de la tesi.

A la Federació Catalana de Natació, per la seva inestimable col·laboració tant amb la mostra com als entrenadors i preparadors físic que han realitzat el seguiment de l'entrenament de la selecció catalana.

A en Joan Manel Rull, entrenador del Club Esportiu Mediterrani, que m'ha facilitat l'accés al grup de nedadors del seu equip i ha realitzat el seguiment de l'entrenament dels membres del seu club.

Al Jordi Murio i al Raúl Moreno, que han realitzat el seguiment del grup de la selecció espanyola que han entrenat a la Blume de Madrid.

A tots els nedadors i nedadores que han format part d'aquest estudi, per la il·lusió que han manifestat i la dedicació en la realització dels exercicis tal com se'ls havia plantejat.

Als meus companys de feina que sempre m'han aportat coneixement i idees per resoldre els problemes metodològics amb els que m'he anat trobant, especialment al Xavier de Blas, la Susana Pérez, el Josep Morales, el Josep Solà, l'Enric M^a Sebastiani, el Ricardo Sánchez i l'Anna Bofill.

A en Julio Tous, per la seva orientació a l'inici del plantejament de la tesi.

A en Raúl Arellano per la inestimable aportació de documentació actualitzada sobre la recerca en natació subaquàtica.

A l'Alfons Mascaró, per estimular-me la passió per la propiocepció durant els estudis de fisioteràpia.

A la Ione Maria Romàn per acceptar treballar amb mi per a passar les dades de l'avaluació inicial.

A tots els entrenadors i entrenadores, i els tècnics i les tècniques de natació que des del 1996 han dipositat la seva confiança en la meva feina.

Sumari

Pròleg 13

Introducció 15

Primera part: Fonaments teòrics

1.	La propiocepció	23
1.1	Concepte de propiocepció	23
1.2	Anatomia i neurofisiologia de la propiocepció	25
1.3	Propiocepció i sistema sensoriomotriu	60
1.4	Tipus de propiocepció	65
1.5	Factors condicionants de la propiocepció	70
1.6	Alteració de la propiocepció conscient	81
1.7	Mètodes d'avaluació de la propiocepció conscient	84
2.	La columna vertebral lumbar	101
2.1	Descripció anatòmica de la columna vertebral	101
2.2	Fisiologia articular i amplitud de moviment de la CV lumbar	107
2.3	Musculatura de la CV lumbar	111
2.4	Factors de l'estabilitat lumbar	118
2.5	Etiopatogènia mecànica de la CV lumbar	123
2.6	Mètodes d'avaluació de l'amplitud de moviment lumbar	132
3.	Propiocepció conscient de la columna vertebral	141
3.1	Receptors propioceptius lumbar	141
3.2	Àrea de l'escorça sensitiva corresponent a la CV lumbar	142
3.3	Àrea de l'escorça motora destinada a l'activació lumbar	142
3.4	Alteració de la propiocepció conscient de la CV lumbar	143
3.5	Avaluació de la propiocepció conscient de la CV lumbar	145

4.	Entrenament de la propiocepció	155	
4.1	Concepte d'entrenament	155	
4.2	Teoria i principis de l'entrenament	159	
4.3	Teoria i metodologia dels exercicis per millorar la tècnica		172
4.4	Protocols d'entrenament de la propiocepció	176	
5.	Entrenament de la propiocepció a la natació competitiva	183	
5.1	Antecedents	183	
5.2	Necessitats de l'entrenament de la propiocepció a la natació		185

Segona part: Aplicació empírica

6.	Introducció i plantejament del problema	207	
7.	Objectius i hipòtesis	209	
7.1	Objectius	209	
7.2	Hipòtesis	210	
8.	Mètode	211	
8.1	La Mostra	211	
8.2	Disseny de la investigació	214	
8.3	Materials, instruments i instal·lacions per l'avaluació		216
8.4	Procediment	219	
8.5	Anàlisi estadística	235	
9.	Resultats	239	
9.1	Introducció	239	
9.2	Anàlisi de les dades de l'avaluació inicial	240	
9.3	Anàlisi dels resultats després del període d'entrenament	248	

10.	Discussió	255	
10.1	Respecte de l'avaluació i l'entrenament de l'ADM lumbar		255
10.2	Respecte l'ADM lumbar i les implicacions a la natació	258	
10.3	Respecte la tècnica dels exercicis i salut lumbar	259	
10.4	Respecte a l'avaluació de l'ErAbs de reposicionament lumbar		260
10.5	Respecte a la incorporació del concepte d'ErRel	261	
10.6	Respecte del mètode d'entrenament	261	
10.7	Respecte del disseny d'aplicació i la teoria de l'entrenament		262
10.8	Respecte del disseny dels exercicis	263	
10.9	Respecte l'entrenament de la propiocepció i la seva avaluació		264
10.10	Respecte a les neurones mirall, la visió i la millora de la tècnica		265
11.	Conclusions	269	
11.1	Conclusions de la part teòrica	269	
11.2	Conclusions de la part empírica	270	
12.	Limitacions	273	
13.	Futures línies de recerca	274	
13.1	Futures línies de recerca en el camp de la neurofisiologia		274
13.2	Futures línies de recerca en el camp de la biomecànica	274	
13.3	Futures línies de recerca en el camp de l'entrenament		275
	Referències	277	
	Annexos	299	
	Glossari	301	

Pròleg

Des de l'adolescència, he tingut un interès especial per l'esport. A la meua època d'estudiant de fisioteràpia, vaig tenir l'oportunitat d'il·lustrar un projecte de llibre sobre propiocepció d'un dels professors, l'Alfons Mascaró, el qual em va acostar al coneixement profund de la propiocepció, amb molt més detall que el previst al currículum de la diplomatura. Malauradament, el llibre no es va arribar a publicar.

La meua curiositat es va anar engrandint a mesura que m'endinsava en el món de l'esport i l'osteopatia. Durant els meus estudis de postgrau en osteopatia vaig conèixer a fons la fisiologia de la columna vertebral. La meua vinculació com a esportista, a la competició nacional i internacional, en curses d'alta muntanya, l'esquí de muntanya i el esquíjoring em van fer entendre la importància del control voluntari de la zona lumbar per al rendiment i la salut física que el permet.

Després de finalitzar l'estudi de postgrau en fisioteràpia de l'esport, les meves ganes d'aprendre sobre la que ja era la meua professió, em van conduir a estudiar la llicenciatura de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport.

Vaig poder compaginar la meua vida com a esportista i la d'estudiant amb els inicis del meu treball com a fisioterapeuta a la natació, al 1996. A poc a poc, amb l'augment de coneixements sobre teoria de l'entrenament i fisiologia de l'esforç, vaig començar a dubtar del propis mètodes de millora de la propiocepció, especialment dels aplicats a l'esport. Em vaig adonar de les mancances de la fisioteràpia i de la medicina física en quant als criteris de progressió en la càrrega, absent en la majoria de prescripcions de l'exercici, que jo mateixa aplicava.

Donat que venia d'esports terrestres, vaig sentir la necessitat d'orientar tots els treballs de la llicenciatura al coneixement de la natació competitiva. Va ser d'aquesta manera com, poc a poc, em vaig especialitzar en temes vinculats als estiraments, la flexibilitat, la prevenció de lesions, la preparació física dels nedadors i la propiocepció, temes que m'han

portat a ser convidada com a ponent a diversos congressos nacionals i internacionals de natació des del 1998.

Després de participar com a fisioterapeuta als JJOO de Sidney i d'Atenes, vaig començar a treballar per l'equip nacional de piragüisme d'aigües braves.

En aquella època vaig veure que era molt important facilitar el control voluntari de la zona lumbar per a facilitar el rendiment esportiu i vaig iniciar els meus estudis de doctorat amb la idea d'aconseguir trobar un mètode, de forma experimental, per a millorar la propiocepció conscient lumbar dels piragüistes.

Durant el període de recerca dels cursos de doctorat, vaig haver de dissenyar un mètode per avaluar la propiocepció que fos de fàcil administració i dins dels instruments al meu abast. Com que no vaig trobar estudis que utilitzessin la goniometria digital sense la necessitat de disposar d'un dinamòmetre isocinètic, vaig provar la fiabilitat del meu propi test. Gràcies a passar la prova de fiabilitat, he pogut utilitzar aquest instrument per realitzar un estudi pilot per a l'avaluació de la propiocepció amb i sense la participació visual, donat que ja intuïa que sense la visió, es facilita l'entrada de la informació propioceptiva. L'estudi de la prova de fiabilitat va ser presentat en format pòster al 14è Congrés de l' European College of Sport Science al 2009 i l'estudi pilot va ser exposat de forma oral a la 15^a edició del mateix congrés al 2010.

Al 2008 em van proposar fer-me càrrec de la coordinació de l'equip de prevenció de lesions i fisioteràpia a la Reial Federació Espanyola de Natació. A partir d'aquí, vaig creure que havia d'orientar el treball a una necessitat dels nedadors amb els qui treballava, i ampliar la recerca en l'esport que ha estat el meu motor personal i professional durant 15 anys.

És un privilegi haver gaudit de tot el procés i dipositar en aquesta tesi tota una trajectòria personal i professional, que compagina les que han estat les meves passions: l'esport, l'educació i la salut mitjançant l'activitat física.

Introducció

La propiocepció es considera avui en dia una de les modalitats sensorials més necessàries a l'esport i a la vida quotidiana. Es tracta d'un sisè sentit que ens permet reconèixer la posició i el moviment de les articulacions i reaccionar, de forma reflexa o conscient, davant les tensions físiques que poden patir les parts toves que les envolten, garantint la seva salut física (Laskowski, Newcomer-Aney i Smith, 2000; Lephart i Fu, 2000; Verkhoshansky, 2002; Chollet, 2003; Daza, 2007).

Ha esdevingut tema d'estudi des de que Sherrington (1906), premi Nobel de fisiologia o medicina al 1932 pels seus descobriments sobre el funcionament de les neurones, la va definir per primera vegada.

La recerca de la propiocepció va començar en el món de la neurologia però aviat es considerà determinant per a la rehabilitació de problemes relacionats amb el sistema nerviós o l'aparell locomotor. Aquest fet ha provocat que la majoria de treballs tinguin com a objectiu la recuperació del sistema neuromuscular malmès, tot i que cada cop hi ha més estudis que s'interessen per la propiocepció en persones asimptomàtiques com una possibilitat de prevenir lesions o millorar la tècnica esportiva.

Als anys 60 i 70 un corrent de defensors de l'activitat física, basada en les gimnàstiques dolces, començaven a parlar de termes que inclouen d'alguna manera la sensibilitat propioceptiva, malgrat no l'anomenaven com a tal. Ja s'especulava sobre la necessitat d'adquirir una "intel·ligència muscular", sensorial i respiratòria, i servir-se'n tots els dies per gaudir d'una bona salut. Més recentment, tant la sensibilitat i la presa de consciència del moviment, com la "intel·ligència muscular", s'han descrit dins de les característiques de la propiocepció (Verkhoshansky, 2002; Purves et al., 2008).

La manifestació conscient de la propiocepció ens fa possible conèixer i controlar voluntàriament la posició articular, facilitant des de l'adquisició o millora d'una tècnica esportiva fins al control postural, garantint la salut física i la manifestació d'altres qualitats perceptiu motores, com l'equilibri.

D'altra banda, la columna vertebral (CV) lumbar esdevé una de les zones crítiques de l'aparell locomotor. La seva integritat és cabdal per permetre la funció d'estabilitat i el suport de la majoria del pes corporal, a més de ser el fulcre dels moviments de flexió i extensió de tot el tronc i la part de l'eix raquidi sobre la que tenim menys control i més patologia.

Dins l'esport, el seu control conscient permet el moviment voluntari del centre de masses, imprescindible per al rendiment en la majoria de tècniques esportives.

S'accepta que tenir una bona sensibilitat propioceptiva a la zona lumbar facilita l'eficiència de la majoria d'accions motrius, donat que connecta els moviments de les extremitats superiors i inferiors i genera moviment per ella mateixa (Verkhoshansky, 2002; Salo i Riewald, 2008; McLeod, 2010).

La teoria de l'entrenament ha estat la base per assolir el mestratge en la tasca de millorar el rendiment dels esportistes, especialment difícil a l'alt nivell esportiu. Tot i la importància de l'administració metodològica de les càrregues per a l'adquisició d'habilitats motrius i la millora general de la condició física, l'augment del coneixement científic sobre el rendiment dels esportistes és tan ampli que es fa difícil l'organització de tots els factors que poden ajudar a assolir l'excel·lència esportiva.

El professional de l'esport es troba davant del repte de formar-se contínuament per superar-se, cada cop més, en la tasca d'educar i entrenar als seus esportistes.

L'entrenament de la propiocepció de la CV a la natació competitiva es considera cabdal per al rendiment dels nedadors, especialment per a la millora de la propulsió a la natació subaquàtica, descrita recentment com el cinquè estil.

Tot i la seva importància, la recerca en la metodologia més apropiada per administrar les càrregues propioceptives a la zona lumbar és absent.

Es presenten dues parts principals: La primera part de fonaments teòrics i la segona part a on es mostra una aplicació empírica.

La part teòrica consta de cinc capítols:

El primer capítol fa una aproximació conceptual de la propiocepció així com reuneix els principis neurofisiològics que permeten i faciliten la seva adquisició i mesura i descriuen la seva patologia.

El segon capítol ens apropa a les característiques mecàniques i fisiològiques de la CV lumbar, dels seus mitjans d'unió i dels factors que garanteixen la seva estabilitat. Es presenta un recull sobre la seva etiopatogènia i dels mètodes per avaluar la seva amplitud i disfunció.

El tercer capítol reuneix la recerca sobre la neurofisiologia i els factors que alteren la propiocepció de la CV lumbar, així com dels mètodes per a la seva avaluació, la majoria dins de l'àmbit de la salut.

El quart capítol desenvolupa la conceptualització de l'entrenament i exposa una recensió sobre els paradigmes de la teoria i metodologia de l'entrenament esportiu, en la recerca del rendiment multidimensional a tots els nivells. S'introdueix les característiques de l'entrenament de la tècnica esportiva i es descriu l'actualitat sobre l'entrenament de la propiocepció.

El cinquè, i darrer capítol, ens apropa a les necessitats de l'entrenament de la propiocepció conscient de la CV lumbar a la natació competitiva, especialment per a la millora del temps de sortida, directament relacionat amb la tècnica de natació subaquàtica. Es presenta un recull de recerques sobre la biomecànica de la fase de lliscament i del moviment ondulatori subaquàtic i una anàlisi cinesiologia que explica la seva participació muscular. També es troben els mètodes que enguany s'utilitzen per millorar la tècnica i la condició física de la zona mitjana a la natació, corresponent a l'àrea que ocupa la CV lumbar.

La recerca de l'estat de la qüestió pretén l'acompliment dels següents objectius:

- Augmentar el coneixement sobre els aspectes neurofisiològics que condicionen la recepció propioceptiva i sobre el paper de la propiocepció dins l'elaboració de la resposta motora.
- Conèixer les variables i els indicadors relacionats amb la propiocepció conscient, així com la manera d'avaluar-los.
- Definir els factors que condicionen la recepció propioceptiva conscient a la CV lumbar.
- Millorar el coneixement sobre els criteris de la teoria de l'entrenament per a la millora de les qualitats que depenen del sistema nerviós central.
- Conèixer els factors biomecànics i tècnics del cinquè estil que estan condicionats per la propiocepció de la CV lumbar.

La part empírica consta de vuit apartats:

El primer fa una introducció i plantejament del problema d'estudi.

En el segon apartat es detallen els objectius i les hipòtesis que es miraran de provar.

El tercer mostra el mètode que s'ha dut a terme. Es descriu la mostra, el disseny de la investigació i s'expliquen els materials, els instruments i el procediment d'un estudi experimental pur, que posa en pràctica una metodologia per l'entrenament de la propiocepció conscient de la columna CV lumbar.

Es descriu una aplicació concreta per a facilitar el control de la tècnica de natació subaquàtica amb una mostra de 57 nedadors de nivell internacional, nacional i autonòmic. A continuació es descriu el tractament de les dades i l'anàlisi estadística aplicada.

El quart apartat exposa els resultats de l'avaluació inicial i les diferències amb els de l'avaluació final després de l'entrenament administrat.

El cinquè presenta la discussió a on es deriven les conclusions, s'avaluen les implicacions teòric-pràctiques de la recerca, s'estableixen relacions amb els resultats d'altres investigacions, es comenten les limitacions i es destaca la importància i el significat de l'estudi.

El sisè apartat defineix les conclusions de la part teòrica i empírica.

El setè exposa les limitacions de la tesi.

El vuitè, i darrer apartat proposa algunes de les futures línies de recerca.

La segona part pretén ser un punt de partida en la recerca experimental de la metodologia més adequada per a l'entrenament de la propiocepció conscient. Es realitza un disseny específic per a la millora del control de la CV lumbar en la tècnica de natació subaquàtica, en el qual es mira d'intercedir sobre l'amplitud de moviment i sobre la precisió en el seu posicionament.

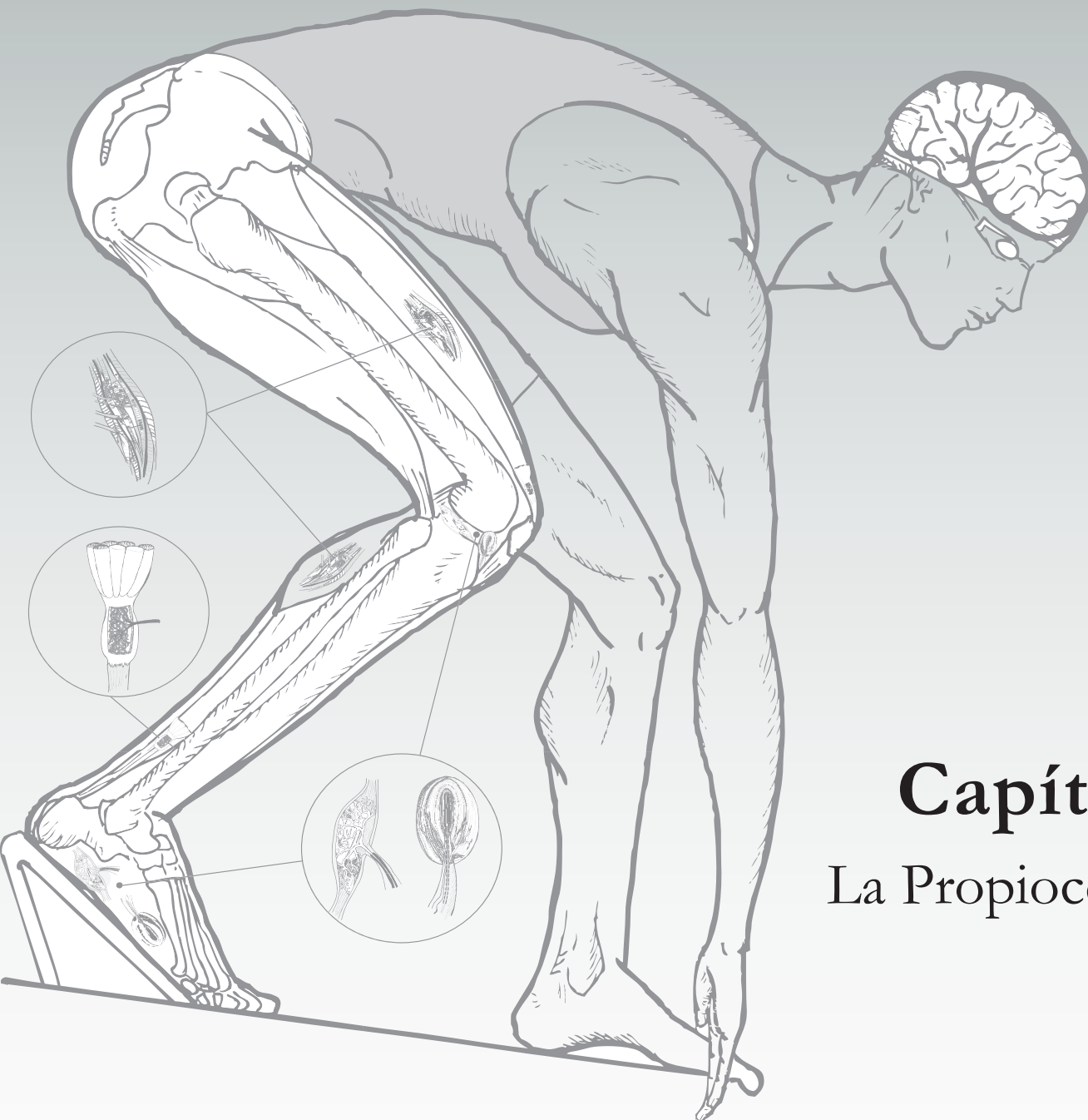
S'aplica, s'avalua i es comparen els efectes de l'administració de 3 exercicis durant 75 sessions, en un període de 2-3 mesos naturals, amb dues metodologies d'execució diferenciades: amb ulls tapats centrant l'atenció sobre la zona lumbar i sense cap condició diferent a la d'acomplir la tècnica d'execució del moviment.

Aquesta tesi és una aproximació empírica i teòrica a la metodologia actualitzada de l'entrenament de la propiocepció, que posa un exemple d'intervenció a la natació competitiva i orienta sobre les bases per aplicar-la en altres esports.

Primera Part

Fonaments Teòrics





Capítol 1

La Propiocepció



1. La propiocepció

1.1 Concepte de propiocepció

Sherrington (1906) va definir per primera vegada la sensibilitat propioceptiva com a l'estat funcional de les articulacions i dels músculs que ens permet ser conscients dels moviments o de la posició d'una part del cos, o respondre de manera inconscient a la modificació involuntària de la posició articular, per a mantenir l'equilibri, el to o la coordinació muscular. Altres autors l'han definida posant èmfasi en les dues possibilitats que té de manifestar-se: conscientment o inconscientment.

Brodal (1980) la defineix com a “consciència de la posició i del moviment articulars, així com de la seva direcció i velocitat”.

Al 1981 es conceptualitza al Diccionari Enciclopèdic Salvat com a “tipus de sensibilitat profunda que indica la posició dels òrgans, en especial de les articulacions, músculs, etc.”

Barbany (1986) la considera com el coneixement constant de la posició en l'espai dels components de l'aparell locomotor, dels seu moviment i de la intensitat de la tensió muscular en cada moment .

Cordo, Carlton, Bevan, Carlton i Kerr (1994) fan una descripció més ampla del seu concepte, tot dient que la propiocepció és una de les sensacions somàtiques del sistema nerviós (SN) que ens dona informació sobre la posició articular, mitjançant la recepció de sensacions mecanoreceptives, proporcionant un sistema de retroalimentació a través del qual el cos aconsegueix una consciència neuromuscular de la postura, del moviment i dels canvis de l'equilibri, així com de la posició, el pes i la resistència dels objectes relacionats amb el cos.

Schiffman (1997) l'anomena cinestèsia i la defineix com a la percepció de la posició i el moviment de les parts del cos, és a dir, sobre la postura, la ubicació i moviment en l'espai de les extremitats i altres parts mòbils de l'esquelet articulat, “por ejemplo: dedos, muñecas, extremidades, cabeza, tronco, columna vertebral”.

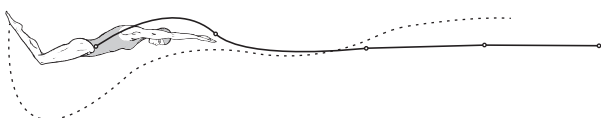
Lephart (1997) la considera una variació especialitzada del tacte que permet la sensació de moviment i de la posició articular.

Laskowski et al. (2000) l'entenen com a procés neuromuscular que implica senyals aferents i eferents que permeten a l'individu mantenir l'estabilitat i l'orientació durant les activitats tant estàtiques com dinàmiques.

Ashton-Miller, Wojtys, Huston i Fry-Welch (2001) parlen de consciència de la posició i orientació dels segments articulars, en concordança amb Bosco i Poppele (2001) que la defineixen com a una sensibilitat que ens permet conèixer la posició del cos i el seu moviment.

Saavedra et al. (2003) afegeixen que a la consciència de la posició i del moviment articular es suma la de la velocitat i la força.

Kandel, Schwartz i Jessel (2001) la defineixen com a sensibilitat postural i del moviment de les pròpies extremitats i de la resta del cos, sense utilitzar el sentit de la vista, resultat de les aferències rebudes des dels receptors propioceptius. En canvi, Pai, Petersen, Brekke, Bulow i Ewers (2005) la consideren fruit de la interacció entre les aferències propioceptives i les eferències motores resultants.



Finalment Daza (2007) la matisa com a la capacitat que té la persona d'identificar la posició del seu cos a l'espai, mitjançant la percepció de la posició articular, el dolor profund, la pressió o la vibració.

En resum, des de la perspectiva de la medicina física, la fisioteràpia i la psicologia cognitiva la propiocepció es dona gràcies a la suma de les aferències propioceptives i les eferències que provoquen, mentre que a la neurologia la propiocepció és un fenomen fonamentalment aferent.

1.2 Anatomia i neurofisiologia de la propiocepció

El cervell humà és una xarxa de més de 100000 milions de neurones interconnectades en sistemes que elaboren les nostres percepcions del món exterior, fixen l'atenció i controlen els centres efectors de les nostres accions. És possible examinar el grau en que es pot assimilar una percepció en relació a les propietats d'aquestes neurones i de les seves interconnexions en les diferents parts del sistema nerviós (Kandel et al., 2001).

El sistema nerviós humà està format per dues parts ben diferenciades (Fig. 1): Central (SNC) i Perifèric (SNP).

El SNC està format per set parts principals que, ordenades de més caudal a més cranial són: la medul·la espinal, el tronc cerebral (integrat pel bulb raquidi, la protuberància i el mesencèfal), el cerebel per darrera de la protuberància, el diencèfal (que conté el tàlem i hipotàlem) i els hemisferis cerebrals. Aquests últims estan dividits en una part perifèrica (l'escorça cerebral) i una part profunda (a on es troben els ganglis basals, l'hipocamp i els nuclis amigdalins).

El SNP el componen tots nervis formats per agrupacions dels axons i dendrites de les neurones, els cossos de les quals es troben a la substància gris de la medul·la espinal (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008) (Fig. 1).

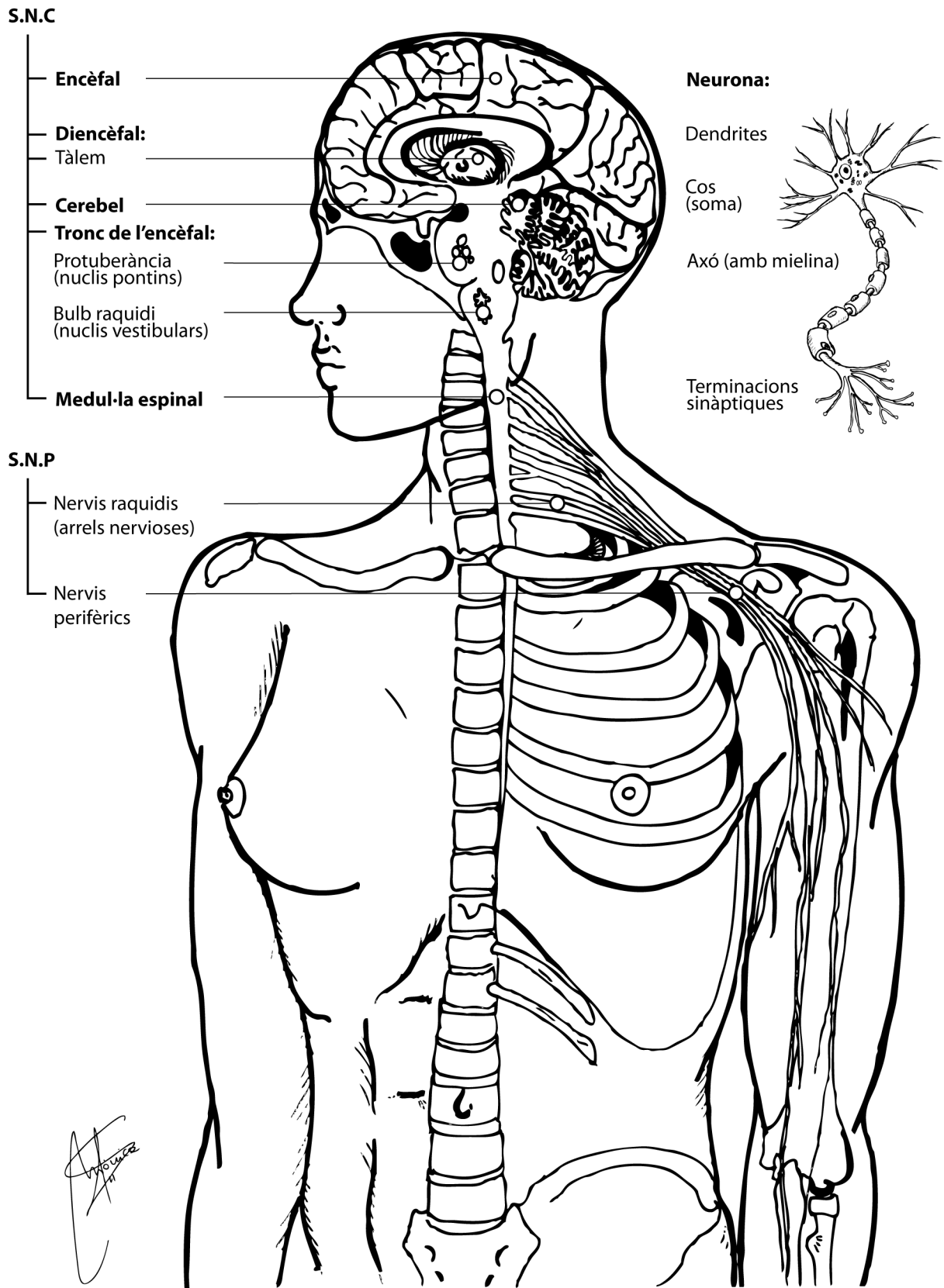
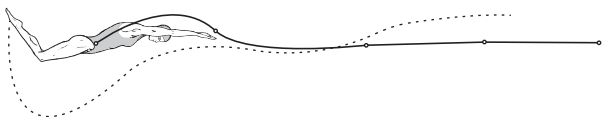


Fig 1. Parts del sistema nerviós (Anatomia del sistema nerviós, 2008)



1.2.1 Recepció de la informació propioceptiva

El contacte inicial amb l'exterior de cada sistema sensorial es produeix a través de neurones especialitzades, anomenades receptors sensorials. Es tracta de les primeres cèl·lules de cada via sensitiva, que transformen l'energia de l'estímul en energia elèctrica, iniciant un mecanisme de transmissió de senyals elèctriques comú a tots els sistemes sensorials.

Els éssers humans tenen quatre classes de receptors, cadascun dels quals és sensible a una forma d'energia física que pot ser mecànica, química, tèrmica o electromagnètica (Kandel et al., 2001). Mentre els mecanoreceptors cutanis són transductors d'estímuls externs, com el tacte superficial, els propioceptors ho són dels interns.

Els receptors propioceptius reben estímuls de tipus mecànic i informen sobre els nivells de tensió d'elongació dels músculs, lligaments, càpsules i meniscos articulars (Lephart i Fu, 2000). Donen una informació detallada i continua de la posició de les extremitats i d'altres parts del cos en l'espai. Són les primeres neurones de les vies sensitives, que transporten la informació propioceptiva al SNC. Com la resta de mecanoreceptors, es diferencien en funció de la seva capacitat adaptativa i el seu llindar d'estimulació.

Els nervis amb els que es troben connectats es classifiquen en funció del diàmetre de les seves fibres i de la velocitat de conducció de l'impuls elèctric, relacionada amb la quantitat de mielina que envolta els seus axons. Quan es tracta de nervis musculars s'anomenen amb números romans I (a i b), II, III i IV, mentre que quan es tracta dels nervis cutanis les mateixes fibres nervioses reben el nom de A α , A β , A δ i C (taula 1) (Kandel et al., 2001; Riemann i Lephart, 2002).

Taula 1. Nomenclatura i classificació de les fibres nervioses aferents (Kandel et al., 2001)

		Nervi muscular	Nervi cutani	Diàmetre	Velocitat de conducció
Mielíniques	Gran	I (a i b)	A α	12-20	72-120
	Mitjanes	II	A β	6-12	36-72
	Petites	III	A δ	1-6	4-36
Amielíniques		IV	C	0.2-1.5	0.4-2.0

1.2.1.1 Els fusos musculars

Es troben a la majoria de la musculatura estriada del cos humà. La seva funció principal és la d'informar sobre el grau d'estirament del múscul. Anatòmicament, estan formats per un grup de 4 a 8 fibres intrafusals recobertes per una càpsula de teixit connectiu i distribuïdes seguint la mateixa direcció de les fibres extrafusals o fibres comuns del múscul (Fig. 2).

Els nuclis més grans de les fibres intrafusals s'anomenen fibres en bossa nuclear, mentre que els més petits, es troben alineats i reben el nom de fibres en cadena nuclear.

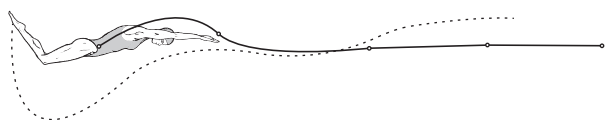
Els axons aferents del tipus Ia innerven els fusos musculars de la porció medial, envoltant les fibres intrafusals, i es coneixen com a terminació sensitiva primària del fus. La innervació sensitiva secundària la duen a terme axons del tipus II, que innerven en especial les fibres en cadena nuclear i en una petita ramificació dels de bossa nuclear. És a dir, les diferents fibres del fus muscular reben dues innervacions sensitives diferents, una més ràpida i gruixuda (Ia) i un altre més lenta i prima (II) (taula 1).

Les fibres intrafusals es contrauen per l'estímul de les motoneurons gamma. Les motoneurons alfa són les responsables del manteniment del to muscular, del que el fus n'és responsable (Purves et al., 2008).

En resum, els fusos musculars estan innervats per dos tipus de fibres sensitives Ia i II. Les Ia són fibres grans amb molta mielina (conduïxen els impulsos a 70-120 m/s). Només n'hi ha una per fus, pel que cada fus inicia impulsos en només una neurona sensitiva. La tensió necessària per provocar la seva descàrrega és només del 40% de la requerida per la descàrrega de les fibres aferents del grup II, més petites i amb menor quantitat de mielina (fet que redueix la seva velocitat de conducció a 40-70 m/s).

Malgrat les terminacions tipus II són menys sensibles a l'estirament produeixen una descàrrega que dura més temps (són menys acomodables).

La innervació eferent del fus muscular es realitza a través de dos tipus de motoneurons gamma especialitzades (1 i 2). Els axons de les neurones gamma-1 innerven les fibres musculars de bossa nuclear, mentre que els axons de les neurones gamma-2 innerven les fibres en cadena nuclear, són més petits i lents. Aquestes motoneurons modulen el nivell d'excitabilitat dels fusos.



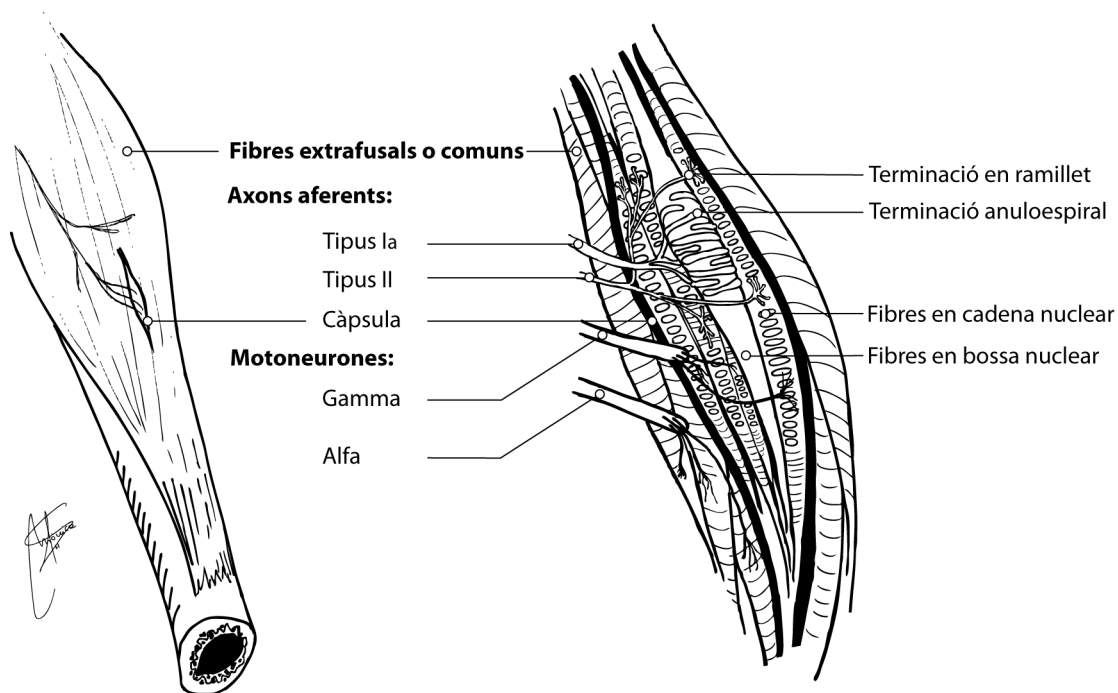


Fig 2. Fus muscular (Adaptat de Netter, 2007)

Quan el múscul s'estira també ho fa el fus i les fibres intrafusals, augmentant la descàrrega en les fibres aferents. En canvi, quan es contrau, les fibres intrafusals deixarien de rebre la tensió d'elongació si no fos perquè, en aquests casos, les motoneurons gamma contrauen les fibres intrafusals en cadena nuclear, mantenint els nivells de tensió interna del fus (Purves et al., 2008).

Quan l'estirament del ventre muscular és elevat i sobtat, els fusos musculars són els receptors que desencadenen el reflex d'estirament, altrament anomenat osteotendinós o miotàtic (Fig. 11). Amb nivells més baixos d'estirament també es generen potencials d'acció, que viatgen pels axons aferents Ia fins a les motoneurons alfa del tronc de l'encèfal, permetent el control del to.

En ambdós casos l'excitació dels fusos musculars provoca ajustos de l'activitat de les motoneurons alfa, que fan que el múscul recuperi la longitud òptima fent-lo contraure, i relaxant alhora el grup muscular antagonista, restablint el nivell d'estimulació dels fusos musculars. L'activació simultània de les motoneurons alfa i gamma permet que els fusos envïïn informació constant al SNC en totes les longituds musculars durant els moviments, manteniments o ajustos posturals (Lephart i Fu, 2000; Saavedra et al., 2003; Pai et al., 2005).

La quantitat de fusos és variable en funció de les necessitats de precisió de moviment del múscul. En aquest sentit, la representació central o cortical de les vies aferents és proporcional a la de la resta del sistema sensoriomotor, expressada gràficament en l'homuncle de l'escorça sensitiva, capaç d'adaptar-se i modificar-se en funció dels requeriments motors i sensitius de les regions del cos més utilitzades (Kandel et al., 2001; Gandevila, Smith, Crawford, Proske i Taylor, 2006; Purves et al., 2008) (Fig. 41).

1.2.1.2 Els òrgans tendinosos de Golgi

Es tracta d'una terminació nerviosa aferent encapsulada que es troba a la unió múscul-tendinosa, meniscos i lligaments (Saavedra et al., 2003) (Fig. 3). L'òrgan tendinós de Golgi està innervat per un sol axó Ib (lleugerament més petit i lent que els del grup Ia del fusos musculars).

Es troba orientat en sèrie respecte de les fibres del tendó, de manera que quan el ventre muscular es veu sotmès a una tensió d'elongació no modifica la seva longitud, donat que està envoltat de fibres de col·lagen (més resistents a les tensions d'elongació que les fibres musculars).

En canvi, quan el múscul es contrau, la força d'elongació que rep el tendó augmenta la tensió que rep l'òrgan d'altres receptors sensitius interposats.

Per aquest motiu, són sensibles als canvis de contracció muscular però relativament insensibles al seu estirament.

Els axons dels òrgans tendinosos de Golgi (Ib) estan connectats a neurones inhibidores de la medulla espinal (anomenades interneurons inhibidores Ib), que alhora fan sinapsi amb motoneurons alfa, les quals innerven el mateix múscul. El circuit que es genera és un sistema de retroalimentació negativa que regula la

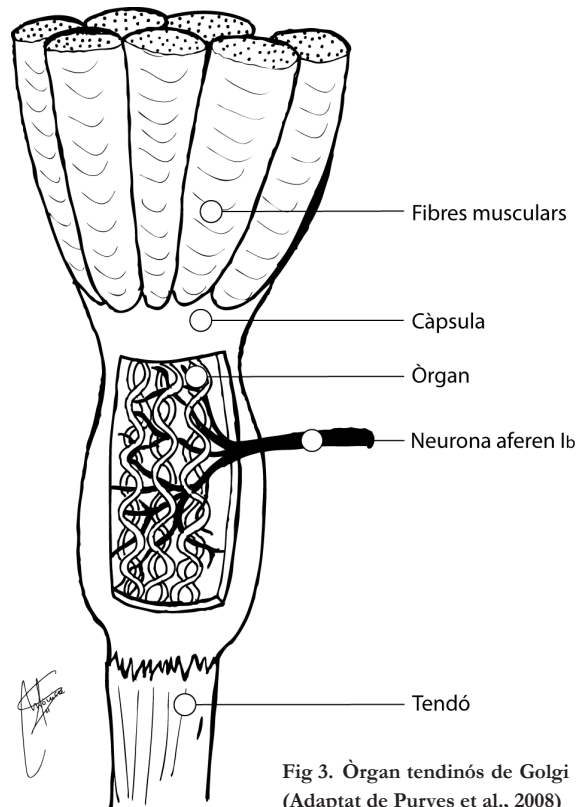
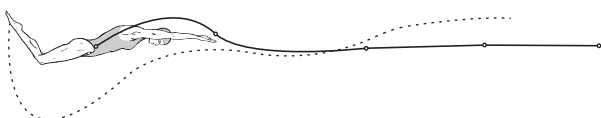


Fig 3. Òrgan tendinós de Golgi
(Adaptat de Purves et al., 2008)



tensió muscular i disminueix l'activació del múscul quan es generen tensions molt elevades, esdevenint un protector muscular (Lephart i Fu, 2000; Saavedra et al., 2003). A nivells més baixos de tensió muscular, s'encarrega de contrarestar els petits canvis de tensió mitjançant l'augment o la disminució d'inhibició de les motoneurons alfa, mantenint la força muscular a un nivell constant i contrarestant els efectes que la disminueixen, per exemple la fatiga (Kandel et al., 2001).

En resum, els receptors de Golgi s'estimulen en els extrems del desplaçament articular i n'informen sobre la posició articular, sobre la direcció del moviment i poden desencadenar el reflex miotàtic invers (de relaxació sobtada del ventre muscular amb el què estan relacionats).

1.2.1.3 Els receptors articulars

A les articulacions es troben principalment dos tipus de mecanoreceptors: els receptors de Ruffini i Pacini. És habitual que als estudis se'ls anomeni en conjunt "receptors articulars", malgrat tenen diferents morfologies, ubicació i funcionament.

a. Els corpuscles de Pacini.

Es tracta d'unes terminacions nervioses encapsulades localitzades al teixit subcutani, a les membranes interòssies, als lligaments, a les càpsules articulars i als meniscos. Tenen una forma ovoide i una estructura en capes de ceba en la que el centre està separat per una làmina externa i per un espai pla de líquid (Fig. 4). Un o més axons d'adaptació ràpida ($A\beta$ ó II) es localitzen al centre de la seva estructura i, gràcies a l'atenuació de l'estímul per part de la càpsula que les envolta, només s'exciten amb freqüències d'estimulació altes (de 250-350Hz).

La seva velocitat d'adaptació és molt ràpida (disminueixen les descàrregues dels potencials d'acció en mil lèsimes de segons a partir de l'inici d'un estímul continu) i el llindar per estimular-los és molt baix, de manera que la seva funció principal propioceptiva és la de detectar les vibracions i les acceleracions o desacceleracions de l'articulació (Saavedra et al., 2003; Purves et al., 2008).

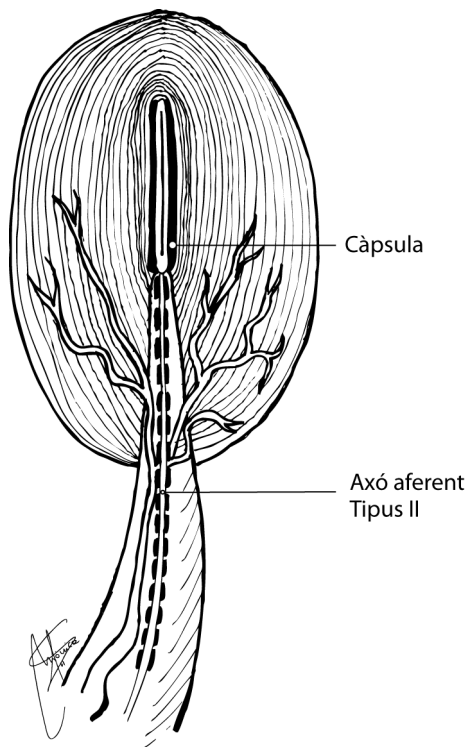


Fig 4. Receptor de Pacini (Adaptat de Paulev, 2000)

b. Els corpuscles de Ruffini

Es tracta d'unes terminacions nervioses fusiformes i allargades que es troben a les bosses articulars, als lligaments, a les càpsules articulars i als meniscos (Fig. 5).

Igual que els receptors de Pacini, tenen un llindar d'activació baix i la seva diferència rau en que la velocitat d'adaptació dels receptors de Ruffini és lenta. Aquesta característica, junt amb la seva morfologia, els fa ser sensibles l'estirament produït pels moviments i capaços de detectar la posició, la pressió intraarticular, els límits i la velocitat del moviment articular (Saavedra et al., 2003; Purves et al., 2008).

c. Terminacions lliures i altres receptors articulars

Les terminacions lliures es troben distribuïdes per la majoria de les estructures articulars. Es poden trobar a la càpsula articular, als lligaments i meniscos. Són axons aferents mielítics del tipus $A\delta$ i el seu diàmetre oscil·la entre els 0.5 i els 5 μm . A un estudi amb gats Heppelmann, Messlinger, Neiss i Smith (1990) van veure que als teixits articulars s'hi troben dos tipus de terminacions nervioses lliures (tipus III i IV) que presenten diferències en la longitud i gruix de les ramificacions axonals, en el nombre i en l'estructura morfològica cel·lular.

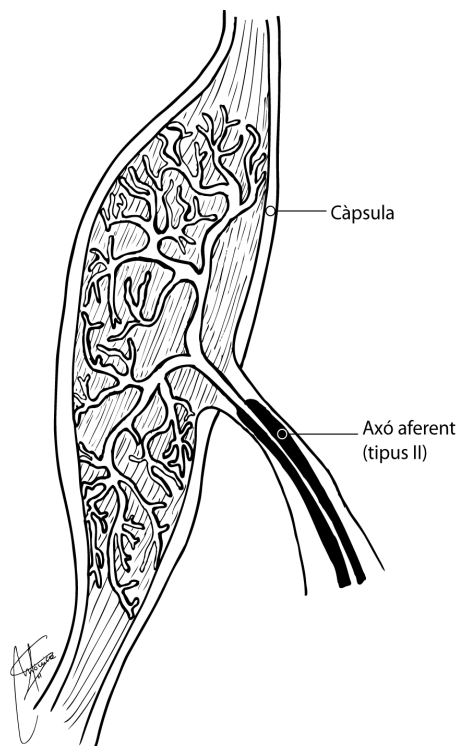
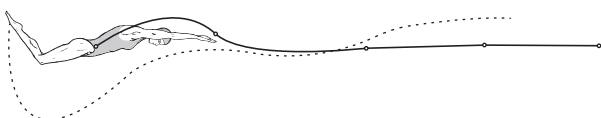


Fig 5. Receptor de Ruffini (Adaptat de Kandel et al., 2001)



S'activen quan hi ha perill de malmetre el teixit articular per una causa mecànica o química (en especial per la presència d'agents inflamatoris com la serotonina, la histamina, entre d'altres).

Diverses fonts afirmen l'existència d'un altre tipus de receptors articulars, diferents als corpuscles de Pacini i Ruffini, dels que només es coneix que no estan pràcticament diferenciats en quant a la seva morfologia, que es troben a les articulacions (sense ubicar-los especialment a lligaments, càpsules articulars o altre estructures articulars) i que la seva funció rau en la identificació de la posició articular, donat que tenen una ràpida adaptació a un mateix estímul i el seu llindar d'estimulació és baix (Purves et al., 2008).

1.2.2 Altres receptors relacionats amb la propiocepció: L'aparell vestibular

El sistema vestibular és un òrgan ubicat en la oïda interna que, gràcies a la seva morfologia i composició, detecta els canvis en el moviment del cap i/o de la resta del cos. Esdevé una peça clau en les funcions sensibles que ajuden a percebre el moviment del cos, del cap i l'orientació espacial respecte de l'acció de la gravetat. Ajuda a establir la mirada, el cap i la postura (Lephart i Fu, 2000).

Es troba a la part profunda de l'os temporal i està format per un conjunt de càmeres interconnectades, anomenat laberint, que es troben a continuació de la còclea o òrgan auditiu de la oïda interna (Fig. 6). El laberint està constituït per parets membranoses primes envoltades de líquid limfàtic (endolimfa i perilimfa). El formen les estructures anomenades utricle, sàcul i els canals semicirculars.

L'utricle és una cavitat ovoide que presenta dos lòbuls. El lòbul anterior és més gran i inclou l'òrgan sensitiu anomenat màcula utricular, i el lòbul posterior és a on es connecten els canals semicirculars.

El sàcul és més petit, de forma arrodonida i aplanada, i conté a l'òrgan sensitiu anomenat màcula sacular.

La màcula està formada per dos tipus de cèl·lules nervioses (ciliades i de suport) cobertes per una membrana gelatinosa, o membrana otolítica, sobre la que hi ha introduïts cristalls de carbonat de calç (anomenats otocònies o otòlits), que fan que la membrana otolítica pesi més que els líquids i les estructures que l'envolten.

Taula 2. Característiques dels receptors propioceptius (Adaptat de Kandel et al., 2001 i Purves et al., 2008)

Tipus de receptor	Axons associats	Diàmetres d'axons associats ($\mu\text{m}/\text{Mielina}+$)	Velocitat de conducció axònica (m/s)	Localització	Funció	Velocitat d'adaptació	Llindar d'activació
Terminacions lliures	C, A δ Tipus IV	1-5/- Amielínica	4-30	Tota la pell	Dolor, temperatura, tacte gruixut	Lenta	Alt
Corpuscles de Pacini	A β Tipus II	6-12/+	30-75	Teixit subcutani, membranes interòssies, càpsules articulars, lligaments i meniscos	Pressió profunda, vibració dinàmica, acceleracions i desacceleracions de l'articulació	Ràpida	Baix
Corpuscles de Ruffini	A β Tipus II	6-12/+	30-75	Pell, borses, lligaments, càpsules articulars i meniscos	Estirament de la pell, posició estàtica articular, pressió intraarticular, límit d'ADM articular i velocitat del moviment	Lenta	Baix
Fusos musculars	A γ Tipus Ia i II	Ia (9-18/+) II (3-6/+)	70-120	Ventres musculars	Estirament i longitud t del ventre muscular, to muscular, reflex miotàtic	Lenta i ràpida	Baix
Òrgans tendinosos de Golgi	A α Tipus Ib	(9-18/+)	70-120	Unions musculotendinosa i lligaments	Tensió muscular, extrems del moviment, direcció i posició articular i reflex miotàtic invers	Lenta	Baix
Altres receptors articulars	-	-	-	Articulacions	Posició articular	Ràpida	Alt i Baix



La màcula utricular està orientada en el pla horitzontal mentre que la sacular està orientada verticalment. Aquesta orientació permet que a l'utricle es detectin els moviments del cap en el pla horitzontal i les inclinacions laterals, i al sàcul els moviments crani-caudals del cap i de flexió i extensió del coll. Quan el cap s'inclina, l'acció de la gravetat fa que els otòlits es desplacin i traccionin de les cèl·lules nervioses ciliades, desencadenant un potencial d'acció que informa sobre el moviment que s'ha produït (Purves et al., 2008).

Els canals semicirculars, en canvi, es troben disposats anatòmicament de manera que cadascun d'ells coincideix amb un dels tres plans de l'espai. Així doncs, detecten els moviments i les acceleracions angulars o rotacionals del cap. Cadascun dels conductes dels canals semicirculars s'eixampla en un punt en forma de bulb anomenat ampulla.

Dins l'ampulla es troba una membrana sensorial anomenada cresta, que també conté cèl·lules nervioses ciliades, la unió dels quals s'estén en una massa gelatinosa anomenada cúpula. La cúpula crea una barrera líquida enmig de l'ampolla i limita la circulació del líquid endolimfàtic que contenen els canals semicirculars. Quan el cap gira, el líquid endolimfàtic pressiona la cúpula, estimulants els cilis nerviosos i desencadenant un potencial d'acció que informarà sobre la rotació que s'ha produït.

La informació recollida als òrgans vestibulars s'envia a través de la branca vestibular del 8è parell cranial, cap al tronc de l'encèfal i al cerebel (Purves et al., 2008).

En resum, el sistema vestibular proporciona informació sobre el moviment lineal i circular del cap o de tot el cos, així com informa de la posició del cos en l'espai. Funciona com a un petit acceleròmetre i dispositiu d'informació inercial biològic, que envia informació

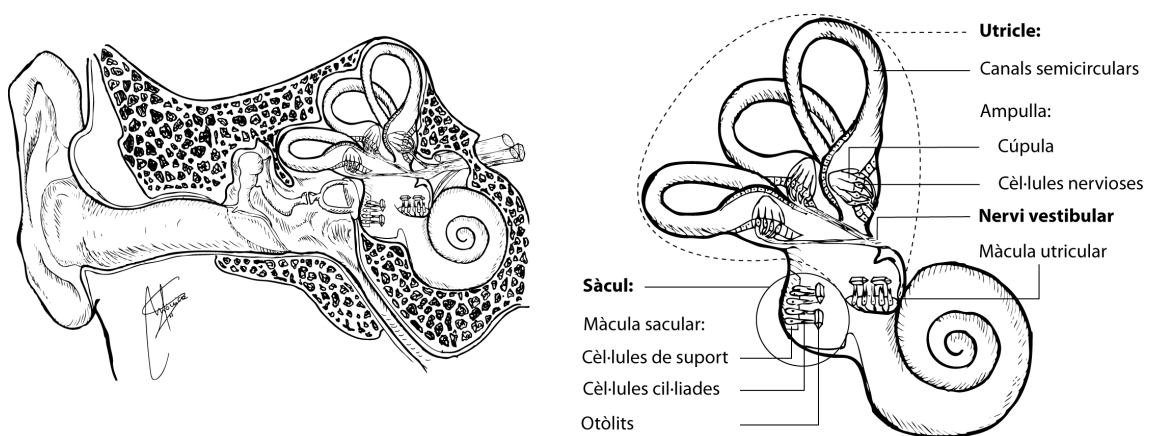


Fig 6. Oïda interna amb còclea i aparell vestibular (Adaptat de Herbrandson, 2005; Ruiz, 2008)

continua als centres vestibulars del tronc de l'encèfal, al cerebel i a les escorces somatosensitives. Els nuclis vestibulars també innerven de forma directe les neurones motores que controlen la musculatura ocular, cervical i postural (Purves et al., 2008).

1.2.3 Conducció aferent: Vies conscients i inconscients de la propiocepció

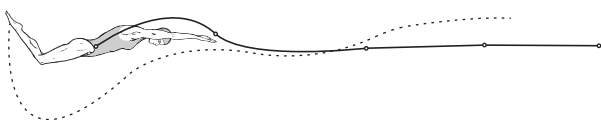
Un cop rebuda la informació als receptors propioceptius, l'impuls viatjarà pel teixit nerviós fins a la medulla espinal. Els nervis raquidis cervicals participen en la percepció sensitiva i l'acció motora de la part posterior del cap, el coll i les extremitats superiors. Els dorsals innerven la part superior del tronc i els nervis lumbar i sacres innerven la part inferior del tronc i les extremitats inferiors (Fig. 39).

Tota la informació sensorial del tronc i les extremitats es transmet per les neurones sensibles primàries ganglionars de les arrels dorsals de la medulla espinal (Fig. 7). El cos de la cèl·lula i el seu axó tenen dues branques. Una es dirigeix a la perifèria i l'altre al SNC. La terminació de la branca perifèrica és la única part del gangli sensible a estímuls físics. Les propietats de les terminacions nervioses o receptors, tal com s'ha explicat, determinen la funció de cadascuna d'aquestes neurones. La resta de la branca perifèrica, junt amb la branca central, rep el nom de via aferent primària i transmet la informació de l'estímul a la medulla espinal o al tronc de l'encèfal.

En aquest punt, les neurones prenen dos camins ascendents a través de la medulla (Fig. 8), establint-se d'aquesta manera les vies propioceptives conscients i inconscients (Kandel et al., 2001).

Vies propioceptives inconscients: Fascicles espino cerebel·losos directe i creuat

La informació propioceptiva inconscient pren dos camins diferenciats. Un cop ha entrat la neurona relacionada amb el receptor propioceptiu a la medulla espinal, pot fer sinapsi amb dues neurones. Unes estan localitzades als nuclis de Bechterew, situats al tracte de fibres nervioses espino cerebel·losos anteriors i laterals de la medulla espinal, i arriben fins al peduncle cerebel·lós superior (portant la informació propioceptiva de les extremitats). Les altres neurones, situades a la columna de Clarke i als fascicles nerviosos espino cerebel·losos posteriors i laterals, arriben del tronc de l'encèfal fins al cerebel, pel camí més directe, fins al peduncle cerebel·lós inferior (portant la informació propioceptiva del tronc) (Fig. 8).



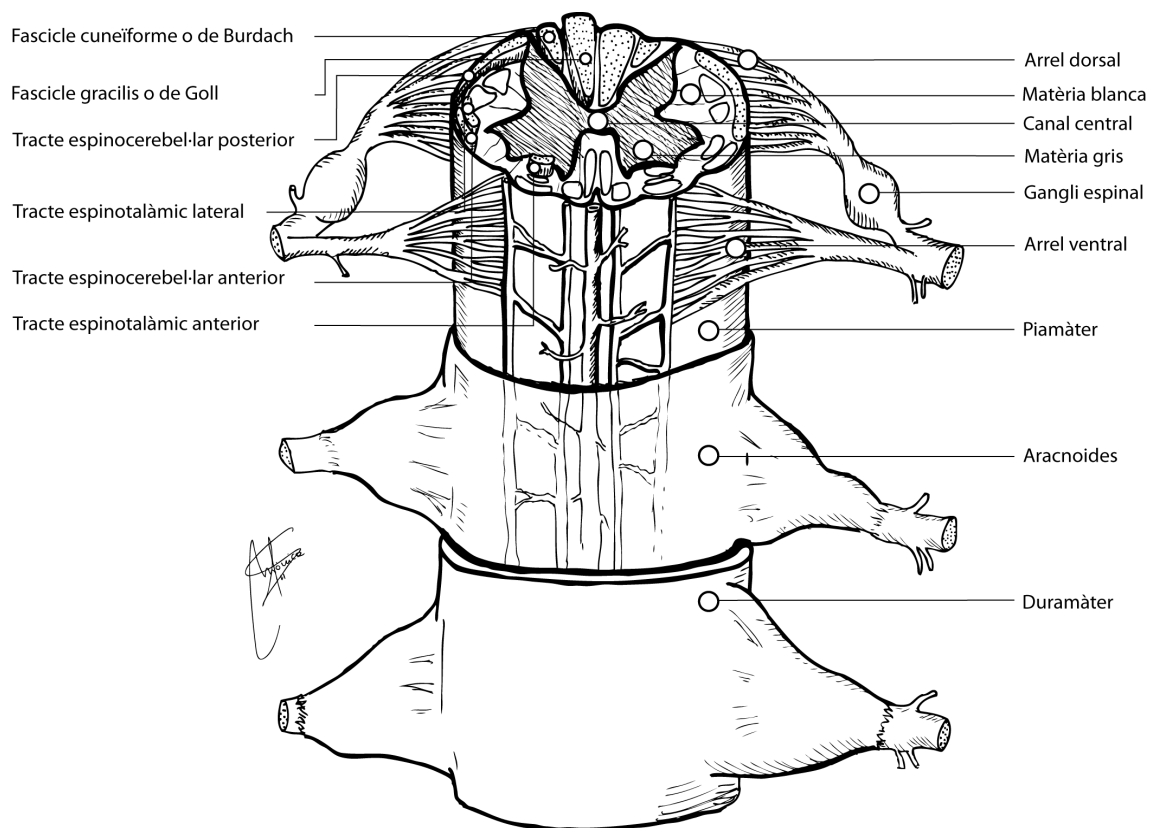


Fig 7. Medul·la espinal: Vies nervioses aferents i característiques anatòmiques (Adaptat de Netter, 2007)

Vies propioceptives conscients

Les fibres propioceptives primàries entren pel cordó posterior homolateral i, sense creuar-se al costat oposat, pugen fins al bulb raquidi, recorren tota la longitud de la medul·la espinal sense relleu. Les informacions de la part inferior del cos discorren pel fascicle gràcil i acaben al nucli del mateix nom al bulb raquidi, mentre que les fibres nervioses de la part superior del cos passen pel fascicle cuneïforme i arriben al nucli cuneïforme del bulb. Ambdós formen la majoria dels cordons posteriors de la medul·la espinal (anomenats fascicle gràcil o de Goll i fascicle cuneïforme o de Burdach) (Fig. 7). Les neurones que surten dels nuclis bulbars originen axons que creuen a l'altre costat de l'encèfal i pugen fins al tàlem per l'anomenada cinta de Reil o lemnisc medial que, després de creuar-se i seguir un trajecte llarg acaba al tàlem (nucli posterior ventral i lateral) i fan que la sensibilitat profunda conscient arribi a l'escorça parietal somatosensitiva (Fig.8) (Delmas, 1992; Daza, 2007; Purves et al., 2008).

Vies vestibulars aferents fins el tàlem i l'escorça

La informació rebuda des del sistema vestibular viatja fins als nuclis vestibulars superior i lateral. Des d'aquí envien axons als nuclis ventral posterior del tàlem i d'aquest es projecten cap a l'escorça cerebral, per darrera de l'escorça somatosensitiva i motora, que correspon a l'àrea 3^a de Brodman (Purves et al., 2008).

1.2.4 Integració de la informació propioceptiva al SNC

Un cop s'ha descodificat l'estímul mecànic als receptors propioceptius i aquest ha viatjat en forma d'impuls elèctric per les vies descrites, la percepció propioceptiva es realitza gràcies a l'acció integrada de varis nuclis i regions del sistema nerviós central. Un principi general del processament de la informació és que es realitza de forma jeràrquica. La informació dels estímuls es transmet a través d'una successió de regions subcorticals i després corticals. Per augmentar la capacitat de processament de la informació del cervell. Fins i tot en una única modalitat sensitiva com la propiocepció, la transmissió d'informació es realitza de forma simultània en varies vies nervioses diferents. Per exemple: l'acceleració de l'articulació i la pressió intraarticular de la mateixa articulació es transmeten al cervell per diferents vies i alhora (Kandel et al., 2001).

1.2.4.1 Integració de la propiocepció al cerebel

El cerebel es troba ocupant la majoria de la fosa cranial posterior (Fig. 1). Constitueix més del 10% del volum total del cervell però conté més de la meitat de totes les seves neurones.

Igual que el cervell, disposa d'una capa externa o escorça cerebel·losa, formada per substància gris, una part interna formada per substància blanca i tres parells de nuclis a la part més profunda (fastigiata, interposat i dentat). Es troba connectat a la part posterior del tronc cerebral mitjançant tres feixos neuronals simètrics, anomenats peduncles cerebel·losos inferior o restiforme, mig o pontí i superior que representen tres regions funcionalment diferenciades.



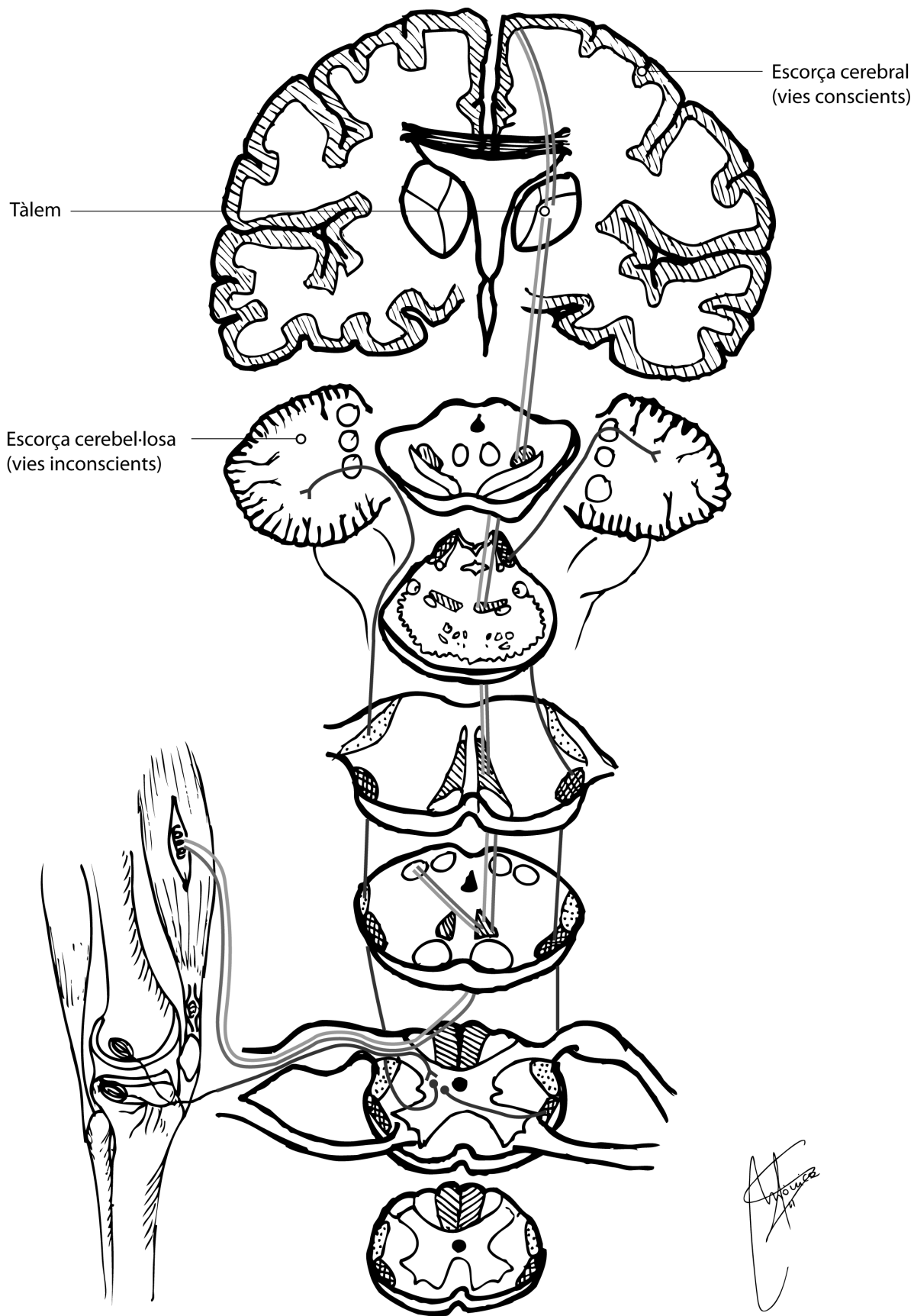


Fig 8. Vies propioceptives conscients i inconscients (Adaptat de Daza, 2007)

La informació propioceptiva inconscient de les extremitats entra al peduncle cerebel·lós superior i es dirigeix al cervell cerebel·lós. Les del tronc entren, després de fer un relleu als nuclis de Clarke, pel peduncle cerebel·lós inferior a l'espino cerebel·lós. Els fascicles nerviosos espino cerebel·lósos arriben per dues vies del peduncle cerebel·lós inferior, ventral i dorsal, proporcionant informació propioceptiva i informació sobre les ordres de contracció des de les interneurons de la medulla espinal, de l'escorça premotora i motora del cervell. Els fascicles ventrals transporten informació del ritme locomotor i els dorsals proporcionen una retroalimentació sensitiva només durant l'evolució dels moviments (Kandel et al., 2001; Bosco i Poppele, 2001).

Les neurones que arriben a l'espino cerebel·lós, tant les que porten informació propioceptiva com les que porten informació exteroceptiva, permeten que aquesta part del cervell faci una discriminació espacial acurada, utilitzada per a la coordinació fina, tant de la postura com del moviment de les extremitats (Bosco i Poppele, 2001).

D'altra banda, les neurones que arriben al cervell cerebel·lós permeten que es realitzi la planificació de seqüències en l'espai i el temps de moviments complexos (inclosa la parla) i la coordinació del moviment amb guia visual (Bosco i Poppele, 2001; Purves et al., 2008). El cervell cerebel·lós també desenvolupa funcions perceptives, elaborant l'acció motora i disminuint el temps de reacció motora i cognitiva (ja que el nucli dentat és important per l'adquisició i processament de la informació sensitiva de tasques que impliquen judicis espai temporals complexos i seqüencials).

A més, el cervell participa en el procés d'aprenentatge motor essent el responsable de que un gest, après de forma conscient i controlada, arribi a realitzar-se de forma automàtica (Kandel et al., 2001).

1.2.4.2 Integració de la propiocepció al tàlem

La informació propioceptiva conscient realitza el seu primer contacte amb el cervell al tàlem. El tàlem és una estructura ovalada que constitueix la porció dorsal del diencèfal.

Transmet aferències sensitives primàries a l'escorça filtrant-les, impeding o facilitant el pas de la informació en funció de l'estat de la conducta de la persona o de la quantitat d'informació rebuda de cada modalitat sensitiva (Purves et al., 2008)(Fig.1 i Fig. 8).

Segons Perea i Ladera (2008), s'han identificat fins a 50 nuclis talàmics.



Alguns reben informació específica d'una modalitat sensitiva i la projecten a un àrea concreta del cervell i uns altres participen en funcions motores, transmetent informació del cerebel i dels ganglis basals a les regions motores del lòbul frontal. És freqüent classificar els nuclis del tàlem en quatre grups: anterior, medial, ventral i posterior.

El grup anterior del tàlem dels humans està compost per un sol nucli que rep aferències de d'hipotàlem i del hipocamp (taula 3). Es creu que participa en la memòria i les emocions.

El grup medial consta del nucli medial dorsal i presenta tres subdivisions connectades a una regió concreta de l'escorça cerebral frontal. Rep aferències de part dels ganglis basals, del nucli de l'amígdala i del mesencèfal i se'l relaciona amb la memòria.

Taula 3. Nuclis talàmics i les seves funcions.

Nuclis neuronals del tàlem	Funció
Anterior	Memòria i emocions
Ventral anterior	Control motor
Ventral lateral	Transmet informació dels ganglis basals i del cerebel a l'escorça motora.
Cos geniculat medial	Component del sistema auditiu
Cos geniculat lateral	Rep i envia informació visual
Pulvinar	Connectat amb els lòbuls parietal, temporal i occipital i amb els nuclis del tronc cerebral relacionats amb la visió.
Intralaminars	Reben aferències de la formació reticular, ganglis basals i àrees premotora i motora. Relacionats amb el control motor.
Ventral posterior	Participa en el reconeixement d'objectes al tacte i del propi cos. Relleu d'estímuls dolorosos que ajuden a desencadenar respostes reflexes de retirada.
Ventral posterolateral	Transmet informació a l'escorça somatosensitiva. Relleu d'informació somàtica del cos respecte a la forma, textura, volum, temperatura i pes dels objectes. Rep estímuls de dolor de tot el cos, exceptuant la cara.
Ventral posteromedial	Relleu sensitiu de cap i cara, involucrat en la percepció dels moviments. Rep estímuls de dolor de la cara.

El grup ventral rep el seu nom segons la seva posició en el tàlem. Els nuclis ventral anterior i ventral lateral són importants pel control motor i transmeten informació dels ganglis basals i del cerebel a l'escorça motora. El nucli posterolateral transmet informació a l'escorça cerebral somatosensitiva.

El grup posterior compren el cos geniculat medial i lateral, el nucli lateral posterior i el pulvinar. El cos geniculat medial és un component del sistema auditiu i el lateral rep i envia informació visual.

El nucli pulvinar es divideix en tres i està connectat amb amplies regions dels lòbuls parietal, temporal i occipital, així com amb nuclis del tronc de l'encèfal relacionats amb la visió (Kandel et al., 2001).

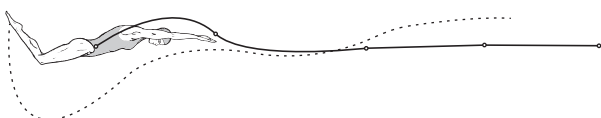
A més de la divisió clàssica de nuclis en tres parts, existeix un altre grup de nuclis talàmics, anomenats intralaminars, que constitueixen cúmuls de neurones situades en la làmina medul·lar interna del tàlem. Per ells passen les neurones colinèrgiques del tronc de l'encèfal i formen part de l'activació ascendent o aferent. Un exemple que destaca la seva importància en el processament dels moviments conscients, és que podem perdre una part de l'escorça cerebral sense perdre de forma generalitzada la consciència, en canvi la lesió dels nuclis intralaminars talàmics o de parts del tronc cerebral pot eliminar per complet tot tipus de consciència, malgrat cap de les dues estructures disposa de la infraestructura necessària per fer que els estímuls arribin a ser conscients (Koch, 2005).

El tàlem forma part del sistema somatosensitiu col·laborant en la percepció d'estímuls mecànics, tèrmics i dolorosos. Gràcies a les projeccions del nucli ventral posterior, cap a les àrees associatives parietal posterior 5 i 7 de Brodman i cap a l'àrea associativa parietotemporooccipital 40, és possible el reconeixement dels objectes al tacte i el del propi cos (Fig. 9).

El nucli ventral posterolateral actua com a relleu de la informació somàtica del cos i de les extremitats, fent possible les percepcions objectives de la forma, volum, textura, temperatura i pes dels objectes.

El nucli ventral posterior medial actua de relleu sensitiu del cap i la cara, malgrat gràcies a les seves projeccions cap a les zones frontals (àrees 4, 8, 6, 44 i 45) està involucrat en la percepció dels moviments.

El tàlem també és responsable de desencadenar respostes reflexes de retirada davant d'estímuls dolorosos, donat que els axons aferents que porten informació sobre dolor i temperatura fan relleu al nucli ventral posterior.



En concret, el nucli ventral posterior medial rep la informació de dolor de la cara i el ventral posterior lateral de la resta del cos (Perea i Ladera, 2008).

En resum, la participació del tàlem en la recepció i regulació de la informació propioceptiva es troba, fonamentalment, als nuclis ventral posterior lateral i al nucli ventral posterior medial, des d'on també es produeix el relleu d'altres informacions somatosensitives abans de ser enviades cap a l'escorça sensitiva primària del lòbul parietal (Kandel et al., 2001; Perea i Ladera, 2008).

1.2.4.3 Integració de la informació propioceptiva a l'escorça cerebral

a. Escorça somatosensitiva primària

Els axons de les cèl·lules del nucli ventral posterolateral del tàlem acaben a fonamentalment a l'escorça somatosensitiva primària, a la circumvolució postcentral de l'escorça parietal. La informació propioceptiva arriba a les àrees de Brodmann 1, 2, 3, 5, 7 i 40 (Fig. 9).

Les parts corporals troben una representació major en l'escorça cerebral sensitiva en funció de les necessitats de precisió en la recepció d'estímuls.

Aquesta representativitat, grafada per primera vegada pel neuròleg Wilder Penfield al 1957, dóna una idea de la quantitat de neurones sensibles i motores que tenen assignades les diferents regions corporals (Fig. 38). Encara que es va creure invariable, diverses recerques han demostrat que l'acumulació d'experiències sensibles i motores, de zones corporals amb una representació cortical determinada, pot modificar-la (Barlow, 1991; Feldenkrais, 1997; Ishiara, Roy, Ohira i Edgerton, 2002; Pai, 2003; Acebedo i Ekkekakis, 2006).

Els mapes corticals varien, independentment de l'edat, amb l'ús de les vies aferents. Aquest aspecte va ser estudiat a partir de la comparació dels mapes topogràfics de l'escorça somatosensitiva entre diferents individus (Ansorge, Francis, Herzog i Ögmen, 2007). Com que les diferències podien atribuir-se a l'herència genètica o a l'experiència motriu, es va realitzar un altre tipus d'estudi amb micos per avaluar les diferències entre els seus mapes topogràfics després de sotmetre'ls a un experiment a on havien de agafar el menjar, situat sobre uns discos giratoris, amb la punta dels dits índex, anular i polze. Passats 6 mesos els resultats obtinguts van demostrar un augment de l'escorça somatosensitiva dedicada a la punta dels dits amb els que recuperaven el menjar, en detriment de la resta dels dits.

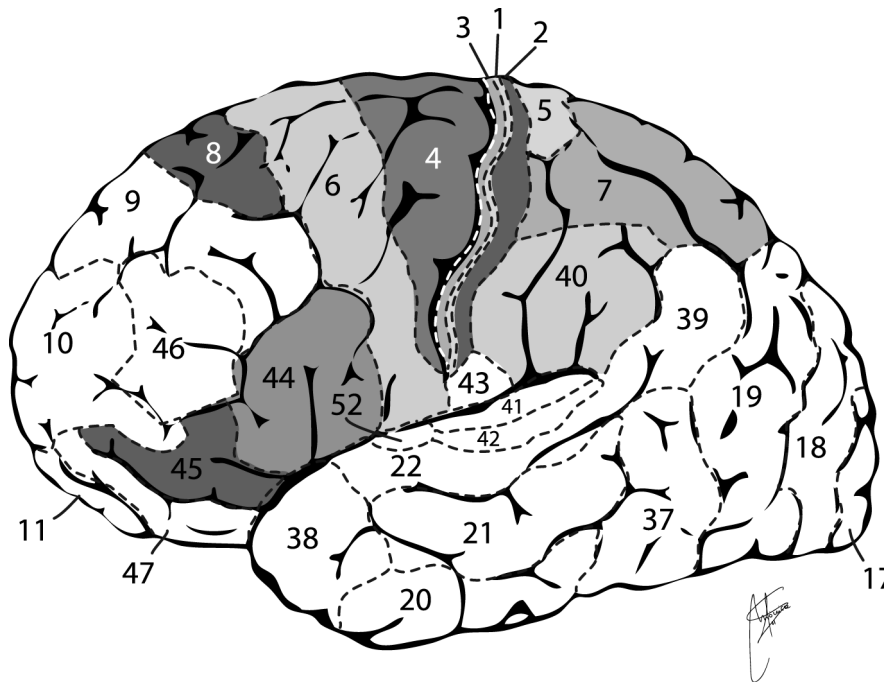


Fig 9. Àrees de Brodmann (Adaptat de Herbrandson, 2005)

L'ús intens o el desús provoca canvis en les connexions entre les regions perifèriques estimulades i a l'escorça a on arriben els estímuls que reben aquestes zones.

Es van estudiar les modificacions de l'escorça en micos al cap de 10 anys d'haver-los seccionat els nervis sensitius que innerven l'extremitat superior, i es va observar que en tots els micos la representació cortical de la cara havia guanyat terreny a l'àrea contigua que representava la mà abans de la desaferenciació, donat que l'estimulació de la cara donava respostes a l'àrea que abans corresponia a la mà. Aquestes variacions es van produir en un terç del mapa destinat a la superfície corporal, en un àrea d'uns 10mm de l'escorça (Bawa, 2002; Cotman i Engesser, 2002; Davids, Bennet i Newel, 2006).

Els estudis indiquen que les connexions aferents de neurones de l'escorça sensitiva es formen a partir de la seva activació correlacionada. La limitació dels patrons de connexió està programada genèticament, però pot ser modificada amb l'aprenentatge, repetint experiències motrius que correlacionin en el temps els patrons d'aferències rebudes a l'escorça (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

El processament bàsic de la informació propioceptiva té lloc a l'àrea 3 i el més complex es realitza a l'àrea 1. A l'àrea 2 es combina amb la informació tàctil per a controlar el reconeixement d'objectes al tacte (Kandel et al., 2001).



b. Escorces d'associació

Un cop rebuda la informació propioceptiva a l'àrea sensitiva primària de l'escorça parietal, s'inicia una cadena d'intercanvi d'informació amb la resta de l'escorça cerebral, a través de les escorces d'associació (Fig. 12). Aquestes inclouen la major part de la superfície cerebral i són les responsables de processar la informació entre l'arribada de les aferències a l'escorça sensitiva primària i la creació d'una resposta o d'un comportament ajustat a aquesta informació, procés que a la neurociència s'anomena cognició (Purves et al., 2008). Segons Kandel et al. (2001) aquest procés fa referència a la capacitat de mantenir l'atenció sobre els estímuls externs, d'identificar el significat d'aquests estímuls i planificar respostes ajustades a ells.

Les escorces d'associació reben i integren informacions de diferents procedències del cervell, incloses les escorces sensitives primàries i secundàries, el tàlem i el tronc de l'encèfal. L'escorça d'associació parietal és responsable de mantenir l'atenció sobre els estímuls del medi extern i intern, la temporal identifica la naturalesa d'aquests estímuls (mecànics, tèrmics, químics, entre d'altres) i la frontal planifica les respostes adequades als estímuls i emmagatzema els aspectes sobre les característiques d'aquestes respostes (Purves et al., 2008).

Les informacions que arriben a l'escorça sensitiva primària es projecten a les àrees d'associació més properes, anomenades àrees d'associació unimodal que, com el seu nom indica, processen informació referent a una única modalitat sensitiva, com pugui ser la propioceptiva. A continuació, aquestes passen a les escorces d'associació multimodal, que integren la informació d'altres modalitats sensorials i vinculen les informacions rebudes a la planificació dels moviments (Fig. 10).

Existeixen tres tipus d'àrees d'associació multimodal: posterior, límbica i anterior. La posterior (entre els lòbuls parietal, temporal i occipital) vincula les informacions de les diferents modalitats sensitives per a la percepció i el llenguatge. La límbica (al cantell intern de l'hemisferi cerebral) s'encarrega de processar les emocions i d'emmagatzemar la memòria. Finalment, l'anterior (situada a l'escorça prefrontal) planifica els moviments.

El funcionament de les àrees d'associació es regeix per tres principis. El primer fa referència a que la informació sensitiva es processa tant seqüencialment com en paral·lel. El segon a que de les àrees unimodals es passa a les àrees multimodals.

El tercer principi determina que la seqüència del procés de la informació conclou en el sistema motor. És a dir, la informació propioceptiva que arriba a l'àrea de l'escorça sensitiva primària passa a l'àrea d'associació unimodal i d'aquí a la multimodal prefrontal, a on s'integren totes les informacions d'altres modalitats sensibles relacionades amb la posició o el moviment de l'articulació (el tacte o la pressió dels extrems que es mouen, informacions visuals referents a l'entorn o la posició articular i/o informacions del sistema vestibular referents a la presència o absència d'acceleració del cap o del cos sencer) (Kandel et al., 2001).

Les vies sensibles dedicades a la recepció d'informació visual, propioceptiva, auditiva o somàtica, conflueixen a les àrees multimodals de les escorces prefrontal, parietotemporal i límbica. Les neurones que es troben en aquestes àrees responen a les combinacions entre les senyals que representen modalitats sensibles diferents, construint una representació interna de l'estímul sensitiu que s'encarrega d'un aspecte concret de la conducta que es desenvoluparà. L'aportació de la informació visual o vestibular a la percepció de la posició o del moviment articular, que proporciona la informació propioceptiva, ha estat objecte de controvèrsia en l'estudi de la propiocepció i l'esquema corporal (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

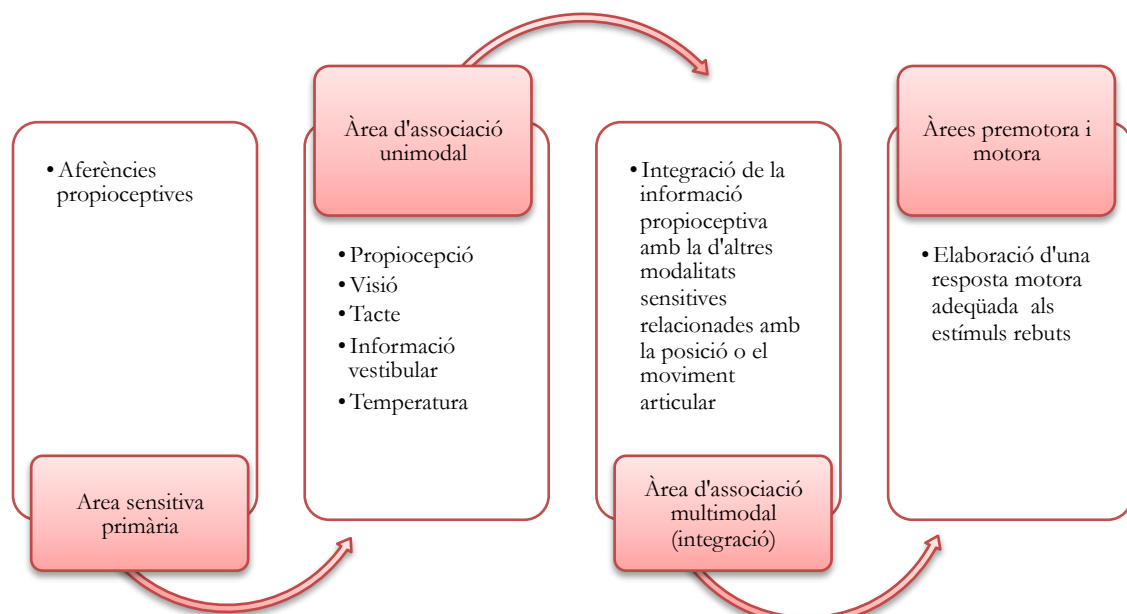


Fig 10. Escorces d'associació del SNC



1.2.5 Elaboració de la resposta: Centres reguladors i motors

Un cop relacionada tota la informació rebuda a les escorces d'associació, els patrons de moviment que se'n desprenguin es duran a terme per diferents circuits de neurones motores, molt relacionats entre ells (Purves et al., 2008).

1.2.5.1 Circuit d'elaboració de la resposta de la medul·la espinal

El primer circuit correspon al que es localitza a la substància gris de la medul·la espinal i del tronc de l'encèfal. Els moviments que s'inicien en aquest circuit són involuntaris o reflexos. Està format principalment de les interneurons que relacionen directament les aferències amb les neurones motores inferiors (responsables d'enviar l'ordre de contracció als músculs efectors per al moviment reflex o voluntari).

L'activitat reflexa que es du a terme als circuits de la medul·la espinal està desencadenada pels fusos musculars i els òrgans tendinosos de Golgi. Els fusos musculars, com s'ha comentat, desencadenen el reflex més senzill del arcs reflexos: el reflex miotàtic.

Un estirament sobtat del ventre muscular provoca l'estirament de les fibres intrafusals, generant potencials d'acció en els axons aferents tipus Ia.

La informació de les neurones Ia desencadenarà l'excitació de la motoneurona alfa, que contraurà el múscul estirat. Simultàniament es formaran connexions inhibidores sobre la motoneurona alfa de la musculatura antagonista, provocant la seva relaxació (Fig.11).

El reflex miotàtic és possible malgrat el múscul estigui en situació de repòs, gràcies al to muscular, el qual garanteix l'excitació de les fibres intrafusals independentment de l'activació voluntària del múscul. S'examina amb un cop sec de martell sobre els tendons per avaluar les seves alteracions (Purves et al., 2008).

El reflex miotàtic invers, o reflex de l'òrgan tendinós de Golgi, es desenvolupa quan el múscul es contrau de forma activa i la tensió de l'escurçament del ventre muscular tracciona les fibres de col·lagen del tendó, comprimint els receptors de Golgi interposats. Es produeix un potencial d'acció en els axons sensitius Ib, els quals fan contacte amb interneurons inhibidores de la medul·la espinal que, alhora, fan sinapsis amb les motoneurons alfa que innerven el mateix múscul, provocant la seva relaxació (Purves et al., 2008).

Altres reflexes són regulats directament pel circuit local de la medul·la espinal, però responen a estímuls dolorosos sobre receptors cutanis, no propioceptius. Són els reflexes de retirada o de flexió i el reflex d'extensió creuada.

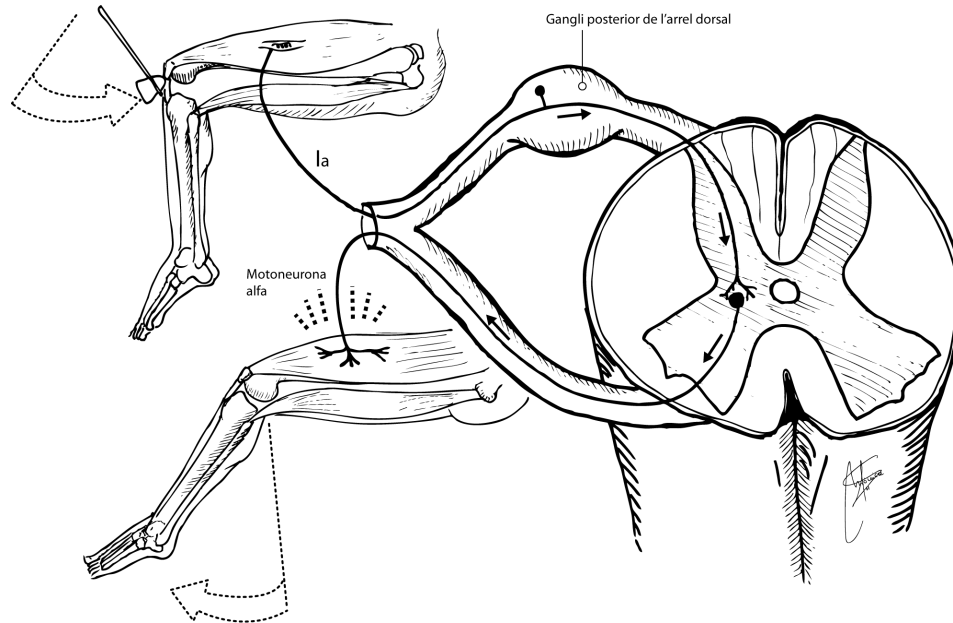


Fig 11. Reflex d'estirament o miotàtic (Adaptat de Purves et al., 2008)

La medul·la espinal també participa en el control directe d'alguns moviments rítmics com la marxa o la natació. S'ha demostrat que la medul·la espinal d'alguns animals és capaç de generar patrons motors, que controlen el moment oportú i la coordinació de patrons complexos de moviment i els ajusten en funció de les circumstàncies. No s'ha aconseguit demostrar el mateix control sobre els humans (Purves et al., 2008).

1.2.5.2 Circuit de regulació del tronc de l'encèfal

El tronc de l'encèfal està format per nuclis neuronals i feixos nerviosos que permeten el control continu de la postura (Purves et al., 2008). Els feixos nerviosos reben aferències de l'escorça cerebral i dels nuclis subcorticals (tàlem i ganglis basals) i els projecten cap a la medul·la espinal.

Els sistemes eferents medials del tronc de l'encèfal (formació reticular i nuclis vestibulars) contribueixen al control de la postura, integrant la informació visual, vestibular i somatosensitiva (entre ella la propioceptiva).



Els sistemes eferents laterals (nucli vermell) controlen la musculatura més distal, contribuint als moviments de les extremitats superiors dirigits a objectius.

Altres circuits del tronc del encèfal (col·licle superior) controlen els moviments del cap i dels ulls (Kandel et al., 2001).

Els nuclis vestibulars són el punt de confluència dels axons que venen des de l'aparell vestibular (per la branca vestibular del VIII parell cranial). Aporten, com s'ha explicat, informació específica sobre la posició i l'acceleració angular del cap. Moltes de les cèl·lules dels nuclis vestibulars que reben aquestes informacions són neurones motores superiors, amb axons eferents que acaben directament a la substància gris de la medulla espinal. Altres es dirigeixen lateralment al nucli vermell, encarregat del control de la musculatura proximal de les extremitats superiors, o es projecten cap a les neurones motores inferiors, en els nuclis dels nervis cranials, que controlen els moviments dels ulls (3er, 4art i 6è parell cranial) i són els responsables de mantenir la fixació de la mirada en un punt mentre el cap s'està movent (Purves et al., 2008).

La formació reticular és un grup dispers de neurones que es troben al mig del tronc de l'encèfal. Formen una xarxa de neurones amb connexions difuses que s'estenen des de les regions de la substància gris medial de la medulla espinal cervical fins a regions laterals de d'hipotàlem i alguns nuclis medials del tàlem.

Tenen funcions de control cardiovascular i respiratori, d'alguns reflexes sensitius motors, d'organització dels moviments oculars, de regulació del son i la vigília i de coordinació temporal i espacial dels moviments (Purves et al., 2008).

Tant els nuclis vestibulars com la formació reticular envien eferències a la medulla espinal davant d'alteracions de la postura i de l'estabilitat corporal. Les projeccions dels nuclis vestibulars faciliten una resposta compensatòria ràpida, davant la desestabilització postural detectada per l'aparell vestibular, mentre que la funció de la formació reticular es realitza durant els moviments continus i permet el control postural, anticipat al moviment voluntari, prevenint les contraccions necessàries per estabilitzar el cos davant d'una acció voluntària (Kandel et al., 2001).

1.2.5.3 Circuit de l'escorça premotora i motora

L'escorça cerebral és el nivell més alt del control motor. Les neurones motores superiors es troben al lòbul frontal i, en conjunt, són les encarregades de gestionar la planificació i la iniciació de les seqüències temporals complexes dels moviments voluntaris. Totes les àrees corticals motores reben aferències reguladores des de els ganglis basals i el cerebel, mitjançant relleus en el tàlem ventral lateral i aferències que venen de les regions somatosensitives del lòbul parietal (Fig. 12). Malgrat es comú anomenar a l'escorça frontal en conjunt com a escorça motora, aquest terme està limitat a l'escorça motora primària (Purves et al., 2008).

L'escorça motora primària està ubicada en la circumvolució precentral, corresponent a l'àrea 4 de Brodmann. Davant d'estímuls elèctrics induïts, de baixa intensitat, provoca la contracció dels músculs amb els que es relacionen les neurones motores activades, al costat contra lateral a l'hemisferi estimulat (Kandel et al., 2001).

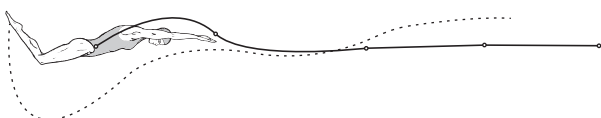
L'escorça motora humana també conté un mapa espacial de la musculatura del cos amb la que es relaciona, diferent a l'homuncle sensitiu (Fig. 41). Mostra una disposició ordenada de les àrees de control per a les diferents parts del cos, proporcionals a la precisió i al control motor que requereixen cadascuna d'elles, motiu pel qual l'àrea corresponent als músculs de la mà i de la cara és significativament més gran que els de la resta del cos (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

Els primers experiments amb mapes corticals i estimulació elèctrica de la superfície cortical, van donar una idea simplista que l'escorça motora primària actua com una centraleta de control sobre els músculs amb els què es troba relacionada.

Estudis més actuals, amb microelèctrodes inserits dins l'escorça per estimular les neurones eferents, descarten aquesta idea i afirmen que l'activació de la musculatura pot realitzar-se des d'altres àrees de l'escorça cerebral i que una mateixa neurona motora pot innervar més d'un múscul (Kandel et al., 2001).

Entre les aferències que rep l'escorça motora primària cal destacar les que arriben des de l'escorça somatosensitiva primària. Això implica que algunes neurones de l'escorça motora reben aferències propioceptives de la mateixa musculatura sobre la que es projecten, a través de les vies nervioses anomenades transcorticals.

Aquesta connexió permet l'elaboració ràpida d'una resposta, no reflexa, davant de l'estirament d'un múscul amb un temps de latència més petit que els temps de reacció motora simple (però més gran que els temps de latència d'un acte reflex).



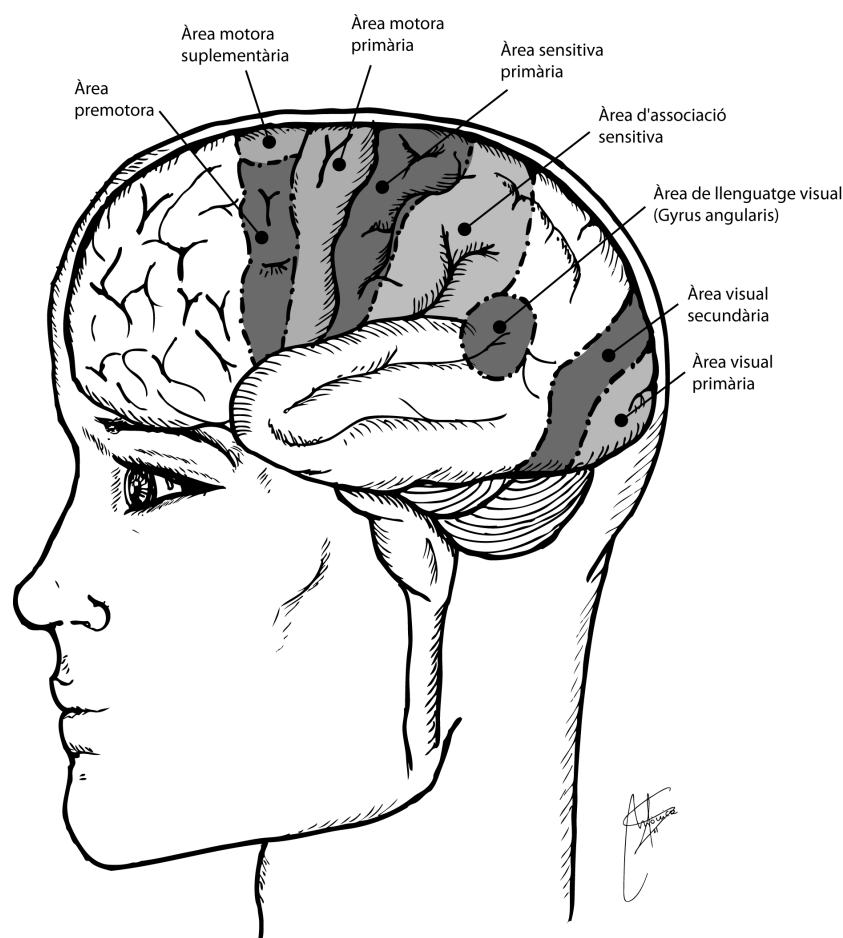


Fig 12. Àrees de l'escorça cerebral vinculades a la informació i integració propioceptiva (Adaptat de Kandel et al., 2001 i Purves et al., 2008)

Aquest fet únicament es produeix quan es demana a la persona que mantingui la seva atenció alhora de resistir activament el moviment (Kandel et al., 2001).

A finals dels anys 30 es va descobrir que els moviments també es podien provocar per l'estimulació directa de l'escorça premotora. Es tracta d'un complex d'àrees interconnectades del lòbul frontal situada davant de l'escorça motora primària (Fig. 12). Les motoneurones que hi surten incideixen en el comportament motor a través de les connexions recíproques amb l'escorça motora primària o bé sobre les neurones del circuit local i les neurones motores del tronc cerebral i la medulla espinal. L'escorça premotora utilitza les informacions d'altres regions corticals per seleccionar els moviments més adients a cada situació i està relacionada amb el temps d'aparició dels moviments resultants (Purves et al., 2008).

Fins a un 65% de les neurones de l'escorça premotora lateral estan relacionades amb el temps en que es triga a elaborar la resposta motora i l'anticipació motora davant d'un estímul après. L'escorça premotora medial està especialitzada en anticipar moviments davant d'estímuls emmagatzemats, com els propioceptius (Montero, 2006).

La diferència més important entre les possibilitats d'induir el moviment de l'escorça premotora vers l'escorça motora primària recau en que l'estimulació de les àrees premotores acostuma a generar moviments més complexes, en els que intervenen més d'una articulació. L'estimulació de les parts medials de l'escorça premotora pot generar, fins i tot, moviments bilaterals, pel que se la relaciona amb la coordinació dels gestos d'ambdós costats del cos.

Les àrees motores de l'escorça cerebral integren la informació visual i la propioceptiva, entre d'altres, per produir moviments voluntaris que necessiten ser planificats, lluny de la immediatesa dels moviments reflexos.

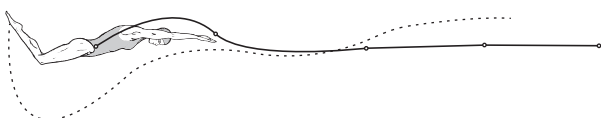
L'escorça motora primària i algunes de les àrees premotores es projecten directament cap a la medul·la espinal i regulen els feixos neuronals motors que s'originen al tronc de l'encèfal. Són les responsables de la planificació i el control de les seqüències de moviments complexos de caràcter voluntari (l'activació de les neurones de l'escorça motora primària es produeix uns 100 ms abans de que es produeixi el moviment).

La pràctica i l'aprenentatge ajusten la relació entre el control cortical dels músculs necessaris per realitzar una acció i les característiques de la contracció que s'ha de desenvolupar.

En concret, l'àrea premotora rep informació de les escorces d'associació, parietal posterior i prefrontal, i es projecta cap a l'escorça motora primària o directament cap a la medul·la espinal. Les neurones motores superiors de l'escorça controlen el moviment de forma indirecte, mitjançant les vies que es projecten cap al tronc de l'encèfal i d'aquest als circuits organitzadors del tronc encefàlic i de la medul·la espinal (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

Els estudis sobre les àrees premotores ajuden a identificar la manera com contribueixen a la preparació del moviment. Els moviments són iniciats internament per la persona i desencadenats per entrades sensorials que impliquen les àrees premotores laterals. La premotora dorsal lateral també està implicada en l'acció executada després d'un senyal previ i la premotora ventral lateral en l'adaptació de la posició de la mà per agafar objectes.

Als anys 90 un grup de neurofisiòlegs italians (Rizzolatti, Gallese i Fogassi, entre d'altres) van descobrir, de forma fortuïta, l'existència d'unes neurones a l'escorça frontal inferior dels micos macacos: les neurones mirall. Durant l'experiment, enregistraven l'activitat elèctrica de les neurones responsables dels moviments i el control de les mans, mentre es permetia al mico que es servís aliments que li oferien com a recompensa.



Durant l'assaig, Fogassi va intentar agafar un plàtan quan, de sobte, es van activar en el mico les mateixes neurones que havien donat activitat quan el mico feia el gest, malgrat aquest cop només l'estava observant. Les neurones mirall s'activaven quan el mico observava, escoltava o realitzava un determinat gest. Per exemple, si el mico escoltava trencar un paper es posava en funcionament les neurones responsables de preparar el patró motor necessari per trencar-lo (Rizzolatti, 1994; Rizzolatti, Fadiga, Gallese i Fogassi, 1996).

Els estudis en humans, amb ressonància magnètica, han demostrat l'existència d'aquestes neurones al lòbul parietal, àrea 40 de Brodman, i al lòbul frontal posterior, àrea 44 de Brodman, al costat de l'àrea de Broca o àrea del llenguatge (Fig. 9). El funcionament de les neurones mirall en els humans és similar al dels micos, amb alguns matisos. En els humans, permeten desxifrar algunes fases dels moviments per poder comprendre'ls i integrar-los en una seqüència motriu, codificant tant les accions motores que s'estan duent a terme com les que es pot imaginar, tinguin o no un sentit o finalitat determinada (els micos només poden identificar les accions observades de les quals entenen la finalitat, com la d'apropar-se un plàtan a la boca amb la finalitat de menjar-se'l, i no poden imitar el mateix gest si no existeix el plàtan i només es fa veure que hi és).

El sistema de neurones mirall dels humans és capaç de codificar o identificar la intenció del gest observat. Ara bé, per a poder-ho fer és necessari haver adquirit un coneixement motriu a partir de l'experiència sensorial, en especial de la facilitada per la propiocepció i la informació visual (Gallese, Fadiga, Fogassi i Rizzolatti, 1996; Rizzolatti, Fogassi i Gallese, 2007).

L'experiència propioceptiva permet que ens impliquem en primera persona en els actes motrius observats que hem realitzat amb anterioritat, donat que la nostra escorça premotora te gravats els patrons motors per l'acció observada (per aquest motiu els nadons poden imitar el gest d'obrir la boca o treure la llengua però no poden comprendre el sentit o significat que aquest gest pot tenir) (Rizzolatti, 2005; Montero, 2006).

S'ha comprovat que l'assaig mental d'un moviment o la seva visualització provoca el mateixos patrons d'activació de les neurones mirall que els que es produeixen durant la realització del moviment (Rizzolatti, 1994; Gallese et al., 1996; Morris, Spittle i Watt, 2005).

1.2.5.4 Intervenció del cerebel en la resposta motora

El cerebel actua amb les seves neurones eferents sobre les neurones motores superiors, a mode de regulador, de manera que detecta la diferència o errada motora entre el moviment que s'havia planejat fer a l'escorça cerebral i el que realment s'ha fet. Aquesta informació permet reduir el temps de resposta i les errades comeses. Rep informacions sobre la programació i l'execució del moviment que suposen una aferència 40 vegades superior a les eferències que en surten.

En trets generals, el cerebel dota de precisió i coordinació als moviments, controlant l'impuls necessari per dur a terme cadascun d'ells. Regula la velocitat i calcula el temps necessari per assolir un gest o per preveure la col·locació articular necessària per a la realització o manteniment d'una postura. També és fonamental pel manteniment de l'equilibri, del to muscular i per l'aprenentatge motor, entre d'altres funcions cognitives. Compara les senyals aferents i eferents sobre el moviment previst i ajusta el moviment real, enviant senyals correctores (anticipades) que interfereixen sobre els sistemes motors eferents del tronc de l'encèfal i de l'escorça cerebral. Detecta les errades dels moviments, canviant els patrons del moviment següent així com és molt important per l'aprenentatge de tasques motores que es realitzen de forma repetitiva i que es volen automatitzar (Kandel et al., 2001).

1.2.5.5 Circuit del tàlem i els ganglis basals

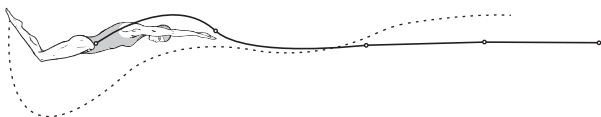
La participació del tàlem en el control motor està sustentada en les aferències que rep dels nuclis grisos de la base, del cerebel i de l'escorça motora, i per les eferències que en surten cap a l'escorça premotora i motora.

Els nuclis talàmics implicats en el control motor són el ventral anterior, ventral lateral, nuclis intralaminars, els nuclis reticulars i els sistemes pal·lial i cerebel·lós.

Existeix evidència científica de que els nuclis intralaminars també estan implicats en el control del moviment ja que reben aferències de la formació reticular, d'alguns ganglis basals i de les àrees corticals premotora i motora de Brodmann (Perea i Ladera, 2008).

Els ganglis basals participen en l'elaboració de la resposta davant d'estímul propioceptius, inhibint o facilitant del to muscular, per modular l'inici o el final dels moviments voluntaris (Daza, 2007; Purves et al., 2008).

Els nuclis motors dels ganglis basals són els del cos estriat (nucli caudat i putamen).



Reben aferències d'una classe de neurones (anomenades espinoses mitjanes) que es caracteritzen per una morfologia ramificada que les permet integrar les aferències de l'escorça cerebral, del tàlem i del tronc de l'encèfal. El nucli caudat rep aferències de les escorces d'associació polimodals i de les àrees motores del lòbul frontal (que controlen els moviments oculars). El putamen rep aferències des de l'escorça somatosensitiva primària i secundària, les escorces visuals secundàries occipitals i temporals, l'escorça premotora i motora i de les àrees d'associació auditiva del lòbul temporal. Les projeccions des de l'escorça somatosensitiva i visual tenen una representació topogràfica a l'interior de les regions del putamen (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

Una sola neurona espinosa mitjana integra influències de milers de cèl·lules corticals i també reben aferències des dels nuclis de la línia mitja i intralaminars del tàlem i dels nuclis aminèrgics del tronc de l'encèfal. Quan aquestes neurones s'activen, la seva descàrrega s'associa al desenvolupament d'un moviment.

Aquestes descàrregues anticipades formen part del procés de selecció de moviments i poden precedir a l'inici del moviment varis segons. La seva activitat pot codificar la decisió de moure's cap a un objectiu, més que la de determinar la direcció i l'amplitud del moviment necessari per assolir-lo. De fet, les aferències principals dels ganglis basals són inhibidores, és a dir, impedeixen que es realitzin els moviments no desitjats d'una acció motora (Purves et al., 2008).

Els ganglis basals també disposen de connexions amb l'escorça prefrontal dors lateral, la parietal posterior i prefrontal, entre d'altres, formant la resta de nanses neuronals entre els ganglis basals i la resta de l'escorça cerebral. Aquestes connexions permeten als ganglis basals regular l'inici i la finalització dels processos cognoscitius com la planificació, la memòria de treball i l'atenció, mitjançant les connexions de les nanses prefrontals.

A través de les nanses límbiques poden controlar el comportament emocional i la motivació. Actualment es coneix que l'alteració dels ganglis basals es produeix en malalties com el Parkinson i l'esquizofrènia (Purves et al., 2008).

1.2.6 Conducció eferent de la resposta

Els moviments que desenvolupen els estímuls propioceptius poden ser, com s'ha vist, de dos ordres: voluntaris i involuntaris o reflexos.

Els camins que segueixen les neurones eferents després de l'elaboració de la resposta a l'escorça motora es troben ben diferenciats topogràficament.

Els moviments voluntaris s'executen a través d'una neurona motora que surt de l'escorça premotora o motora i passa pel bulb raquidi o la medulla espinal dibuixant les anomenades vies piramidals.

Els moviments automàtics o reflexos, s'elaboren a diversos nuclis subcorticals (interconnectats entre ells i l'escorça cerebral) i acaben a diferents nivells de la medulla espinal, formant les anomenades vies extrapiramidals (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

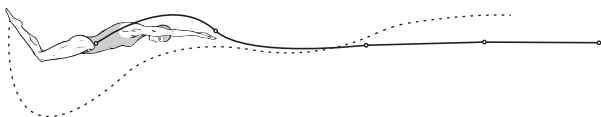
1.2.7 Centres efectors

Els axons de cada neurona motora surten de les banyes anteriors de la medulla espinal per una arrel ventral (exceptuant els nervis cranials del tronc de l'encèfal) i segueixen el trajecte del nervi perifèric corresponent. Progressivament el nervi es ramifica, disminuint el seu gruix, per arribar a penetrar en el múscul que innerva, directament relacionat amb l'àrea de representació cortical de l'escorça motora primària. Dins del múscul els nervis es ramifiquen fins a arribar a innervar entre 100 i 1000 fibres musculars. El conjunt de fibres musculars innervades per una única neurona motora s'anomena unitat muscular, mentre que al conjunt que formen aquesta neurona i les fibres musculars amb les que es relaciona rep el nom de unitat motora. Les sinapsis entre la neurona motora i la fibra muscular reben el nom de placa motora i es troben agrupades en feixos que s'estenen al llarg i ample del múscul (Kandel et al., 2001).

Es poden diferenciar tres tipus d'unitats motores en funció de la seva velocitat i força de contracció, així com en funció de la seva fatigabilitat. Aquest fet diferencia els músculs efectors en funció de la seva proporció de determinats tipus de fibres.

No totes les fibres musculars tenen les mateixes característiques anatòmiques, metabòliques i contràctils, pel que es poden classificar de diverses maneres (Verkhoshansky, 2002; Baechle i Earle, 2007).

La classificació més comuna està basada en les diferències del temps de contracció (taula 4). Des d'aquesta perspectiva trobem les fibres de contracció lenta i fibres de contracció ràpida. Donat que les fibres musculars que pertanyen a una unitat motora són totes del mateix tipus, també es poden classificar com a unitats motores de contracció lenta i ràpida. Les unitats motores de contracció lenta tenen un temps de contracció més elevat i necessiten més temps per generar força i relaxar-se.



En canvi, les unitats motores de contracció ràpida generen força ràpidament, tenen un temps de contracció curt i triguen menys a relaxar-se (Kandel et al., 2001; Verkhoshansky, 2002; Baechle i Earle, 2007).

Un altre sistema de classificació és el que diferencia les fibres musculars en funció de les seves característiques metabòliques i anatòmiques (taula 4). En aquest sentit torbem les fibres tipus I (lentes) i tipus II (ràpides), que també donen nom a les unitats motores que les contenen.

Les fibres tipus I, altrament anomenades lentes o vermelles, són més petites però tenen major quantitat de mitocondries (responsables del metabolisme aeròbic) i mioglobina (proteïna responsable de captar i emmagatzemar l'oxigen de la sang a dins del múscul). També tenen més quantitat d'enzims aeròbics i una major densitat de capil·lars sanguinis, motius pels quals també se les anomena vermelles. Els músculs amb major proporció de fibres tipus I poden produir nivells de tensió muscular relativament petits, ja que la mida de les seves fibres és més reduïda i disposen de menor quantitat de miofilaments contràctils. Gràcies a la seva capacitat aeròbica, aguanten llargs períodes de contracció sense esgotar les seves reserves energètiques, aspecte que els fa retardar la fatiga metabòlica i tenir més resistència (Verkhoshansky, 2002; Cometti, 2007; Baechle i Earle, 2007; Purves et al., 2008).

Les fibres tipus II, també anomenades de contracció ràpida o blanques, poden desenvolupar majors nivells de força i a velocitats més elevades, però tenen menor capacitat aeròbica i aquest aspecte les fa més fatigables.

Presenten dues subdivisions principals, IIa i IIb, en funció del seu potencial aeròbic:

- Les fibres tipus IIa, o ràpides oxidatives, són semblants a les tipus I, donat que també tenen mitocondries i capil·lars, que les permet dur a terme el metabolisme aeròbic. Combinen una dinàmica de contraccions ràpides amb suficient capacitat aeròbica com per retardar la fatiga durant uns minuts (Kandel et al., 2001; Verkhoshansky 2002).
- Les fibres tipus IIb, o ràpides glucolítiques anaeròbiques, es fatiguen ràpidament, tenen una quantitat petita de mitocondries, baixa activitat dels enzims aeròbics i pocs capil·lars sanguinis. Tant l'esgotament del glicogen que emmagatzemen com l'acumulació d'àcid làctic del seu metabolisme anaeròbic provoquen la seva fatiga. Després de generar força, poden trigar hores a recuperar-se completament (Verkhoshansky, 2002; Baechle i Earle, 2007).

Les contraccions musculars, ja siguin reflexes o voluntàries, segueixen un patró de

reclutament fix dels diferents tipus de fibres. Si la resistència a vèncer per un múscul, format pels dos tipus de fibres, és petita només es reclutaran les fibres lentes o de tipus I. A mesura que la resistència a vèncer augmenti, es reclutaran progressivament les fibres de tipus IIa i IIb, en aquest ordre (Kandel et al., 2001; Verkhoshansky, 2002).

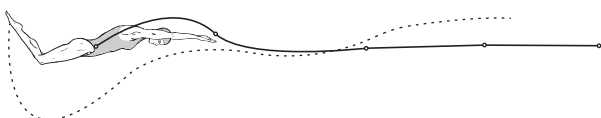
La proporció de cada tipus de fibres d'un múscul li proporciona una tendència diferent en repòs: a l'escurçament o a la flaccidesa. Segons aquesta tendència es descriuen dos tipus musculatura: Tònica i fàscica.

Els músculs posturals (o antigravitacions) estan formats per una gran proporció de fibres tipus I. El fet de tenir més possibilitats d'allargar el temps de treball els confereix més tendència a l'escurçament.

La musculatura formada per una major proporció de fibres de tipus II acostuma a ser la musculatura que només es contrau en una situació dinàmica, no postural, i presenten més tendència a la flaccidesa. La taula 5 mostra la majoria dels músculs de l'aparell locomotor amb una o un altre tendència (Busquet, 1997a i b; Chek, 2007).

Taula 4. Característiques principals de les fibres musculars (Adaptat de Verkhoshansky, 2002 i Baechle i Earle, 2007)

Característiques	Tipus I	Tipus II a	Tipus II b
Velocitat de contracció	Lenta	Ràpida	Ràpida
Producció de força	Baixa	Intermèdia	Alta
Potència produïda	Baixa	Alta	Alta
Resistència	Alta	Intermèdia/baixa	Baixa
Activitat d'Enzims aeròbics	Alta	Intermèdia/baixa	Baixa
Activitat d'Enzims anaeròbics	Baixa	Alta	Alta
Fatigabilitat	Baixa	Intermèdia/alta	Alta
Densitat capil·lar	Alta	Intermèdia	Baixa
Diàmetre de les fibres	Petit	Inter mig	Gran
Densitat mitocondrial	Alta	Intermèdia	Baixa
Mioglobina	Alta	Baixa	Baixa
Color	Vermell	Blanc (intermedi)	Blanc



Taula 5. Musculatura tònica i fàsica (Adaptat de Busquet, 1997a i b; Chek, 2007)

	Musculatura Fàsica	Musculatura Tònica
Tendència	Tendència a la flaccidesa	Tendència a la tonicitat o l'escurçament
Major proporció de fibres	Tipus II, ràpides, fatigables o blanques	Tipus I, lentes, resistents o vermelles.
Predomini de treball	Accions dinàmiques	Accions estàtiques: postura
Musculatura	<u>Cap i coll:</u> Musculatura facial Esternocleidomastoïdal Musculocutani <u>Tòrax:</u> Trapezi fibres mitges i inferiors Serrat major Romboide Paravertebrals dorsals Abdominals: Recte , oblics i transvers <u>Extremitats superiors:</u> Deltoide mig i posterior Tríceps braquial Enconi Extensors de canell i dits <u>Extremitats inferiors:</u> Gluti major Vastos intern i extern i crural del quàdriceps Adductors (sexe femení) Bessons Tibial anterior Musculatura peroneal Extensors dels dits dels peus Pedí	<u>Cap i coll:</u> Trapezi fibres superiors Angular de l'omòplat Espleni de cap i coll i Escalens <u>Tòrax :</u> Pectoral menor i major Paravertebrals lumbar i cervicals Quadrat lumbar <u>Extremitats superiors: Cadena alimentaria</u> Deltoide anterior Bíceps braquial Braquial anterior Flexors de canell i dits <u>Extremitats inferiors:</u> Gluti mig i menor Pelvitrocantèris Psoes Ilíac Recte anterior del quàdriceps Tensor de la fàscia lata. Adductors (sexe masculí) Isquiotibials Soli Tibial posterior Flexors dels dits del peu Musculatura plantar

1.3 Propiocepció i sistema sensoriomotriu

El sistema sensoriomotriu està format per tots els sistemes integrats en el desenvolupament de la sensibilitat nerviosa i dels processos neuromusculars (Fig. 13). Durant anys ha estat utilitzat com a sinònim de la propiocepció i equiparat als conceptes de cinestèsia, sensació de la posició articular, somatosensació, equilibri i/o mecanisme d'estabilitat articular. En l'actualitat es descriu com a quelcom més enllà dels mecanismes i els processos que desencadena un estímul aferent propioceptiu. De fet, la propiocepció és una de les modalitats sensitives més necessàries per a què el sistema sensoriomotriu funcioni, però no és la única que l'afecta.

Dins de les informacions somatosensitives que condicionen al sistema sensoriomotriu es troben les que provenen de tots els mecanoreceptors, termoreceptors i les terminacions lliures. És a dir, es nodreix d'informacions de dolor, tacte superficial, pressió, temperatura i propiocepció.

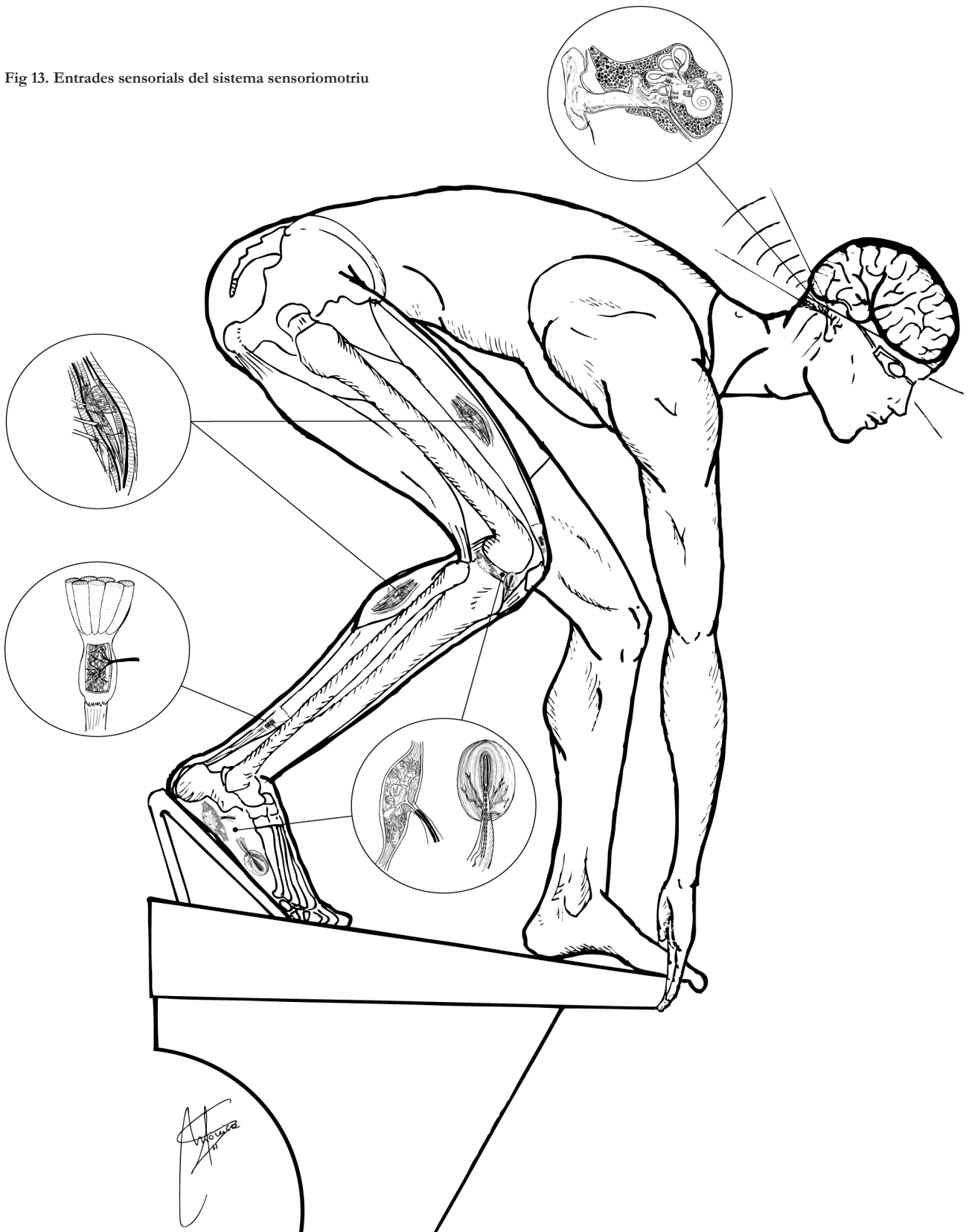
El sistema sensoriomotriu és el responsable de tota l'activitat que el SNC ha de processar davant un senyal sensorial, des de que es rep fins a que s'emeta la resposta. Incorpora la integració aferent i eferent dels processos que ajuden al mantenir l'estabilitat funcional de les articulacions. Inclou connexions més complexes entre les aferències sensorials i les vies motores, i aquesta activitat esdevé exclusivament reflexa, és a dir, inconscient (Lephart i Fu, 2000; Riemann i Lephart, 2002).

Una de les habilitats més condicionades pel sistema sensoriomotriu és l'equilibri. Definit com a la capacitat d'alinear, de manera estable, els segments corporals respecte de la base de sustentació, l'equilibri està estretament lligat al control postural (Cabedo, 2005).

L'activitat postural està definida com a la capacitat de reproduir o reconstruir una posició exigida del cos o bé la de conservar la seva estabilitat el temps que sigui necessari i es relaciona amb l'equilibri o la superació de forces externes (Verkhoshansky, 2002). Per mantenir l'equilibri cal l'aportació d'informació per part de tots els receptors del sistema sensoriomotriu, entre ells els que donen la informació visual, vestibular i propioceptiva. Ageberg, Roberts i Holmström (2005) van estudiar la influència de la propiocepció, la força i la laxitud lligamentosa del lligament creuat anteroextern del genoll en les posicions d'equilibri sobre una extremitat inferior. Amb aquest objectiu van avaluar per separat tots tres factors i després els van comparar amb els resultats de l'avaluació de l'equilibri amb un estabímetre.



Fig 13. Entrades sensorials del sistema sensoriomotriu



Les darreres recerques demostren que el funcionament del sistema sensoriomotriu va més enllà de la integració aferent de les vies propioceptives i inclou el control motor a nivell de l'escorça, dels ganglis basals i del cerebel, integrant les informacions propioceptives, visuals, vestibulars i somatosensitives. Per aquests motius el sistema sensoriomotriu ha deixat de tractar-se com a sinònim de la propiocepció (Lephart i Fu, 2000; Riemann i Lephart, 2002).

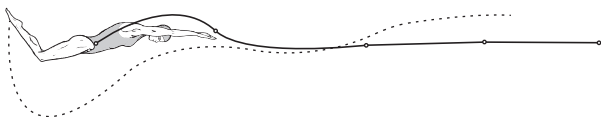
1.3.1 Informació visual i propiocepció

Una de les modalitats sensorials de les que es nodreix el sistema sensoriomotriu és la visió. El paper que juga la visió en la millora o dificultat de la recepció propioceptiva és un dels temes sobre els que existeix més divergència d'opinió. Tots els protocols d'avaluació de la propiocepció anul·len l'estímul visual, mentre que els programes de reeducació propioceptiva l'utilitzen per augmentar el grau de dificultat dels exercicis propioceptius, considerant l'absència de visió com a un factor que dificulta l'execució i, per tant, com a un element de progressió en la seva realització (Gill i Callaghan, 1998; Laskowski et al., 1997, 2000; Brumagne, Cordo, Lysens, Verchueren i Swinnel, 2000; Newcomer, Laskowski, Yu, Johnson i Kai-Nan, 2000; Newcomer, Laskowski, Yu i Larson, 2000; Lephart i Fu, 2000; Dover, 2003; Daza, 2007; entre d'altres). La qüestió és què des de que es va diferenciar la propiocepció del sistema sensoriomotriu no s'han modificat els protocols per millorar-la, que segueixen incloent exercicis en els que les variables de progressió estan més relacionades amb els receptors d'altres modalitats sensibles que amb els propioceptors (Laskowski et al., 1997; Ashton-Miller et al., 2001; Riemann i Lephart, 2002).

Bertherat (1987) afegeix que tenim una percepció parcial del nostre cos, donat que ens basem principalment en el testimoni dels ulls, les sensacions de dolor i del tacte per informar-nos de nosaltres mateixos.

Schiffman (1997) considerà, en la seva definició de propiocepció, que tenir els ulls oberts o tancats no afecta a la capacitat dels propioceptors per proporcionar informació quantitativa sobre angles i distàncies articulars percebudes.

Feldenkrais (1997) ja feia esment al paper de la visió en la percepció del cos. Segons ell, les parts del cos sobre les que tenim més consciència són les que fem servir a diari i gaudir d'una autoimatge suposa una consciència completa de les articulacions i de la superfície corporal.



Exposà que és més habitual tenir menor auto imatge de les regions corporals que estan per darrera del cos, fora de l'abast de la nostra vista. Afirmà que si la diferencia entre la imatge corporal amb els ulls oberts es diferencia només en un 20-30% de la que tenim amb els ulls tancats, es pot considerar que gaudim d'una autoimatge mitjana. És a dir, que per tenir consciència de totes les parts del cos és necessària l'aportació de la informació visual.

A partir del descobriment de les neurones mirall en els humans, es va arribar a la conclusió que quan veiem a alguna persona en acció, s'activen aquestes neurones. Posseeixen el potencial per facilitar-nos els mecanismes d'acció i d'activitats innates, d'aprenentatge imitatiu i d'estimulació de neurones d'associació. Elaboren el comportament dels qui s'observen els uns als altres, de manera que el nostre cervell actua com si estiguéssim fent el mateix que aquesta persona, encara que l'acció no es produeixi o s'inhibeixi (Rizzolatti et al., 1996; Gallese et al., 1996; Rizzolatti, 2007). L'activació de les neurones mirall, a partir de la participació de l'estímul visual, pot ajudar a preveure o a preparar les accions motores necessàries per realitzar el gest observat, però no implica la seva execució.

La inconsciència de l'activació d'aquestes neurones permet la imitació de gestos i/o emocions però no garanteix l'aprenentatge dels mateixos ni la construcció d'un patró motor estable. Per que això es produeixi, és necessari que l'observador hagi realitzat el moviment observat amb anterioritat. Quanta major sigui l'experiència de l'observador en aquell moviment, major serà la capacitat de reproduir-lo amb precisió, sense necessitat d'imitar-lo en el moment en que l'observa. Aquest fet fa imprescindible el paper del propioceptors en l'acumulació d'experiències motrius articulars, que doten de precisió al gest recordat sense necessitat de mirar-lo i, per tant sense l'acció imitativa de les neurones mirall. (Montero, 2006)

Segons Goodale (1998) el sistema visual és imprescindible per desenvolupar tasques motores de relació amb l'entorn.

En concret, per ajustar els moviments necessaris i les posicions articulars que cal mantenir per adaptar les mans i les articulacions de les extremitats superiors a un objecte, o el peu i les articulacions de les extremitats inferiors a un terreny; idea que s'ajusta més a les necessitats del sistema sensoriomotriu que a les de la propiocepció (Riemann i Lephart, 2002).

La percepció visual i el control visual de l'acció es processen en diferents àrees corticals, la qual cosa fa possible la dissociació d'ambdós mecanismes de participació del sistema visual en el moviment.

En el còrtex frontal s'elabora la percepció visual de l'entorn de forma experimental o imaginària, gràcies a l'ajut de les informacions rebudes des de l'escorça temporal medial i el sistema límbic (Morris et al., 2005). En el lòbul occipital s'elaboren els mecanismes de control visual sobre l'acció real en relació amb l'entorn.

Les dues àrees es relacionen i poden participar de forma complementària en la producció del comportament motor adaptatiu, però no esdevé imprescindible (Goodale, 1998; Kandel et al., 2001).

Graziano (1999) afirmava que la sensació de la posició articular és necessària pel control del moviment i que es dona gràcies a la combinació entre la informació propioceptiva, sobre la posició articular de l'extremitat, i la informació visual, sobre la localització de l'extremitat en l'espai. Apunta que, malgrat es reconeix la importància d'ambdues informacions pel control del moviment, encara no es coneix amb exactitud com es combinen a l'encèfal o com intervien l'una respecte de l'altre. A un experiment realitzat amb micos Macacos, es va demostrar que la posició de la mà es trobava representada al còrtex dels animals a través de la convergència de les informacions visuals i propioceptives en una mateixa neurona. Aquest fet va explicar la interferència que podien patir, fins al punt de que els micos podien saber la localització de la mà sense rebre l'estímul visual, o reconèixer com a pròpia una extremitat falsa observada.

Altres estudis han observat que existeixen més errades en l'adaptació prèvia a la manipulació d'un objecte (sobre la posició articular i la tensió muscular necessària) sense la participació visual, quan la propiocepció és la única informació que es rep.

És a dir, la visió i la propiocepció han de combinar-se per la correcta regulació dels moviments que impliquen l'assoliment i subjecció d'objectes amb les mans (Scheidt, Conditt, Secco i Mussa-Ivaldi, 2005).

Gandevila et al. (2006) afegixen les aferències propioceptives enviades al SNC no són les úniques responsables de la posició o moviment percebuts, sinó que el SNC també es nodreix de la informació emmagatzemada (a l'àrea premotora) sobre dels nivells necessaris de tensió muscular per a cada moviment o resistència a vèncer. En aquest sentit, la informació visual pot ajudar a preveure la tensió muscular necessària en funció de les dimensions dels objectes amb els que ens volem relacionar, o bé de les característiques del terreny sobre el que ens volem moure. Aquesta informació es dona gràcies a l'experiència emmagatzemada sobre com han estat les tensions, generades davant d'objectes o terrenys, amb anterioritat.



Gandevila et al. (2006) demostren que la participació de la visió no afecta a la tensió muscular generada per a cada posició articular sol·licitada, ja que els nivells de tensió es mantenen constants quan es demana repetir moviments de memòria sense la participació visual ni experiència prèvia.

Altres estudis demostren que l'anul·lació de l'estímul visual amb antifaç pot ajudar a controlar el grau d'enregistrament conscient d'un estímul i millora les propietats neurofisiològiques envers l'atenció conscient de les tasques. També s'utilitza per comparar els resultats de processos conscients amb els inconscients, i s'ha vist que tancar els ulls pot ajudar a fixar l'atenció o a aïllar les respostes generades (Ansorge et al., 2007).

Mercier, Aballea, Vargas, Paillard i Sirigu (2008) van realitzar un estudi a on comparaven el grau d'estimulació cortical que es provocava en identificar el moviment imaginari o real dels dits de la mà. Els resultats suggereixen que, en absència de la propiocepció, la informació visual pot facilitar o inhibir les representacions corticals de la posició articular. Reforcen la idea de que la posició de les extremitats en el sistema nerviós central es dona gràcies a l'organització de representacions multi sensorials (Riemann i Lephart, 2002).

1.4 Tipus de propiocepció

Arran de les recerques consultades es podria classificar la propiocepció des del punt de vista cinesiòlògic o neurofisiològic (Fig. 14).



Fig 14. Tipus de propiocepció

1.4.1 Classificació cinesiològica

Des del punt de vista cinesiològic, la propiocepció es caracteritza per la capacitat de percebre la estàtica i/o la dinàmica articular. Es diferencien, des d'aquesta perspectiva, la sensibilitat estacionària o estatestèsia i la cinestèsia (Fig. 14), ambdues components de la propiocepció (Lephart i Fu, 2000; Saavedra et al., 2003).

L'estatestèsia és la capacitat de percebre la posició o angle en el que es troba una o més articulacions, estàtiques, sense necessitat de mirar. Es dona gràcies a la informació rebuda des dels receptors de Ruffini, fusos i òrgans tendinosos de Golgi (amb un llindar d'activació baix, adaptació lenta i poc acomodables).

La cinestèsia fa referència a la capacitat de percebre el moviment articular (canvis de posició de l'articulació). S'atribueix als corpuscles de Pacini, als fusos i a altres receptors articulars (amb un llindar d'activació baix però amb una velocitat d'adaptació ràpida) (Lephart,1997; Laskowski et al., 2000, entre d'altres).

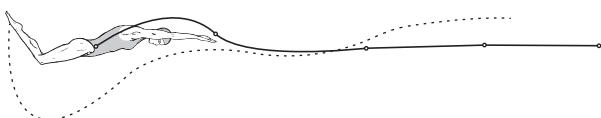
Altres autors consideren que, quan el moviment articular provoca un desplaçament del centre de gravetat del cap, el sistema vestibular és el que ajuda a la percepció del moviment de tot el cos en l'espai (Lephart i Fu, 2000; Purves et al., 2008).

La cinestèsia fa referència a la capacitat de percebre el moviment articular (canvis de posició de l'articulació). S'atribueix als corpuscles de Pacini, als fusos i a altres receptors articulars (amb un llindar d'activació baix però amb una velocitat d'adaptació ràpida) (Lephart,1997; Laskowski et al., 2000, entre d'altres).

Altres autors consideren que, quan el moviment articular provoca un desplaçament del centre de gravetat del cap, el sistema vestibular és el que ajuda a la percepció del moviment de tot el cos en l'espai (Lephart i Fu, 2000; Purves et al., 2008).

1.4.2 Classificació neurofisiològica

La segona classificació fa referència al nivell del sistema nerviós al que arriben les informacions dels receptors propioceptius. Quan la informació arriba a processar-se a l'escorça del SNC es parla de propiocepció conscient. Quan no hi arriba i es processa en altres centres del SNC es parla de propiocepció inconscient (Lephart i Fu, 2000; Purves et al., 2008).



La propiocepció inconscient proporciona a la persona sensació de posició o de moviment de l'articulació. La sensació es defineix com a l'estat difús de consciència que assolim davant dels estímuls, externs i interns, que desemboquen a la medulla espinal, al tronc cerebral, al tàlem o a l'escorça cerebral.

Aquests estímuls, de caire físic, són aïllats i simples i generen experiències immediates i bàsiques que no es poden transmetre (Matlin i Foley, 1996; Schiffman, 1997; Koch, 2005; Purves et al., 2008). Estudis neurofisiològics demostren que la simple recepció d'estímuls no és capaç de generar un record o una percepció conscient i que moltes conductes sensitivomotores complexes, desenvolupades per la recepció d'estímuls propioceptius, no es fan de manera conscient (com els moviments automatitzats o els reflexes propioceptius) (Kandel et al., 2001; Koch, 2005).

La propiocepció conscient implica la percepció de la posició o moviment articular, i es produeix quan les sensacions s'interpreten, s'integren o es reconeixen de manera conscient (Koch, 2005; Purves et al., 2008). La percepció suposa la interpretació de les sensacions, donant el seu significat i organització. Inclou processos psicològics en els quals intervenen la memòria d'experiències prèvies i el judici, així com la organització i integració de les recepcions sensorials (Matlin i Foley, 1996; Schiffman, 1997).

La percepció no necessàriament implica consciència, sinó que es considera imprescindible recrear en la nostra ment les percepcions aconseguides (es diferencia de la cognició, la qual involucra l'adquisició, emmagatzemament, la recuperació i l'ús del coneixement) (Matlin i Foley, 1996; Koch, 2005; Morris et al., 2005). El control de la consciència sobre l'activitat motora té limitacions. Podem atendre conscientment només una activitat, una posició, un moviment o un múscul a la vegada, i canviar la focalització de l'atenció només de 2 a 3 cops per segon. El temps d'estímul-resposta per un actuació simple és de 300 ms quan la persona està en repòs, i de 500ms quan realitza una activitat prolongada. El temps d'estímul resposta més ràpid per patrons d'activitats integrades en engrames motors és només de 100 a 150 ms (Kottke i Lehmann, 1993).

Segons Koch (2005) la propiocepció conscient dona accés a una "manera de processar deliberada i d'ús general per planificar i considerar una futura línia d'acció". Manté que, per explicar la consciència és necessari descriure-la en tercera persona i seria impossible quantificar-la en base a les manifestacions de la consciència personals. Kandel et al. (2005) afirmen que l'exploració de les modalitats sensitives, per separat, ajuda a definir els processos a través dels quals s'arriben a fer conscients, i que la comprensió reduccionista d'aquests

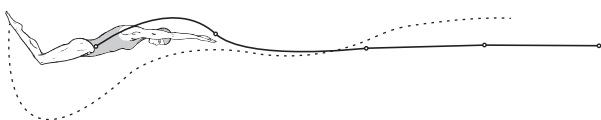
processos facilita la comprensió d'altres més complexos. Si existeix un conjunt comú de mecanismes nerviosos que formen la base de la consciència, l'estudi d'una modalitat sensitiva (com la propiocepció) de forma aïllada, pot ajudar a la millora del coneixement sobre nosaltres mateixos.

La descripció enactiva o sensoriomotora de la consciència incideix en que no es pot contemplar el sistema nerviós de forma aïllada sinó que “és part d'un ser viu en un habitat que, mitjançant innumerables interaccions sensoriomotors al llarg de la seva vida, ha adquirit un coneixement sobre la manera en que actua el món (inclòs el seu propi cos)”. Els defensors d'aquesta idea admeten que el cervell sustenta la percepció per a l'assoliment de la consciència i que n'hi ha prou amb l'activitat perceptiva neuronal per adquirir-la (Schiffman, 1997).

Segons Koch (2005) aquesta és una perspectiva que obvia les bases neurològiques de la percepció, altament demostrades per la ciència, que afirmen que l'activitat cerebral és tan necessària com suficient per la sensibilitat biològica. Per exemple, els estudis que demostren que durant els somnis, fora del influx conscient, podem sentir que ens movem malgrat els nostres músculs estiguin en repòs i no hi hagi cap acció motora. Aquest, i altres tipus d'estudis, porten a afirmar que l'acció no és necessària per la consciència, malgrat no volen dir que el moviment del cos no sigui important per a conformar el pensament conscient (Koch, 2005; Purves et al., 2008).

Un altre perspectiva de l'estudi de la consciència articular, és la que van promoure els autors dins la ideologia de les gimnàstiques dolces, entre 1960 i 1970, que van anomenar consciència del moviment. Es tracta d'un concepte difós que defensava que la pràctica física havia de facilitar una execució conscient del moviment.

Dins d'aquesta filosofia trobem el principi “Eutonia” de Gerda Alexander (1979) qui, després d'un estudi exhaustiu del funcionaments dels receptors propioceptius i del sistema nerviós central, va descriure el mecanisme d'activació gamma dels fusos musculars. Segons aquesta teoria, part dels processos de control del to muscular es poden activar mitjançant la imaginació. És a dir, quan una persona decideix conscientment moure's fa que el to muscular i la circulació sanguínia canviïn i s'adaptin a l'acció prevista, fenomen anomenat innervació anticipada del sistema gamma, i que hi ha una gran influència de les emocions i de la imaginació sobre el to muscular. Alexander (1979) observà que l'estimulació de la consciència i la capacitat de moviment de l'ésser humà provoca millores de la salut i del comportament general de les persones.



També Bertherat (1987) defensa la necessitat del coneixement conscient i profund de totes les parts del cos.

Mezières (1984) i el seu alumne Souchard (1992) fan nombroses referències a la necessitat d'estimular de forma conscient els receptors propioceptius. En els seus exercicis proposen mantenir la màxima atenció per fer conscient a la persona dels petits canvis de posició de les seves articulacions, així com de la sinèrgia entre el moviment i la respiració lenta i controlada.

Feldenkrais (1997), fins i tot, anomena el seu mètode com a consciència del moviment. Defensa que perfeccionar la sensibilitat i la presa de consciència del moviment aconseguix evitar la realització d'esforços innecessaris, i que les parts del cos sobre les que tenim més consciència són les que fem servir a diari.

Emfatitza que la consciència completa de totes les articulacions i de tota la superfície corporal construeix una autoimatge completa, i que la simple realització d'un moviment no significa tenir-ne coneixement ni consciència. Per conèixer la nostra posició articular o per modificar-la cal recórrer als sentits i a les nostres facultats de sentiment i pensament. El perfeccionament de l'acció corporal provoca un canvi en el control del SNC. Segons Feldenkrais (1997), el control delicat i perfecte del moviment només s'assoleix mitjançant l'augment de la sensibilitat, és a dir, mitjançant una major capacitat per sentir les seves diferències. Apunta que la cerebració desconnectada de la realitat no constitueix pensament i que les contraccions musculars a l'atzar no representen acció o moviment conscient.

De la major part de les coses que passen a l'interior del cos ens adonem mitjançant els músculs. La possibilitat de realitzar una pausa, entre la creació de la pauta de pensament de qualsevol acció particular i la seva execució, esdevé la base física de la consciència. Només adquirim consciència dels factors a on entren en joc els músculs i les capes que l'envolten.

Segons Barlow (1991), Matthias Alexander, des de la publicació *The use of the self* al 1932, també va establir la hipòtesi de que l'ús conscient del moviment i de la posició articular afecta al funcionament de tot el cos, no només a l'articulació o segment implicat. El seu principi proposa un control conscient de l'activitat de l'aparell locomotor en totes les accions de la vida quotidiana per garantir la salut integral de l'organisme. La seva hipòtesi va ser recolzada per Sherrington que, com s'ha vist, va ser el neuròleg pioner en l'estudi de la propiocepció (Barlow, 1991).

1.5 Factors condicionants de la propiocepció

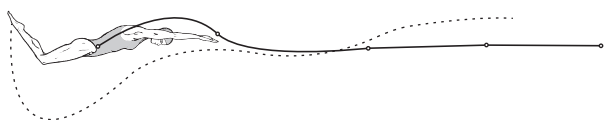
Com ja s'ha descrit, la propiocepció afecta a molts aspectes del desenvolupament del moviment i de l'aparell locomotor. Depèn de factors que, en trets generals, tenen a veure amb l'entorn, o a causes extrínseques a l'individu, o amb les seves característiques intrínseques, entre les que distingeixen les físiques i fisiològiques de les que són de caire psíquic o depenen del sistema nerviós (González et al., 2005) (Fig. 15).

Dins dels factors extrínsecs, poden afectar la recepció propioceptiva la presència d'altres estímuls sensitius com puguin ser els auditius, tèrmics, tàctils, de pressió, visuals i cognitius. La condiciona les característiques de les forces rebudes, en quant a la velocitat i acceleració del moviment, les característiques de la resistència a vèncer i la magnitud de la tensió- d'elongació o compressió- rebuda pels teixits articulars i periarticulars.

A la metodologia per avaluar la propiocepció es mira d'anul·lar o homogeneïtzar aquests estímuls per tal d'exposar a tots els membres de la mostra a la mateixa situació ambiental. Per aquest motiu els protocols d'avaluació utilitzen màscares per anular l'entrada visual, considerada com a la que el tàlem dona més prioritat i, per tant, s'evita que limiti l'entrada de les informacions propioceptives. Les informacions o indicacions a la mostra són les mateixes, donat que s'ha demostrat que la qualitat i quantitat d'explicacions sobre la tasca a realitzar pot interferir en la qualitat de la resposta motora de la prova d'avaluació (Kandel et al., 2001).

Durant la majoria de test d'avaluació, es col·loca auriculars amb soroll blanc, per homogeneïtzar l'estímul auditiu i evitar que les entrades auditives variades puguin alterar o distreure l'atenció dels subjectes avaluats. Es realitzen a una sala o laboratori amb temperatura coneguda, per evitar que els receptors tèrmics desencadenin moviments de tremolor - en cas de que la temperatura sigui més baixa que la temperatura mitjana corporal- o provoquin suor - en el cas de que la temperatura sigui massa alta- i afecti al benestar dels membres de la mostra.

Es demana dur roba que no els comprimeixi ni limiti els moviments o posicions sol·licitades, per evitar que la pressió o el tacte superficial sigui un factor que ajudi a la identificació d'una posició determinada, en els casos en els que la roba comprimeix l'articulació avaluada.



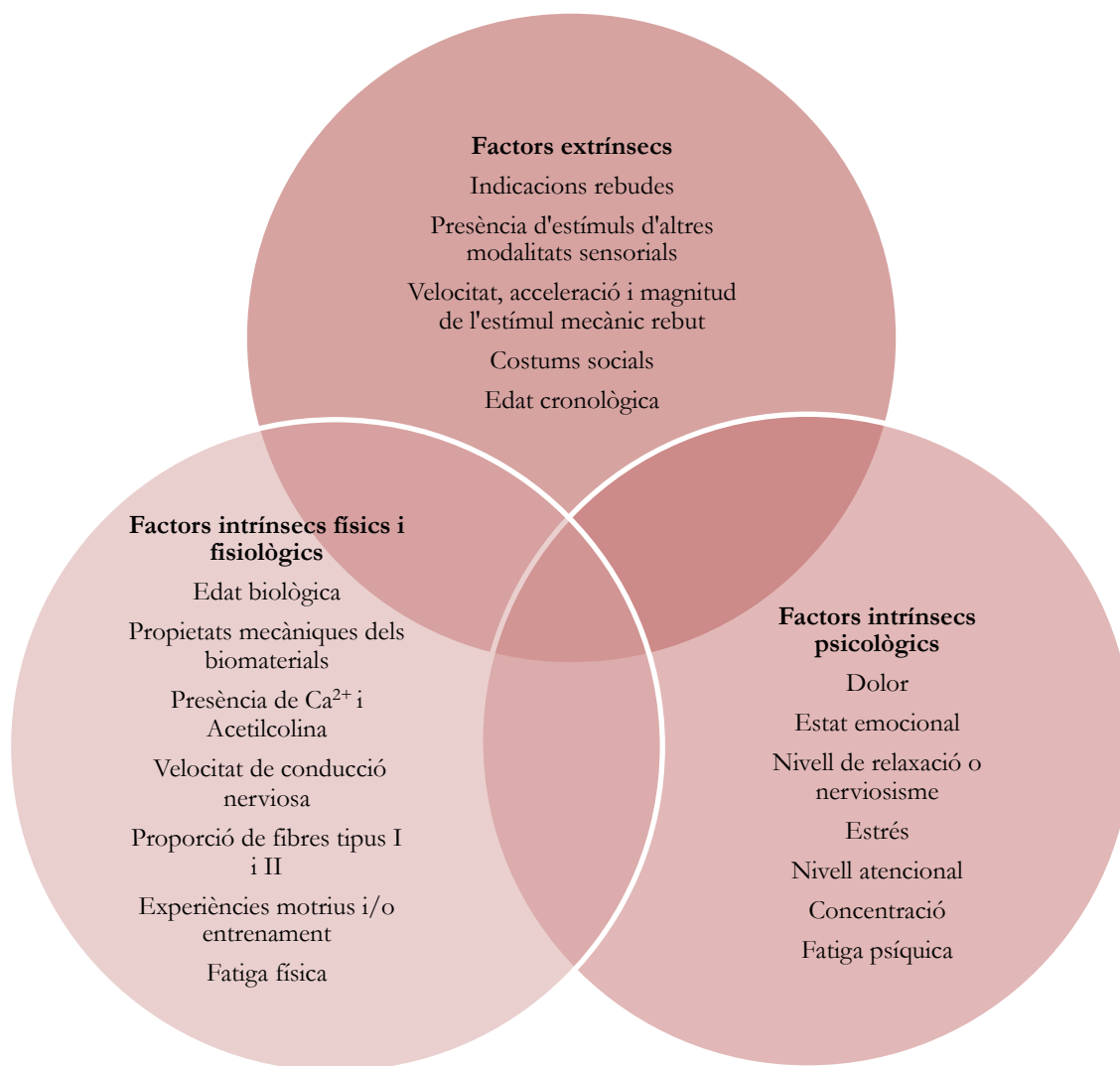


Fig 15. Factors condicionants de la propiocepció

S'administren resistències conegudes addicionals a la massa corporal o bé es proposen moviments a on només s'ha de vèncer el centre de masses del segment que es mou, i les velocitats de moviment són lentes o ràpides en funció dels receptors que es mira d'avaluar (Cordo et al., 1994; Lephart i Fu, 2000; Newcomer et al., 2000 a i b; Ashton-Miller, 2000; Beynon et al., 2000; Brumagne et al., 2000; Cordo, Flores-Vieira, Verschueren, Inglis i Gurfinkel, 2002; Pai et al., 2005; Coronado et al., 2006; Saavedra et al., 2003, entre d'altres).

Malgrat es conegut que els estímuls sensorials tenen limitacions per processar-se en paral·lel, no es coneix la mesura en la que arriben a interferir l'un amb l'altre (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

Altres factors que condicionen la recepció dels estímuls propioceptius depenen de les característiques físiques, fisiològiques i psíquiques de les persones avaluades.

Dins de les característiques físiques trobem les propietats mecàniques dels biomaterials de l'aparell locomotor, que condicionen la seva capacitat compliant o rígida i, en conseqüència, el llindar de resposta davant tensions d'elongació, que estimularà en major o menor mesura els mecanoreceptors propioceptius que es troben en aquests teixits (Alter, 1998; Achour, 2006).

Els condicionants fisiològics fan referència a les característiques pròpies del sistema nerviós o a l'equilibri cel·lular necessari per a que funcioni. Per exemple: la presència adequada de calci o neurotransmissors, la velocitat de conducció nerviosa i la representació neuronal pròpia a l'escorça sensitiva i motora primàries.

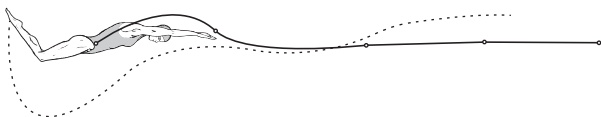
La quantitat de fibres musculars de tipus I o II dels músculs avaluats condicionen la velocitat de la resposta i la fatigabilitat muscular davant del gest sol·licitat i, per tant, condiciona els temps de descans que s'han de proposar per a cada tipus d'exercici en el que la propiocepció es vulgui avaluar o millorar (Baechle i Earle, 2007).

El volum de massa muscular fa variar el número de receptors musculars propioceptius, malgrat no s'ha demostrat que tenir més receptors millori la propiocepció. En canvi, ho fa la qualitat unida a la quantitat del seu treball

El nivell d'envelliment del sistema nerviós i de l'aparell locomotor, relacionat amb l'edat dels individus, modifica la recepció propioceptiva.

Per últim, el llindar del dolor, propi de cada persona, pot interferir en la recepció de l'estímul propioceptiu (Kandel et al., 2001).

Els aspectes psíquics que poden afectar a la propiocepció són molt diversos. L'estat emocional, com la tristesa, genera una inhibició del sistema nerviós simpàtic, mentre l'alegria l'estimula, millorant l'estat d'alerta de tot el sistema sensoriomotriu, inclosa la propiocepció.



El nivell de relaxació o el nerviosisme i/o l'estrès predisposa a rebre i processar millor o pitjor les informacions perceptives rebudes. El nivell d'atenció selectiva sobre els estímuls rebuts o la concentració sobre la tasca també condicionen la recepció propioceptiva i l'elaboració d'una resposta adequada (Kandel et al., 2000; Koch, 2005; Morris et al., 2005; Purves et al., 2008).

1.5.1 Propiocepció i edat

La degeneració articular forma part del procés d'envelliment general del cos humà. La disminució de la propiocepció es dur a terme paral·lelament amb la degeneració dels teixits musculars, lligamentosos i cartilaginosa, que contenen els receptors propioceptius, encara que aquesta degeneració no és sempre deguda a l'edat. En molts casos, l'envelliment prematur dels teixits es dona per simptomatologies doloroses recurrents i/o per la pèrdua de funció temporal de les articulacions immobilitzades, que malmeten el correcte funcionament de la recepció propioceptiva (Lephart i Fu, 2000; Pai et al., 2005).

Amb l'edat, les propietats mecàniques dels biomaterials es modifiquen per la pèrdua progressiva d'elastina del teixit conjuntiu, del que estan formades les parts toves de l'aparell locomotor, entre d'altres. La pèrdua d'elastina, provocada per la deshidratació general del teixit conjuntiu, fa que perdi capacitat d'elongació progressivament. La disminució de la capacitat d'elongació provoca l'estimulació dels fusos musculars i dels òrgans tendinosos de Golgi amb una tensió d'elongació de menor magnitud a la habitual. El mateix procés d'envelliment provoca un alentiment dels processos nerviosos i una pèrdua de la reactivitat sensorial, entre ella la propioceptiva, que augmenta la susceptibilitat de lesió de les parts toves per absència o disminució de la velocitat de l'arc reflex propioceptiu (Alter, 1998; Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

Goble, Lewis, Hurvitz i Brown (2005) van estudiar la propiocepció conscient de les extremitats superiors en diversos moviments coordinatius de dificultat variable, comparant els resultats entre els membres més joves de la mostra (entre 8 i 10 anys d'edat) i els membres adolescents (d'edats compreses entre 16 i 18 anys). Els resultats obtinguts demostren que el grup d'adolescents presenten un grau d'errada el 50% menor que els nens i nenes entre 8 i 10 anys en tots els moviments avaluats, i que els resultats d'aquests s'acosten als dels subjectes adults d'altres estudis similars.

Atribueixen la manca de precisió dels membres de la mostra entre 8 i 10 anys a la manca de maduració del sistema somatosensitiu.

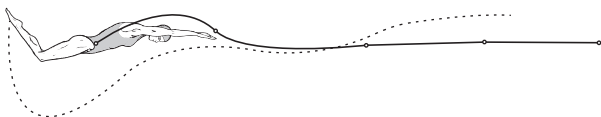
Les habilitats propioceptives es nodreixen de la mielinització complerta del SN perifèric, així com de l'acumulació d'experiències que reforcen i acceleren els processos sinàptics. També és imprescindible la maduració dels cordons medul·lars posteriors de les vies propioceptives, així com la dels centres del SNC relacionats amb la regulació i precisió de les respostes als estímuls propioceptius. Finalment, la maduració del còrtex sensorial i motor, la memòria motriu i la capacitat de mantenir l'atenció sobre les tasques sol·licitades són d'altres factors que disminueixen la precisió propioceptiva dels més joves (Adamo, Martin i Brown, 2007; Adamo, Alexander i Brown, 2009).

Coronado et al. (2006) van observar diferències significatives en la variabilitat de la cinestèsia i l'estatèstèsia amb l'edat, que atribueixen a un deteriorament de la via somatosensorial que s'acompanya d'una disminució en l'activitat receptora propioceptiva. McGibbon (2003) atribueix la disminució de l'activitat receptora a un canvi de les amplituds de moviment amb l'edat, que disminueix la riquesa en els estímuls d'estirament i escurçament que reben les estructures periarticulars, amb el consegüent deteriorament de l'estimulació dels receptors propioceptius, així com tots els mecanismes d'acció del sistema sensoriomotriu.

L'augment del sedentarisme relacionat amb l'edat és un factor que disminueix la qualitat de la informació propioceptiva, per una disminució de l'activitat sensitiva de la musculatura de l'aparell locomotor. Un estudi sobre la propiocepció de les extremitats superiors, per grups d'edat sedentaris i no sedentaris, va demostrar que el grup més jove sedentari tenia pitjor propiocepció que el grup no sedentari de la tercera edat (Adamo et al., 2009).

1.5.2 Propiocepció i gènere

Les diferències entre la propiocepció en funció del gènere sembla estar lligada a la quantitat de massa muscular que, habitualment, és major en el sexe masculí. Existeix una relació directe entre el número de fibres musculars del cos i la quantitat de receptors musculars ubicats dins de les fibres, de manera que a major massa muscular major quantitat de fusos musculars. La relació amb la quantitat d'òrgans tendinosos de Golgi no està tan clara com la dels fusos, i la quantitat de receptors propioceptius a la resta de part toves de l'articulació no sembla tenir relació directe amb el sexe (Ashton-Miller, 2000; Coronado et al., 2006).



Lloyd (2000) va estudiar la propiocepció i el control neuromuscular d'atletes femenines i va observar que la freqüència lesional de la mostra femenina estudiada era més causada per les característiques morfològiques i fisiopatològiques -desalineacions en valg i hiperlaxitud, d'algunes de les dones estudiades, que per una disminució significativa de la propiocepció.

Les dones que no presenten cap desalineació articular per un excés de laxitud lligamentosa no tenen perquè presentar diferències, respecte del sexe masculí, en la capacitat de control muscular i propioceptiu.

1.5.3 Propiocepció i lesió

La lesió de les estructures que contenen receptors propioceptius és un factor limitant clau de la seva funció. De fet, el desenvolupament de la recerca sobre propiocepció ha estat determinant en l'àmbit de la rehabilitació, a on s'observava que l'alteració de la integritat musculotendinosa, lligamentosa, capsular, entre d'altres, disminuïa o impossibilitava la capacitat de sentir i/o percebre el moviment o els canvis de posició de l'articulació malmesa, així com s'alterava l'arc reflex de la zona afectada (Laskowski et al., 1997 i 2000; Lephart i Fu, 2000; Newcomer et al., 2000 a i b i 2001; Willems et al., 2002; Wassinger, Myers, Gatti, Conley i Lephart, 2007, entre d'altres).

Quan es produeix una lesió dels teixits articulars es produeix una interrupció de la funció dels receptors propioceptius, provocant una desafereciació transitòria de l'estructura afectada. Aquest fet provoca una disminució del control neuromuscular sobre l'articulació malmesa, la qual cosa provoca una pèrdua de la seva estabilitat (Lephart i Fu, 2000; Willems, Witvrouw, Verstuyft, Vaes i De Clercq, 2002). La manca d'estabilitat, al mateix temps, està directament relacionada amb una alteració de la funció general de l'articulació i de totes les articulacions associades al seu treball. Totes les articulacions de la mateixa cadena cinètica de treball quedaran afectades, podent-se transmetre l'alteració a la resta de l'aparell locomotor, especialment si es tracta d'una articulació de càrrega, com la del turmell, el genoll, el maluc, la CV, entre d'altres. Si, a més, s'immobilitza l'articulació malmesa i no es realitza un bon període de rehabilitació i readaptació a l'esforç, és freqüent que la mateixa estructura lesionada torni a malmetre's al reprendre l'activitat quotidiana, produint-se tota la cadena d'alteracions descrites. (Busquet, 1997 a i b; Lephart i Fu, 2000) (Fig. 16).

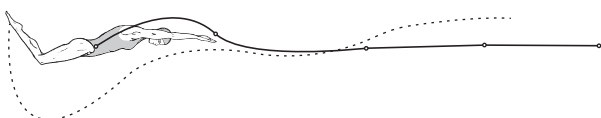
1.5.4 Propiocepció i dolor

A priori, presència de l'estímul dolorós es relaciona directament amb una disminució de la capacitat de recepció propioceptiva. El dolor esdevé un inhibidor de les accions motores relacionades amb la zona corporal que rep aquest estímul. D'aquesta manera, les persones amb simptomatologia dolorosa presenten una dificultat per processar els estímuls dels receptors propioceptius, principalment degut a un bloqueig de l'entrada d'aquests estímuls al tàlem, que prioritza l'entrada del dolor a la de la posició o moviment articular, com a un mecanisme de defensa de la integritat de l'aparell locomotor (Perea i Ladera, 2008; Purves et al., 2008).

La lesió traumàtica, que afecta als receptors propioceptius o a les fibres nervioses que els innerven, pot provocar serioses alteracions dels mecanismes reflexos i voluntaris de reposicionament articular. La mort de zones sensibles provoca l'absència de possibilitats d'enviar informació al SNC o de provocar mecanismes de retroalimentació o feedback que protegeixin la zona malmesa. La presència de dolor és un mecanisme d'alerta per a que aquest procés degeneratiu no es produeixi (Reeves, Cholewicki i Milner, 2005).

La presència de dolor no sempre és un factor que disminueix la propiocepció de la mateixa manera a totes les articulacions. Estudis histològics, realitzats a la Xina, demostren que quan s'ha produït una lesió del disc intervertebral es forma un cúmulo de teixit granulos vascularitzat a l'interior de l'anell fibrós per reparar l'esquerda.

L'estructura del disc al voltant de la zona lesionada no canvia, però a l'esquerda es produeix un augment extraordinari de la innervació a la part posterior del disc lesionat. L'augment de les terminacions nervioses de la zona lesionada es relaciona amb l'augment de la percepció dolorosa, però també amb un augment de la resta de recepcions sensorials (Peng et al., 2004, 2006). Altres estudis demostren que a la zona lesionada es produeix un augment transitori de la vascularització, que millora els nivells d'agents regeneradors del disc i, a llarg termini, genera un teixit innervat que no s'adapta igual al moviment que la part sana del disc, i desencadena impulsos dolorosos amb més facilitat. Aquestes dades podrien explicar la manca de diferències en la propiocepció d'alguns estudis que comparen subjectes sans amb subjectes amb mal d'esquena crònic, entre d'altres (Robert, Smith, Menage i Ghosh, 2002).



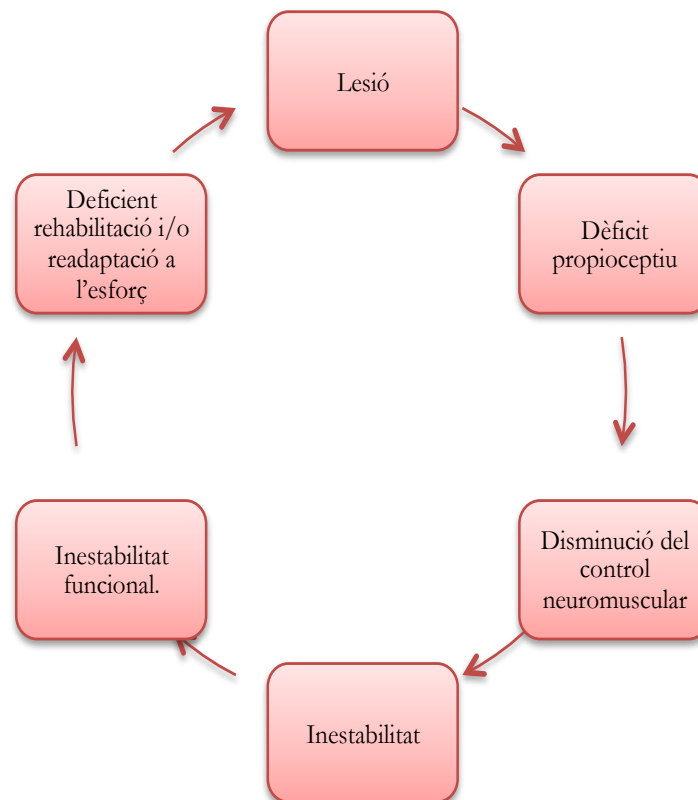


Fig 16. Paradigma de la etiopatogènia de la lesió articular i com afecta a la propiocepció

1.5.5 Propiocepció i fatiga

La fatiga és un factor que disminueix la precisió propioceptiva. Es relaciona amb una pèrdua de l'eficiència dels receptors propioceptius musculars, amb la conseqüent pèrdua de la seva funció. La fatiga psíquica i física poden ser els desencadenants d'una davallada en el flux d'informació propioceptiva al SNC.

Pai et al. (2005) van trobar signes de fatiga en la realització de les 20 repeticions en un test per avaluar la propiocepció de la CV. L'excés de repeticions i la curta durada dels descansos entre repeticions, de 20 s, provocà una acumulació de fatiga muscular que va reduir la precisió dels intents, de forma inversament proporcional a l'augment de la fatiga. Taimela, Kankaanpää i Luoto (1999) van estudiar l'efecte de la fatiga de la musculatura paravertebral en la capacitat de percebre el canvi en la posició articular de la zona lumbar.

Van observar que la fatiga d'aquesta musculatura disminuïa la propiocepció de la CV lumbar, empitjorant la capacitat per detectar els seus canvis de posició.

Myers, Guskiewicz, Schneider i Prentice (1999) van observar que la fatiga disminuïa la precisió en la modificació conscient activa de la posició articular de l'espatlla, en una mostra formada per 32 estudiants de 18-25 anys sense problemes d'inestabilitat ni antecedents de lesió a les extremitats superiors. En canvi, la fatiga no va afectar al control neuromuscular ni a la velocitat d'execució.

1.5.6 Propiocepció i nivell atencional

Mezières (1984) ja contemplava en el seu mètode aspectes en els que relacionava l'atenció amb certs nivells d'estimulació propioceptiva, com la cinestèsia. En els seus textos s'hi troben afirmacions sobre que és necessari estimular els receptors cinestèsics i aquesta tasca exigeix l'atenció del pacient durant la sessió.

Segons Ashton-Miller et al. (2001) només en el cas de focalitzar l'atenció sobre un gest es pot aconseguir millorar alguns aspectes de la propiocepció, com el lliandar de precisió en la modificació de la posició articular. És important tenir en compte que l'atenció o focalització del moviment es pot veure afectada per diversos factors, com la capacitat de selecció sensorial, l'arousal, la motivació, la memòria motriu, la capacitat de processar gestos de velocitat, el nivell de vigilància, el nivell de fatigabilitat i la capacitat de canviar el focus de l'atenció sobre el moviment. És més senzill pel SNC mantenir l'atenció sobre moviments simples, o sobre articulacions per separat, que sobre gestos complexos, o que impliquen a diferents àrees separades de l'aparell locomotor com per exemple extremitats superiors i inferiors alhora (Kandel et al., 2001). De fet, quan s'avalua la propiocepció es fa en una articulació per separat o, com a molt, en un segment concret del tronc.

Si s'implica a més articulacions, augmenta la dificultat per mantenir l'atenció de forma homogènia a totes elles i, per tant, empitjora el resultat del test i no es pot atribuir només a la qualitat propioceptiva (Lephart i Fu, 2000).

L'atenció sobre una tasca també depèn del nivell d'excitació del SNC. L'estat de relaxació pot ser un factor que alteri el nivell d'atenció sobre la tasca, especialment en persones novells, i no tant important en les més experimentades, que no necessiten estar relaxades per mantenir l'atenció (Morris et al., 2005).

L'atenció és un factor directament relacionat amb la consciència sobre la tasca. La capacitat de realitzar de forma conscient els moviments es redueix a moviments simples. No podem ser conscients de molts moviments al mateix temps (Koch, 2005).



Per a poder donar temps a l'assimilació conscient dels canvis de posició articular s'ha de realitzar el moviment de forma analítica, lenta i controlada (Ashton-Miller et al., 2001).

1.5.7 Propiocepció, Ca²⁺ i Acetilcolina

Els ions de calç (Ca²⁺) a les neurones són necessaris pel processament i emmagatzemament d'informació. La seva difusió, regulació i alliberament intracel·lulars, origina modulacions locals de la seva concentració i, alhora, pot influir en el potencial de membrana i lligar-se a reguladors o enzims que activin o desactivin les vies senyalitzadores intracel·lulars, que inicien la plasticitat i conformen les bases de l'aprenentatge (Koch, 2005).

L'acetilcolina, neurotransmissor individual, pot augmentar de forma ràpida però momentània el potencial de membrana, apropant-lo al llindar del potencial d'acció, o regular durant cert temps l'excitabilitat de la cèl·lula (Purves et al., 2008). L'alliberament d'acetilcolina a la sinapsi s'anomena transmissió colinèrgica. Facilita la transmissió d'informació aferent a l'escorça. Controlant el tàlem, les cèl·lules colinèrgiques poden influir en tota l'escorça cerebral.

1.5.8 Propiocepció i experiència motriu

La repetició sistemàtica i periòdica de determinats moviments articulars, sota el control conscient del gest, o els moviments sobre els que mantenim l'atenció i fem de forma voluntària, es poden arribar a emmagatzemar en forma de seqüències ordenades conegudes de moviment. El seu processament pot arribar a ser immediat, en funció del temps en que han estat practicats.

El sistema nerviós els pot arribar a mantenir en la memòria i accelerar tots els processos necessaris per desenvolupar-los quan es sol·liciten de forma conscient o, fins i tot, de forma automàtica depenent del temps de pràctica i el nivell d'atenció que s'hi ha dedicat (Kandel et al., 2001).

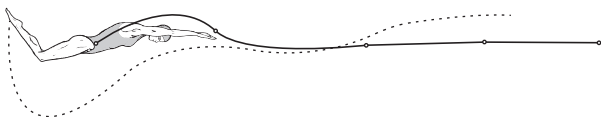
La memòria, definida com a la capacitat per emmagatzemar informació proporcionada per l'experiència i de recuperar-la a voluntat, es troba categoritzada des de dues perspectives: qualitativa i quantitativa. A nivell qualitatiu es diferencien la memòria declarativa i no declarativa. La primera es pot recuperar i ser expressada mitjançant el llenguatge. La memòria no declarativa no es troba sempre lligada a la consciència i implica, entre d'altres, la recuperació d'habilitats motores.

A nivell quantitatiu trobem la memòria immediata, de treball i a llarg termini. La memòria immediata es defineix com la capacitat de mantenir en la ment experiències durant fraccions de segon. La memòria de treball també es defineix dins de la classificació d'altres autors com a memòria a curt termini, i fa referència a la capacitat de mantenir la informació durant segons o minuts després de rebre-la. La memòria a llarg termini implica el manteniment de la informació durant setmanes, mesos o fins i tot tota la vida (Baddeley, 1989, Purves et al., 2008).

Existeixen mecanismes d'adaptació del sistema nerviós central davant els diferents tipus de memòria. La memòria de treball a llarg termini pot arribar a produir un augment de la representativitat neuronal cortical de l'àrea somatosensitiva primària i de l'àrea motora primària, així com un augment de la informació sobre el patró motor pel gest a l'àrea premotora, fins el punt d'accelerar els processos entre la recepció sensitiva i l'emissió de la resposta.

Estudis realitzats a pianistes han observat un augment de la representació cortical de l'àrea sensitiva i motora primària corresponent als dits de la ma, mitjançant l'elaboració de mapes corticals (Kandel et al., 2001). Segons Ashton-Miller et al. (2001) amb moviments lents i sistematitzats es pot arribar a millorar la propiocepció, però el procés pot durar de mesos a anys. Aagaard (2003) observà que l'entrenament muscular de resistència no només generava canvis en la morfologia de la musculatura entrenada, sinó que també ho feia en el sistema nerviós, augmentant la freqüència d'estimulació i grau d'excitabilitat de les neurones eferents, en forma d'inhibició presinàptica i d'augment dels nivells de control motor del SNC.

Diversos estudis han mirat d'observar amb quantes repeticions d'un exercici es pot acumular una memòria que faciliti la precisió en el reposicionament de l'articulació examinada. Gill i Callaghan (1998) van realitzar un estudi a on tots els membres de la mostra havien de reproduir una posició determinada de flexió de la CV dempeus i 4 posicions de genolls. Se'ls va fer realitzar 10 repeticions en un temps de 30s. Per determinar el grau de memòria que hi havia en la realització de les 10 repeticions, van realitzar el mateix test en l'articulació del colze a 5 membres de la mostra. Els resultats van demostrar que no hi havia memòria a curt termini amb la realització de 10 repeticions. Pai et al. (2005) no van trobar que els subjectes de la mostra presentessin aprenentatge ni millora de la precisió en el reposicionament, en la mateixa sessió de mesura, aplicant 20 repeticions consecutives separades per un descans de 20s. En canvi, van apreciar un aprenentatge després de 4 sessions de 20 repeticions, separades per un marge menor a una setmana.



1.6 Alteració de la propiocepció conscient

Les causes que poden alterar la manifestació conscient de la propiocepció són diverses.

Des del punt de vista de la fisiologia del SNC, Koch (2005) contempla que qualsevol alteració del sistema de les connexions neuronals que proporcionen consciència del moviment, anomenades correlats neuronals de consciència, pot malmetre la seva manifestació. Els correlats neuronals de consciència són els mecanismes i els successos neuronals suficients per a la percepció conscient específica, així com l'activitat de descàrrega neuronal del cervell a nivell de l'escorça cerebral, els ganglis basals, tàlem i estructures associades.

Altres autors descriuen l'alteració de la propiocepció a partir de l'alteració dels receptors propioceptius, provocada per una lesió a les estructures a on es troben aquests (Lephart i Fu, 2001; Laskowski et al., 2000)

A continuació es detallen les alteracions de la propiocepció que es poden produir per afectació de cadascuna de les estructures responsables de la recepció, transport, elaboració, emissió i execució de la resposta motora que desencadena l'estimulació propioceptiva.

1.6.1 Alteració dels processos cel·lulars del SNC

L'alteració dels processos cel·lulars i subcel·lulars de les neurones del SNC, relacionades amb l'aparell locomotor, pot afectar la funció dels receptors propioceptius.

L'absència o davallada de Ca^{2+} a la cèl·lula nerviosa pot disminuir l'activació de les vies que inicien la plasticitat del SNC i dificultar l'aprenentatge (Koch, 2005).

La manca d'Acetilcolina pot alentir la transmissió d'informació aferent a l'escorça cerebral a nivell del tàlem, entre elles les aferències propioceptives. Si els nivells d'aquest neurotransmissor no són suficients no es poden fer les connexions neuronals que acompanyen als correlats neuronals de consciència, necessaris per a la recepció, integració i elaboració d'una resposta davant d'un estímul propioceptiu conscient (Koch, 2005).

1.6.2 Alteració dels receptors propioceptius

L'alteració de la funció dels receptors propioceptius es pot produir per una desafereñació traumàtica, provocada per la lesió de l'estructura articular o muscular lesionada o per un període d'immobilització llarg (Lephart i Fu, 2000).

En qualsevol cas, la pèrdua d'activitat dels receptors provoca la pèrdua de les funcions que desenvolupen (apartat 1.2.2) que es podria resumir en el següent:

Si es produeix una alteració dels receptors de Pacini es perd la capacitat per detectar els canvis d'acceleració de l'articulació i, per tant, per poder enviar una informació que ajudi a col·locar l'articulació en una situació d'equilibri dinàmic, perdent la seva estabilitat. També es perd la capacitat de detectar vibracions mecàniques intraarticulars provocades, per exemple, pel canvi de terreny o de superfície de desplaçament.

L'alteració dels receptors de Ruffini provoca la pèrdua de la capacitat per detectar els canvis de posició i velocitat de l'articulació. Impossibilita saber quan l'articulació està col·locada en una posició desequilibrada o perjudicial (per distribució descompensada de les càrregues que rep o per la possible agressió de les estructures que l'envolten). Aquest fet no permetria el reajustament postural o posicional del SNC en resposta a aquest tipus d'estímul.

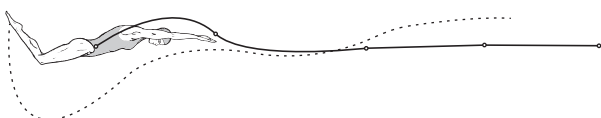
Si les deficiències es produeixen als fusos musculars es provoca un desajust en la regulació del to o una disminució d'aquest. En aquest cas es podria alterar el nivell de fixació que proporcionen els músculs a algunes articulacions com per exemple la cintura escapular, la CV o el turmell. A més, es produiria una pèrdua del reflex miotàtic, imprescindible per evitar agressions per distensió del ventre muscular i per regular la inhibició recíproca de la musculatura antagonista, en qualsevol moviment en el que la relaxació del múscul antagonista facilita l'acció del múscul principal.

La deficiència dels òrgans tendinosos de Golgi impediria la detecció de nivells elevats de tensió muscular i anul·laria el reflex miotàtic invers.

El múscul es veuria compromès davant de les accions en les que hagués de generar una tensió muscular major a la que pot suportar, ja que no gaudiria del control protector d'aquest mecanoreceptors, podent-se produir una ruptura a nivell músculotendinosos per excés de força (Lephart i Fu, 2000; Saavedra et al., 2003).

1.6.3 Alteració del tàlem

Perea i Ladera (2008) descriuen que una lesió del tàlem pot desencadenar un seguit d'alteracions sensibles i motores. A nivell sensitiu, les lesions vasculars poden donar lloc a la pèrdua o disminució sensorial contra lateral i l'anomenat dolor talàmic, com el que es dona als síndromes de Dejeriné i Roussy, que desencadenen un dolor intens i continu, sovint insuportable. La lesió talàmica pot afectar al sistema motor voluntari amb la manca



de coordinació cerebel·losa contralateral al costat afectat, sincinèsies homolaterals d'imitació o repetició del moviment d'una extremitat, efectuada per un altre extremitat, i contractures. Pot afectar el sistema motor involuntari i pertorbar de forma global el moviment, provocant la repetició constant d'un moviment o l'alteració de la marxa.

La lesió del tàlem pot alterar el nivell atencional de les persones donat que, junt amb la formació reticular, regula el nivell d'arousal. Els nuclis intralaminars estan relacionats amb l'excitabilitat general de l'escorça cerebral, desenvolupant un paper important en el control de la son i la vigília, així com del nivell de consciència de les persones. S'ha demostrat que els canvis en el flux sanguini dels nuclis intralaminars varien l'estat de consciència de les persones estudiades (Koch, 2005). El tàlem també intervé en processos emocionals i motivacionals per les seves relacions amb l'hipotàlem, l'amígdala i les estructures límbiques. La seva absència provoca canvis en la tensió arterial i en els impulsos motivacionals. També s'ha descrit la relació entre la manca del tàlem amb l'amnèsia o la manca de memòria motriu (Perea i Ladera, 2008).

1.6.4 Alteració de les escorces d'associació

Les persones que presenten una afectació patològica de les àrees d'associació parietal tenen incapacitat de mantenir l'atenció tant dels objectes com de la part del cos del costat oposat, síndrome anomenat de negligència contralateral. Es pot donar malgrat es mantinguin intactes la visió, la capacitat motora o la sensibilitat somàtica .

La lesió de l'escorça d'associació frontal provocaria greus problemes de programació de l'acció motora i d'ajust entre les escorces sensibles i motores per a la planificació de la resposta adequada als estímuls propioceptius (Purves et al., 2008).

1.6.5 Alteració dels ganglis basals o dels centres del tronc de l'encèfal

Qualsevol desequilibri dels centres dels ganglis basals o del tronc de l'encèfal, facilitadors del to muscular, pot desenvolupar la seva pèrdua o alteració. Com s'ha explicat, el to muscular és determinant pel correcte funcionament del mecanisme d'innervació recíproca, per la coordinació intramuscular i la precisió en l'activitat motora. Es modificarien aquests mecanismes i les respostes musculars voluntàries, ja sigui per un augment exagerat del to, o espasticitat, que confereix massa rígida a la musculatura, com per la hipotonia o flaccidesa,

que limita o impossibilita l'execució dels moviments voluntaris. Els desajustos de les unitats motores afectades interferiria, ahora, en l'equilibri, els canvis de posició i el desplaçament (Daza, 2007).

En resum, la propiocepció és una sensibilitat, de tipus aferent, condicionada per múltiples factors, que ahora condiciona totes les capacitats o característiques vinculades a la necessitat de conèixer, percebre o sentir la posició articular o l'estat de tensió muscular (Fig. 17).

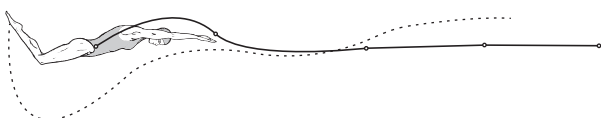
El coneixement dels factors que la condicionen permet una aproximació metodològica al plantejament d'exercicis per millorar-la, així com per provocar canvis en totes les capacitats o habilitats que en depenen (Ashton-Miller et al., 2001; Riemann i Lephart, 2000; Verkhoshansky, 2002; Chollet, 2003; Davids et al., 2006).

1.7 Mètodes d'avaluació de la propiocepció conscient

L'avaluació de l'exercici físic des de la perspectiva psicobiològica no arriba a gaudir del volum de recerca d'altres perspectives més fisiològiques o físiques. S'atribueix aquesta diferència a la manca d'instruments quantitativs per a la presa i anàlisi de dades referents al SN, i a la influència dels mètodes constructivistes qualitativs per a l'estudi dels comportaments relatius al funcionament del SNC (Acebedo i Ekkekakis, 2006). En el món de la rehabilitació neurològica i la fisioteràpia és a on més estratègies de mesura existeixen per mirar d'avaluar la propiocepció conscient.

Els procediments per mesurar la propiocepció estan basats en l'estudi exhaustiu del funcionament del sistema sensoriomotriu, des de que els propioceptors reben l'estímul mecànic fins que s'executa una resposta. D'aquesta manera s'ha establert que les variables dependents bàsiques per a la mesura de la propiocepció són la precisió en la percepció de la posició articular i la capacitat de detectar el moviment articular (Ashton-Miller, 2000; Ashton-Miller et al., 2001; Lephart i Fu, 2000; Newcomer et al., 2000 a i b, 2001; entre d'altres).

Existeixen pocs estudis que hagin validat o comparat els mètodes d'avaluació de la propiocepció. Beynnon et al. (2000) van comparar l'exactitud, repetibilitat i precisió de 7 tècniques d'avaluació del sentit de la posició articular i d'una tècnica de mesura de la percepció del moviment articular, en persones sense cap simptomatologia a l'articulació observada (el genoll).



L'exactitud es va determinar comparant l'extremitat dominant respecte la no dominant. La repetibilitat es va comprovar comparant els resultats obtinguts en diferents intents del mateix dia i els de dos dies diferents. La precisió va ser descrita utilitzant la desviació estàndard entre els resultats de diferents intents. L'avaluació de la percepció del moviment articular va resultar ser més repetible i precisa que els de la posició articular.

Els mètodes que s'utilitzen en l'actualitat per avaluar les variables relacionades amb la propiocepció es poden classificar en qualitatius, quan no disposen d'instruments per quantificar els resultats obtinguts, i quantitativs quan utilitzen instruments per quantificar de forma objectiva els fenòmens físics succeïts.

Alguns mètodes quantitativs d'avaluació de les vies nervioses, són més propis de la recerca en neurologia clínica que a la medicina física i la rehabilitació o a les ciències de l'esport.

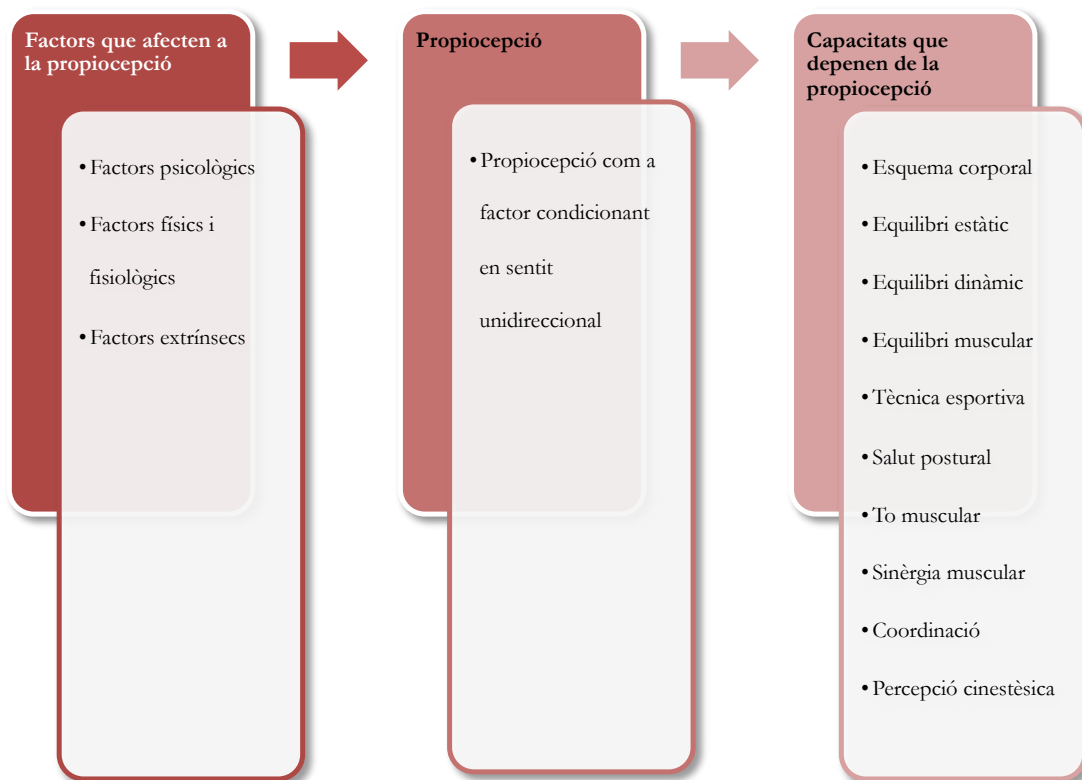


Fig 17. Interdependència entre la propiocepció i altres qualitats i habilitats

1.7.1 Mètodes qualitatius

L'únic mètode qualitatiu per avaluació de la propiocepció és l'avaluació clínicofuncional amb observació directa, utilitzada al període de rehabilitació pels fisioterapeutes.

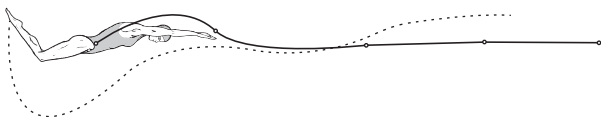
Les proves s'apliquen utilitzant, o no, el suport d'una resistència externa i d'aquesta manera es categoritzen com a proves "pesades" o "lleugeres". L'objectiu principal d'aquestes proves és el d'identificar la capacitat que té la persona per reconèixer la posició del seu cos en l'espai, en repòs i en moviment, interpretada com al resultat de la informació subministrada pels mecanoreceptors propioceptius (Daza, 2007).

A les proves sense càrrega o "lleugeres" el fisioterapeuta mobilitza el segment afectat del pacient, amb els ulls tancats o tapats, fins a una posició determinada, i aquest ha de moure el segment contralateral, en la mateixa direcció en la que ha percebut el moviment de l'extremitat compromesa, i col·locar-lo en l'angle que percebi que és el mateix que el del costat contralateral (Fig. 18). L'avaluador enregistra la precisió de la resposta motora mitjançant l'observació directa (Daza, 2007).

Una altra manera d'avaluar la posició articular és fragmentant l'amplitud de moviment en parts, anomenant-les posicions 1, 2 i 3, per exemple. El terapeuta mou l'extremitat del pacient, aturant-la de forma aleatòria en les tres posicions. La persona ha d'identificar, d'acord amb la seva percepció, en quina de les posicions es troba. En aquesta prova la persona avaluada també es troba amb els ulls tapats. L'examinador també avalua la precisió de la resposta mitjançant l'observació directa.



Fig 18. Prova lleugera de la posició articular (Adaptació de Daza, 2007)



1.7.2 Mètodes quantitius

1.7.2.1 Electroencefalograma (EEG)

Es tracta d'un aparell que representa de forma gràfica els canvis de voltatge enregistrats entre dos elèctrodes, col·locats sobre el cuir cabellut. En la majoria dels casos es col·loquen parells d'elèctrodes en 19 posicions estàndards, distribuïdes sobre el cap en els lòbuls frontal, parietal, temporal i occipital (Fig.19). Es va utilitzar per primera vegada amb éssers humans al 1929 pel psiquiatra Hans Berger (citat a Purves et al., 2008).

És un instrument que, per alguns investigadors, és la única oportunitat de conèixer el funcionament conscient dels humans.

Altres el descarten per la complexitat de la seva utilització i lectura, i alguns pensen que només permet l'anàlisi superficial del que succeeix a l'escorça cerebral, ja que no és capaç d'enregistrar l'activitat elèctrica de la resta de l'encèfal.

Avui en dia s'utilitza per la recerca en els camps de la fisiologia del son i de l'epilèpsia, fins i tot hi han estudis que comencen a utilitzar-lo per analitzar l'activitat cortical de pràctiques esportives com el tir olímpic.

L'avantatge principal és la facilitat per a la seva col·locació, mitjançant un casquet sobre el cabell. La seva limitació radica en la resolució espacial, ja que permet la localització d'un àrea activa de centímetres.

L'EEG enregistra freqüències, en hertz (Hz), i amplituds d'estimulació cerebral, en milivolts (mV).

Existeixen diferents ritmes d'estimulació cerebral associats a certes freqüències i amplituds (alfa, beta, theta, delta, mu, kappa, entre d'altres). Per exemple, la freqüència alfa s'enregistra en els casos en que la persona està relaxada o amb els ulls tancats i la freqüència Mu es relaciona amb l'activitat de l'escorça sensitiva motora.

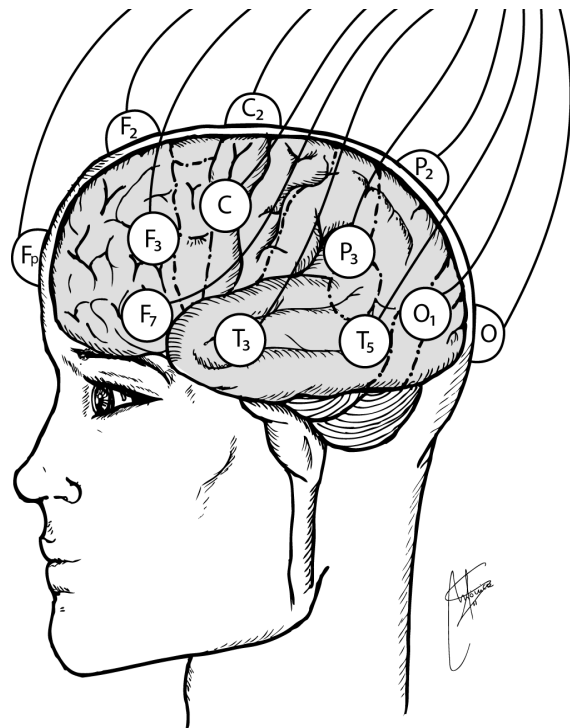


Fig 19.EEG (Adaptat de Purves et al., 2008)

Ja als anys 40, Dempsey i Morrison van demostrar que els ritmes o freqüències d'estimulació de l'escorça cerebral detectades pel EEG depenen de l'activitat del tàlem i de l'activitat del sistema activador reticular del tronc cerebral, malgrat a hores d'ara encara no es coneix amb exactitud la importància funcional dels ritmes corticals (Purves et al., 2008).

1.7.2.2 Potencials evocats

Els potencials evocats (PEs), també coneguts com a potencials relacionats amb events o respostes evocades, són registres de l'activitat elèctrica del cervell en resposta a un estímul específic que pot ser visual, auditiu i somatosensorial.

Es presenten com a oscil·lacions emmascarades per la resta de senyals de l'EEG i es descriuen en funció de les seves magnituds màximes i mínimes, així com per la durada entre la realització l'estímul fins que s'observa un canvi en l'activitat elèctrica de l'escorça cerebral, anomenat temps de latència (Purves et al., 2008).

Permeten l'obtenció d'informació sobre el funcionament d'estructures neurals específiques i esdevé un sistema de mesura fiable, objectiu i reproducible dels diferents sistemes sensorials. Es tracta d'un instrument, no sempre invasiu, no dolorós i relativament ràpid que, si s'utilitza i interpreta correctament, podria ser una eina molt valuosa pel coneixement de processos cognitius, entre ells el de la propiocepció conscient (Escera, 2002). S'ha de tenir en compte que poden haver variacions en els registres en funció de les variables independents de la persona avaluada (edat, temperatura corporal i tensió arterial) i que l'experiència de l'examinador és un factor limitant per a la seva utilització (Sloan, 2003).

Actualment s'utilitza en recerques per conèixer diferents aspectes del funcionament cerebral, relacionat amb processos cognoscitius, de percepció, sensorials i motors. A nivell clínic són essencials per conèixer les lesions de les vies aferents del SNC i són una mesura objectiva de la recepció de l'audició, la vista i el tacte (anomenats PEs somatosensorials). S'utilitzen a la cirurgia de la CV, donat que les intervencions envaeixen els cordons posteriors de la medulla espinal i cal assegurar-se que no es malmeten aquestes vies (Sloan, 2003).

Els PEs somatosensorials permeten estudiar les vies sensibles des de el SN perifèric al SNC. Consisteixen en la detecció de l'activitat elèctrica amb EEG de les àrees parietals quan s'estimula un tronc nerviós de les extremitats o del territori cranial (Fig. 20).



Els nervis sensorials perifèrics s'estimulen i s'observa la recepció de l'estímul a l'escorça cerebral, de manera que es pot avaluar el funcionament de tota la via aferent per on ha viatjat l'estímul (Dumitru,1995).

L'estimulació es realitza amb elèctrodes sobre els nervis perifèrics i s'enregistren els canvis elèctrics de la mateixa via a nivell subcortical (nucli dorsal posterolateral del tàlem) i cortical (àrees 1, 2 i 3 de Broca) simultàniament (Fig. 8). Els elèctrodes poden ser invasius (cargols enroscats sobre les apòfisi espinoses de les vèrtebres) o no invasius (elèctrodes de col·lodió). L'estímul elèctric perifèric s'inicia a nivells baixos d'intensitat, augmentant-la fins que s'observa la contracció de la musculatura del voltant.

Les descàrregues es realitzen a una freqüència establerta, i les respostes a nivell cortical i subcortical es processen mitjançant uns filtres que amplifiquen i discriminen altres senyals elèctriques de la persona, com puguin ser les dels batecs del cor o altres senyals del propi laboratori (Dumitru, 1995; Escera, 2002).



Fig 20. Potencials evocats integrats al Biopac
(Fotografia editada per Pablo Coello)

1.7.2.3 Estimulació Magnètica Transcranial: Conducció motora central

Es tracta d'un mètode no invasiu per explorar la conducció del SNC mitjançant l'estimulació magnètica transcranial. Permet l'excitació de forma difusa de les motoneurons de l'escorça cerebral i l'observació d'una resposta muscular evocada, la latència de la qual s'escurça, donat que la persona examinada es troba en un lleuger grau d'activitat. El registre

de l'activitat elèctrica provocada és més intens que el de la musculatura que la persona contrau activament, de manera que no es genera confusió entre els dos tipus d'activitat muscular (Fig. 21).

La seva utilitat és clau per conèixer la conducció motora en segments proximals, així com per delimitar trastorns de la conducció medul·lar (Dumitru,1995). S'han utilitzat l'estimulació magnètica transcranial i els potencials evocats per avaluar les diferències entre la participació del control corticospinal vers el control medul·lar, entre el gest real i l'imaginat.

Es va observar que en ambdues condicions es produïa un augment de l'excitabilitat de la via corticospinal, aspecte que ha dut a pensar que la imaginació del gest i la seva realització voluntària s'elaboren i es modulen de forma similar a nivell cortical (Stinear i Byblow, 2003). També es va utilitzar per avaluar les diferències d'estimulació de la via corticospinal entre el gest realitzat, l'imaginat i l'observat. Hi havia més excitabilitat de la via corticospinal a l'hemisferi contra lateral de la mà que realitzava un gest vist o imaginat, però no hi havia diferències entre els registres de la observació directa del gest d'un altre persona amb els de l'imaginat (Fourkas, Ionta i Aglioti, 2006).

Mercier et al. (2008) han utilitzat l'estimulació magnètica transcranial per determinar en quina mesura la imaginació del moviment, sense la participació visual, podia interferir en la informació propioceptiva rebuda.

Es va demanar als 7 membres de la mostra que, amb els ulls tancats, s'imaginessin que estaven aproximant les puntes del 1er i 5è dit de la mà, mentre un grup de la mostra mantenia la mà en aquesta posició i l'altre grup en una posició diferent. El grup control també va realitzar el procés d'imaginació però amb els ulls oberts. Els resultats de l'estudi suggereixen que, en absència de la propiocepció, la informació visual pot facilitar o inhibir les representacions corticals d'una posició articular, recolzant la idea de que la posició de les extremitats en el sistema nerviós central es dona gràcies a l'organització de representacions multisensorials.

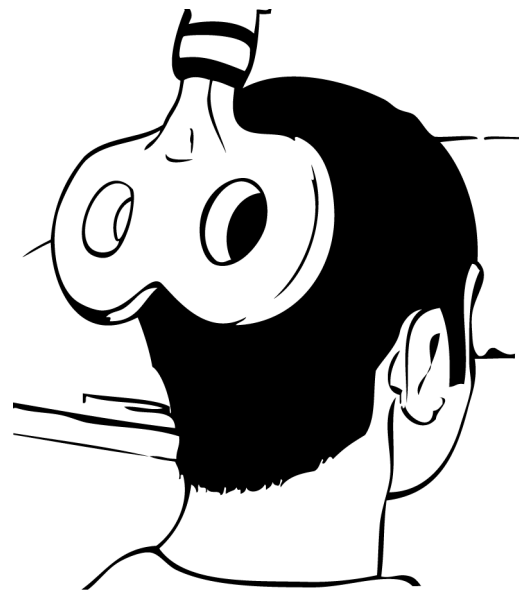
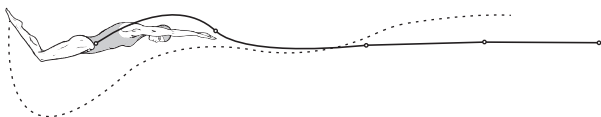


Fig 21. Estimulació magnètica transcranial (Fotografia editada per Pablo Coello)



1.7.2.4 Tècniques d'imatge funcionals

Les noves perspectives d'abordatge en el coneixement de processos cognitius utilitzen les tècniques d'imatges funcionals per avaluar la funció cognitiva. Aquests mètodes resolten aspectes com el de la ubicació de l'aferència sensitiva i de com s'arriba a construir una representació sensitiva complexa, com podria ser la propiocepció. Pot ajudar a descriure de quina manera interaccionen les representacions sensitives i motores durant el guiatge del moviment, fins i tot per conèixer com s'organitzen les funcions cognitives complexes com la memòria, el llenguatge i les emocions.

L' aferència sensitiva primària i la conducció motora final es transmeten per vies organitzades amb una topografia específica, construint mapes topogràfics de les escorces cerebrals receptores com de les emissores dels moviments, amb una precisió mil·limètrica (Purves et al., 2008).

Les tomografies axials computeritzades de raigs X (TAC) i la Ressonància Magnètica (RM) ofereixen imatges tridimensionals detallades, però s'han de realitzar de forma estàtica. El TAC detecta diferents estructures encefàliques per la seva densitat i per la resistència que aquestes ofereixen al pas dels rajos, a partir de la qual es construeix una imatge tridimensional del cervell, mitjançant tècniques matemàtiques.

La RM ofereix una imatge més detallada de la resistència dels teixits cerebrals al pas de les ones d'un potent camp magnètic. Permet la diferenciació precisa de la substància gris, la substància blanca, el líquid cefaloraquídi o les estructures lesionades que ha estat sotmeses a isquèmia o hipòxia (Kandel et al., 2000; Purves et al., 2008).

La Ressonància Magnètica Funcional (RMF) és un conjunt de diversos mètodes dins dels quals el més importants és el que detecta el nivell d'oxigen sanguini de la part del SNC que està treballant. En una regió amb activitat neuronal, el subministrament de sang oxigenada és superior al seu consum, el que fa que es produeixi una proporció superior a la normal entre la sang oxigenada i la desoxigenada. Les dues formes de l'hemoglobina, amb oxigen o sense, produeixen senyals de ressonància magnètica diferents, de manera que quan l'activitat aferent d'un determinat estímul augmenta, la imatge mostra un augment del senyal de l'escorça cerebral receptora. En l'actualitat la RMF ofereix el millor enfocament per visualitzar la funció encefàlica basada en l'observació del metabolisme local d'una zonal del cervell. La resolució espacial i temporal de la RMF és superior a la RM clàssica, de 2 a 3mm i de segons de diferència (Kandel et al., 2000; Purves et al., 2008) (Fig.22).

La tomografia per emissió de positrons (PET) és un mètode sensible d'obtenció d'imatges que està basat en la detecció de petites quantitats d'isòtops radioactius. És capaç de detectar l'activitat de les zones profundes o superficials del cervell, malgrat es troba limitat a pocs centres de recerca, donat que els radioisòtops s'han de generar al moment a un ciclotró local. La resolució espacial dels PET es troba entre 3 i 8 mm, superior a la dels elèctroencefalogrames i a la dels PEs (Kandel et al., 2000).

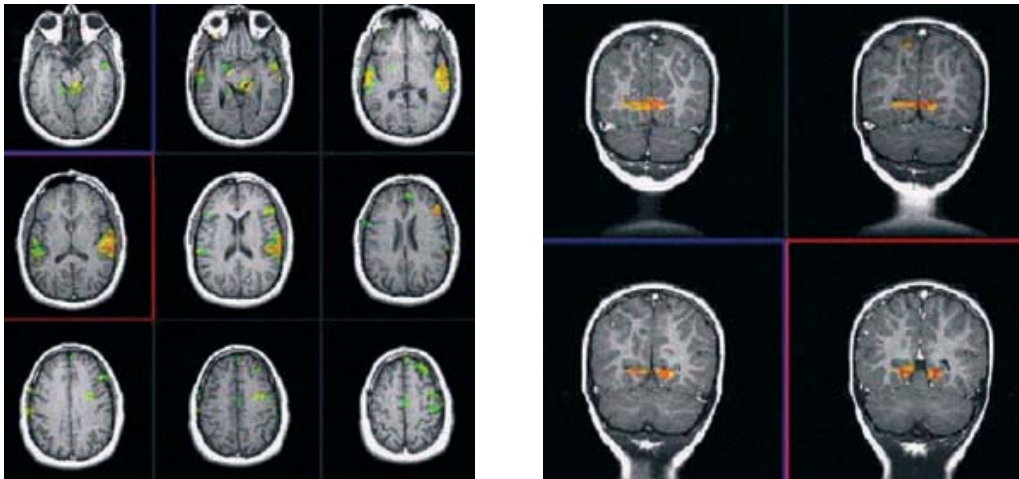


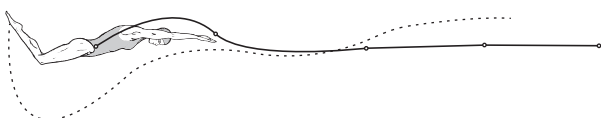
Fig 22. Ressonància Magnètica Funcional (Rosales, 2003)

1.7.3 Mètodes d'avaluació quantitativa de la resposta eferent als estímuls propioceptius

Lephart (1997) contempla que, funcionalment, existeixen dues maneres d'avaluar la propiocepció: mitjançant l'avaluació de la percepció del moviment articular o cinestèsia, o bé amb l'avaluació de la reproducció de la posició articular activa i passiva.

Les proves per avaluar la cinestèsia s'anomenen Threshold to detection of passive motion (TTDPM). Es creu que evitant la contracció de la musculatura que mou l'articulació s'aconsegueix conèixer el grau de sensibilitat dels mecanoreceptors articulars de Ruffini i dels òrgans tendinosos de Golgi. El moviment es realitza, de forma passiva, fixant l'extremitat als braços d'un dinamòmetre isocinètic, que es mou a una velocitat angular d'entre 0.5 i 2.5°/s. Com s'elimina l'acció muscular, aquesta és una prova que es realitza per avaluar l'activitat aferent dels lligaments després d'una lesió.

A les proves de reproducció de la posició articular activa i passiva es realitza a velocitat lenta per avaluar el funcionament dels fusos musculars i dels receptors articulars. Esdevé una avaluació més funcional de les vies aferents propioceptives.



Cap de les proves esmentades mesuren l'activitat propioceptiva reflexa. Per analitzar les activacions reflexes dels músculs s'utilitza el registre electromiogràfic (Lephart i Fu, 2000).

1.7.3.1 Dinamòmetre isocinètic

Diversos tipus de dinamòmetres isocinètics han estat utilitzats per l'avaluació de la cinestèsia i la reproducció de la posició articular activa i passiva. Entre ells el Kinetic Communicator, la Cybex II i el Biodex System 3 són els més utilitzats (Myers et al., 1999; Lephart i Fu, 2000; Newcomer et al., 2000 a i b, 2001; Dover i Powers, 2003; Saavedra et al., 2003; González et al., 2005, entre d'altres).

Lephart i Fu (2000) van dissenyar un dispositiu d'avaluació de la consciència cinestèsica i el sentit de la posició articular del genoll i de la glenohumeral, en els moviments de cadena cinètica oberta (DEP). El DEP mesura els desplaçaments angulars de les esmentades articulacions abans de que la persona detecti el moviment, així com seva l'exactitud per reproduir determinats angles de posició articular. Un transductor rotatori, connectat a un microprocessador digital, proporciona els valors de desplaçament angular.

L'aparell s'utilitza de manera que l'articulació es mou de forma passiva, subjectada per un braçalet d'aire que pretén eliminar l'estímul tàctil, amb els ulls tapats amb un antifàs per eliminar l'estímul visual i uns auriculars amb soroll "blanc" per eliminar l'anticipació davant dels sorolls que emet la màquina quan es mou. Els subjectes estudiats han de prémer un botó quan senten que l'articulació es troba a una posició determinada per l'investigador.

Szczerba, Bernier, Perrin i Gansneder (1995) utilitzaren el Kinetic Communicator per estudiar la fiabilitat d'un test de mesura de la sensació de posició articular del turmell. L'investigador, inicialment, sollicitava moure el turmell dels membres de la mostra en tota la seva amplitud de forma activa i els retornava a la posició inicial de forma passiva. Després, va col·locar l'articulació de forma passiva en 4 posicions articulares, prefixades per l'investigador, i mantingudes 15s. Es demanava reconèixer el pas del segment mogut per les amplituds predeterminades, mentre se'ls movia l'articulació de forma passiva. En aquest cas van ser realitzats 2 intents per a cada posició articular. Es va observar que la mitjana dels graus d'error respecte a la posició articular activa van ser majors als de la posició articular obtinguda de forma passiva. El coeficient de correlació intraclasse pel càlcul de la fiabilitat va donar valors de 0.03-0.51 entre les dades de mobilització passiva i de 0.08-0.87 entre els dades de mobilització activa, qüestió que fa necessari la redefinició d'aquesta tècnica per passar la prova de fiabilitat.

Kaminski i Perrin (1996) van utilitzar la Cybex II per estudiar l'efecte d'una genollera en la sensació de posició articular i en l'equilibri en 36 subjectes sans i avaluar la sensació de la posició articular de forma activa i passiva en diferents posicions articulares del genoll, durant 2 intents mantinguts 5 s cadascun, tornant amb cada intent a la posició neutra.

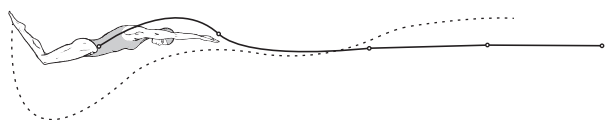
La majoria de recerques que utilitzen dinamòmetres isocinètics han estat validats amb una mostra de subjectes sans. Lephart i Fu (2001) consideren que la validació d'aquests models de recerca replicant l'estat lesional de l'articulació, necessita altres tipus d'avaluació. Remarquen que alguns dels estudis amb persones sanes no gaudeixen del grau de fiabilitat necessari i caldrien ser revisats.

Dover i Powers (2003) van utilitzar el Kinetic comunicator 125P (dinamòmetre isocinètic computeritzat que processa simultàniament les dades del dinamòmetre i del inclinòmetre del que disposa) per realitzar la prova de fiabilitat de l'avaluació de la sensibilitat en el reposicionament articular, i la capacitat de reproducció de certs nivells de força, durant les rotacions de l'articulació glenohumeral.

Van comptar amb una mostra de 31 voluntaris sense cap mena de simptomatologia dolorosa, ni experiència en esports de llançament. Es van calcular els graus d'errada en el reposicionament de dos angles determinats de rotació glenohumeral, fent mitjana de tres intents consecutius, separats per un descans de 30s. La fiabilitat es va calcular comparant la repetibilitat entre intents del mateix dia i els resultats de dos dies. Les errades de reposicionament enregistrades en el test i el retest van donar mitjanes respectives de $4.6 \pm 3.2^\circ$ i $4.1 \pm 3.2^\circ$ en el primer intent, de $3.9 \pm 3.4^\circ$ i $3.8 \pm 3.4^\circ$ en el segon i de $3.9 \pm 2.5^\circ$ i $3.9 \pm 3.3^\circ$ en el tercer, durant l'avaluació del reposicionament en rotació externa de la glenohumeral. Les mitjanes del rang de moviment en rotació externa van ser de $30.7 \pm 10.4^\circ$ el primer dia del test i de $32.4 \pm 10.4^\circ$ al retest.

Els resultats en les errades en rotació interna van ser més elevats, amb valors de $6.7 \pm 5.9^\circ$ al primer intent del primer test i de $4.2 \pm 3.4^\circ$ al retest. Ara bé, les mitjanes del rang de moviment en rotació interna van ser de $141.2 \pm 18.6^\circ$ el primer dia del test i de $139.1 \pm 19.1^\circ$ al retest.

González i et al. (2005) van fer servir el Biodex System 3 per estudiar la capacitat de reposicionament de la cintura escapular, afegint l'avaluació del llindar de sensibilitat al moviment, a 32 subjectes asimptomàtics i sense antecedents d'alteració de la cintura escapular.



Durant la prova aïllen als subjectes de la mostra de tota mena d'estímul visual amb una màscara, dels estímuls auditius amb uns auriculars que reproduïen soroll blanc i dels tàctils emetent una vibració mecànica constant de 42 a 50Hz, transmesa a través dels braços del dinamòmetre. Van avaluar la capacitat de reproduir un grau determinat d'amplitud de moviment de la glenohumeral i la capacitat de percebre els canvis de velocitat de l'extremitat aferrada al dinamòmetre, mentre es movia a una velocitat de 2°/s.

1.7.3.2 Electromiografia

L'electromiografia (EMG) és un mètode que enregistra els PEs produïts per la contracció voluntària de la musculatura esquelètica. Està indicat per diferenciar l'origen de la debilitat o lesió muscular, per observar les característiques dels trastorns de la unió neuromuscular, diferenciar o pronosticar neuropaties i localitzar una lesió neuromuscular, entre d'altres.

S'utilitza freqüentment per l'estudi clínic neurològic i per la recerca del comportament o la resposta muscular davant de diferents accions motrius, entre elles l'estabilització o el moviment articular (Dumitru, 1995).

Aagaard (2003) l'utilitzà per observar en quina mesura el canvi en la quantitat de potencials d'acció, generats per la musculatura, podien ser a causa de l'entrenament. En el seu estudi el registre electromiogràfic no pretén veure les diferències entre la participació d'una musculatura vers a una altra, sinó determinar el grau en que canvia la freqüència d'estimulació de les motoneurons, els canvis en la capacitat de generar força d'un múscul i els canvis produïts en els registres electromiogràfics després del seu entrenament.

Hodges (1999, 2003) va utilitzar l'electromiografia superficial i d'agulla per estudiar els factors neuromecànics d'estabilització de la CV. La utilització de l'electromiografia d'agulla el va permetre avaluar l'activitat de la musculatura profunda del tronc, com el transvers abdominal, els multífids o d'altres músculs paravertebrals.

Marras, Davis i Jorgensen (2002) van utilitzar l'electromiografia combinada amb el Lumbar Motion Monitor per estudiar el nivell de participació de la musculatura al voltant de la CV lumbar, en una mostra formada per homes i dones realitzant tasques d'aixecar pesos. Pretenien avaluar en quina mesura el gènere afecta als mecanismes de control neural de la CV durant aquestes tasques i la possible compressió a la que es podia veure sotmès el disc intervertebral.

Gandevila et al. (2006) va utilitzar la EMG de superfície per determinar el grau d'activació dels flexors i extensors del canell, durant una prova amb la que es volia observar el seu grau de precisió en el reposicionament d'una mostra amb la mà ancorada al braç d'un dinamòmetre isocinètic, amb goniòmetre incorporat. El canell avaluat estava cobert i els subjectes de la mostra havien de reproduir amb l'altra mà el grau en el que creien que es trobava.

1.7.3.3 Goniòmetre digital i flexòmetre

Els goniòmetres i els flexòmetres són instruments que mesuren els graus de moviment o posició d'una articulació. S'utilitzen, fonamentalment, per avaluar la sensació de posició articular, en especial a les articulacions del genoll, el turmell, el colze, el canell, les interfalàngiques dels dits de la mà i la glenohumeral.

El goniòmetre digital, o sensor d'angle, és un instrument que presenta dos braços rígids, de longitud variable, units a un braç flexible que transforma la flexió a la que es veu sotmès en graus (Fig. 23). Pot enregistrar simultàniament dos plans de l'espai.

Els graus es poden visualitzar directament en el receptor del senyal elèctric del goniòmetre, en els formats portàtils, o bé queden enregistrats en algun sistema computeritzat amb el que es trobi connectat. Permet la realització de moviments de forma funcional en plans de moviment oblics i en cadena cinètica tancada, aspecte que no permeten els dinamòmetres isocinètics (Lephart i Fu, 2000).

Abans de cada mesura s'ha de calibrar per determinar quins són els plans de referència dels moviments que es volen avaluar. El goniòmetre digital està connectat a un dispositiu computeritzat que permet aportar dades de graus de moviment respecte del temps, en segons, de manera que es poden despendre resultats sobre la velocitat i l'acceleració del moviment mesurat.



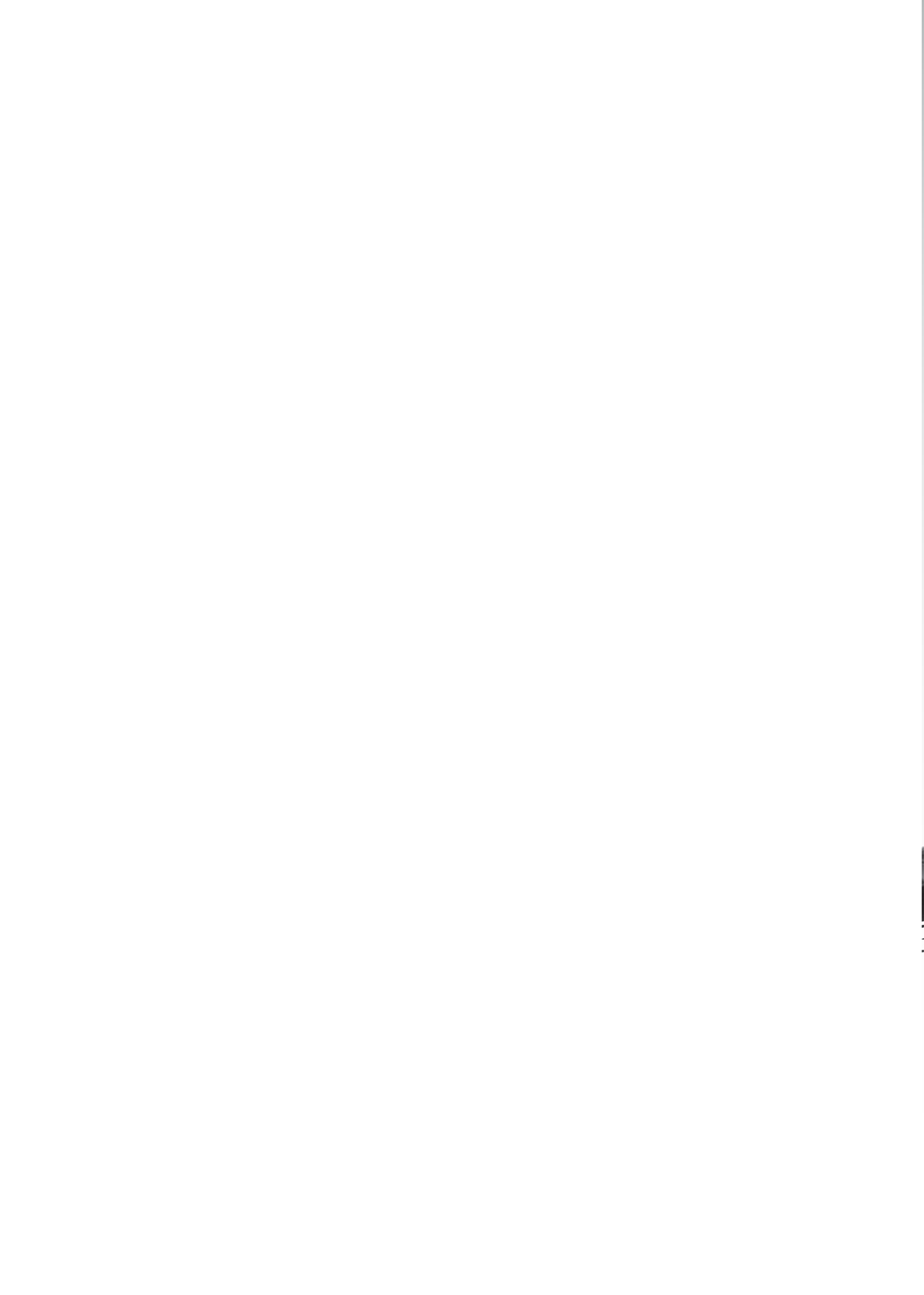
Fig 23. Goniometria digital en cadena cinètica tancada (Adaptat de Lephart i Fu, 2000)

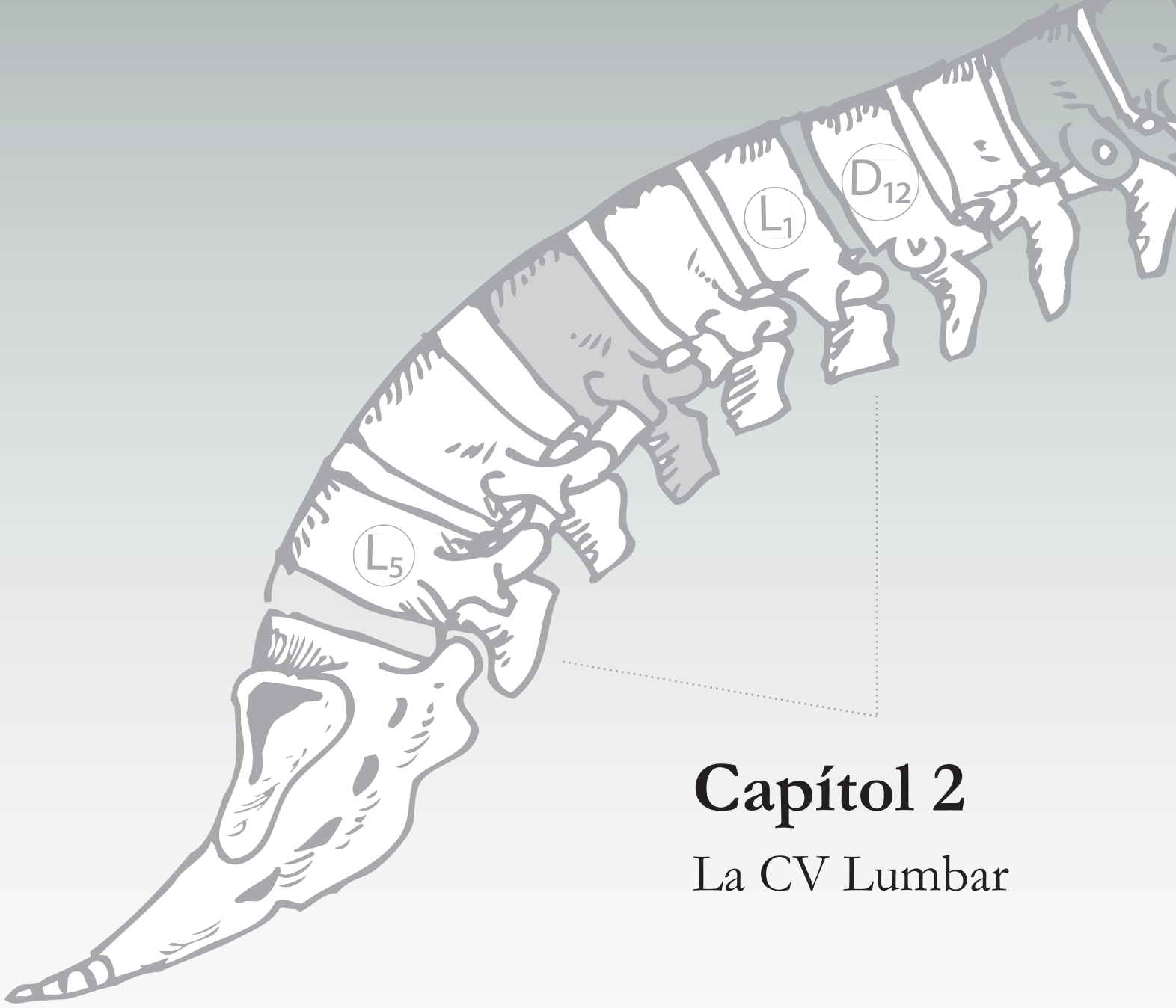


Disposa de cintes elàstiques no adhesives amb tancament per contacte velcro® per subjectar els braços del goniòmetre als segments mòbils de l'articulació, encara que la manca de fixació que suposen aquestes cintes està considerada com un punt feble de l'instrument. Per aquest motiu, s'aconsella utilitzar cinta elàstica adhesiva i fixar els braços del goniòmetre directament a la pell per evitar el seu desplaçament (Lephart i Fu, 2000; Lee, 2002).

Higgins i Perrin (1997) van utilitzar el flexòmetre de Leighton per comparar la sensibilitat de posició articular del genoll sotmès a càrrega. Van calcular el grau de precisió en l'assoliment de posicions articulares determinades, mantingudes 15s, i realitzant una mitjana del resultat de 3 intents. Es va mesurar la fiabilitat de les mesures realitzades en els 3 intents i el seu coeficient de correlació intraclasse va ser de 0.97. Fisher et al. (estudi sense publicar citat a Lephart i Fu, 2000) van estudiar la propiocepció del genoll en cadena cinètica tancada amb electrogoniòmetre.

Es considera que encara són necessaris més estudis amb aquest tipus d'instruments, que ajudin a definir les tècniques de la seva utilització i constitueixin instruments validats per l'anàlisi de la propiocepció en cadena cinètica tancada (Lephart i Fu, 2000).





Capítol 2

La CV Lumbar

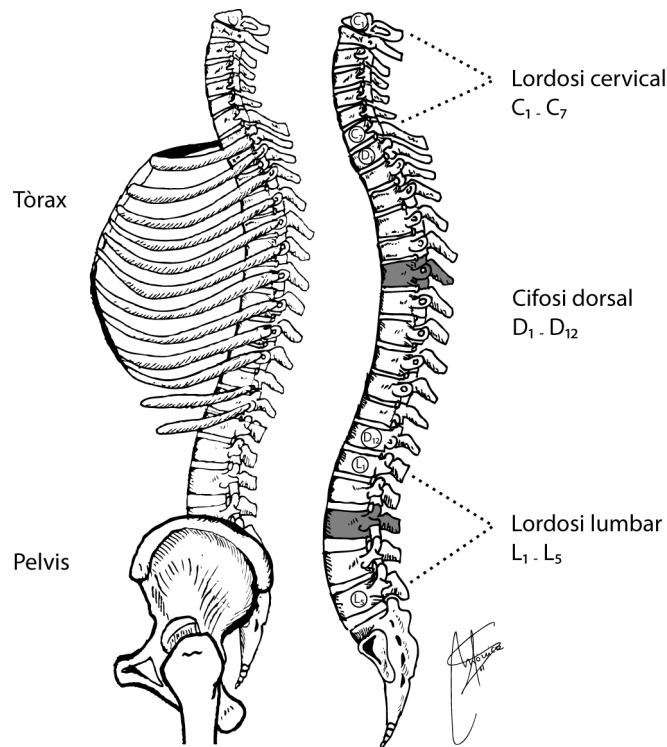


2. La columna vertebral lumbar

2.1 Descripció anatòmica de la columna vertebral

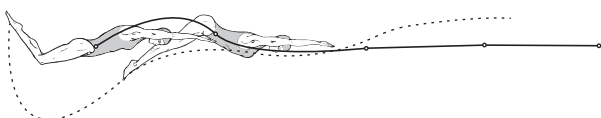
La columna vertebral (CV) esdevé l'eix del cos humà. Sobre ella recau la funció de mantenir-nos erigits, dotar de moviment al tronc i protegir la medulla espinal. Es veu obligada a complir dues funcions mecàniques contradictòries, com són la rigidesa per suportar les càrregues verticals a les que està sotmesa i la flexibilitat, per dotar de moviment al tronc i a la resta del cos. Es diferencien en ella quatre regions anatòmiques (Fig. 24): cervical, dorsal, lumbar i sacra. Des d'una perspectiva sagital, les tres regions presenten unes corbes fisiològiques que faciliten l'acció amortidora i protectora del eix raquidi: les cifosi i les lordosi (Kapandji, 2001; Hodges, 2003).

Fig 24. Visió sagital de la columna vertebral i les seves parts



En trets generals, les cifosi són les corbes de concavitat anterior davant de les quals acostuma a trobar-s'hi una estructura òssia protectora. Davant de la cifosi occipital hi ha la cavitat cranial, davant de la dorsal la cavitat toràcica i davant de la sacra la pelvis. La capacitat de moviment de les cifosi està limitada pel tipus d'articulacions que les constitueixen, la majoria sincondrosi. Totes elles disposen d'un sistema muscular, o un sistema de bombeig, que permet el moviment intrínsec de les parets cifòtiques, facilitant la irrigació de les estructures que contenen. Són els anomenats diaframes cranial (tenda del cervell i fals del cervell), toràcic i pelvià (musculatura del perineu). Proporcionen un micromoviment intern, més qualitatiu que quantitatiu, que facilita la irrigació dels òrgans amb els que es relacionen (Busquet, 1997a).

Les lordosi són corbes de concavitat posterior que tenen més capacitat de moure's. Les lordosi cervical i lumbar estan formades per vèrtebres que tenen unes apòfisi transverses lliures de qualsevol relació amb alguna altra estructura òssia. Davant d'aquestes lordosi trobem estructures orgàniques i musculars, amb capacitat d'elongació, que no suposen cap limitació del moviment d'aquests segments. La columna cervical presenta el seu fulcre, o vèrtebra respecte de la qual es mou, a la tercera vèrtebra cervical (C3) i la lumbar a la tercera vèrtebra lumbar (L3) (Busquet, 1997a) (Fig. 24).



L'amplitud de moviment de l'eix raquidi es deu a la seva configuració de múltiples peces superposades, unides entre sí mitjançant elements cartilaginosa, lligamentosa i musculars. Els petits moviments de tots els nivells que formen el conjunt de la CV li confereixen una mobilitat total en el pla sagital de 250°, des de la màxima flexió a la màxima extensió (Kapandji, 2001).

2.1.1 Característiques morfològiques de les vèrtebres lumbars

La CV lumbar es troba just al centre d'un tall transversal a nivell de la cintura i suporta el pes de tota la part superior del tronc. Està formada per 5 de les 24 vèrtebres mòbils de la CV. Les vèrtebres lumbars consten de les mateixes parts de les altres vèrtebres del raquis, malgrat les seves característiques morfològiques les diferencien de la resta (Fig. 25).

El cos vertebral és més gran en sentit anteroposterior i en la seva amplada, encara que la seva alçada és inferior i la part anterior s'enfonsa lleugerament adquirint una forma de diàbolo. Les làmines de l'arc posterior són més altes i la seva orientació és posterior i interna, disposant-se en un pla oblic cap a baix i cap a fora, unint-se a la part més posterior per formar les apòfisi espinoses, que són més gruixudes i rectangulars que les de les vèrtebres dorsals i cervicals. Les apòfisi transverses també són més curtes i orientades cap a fora i darrera. Els pedicles, part òssia que uneix l'arc posterior al cos vertebral, formen el límit superior i inferior dels forats de conjunció lumbars, per on surten els nervis raquidis, i esdevé la base de recolzament de les apòfisi articulars. Les apòfisi articulars superiors, ubicades al cantell superior de la làmina en el punt a on s'uneix amb el pedicle, estan orientades cap a enrere i endins. Les apòfisi articulars inferiors, que surten del cantell inferior de l'arc posterior al costat de la unió de la làmina amb l'apòfisi espinosa, estan orientades cap a baix i cap a fora. Les apòfisi articulars disposen d'una superfície articular recoberta de cartílag que s'articula amb la seva anàloga superior o inferior. El canal vertebral lumbar, entre el cos i l'arc posterior, té una forma triangular quasi equilàtera (Kapandji, 2001) (Fig. 25).

Entre les mateixes vèrtebres lumbars es troben algunes diferències. Les apòfisi transverses de la primera lumbar (L1) són més petites i la cinquena vèrtebra lumbar (L5) presenta un cos vertebral més alt per la part anterior que posterior, de manera que la seva forma es trapezoide. Les apòfisi articulars inferiors de L5 es troben més separades entre sí per poder-se articular amb la primera vèrtebra sacra, més ample.

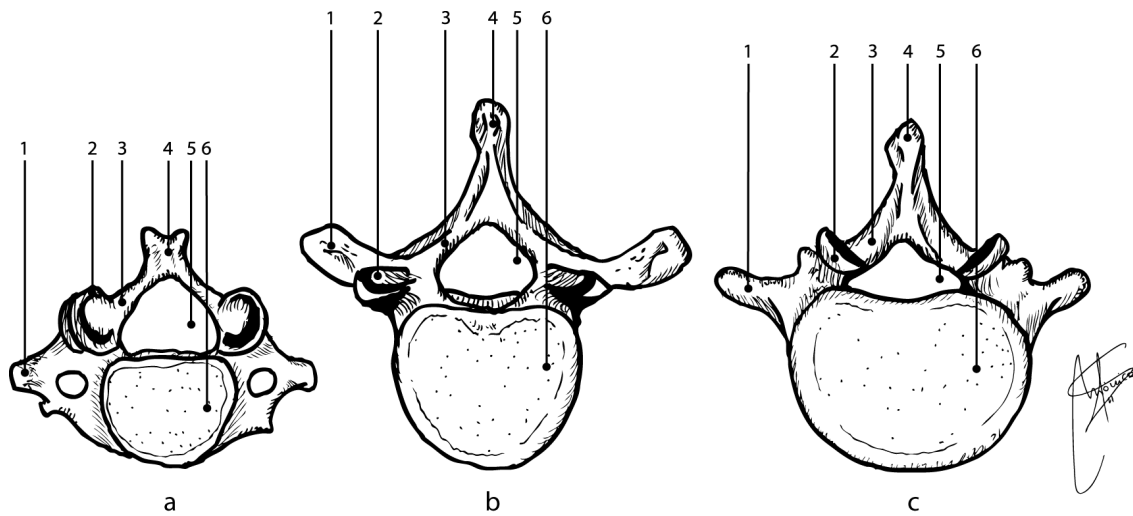


Fig 25. Morfologia i parts de les vèrtebres tipus cervical (a), dorsal (b) i lumbar (c). Apòfisis transverses (1), Apòfisis articulars (2), arc (3), apòfisis espinoses (4), canal raquidi (5) i cos vertebral (6) (Adaptat de Hesselberg, 2004)

La tercera vertebra lumbar (L3) presenta un arc posterior més desenvolupat i juga un paper primordial a l'estàtica vertebral, ja que es localitza just al vèrtex de la lordosi lumbar. Per aquest motiu, la forma del cos vertebral de L3 no és cuneïforme sinó que les bases superiors i inferiors del seu cos són paral·leles i es situen en un pla horitzontal (Kapandji, 2001).

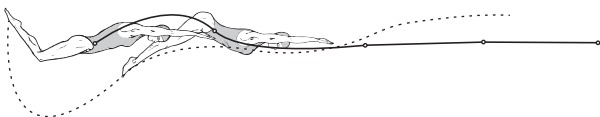
2.1.2 Articulacions lumbar

Les vèrtebres es troben unides entre sí a través de les unions de les tres columnes principals de la seva morfologia (Fig. 25). La columna anterior està formada pel cos vertebral mentre les dues columnes posteriors, més petites, estan formades per les apòfisi articulars (Kapandji, 2001).

La unió dels cossos vertebrals esdevé una amfiartrosi, unida a través del disc intervertebral. El disc consta de dues parts diferenciades: el nucli polpós i l'anell fibrós.

El nucli polpós està format per un 88% d'aigua i mucopolisacàrids i es troba limitat cranicaudalment pels cossos vertebrals i lateralment per l'anell fibrós. No està irrigat ni innervat. L'anell fibrós està format per capes concèntriques de fibres de col·lagen orientades obliquament cap a l'interior del disc i verticalment cap a l'exterior.

De tota la càrrega vertical que rep el disc, un 75% la suporta el nucli polpós i el 25% restant l'anell fibrós (Kapandji, 2001). Les forces de compressió dels disc vertebral augmenten a mesura que ens apropem al sacre, de manera que els discos vertebrals lumbar són els que més forces de compressió reben.



Per aquest motiu el disc lumbar és el més alt (9mm), en comparació dels 5mm i els 3mm dels discos dorsals i cervicals, respectivament.

La relació entre l'alçada del disc respecte de l'alçada del cos vertebral és important per determinar els límits de la mobilitat d'un segment vertebral. Quant major sigui aquesta relació major serà la mobilitat.

El disc vertebral lumbar, amb una proporció disc-cos de 1/3, esdevé el 2n segment vertebral més mòbil del raquis, darrera de la CV cervical i per davant de la CV dorsal (que tenen respectivament unes relacions disc-cos de 2/5 i 1/5). A més, cal diferenciar els diferents discos vertebrals en funció de la localització del nucli polpós. Als cervicals i lumbar, el nucli es troba centrat lateralment però endarrerit anteroposteriorment, situant-se en mig de l'eix de mobilitat entre els cossos vertebrals, exactament a on recauen les forces axials que reben aquests segments en bipedestació i en sedestació (Kapandji, 2001)

Les articulacions entre les apòfisi articulars de les vertebres són planes i de poc moviment, del tipus artròdia. L'orientació de les caretes articulars lumbar condiona la seva capacitat de participar, en major o menor mesura, en els moviments de la CV dins els tres plans de l'espai. Quan se separen verticalment dues vèrtebres lumbar es pot veure com les apòfisi articulars inferiors de la vèrtebra superior encaixen per la part de dins i per darrere de les apòfisi articulars superiors de la vèrtebra inferior (Fig. 28). Aquesta disposició fa que cada vèrtebra lumbar estabilitzi lateralment a la seva contigua superior, i els llandars ossis que suposa aquesta unió limita els moviments d'inclinació lateral lumbar.

Les caretes articulars superiors estan orientades cap a la línia mitja del tronc i disposades en un pla oblic posterointern, mentre les caretes inferiors estan orientades cap a fora i cap endavant (Kapandji, 2001) (Fig. 29).

2.1.3 Sistema lligamentós del raquis lumbar

La CV lumbar, com la majoria del raquis, presenta dos sistemes lligamentosos (Fig. 26).

El primer correspon als lligaments comuns a tot el raquis, anomenats lligament comú anterior i posterior. El segon sistema és els dels lligaments segmentaris entre els arcs posteriors vertebrals. Es tracta del lligament groc o flavum (que uneix làmines de segments vertebrals contigus), el lligament anterointern capsular (que uneix les articulacions interapofissàries) i el lligament interespinós (que uneix els braços interns de les apòfisi espinoses) (Netter, 2007).

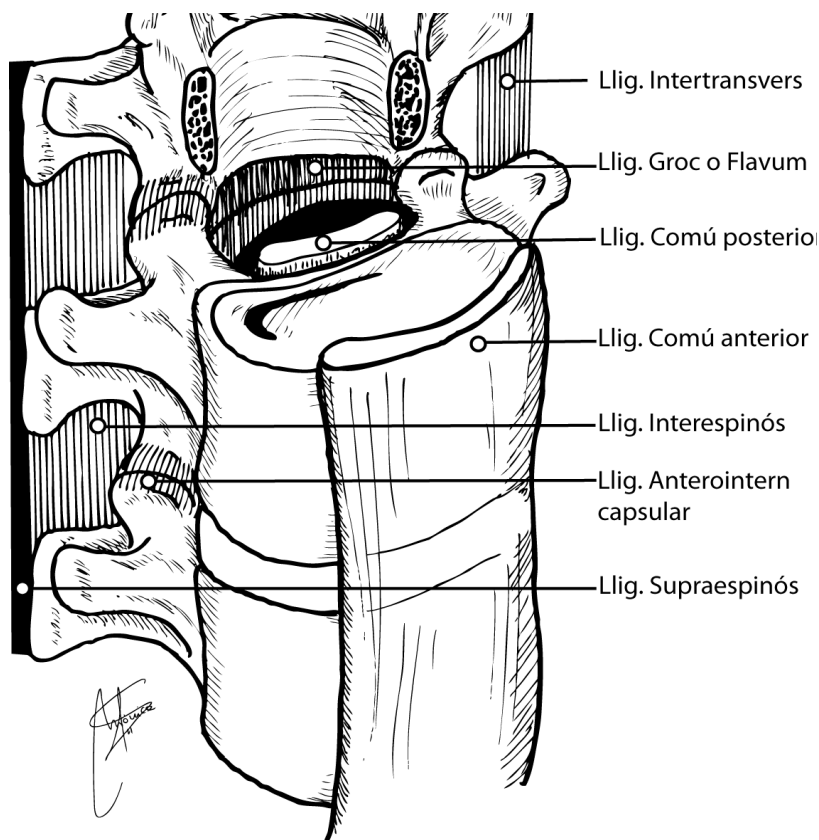
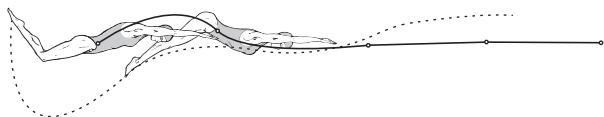


Fig 26. Sistema lligamentós de la CV (Adaptat de Netter, 2007)



2.2 Fisiologia articular i amplitud de moviment de la CV lumbar

2.2.1 Fisiologia articular de la CV lumbar

La CV lumbar està preparada especialment pels moviments de flexió i extensió, molt freqüents tant a l'esport com a la vida quotidiana, donat que la flexió de tot el tronc es fa sobre el vèrtex de la columna lumbar (L3) (Busquet, 1997b). Participa en els moviments de flexió i extensió, lleugerament en els moviments d'inclinació lateral i en menor mesura, quasi inapreciable, en els moviments de rotació (Fig. 27).

Durant els moviments de flexió, el cos vertebral de la vèrtebra superior s'inclina i llisca lleugerament cap a endavant, augmentant la compressió de la part anterior del disc vertebral i sotmetent a distracció a la part posterior (Fig. 28 a). Així, disminueix l'alçada a la part anterior i augmenta a la part posterior del disc, en el moment en que es realitza el moviment o es

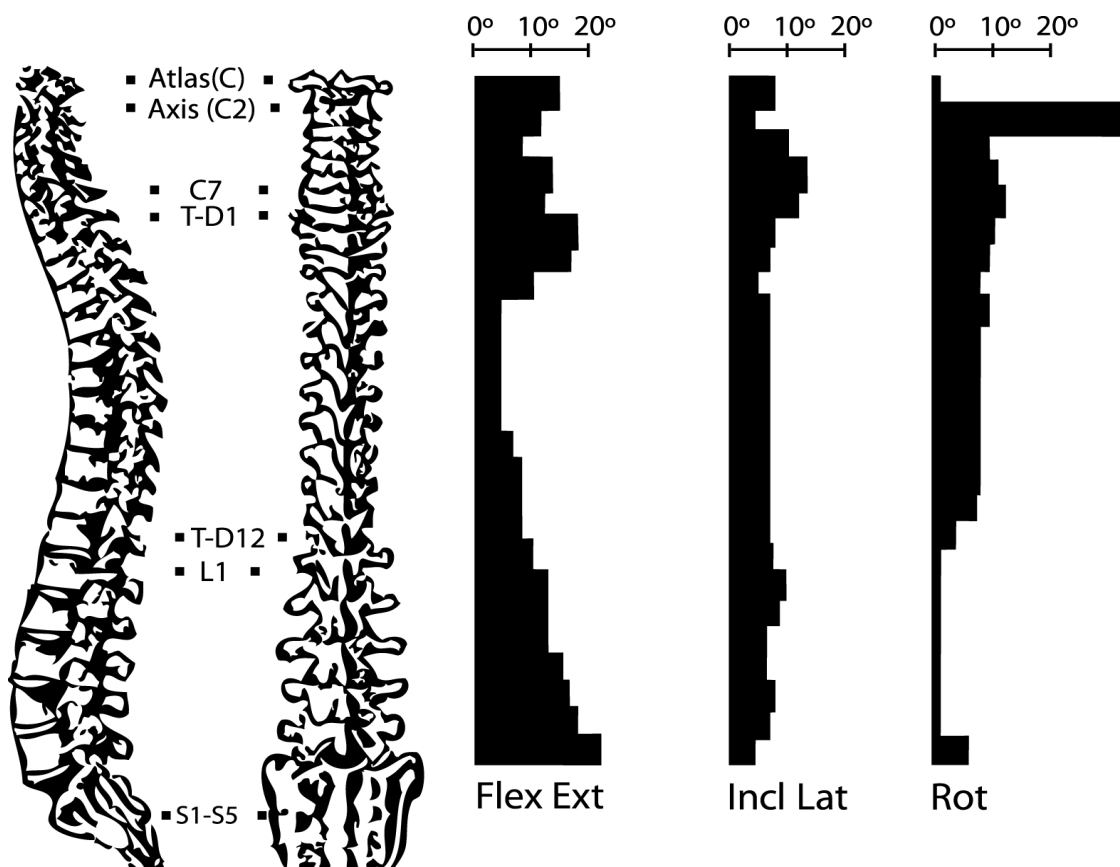


Fig 27. Amplitud de moviment dels segments vertebrals en els 3 plans de l'espai

manté la posició de flexió. Aquest fet fa que el nucli polpós es desplaci cap a darrera, fugint de la zona de compressió.

Simultàniament, les apòfisi articulars inferiors de la vèrtebra superior llisquen cap a amunt i es separen de la vertebral inferior, de manera que la càpsula i els lligaments de l'articulació intervertebral inferior es veuen sotmesos a una tensió p'elongació màxima, igual que la resta de lligaments posteriors en aquest nivell vertebral. Aquest factor limita l'amplitud de moviment de flexió lumbar (Kapandji, 2001).

Durant els moviments d'extensió, el cos de la vèrtebra superior s'inclina cap enrere i llisca cabdalment, augmentant la compressió de la part posterior del disc i traccionant la part anterior, de manera que el nucli polpós es desplaça endavant fugint de la compressió posterior

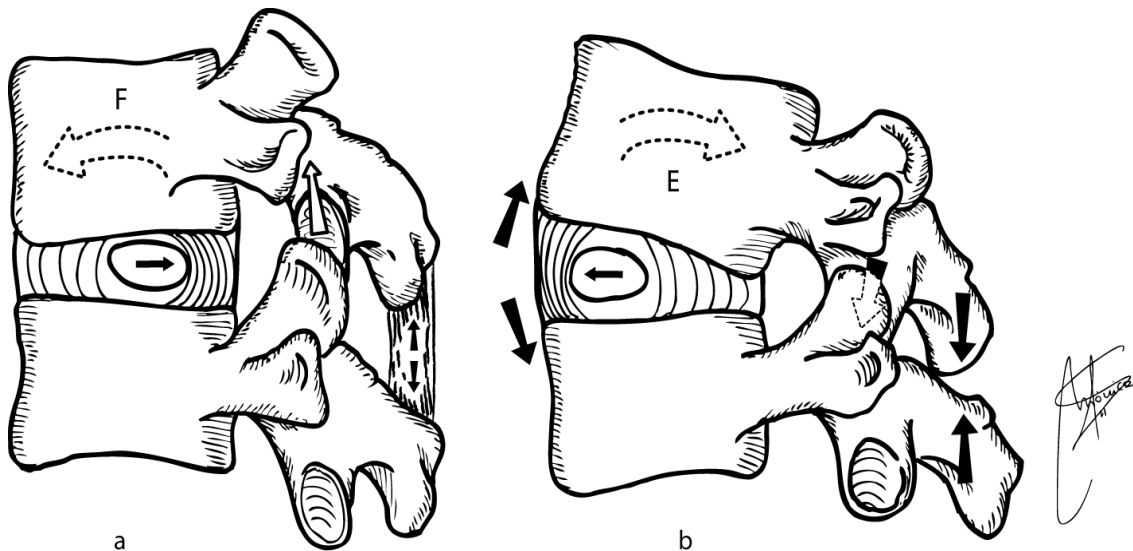
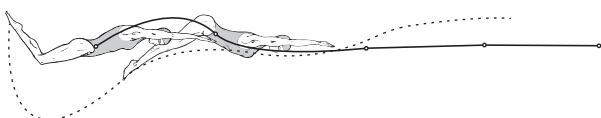


Fig 28. Flexió (a) i extensió (b) d'un espai intervertebral lumbar (Adaptat de Kapandji, 2001)

del anell fibrós que, momentàniament, adquireix una forma de falca de base anterior (Fig. 28 b).

El desplaçament anterior del nucli polpós augmenta la tensió de tracció de la part anterior del disc vertebral. El lligament comú anterior es tensa i les apòfisi articulars inferiors de la vertebral superior s'encaixen més amb les apòfisi articulars superiors de la vèrtebra inferior, de manera que les apòfisi espinoses contacten, limitant l'amplitud de extensió lumbar (Kapandji, 2001).

Durant els moviments d'inclinació lateral lumbar, el cos de la vertebral superior s'inclina cap el costat de la concavitat i el disc vertebral es veu sotmès a una compressió del costat d'inclinació i a una distracció del costat oposat (Fig. 29 a). El nucli polpós es desplaça cap al



costat contrari de la inclinació que s'ha produït, els lligaments contra laterals es tensen i els del mateix costat es distenen. Les apòfisi articulars del costat convex es separen mentre les del costat de la concavitat queden encaixades, no arribant-se a produir el xoc entre les apòfisi transverses, de manera que els moviments d'inclinació lateral lumbar es troben limitats per la tensió d'elongació dels lligaments i càpsules articulars del costat contra lateral a la inclinació realitzada, i no per els topalls ossis (Kapandji, 2001).

2.2.2 Amplitud de moviment de la CV lumbar

Els petits moviments que es realitzen a cadascun dels segments de la CV permeten, entre altres coses, el seu moviment global. Com s'ha explicat, la CV lumbar està preparada per contribuir en els moviments de flexió i extensió del tronc, en menor mesura en els moviments

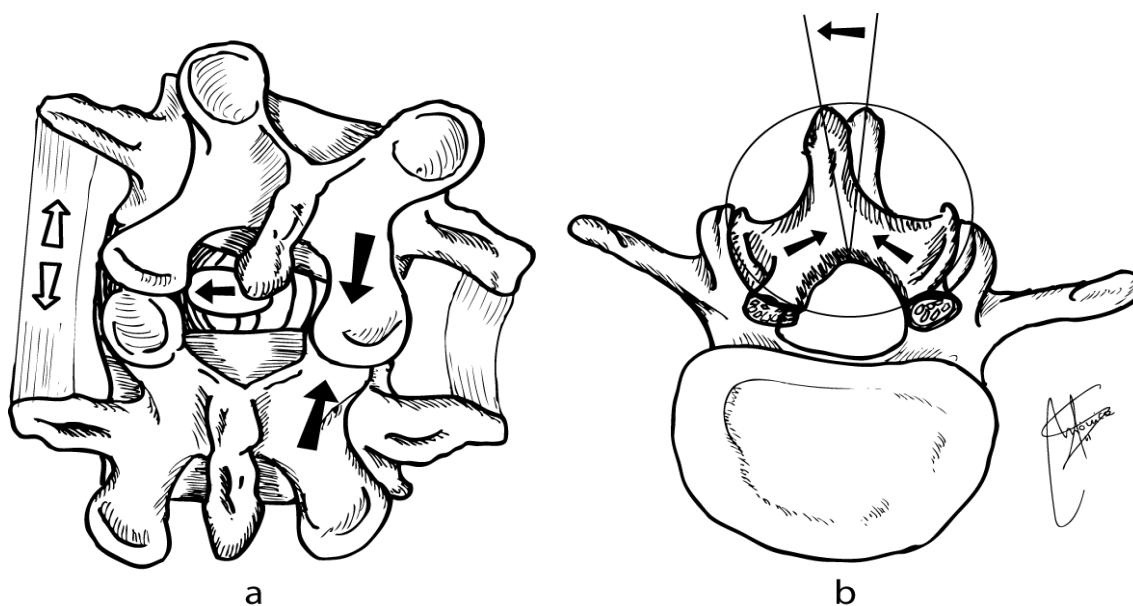


Fig 29. Inclinació lateral (a) i rotació (b) d'un espai intervertebral lumbar (Adaptat de Kapandji, 2001)

d'inclinació lateral i quasi res en els moviments de rotació (Enoka, 1994 ; Thompson, 1996; Kapandji, 2001) (Fig. 27).

L'amplitud de moviment de la CV lumbar, igual que la d'altres articulacions, disminueix amb l'edat i amb les processos de degeneració de les superfícies òssies i dels discos intervertebrals, entre d'altres motius (Alter, 1998, 2006; Achour, 2006). Van Herp, Rowe, Salter i Paul (2000) van realitzar un estudi amb una mostra d'edats compreses entre els 20 i

els 60 anys, sense simptomatologia dolorosa, a on es va descriure l'amplitud de moviment lumbopèlvica amb una anàlisi biomecànica tridimensional. El seu estudi també va comparar els resultats obtinguts amb estudis previs, donant una idea molt clara de com l'edat i el sexe són variables que condicionen l'amplitud màxima de moviment lumbar (Taula 6 i 7).

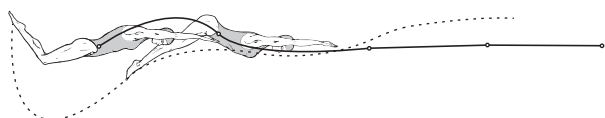
En un estudi comparatiu entre diferents mètodes de mesura de l'amplitud de moviment de la CV lumbar, es va observar que es poden produir variacions d'uns graus en els resultats en funció de l'instrument de mesura i dels nivells vertebrals estudiats. L'estudi amb raigs X va mesurar cinc espais vertebrals, entre la pelvis i la primera lumbar, mentre altres van mesurar entre la dotzena dorsal (T12) i la pelvis, un nivell articular més, que eleva uns graus els seus resultats respecte els que va utilitzar raigs X (Van Herp et al., 2000) (Taula 7).

Taula 6. ADM i SD lumbopèlvica segons gènere i diferents grups d'edat (Van Herp et al., 2000)

Movement	Females (n = 50) Age (yr)					Males (n = 50) Age (yr)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60+	20-29	30-39	40-49	50-59	60+
Flexion	58.9±10.5	58.2±6.9	57.5±10.2	53.6±11.4	50.8±6.6	56.4±7.1	54.2±9.6	54.2±8.9	58.1±10.6	52.3±8.2
Extension	37.0±10.5	31.2±11.7	29.0±8.5	20.5±6.1	15.1±5.2	22.5±7.8	22.1±9.5	20.0±6.1	17.2±7.2	16.9±5.6
Left side bending	25.1±2.8	25.6±5.6	20.7±3.6	21.9±6.2	19.4±6.1	25.8±7.6	25.6±5.4	19.3±6.2	19.0±5.8	14.4±4.6
Right side bending	26.3±4.3	26.2±7.2	23.4±4.7	23.2±5.7	19.2±5.6	26.2±8.4	25.0±5.0	21.2±7.0	22.4±6.4	15.5±4.3
Left axial rotation	18.6±5.8	18.0±6.2	15.7±4.2	14.7±6.1	14.7±6.5	14.4±5.1	11.9±3.2	11.6±4.9	11.3±3.8	10.9±3.9
Right axial rotation	18.6±4.9	15.6±6.2	13.4±3.8	14.2±6.0	13.0±6.0	12.8±4.1	9.1±4.5	12.7±5.7	11.3±4.3	14.6±6.0

Taula 7. ADM de flexió i extensió lumbo-pèlvica de subjectes entre 20 i 30 anys (Van Herp et al., 2000)

Estudis	Van Herp et al. (2000)	Pearcy et al. (1985)	Pearcy i Hindle (1989)	Hindle et al. (1990)	Peach et al. (1998)	Russell et al. (1993)
N i gènere	10 ♂	11 ♂	10 ♂	10 ♂	17 ♂ i 7 ♀	20 ♂
Instrument de mesura	Goniometria	Raigs- X	Goniometria	Goniometria	Goniometria	Goniometria
Segment mesurat	T12-Pelvis	L1-pelvis	T12-pelvis	T12-pelvis	T12-pelvis	T12-pelvis
ADM Flexió	56.4°	51°	75.6°	74.6°	71.6°	75.1°
ADM Extensió	22.5°	16°	23.0°	26.8°	n.a	25.8°



2.3 Musculatura de la CV lumbar

Tal com s'ha explicat, els moviments de la CV lumbar es realitzen respecte de L3. El seu arc posterior, més gran, permet la inserció a les apòfisi espinoses de feixos musculars de procedència dorsal i d'altres des de l'íliac que s'insereixen a les apòfisi transverses, convertint a L3 en el punt fix de moviment del raquis (Busquet, 1997 a i b; Kapandji, 2001) (Fig. 31).

Es pot dir tots els músculs que travessen L3, es poden considerar agonistes o sinergistes de la motricitat de la CV lumbar. Un gran grup d'aquests músculs la mouen sense inserir-se directament a les vèrtebres (podríem anomenar-los motors extrínsecs) i d'altres ho fan desplaçant-les directament (motors intrínsecs).

En trets generals, els moviments de la CV lumbar es descriuen respecte els eixos de referència x, y i z, de manera que tots els moviments que la CV lumbar, com a la resta d'articulacions mòbils del cos humà, representen rotacions respecte d'aquests eixos. Les flexions i extensions són rotacions respecte de l'eix de referència x, les inclinacions laterals ho són respecte l'eix z i les rotacions axials respecte l'eix y. Des d'aquesta perspectiva, tots els músculs que passen per davant de L3 respecte de l'eix x contribuiran a la flexió lumbar i per darrere a l'extensió. A l'esquerra i a la dreta del eix z es trobaran els músculs que podran participar en les inclinacions laterals. Al voltant de l'eix y, depenent de la seva ubicació (anterior, posterior o lateral), estaran els músculs que podran participar en les petites rotacions axials (Thompson i Floyd, 1996; Kapandji, 2001; Hodges, 2003; Thompson, 2008).

El moviment i l'estabilització de la CV lumbar es realitza gràcies a l'acció encadenada d'un conjunt de músculs, sobre aponeurosis òssies o sobre fàscies d'inserció, que no tenen perquè tenir una relació anatòmica directa amb la zona lumbar. Es tracta del grup de músculs que formen les cadenes musculars recte anterior, posterior i creuades, proposat per Busquet (1997a i b) (taules 8 i 9).

Hi ha alguns músculs que, per la seva morfologia i ubicació, esdevenen els més eficients per realitzar unes accions o unes altres, pel que se'ls considera motors dels diferents moviments o accions d'estabilització de la CV lumbar.

2.3.1 Músculs estabilitzadors de la CV lumbar

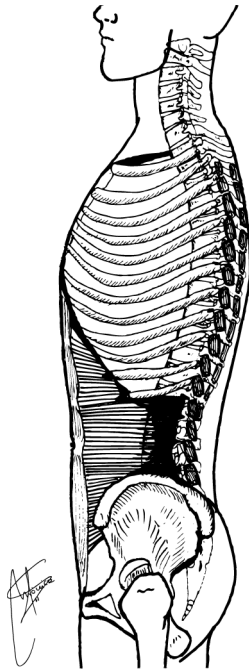


Fig 30. Multifids i transvers abdominal

A banda de la quantitat de músculs que tenen un potencial motor sobre la CV lumbar diversos estudis realitzats per Hodges (1999, 2003) demostren que els que juguen un paper més important en la seva estabilització són els multífids i el transvers abdominal.

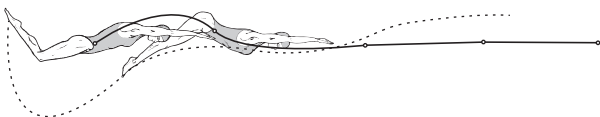
El transvers abdominal és un múscul profund que s'insereix, per la part anterior, al lligament inguinal, a les darreres sis costelles i a la línia alba. Per la part posterior, a la fàscia dorsolumbar, la qual s'insereix a les apòfisi transverses i espinoses de les vèrtebres lumbar.

Aquesta ubicació li confereix una direcció transversa o horitzontal a les seves fibres, de la qual rep el nom (Fig. 30).

El paper estabilitzador del transvers abdominal es dona gràcies al seu potencial per provocar un augment de la pressió intraabdominal, traccionant de les insercions fascials que envolten la CV dorsolumbar.

Hodges (2003) ha demostrat que l'augment de la pressió intraabdominal genera un moment extensor en la CV lumbar, que provoca una activació de la musculatura paravertebral lumbar, entre ella els multífids, augmentant encara més l'estabilització vertebral.

La morfologia i ubicació dels multífids els fa tenir un millor braç de potència per a realitzar les tasques de moviment en extensió i estabilitzar la CV lumbar. La seva monitorització és bàsica per conèixer els graus d'activació muscular durant els petits canvis de posició lumbar.



2.3.2 Músculs motors de la CV lumbar

2.3.2.1 Musculatura posterior del tronc: Extensors lumbar

La musculatura posterior del tronc es troba ubicada en tres plans de profunditat (Fig. 31).

En la part més profunda, en contacte directe amb les apòfisi transverses i espinoses de les vèrtebres lumbar, es troben els músculs **transversespinosos o multifids** (Fig. 30). Van des de l'apòfisi espinosa d'una vèrtebra a les apòfisi transverses de les quatre vèrtebres inferiors.

Els **interespinosos** van d'apòfisi espinosa a apòfisi espinosa.

Els **epiespinosos** van de les espinoses de les primeres dorsals a les espinoses de les dues darreres dorsals i de les dues primeres lumbar.

El **dorsal llarg**, abasta des de la cara posterior de la 2^a a la 10^a costella fins a les apòfisi transverses de les lumbar i les dorsals en dos feixos diferents.

L'iliocostal o sacrolumbar és el més gruixut dels músculs profunds i s'estén des de la part posterior de les 10 darreres costelles fins a una inserció aponeuròtica que presenta ancoratges al sacre i a la part posterior i medial de l'íliac, fusionant-se també amb la fàscia dorsolumbar, més superficial (Kapandji, 2001; Netter, 2007).

En un pla mig es troba el **serrat menor** posterior o inferior, que va des de les apòfisi espinoses de les dos darreres dorsals i les tres primeres lumbar fins el cantell inferior i extern de les quatre darreres costelles.

En el pla més superficial es troba el **dorsal ample** que s'insereix a l'aponeurosi dorsolumbar i s'estén per tota la part posterior del tronc fins que, tocant el cantell inferior de l'escàpula, passa per sota l'aixel·la per inserir-se a la part anterior de l'húmer, a la cresta subtroquineana (Netter, 2007).

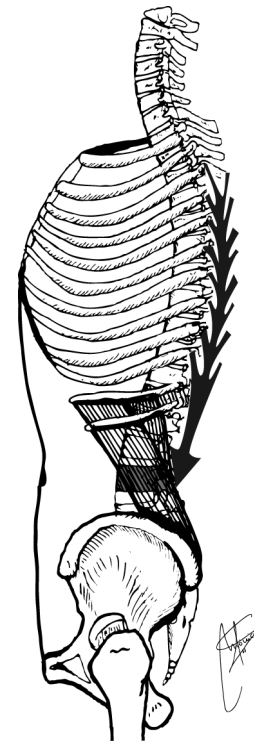


Fig 31. Quadrat lumbar, músculs profunds posteriors de la CV lumbar i acció sobre el raquis

2.3.2.2 Musculatura anterolateral de la CV lumbar: Inclinator lateral i rotadors de la CV

A la part lateral trobem el quadrat lumbar que presenta insercions a la part posterior de la cresta ilíaca, a les apòfisi transverses de les vèrtebres lumbar i la darrera costella flotant (Fig. 31). Les fibres que van a la 12^a costella són les més posteriors i poden provocar la inclinació lateral, l'extensió i la rotació del tronc cap el mateix costat de la contracció (Thompson i Floyd, 1996; Kapandji, 2001). A la part anterolateral de la CV lumbar trobem el psoes ilíac (Fig. 32).

La porció psoes s'origina als cossos vertebrals i a les apòfisi transverses de totes les vèrtebres lumbar i la porció ilíaca a la fosa ilíaca anterior. Tots dos s'uneixen passant per sota del lligament inguinal, per acabar inserint-se en el vèrtex del trocànter menor del fèmur. La seva contracció provoca una anteriorització dels cossos vertebrals lumbar (augmentant la lordosis fisiològica), una inclinació lateral cap al mateix costat de contracció i una rotació cap al costat contralateral (Kapandji, 2001).

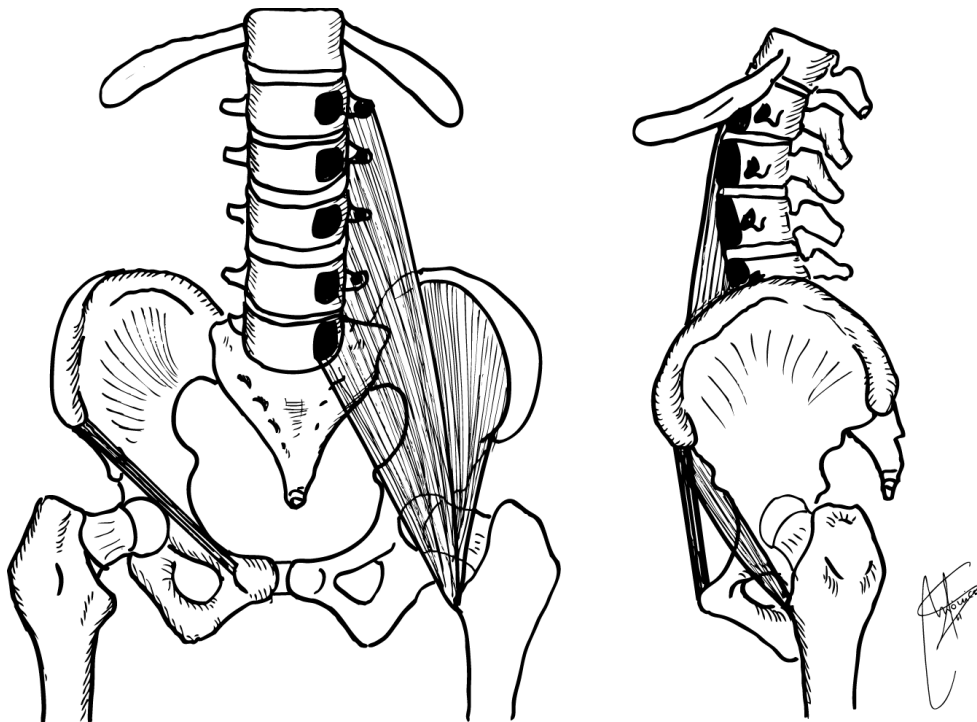
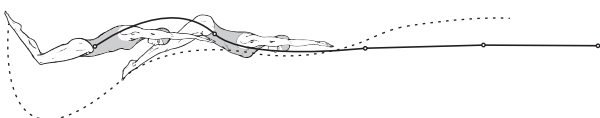


Fig 32. Psoes Ilíac esquerre i quadrat lumbar esquerre



2.3.2.3 Musculatura anterior de la CV lumbar

A la part més superficial i anterior trobem el recte abdominal, que transcorre per tot l'abdomen, des dels arcs anteriors i cartílags costals de la 5ena a la 7ena costella fins la part anterior i superior de la branca pubiana (Fig. 33).

En una capa més superficial i lateral trobem els oblics majors de l'abdomen (Fig. 33), que tenen inserció a les set darreres costelles, interdigitant-se amb el serrat major. Contribueixen a formar l'aponeurosi d'inserció central del tronc o línia alba i finalitzen a la part anterior i lateral de la branca pubiana i part superior del lligament inguinal.

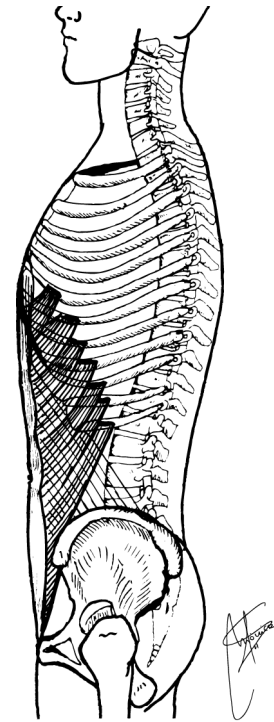


Fig 33. Recte abdominal i oblic major

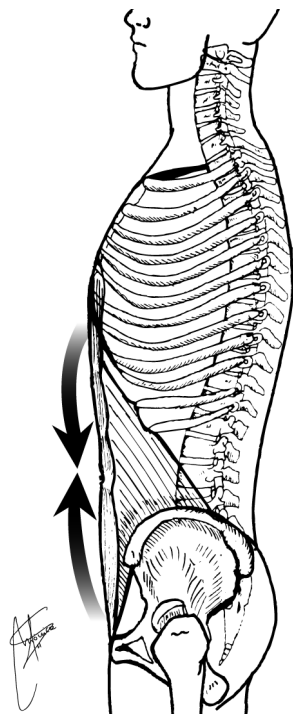


Fig 34. Oblic menor i recte abdominal i acció sobre el tronc

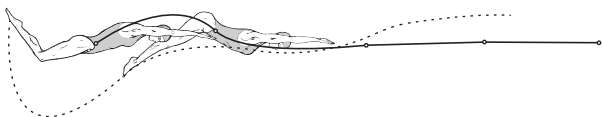
Els oblics menors constitueixen una capa muscular intermèdia i presenten inserció a la cresta ilíaca, a les costelles flotants 11ena i 12ena i també a la línia alba (Kapandji, 2001) (Fig. 34).

Tots els músculs abdominals, excepte el transvers, contribueixen a la flexió del tronc. Els oblics, a més, participen en la seva rotació.

Per últim, el transvers abdominal (Fig. 30) constitueix la capa més profunda de la musculatura abdominal i presenta insercions al vèrtex de les apòfisi transverses de les vèrtebres lumbar i, seguint una direcció en el pla horitzontal també s'insereix a la línia alba a la part anterior de l'abdomen (Kapandji, 2001). Tots ells són motors de l'inspiració forçada, gràcies al seu poder d'augment de la pressió intraabdominal durant una contracció concèntrica (Hodges, 2003).

Taula 8. Cadenes musculars rectes anterior i posterior (Busquet, 1997 a i b)

	Cadena muscular rectes anteriors	Cadena muscular recte posterior
A nivell del Tronc :	Intercostals interns. Recte abdominal. Musculatura del sòl pelvic.	Espino transversos. Supracostals. Intercostals mitjos. Interespinosos. Dorsal llarg. Sacrolumbar. Fibres il·liocostals del quadrat lumbar. Serrat menor posterosuperior i posteroinferior.
Relleu per la cintura escapular:	Triangular de l'estern. Pectoral menor. Trapezi fibres inferiors.	Trapezi inferior (ext lumbar) Trapezi mig (ext dorsal). Pectoral menor. Triangular de l'estern.
Relleu pel membre superior:	Pectoral major. Rodó major. Romboïdes.	Dorsal ample. Rodó major . Pectoral major.
Relleu per la columna cervical:	Escalens. Esplenis del coll.	Espino transvers. Espleni del coll. Escalens.
Relleus pel cap:	Subclavi. Esternocleidomastoideu. Esplenis del cap.	Espleni del cap. Trapezi fibres superiors. Esternocleidomastoideu.
Relleu per l'extremitat inferior :	Psoes Ilíac.	Gluti major.



Taula 9. Cadenes musculars creuades anterior i posterior (Busquet, 1997 a i b)

	Cadena muscular creuades anteriors (exemple de la cadena creuada esquerra / dreta)	Cadena muscular creuades posteriors (exemple de la cadena creuada dreta / esquerra)
A nivell del Tronc :	Obliquo menor esquerra. Obliquo major dret. Intercostals externs drets. Serrat menor dret.	Fibres ili lumbar dretes comuns. Fibres ili lumbar dels quadrat lumbar dret. Fibres il-liocostals del quadrat lumbar esquerra. Intercostals interns esquerres. Serrat menor posteroinferior esquerra.
Relleu per la cintura escapular:	Triangular de l'estern dret. Pectoral menor dret. Trapezi fibres inferiors dret. Serrat lateral dret. Romboïdes dret.	Trapezi inferior esquerra. Pectoral menor esquerra. Triangular de l'estern esquerra.
Relleu pel membre superior:	Pectoral major dret. Rodó major dret. Romboïdes dret.	Dorsal ample esquerra. Rodó major esquerra. Pectoral major esquerra.
Relleu per la columna cervical:	Escalens drets. Esplenis del coll esquerres.	Espleni del coll esquerra. Escalens de l'esquerra.
Relleus pel cap:	Subclavi dret. Esternocleidomastoïdeu dret. Esplenis del cap esquerra. Serrat menor dret. Trapezi superior esquerra.	Espleni del cap del costat esquerra. Esternocleidomastoïdeu esquerra. Trapezi superior esquerra.
Relleu per l'extremitat inferior :	Piramidal de l'abdomen esquerra.	Gluti major dret, pla superficial.

2.4 Factors de l'estabilitat lumbar

Els mecanismes d'estabilitat de la CV lumbar han estat objecte d'estudi de diversos investigadors que coincideixen en l'idea de que es dona gràcies a la relació constant entre les forces que li arriben, i de que part de l'equilibri ossi és degut a l'equilibri de la musculatura que l'envolta. Més recentment, s'ha observat que aquesta és una teoria que analitza l'estabilitat des d'una visió molt estàtica i que ha de contemplar-se des de la perspectiva dinàmica (Panjabi, Abumi, Duraceu i Oxland, 1989; Panjabi, 1992 a i b; Cholewicki, Polzhofer i Radebold, 2000; Hodges, 2003).

Panjabi (1992 a i b) ha estat un dels promotors de teories basades en com la CV pot aconseguir complir amb la dicotomia de la seva funció: estabilitat i moviment. Va ser el primer en considerar que l'estabilitat articular és una qüestió multifactorial, que no depèn només de la musculatura que envolta l'articulació, sinó que també resulta de la participació de tots els sistemes que garanteixen l'estabilitat del tronc. Aquests sistemes han estat la font de desenvolupament de nombroses recerques.

Panjabi (1992 a i b) descriu que el correcte funcionament de l'estabilització estàtica i dinàmica de la CV es produeix gràcies a l'equilibri entre el sistema passiu, actiu i neural.

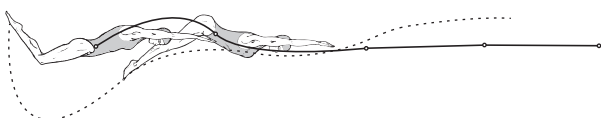
El sistema passiu està format per la pròpia forma i estructura de les vèrtebres, la disposició de les facetes articulars, les característiques del disc vertebral i la disposició dels lligaments que les envolten.

El sistema actiu està format per la musculatura que s'insereix a les vèrtebres lumbar o al voltant d'elles, contribuint al seu moviment.

El sistema neural el constitueix el sistema nerviós, que rep informacions del sistema propioceptiu, elabora i emet estímuls per a que el sistema actiu treballi, en funció de les necessitats d'estabilitat o de moviment (Panjabi, 1992 a i b).

Un dels factors determinants d'estabilitat de la CV és la sinèrgia que proporciona la correcta sincronització neuromuscular, de manera que les entrades dels estímuls viatgin correctament al SNC i es permeti la resposta eferent, medul·lar o supramedul·lar, que reguli el tipus d'acció que equilibra el segment compromès.

La tipologia de músculs, en quant al tipus de fibres de les que disposa, és un factor que farà també que l'impuls del sistema nerviós es doni en unes unitats motores o en unes altres, depenent de les necessitats de tensió, velocitat i durada de l'esforç sol·licitat (Hodges, 2003; Purves et al., 2008).



Des de la perspectiva estàtica, Hodges (2003) proposa un dels models d'estabilitat més contemporanis. Està basat en la capacitat de controlar un bucle de forces que es generen a nivell de la CV lumbar, considerada el centre responsable de l'estabilitat global de la CV. Aquest cercle compressor intraabdominal, que en situació de repòs no excedeix els 90N, és necessari per mantenir-la en equilibri i provoca un augment de la rigidesa al seu voltant que millora la seva estabilitat estàtica. Es ressalta la importància dels receptors propioceptius en la tasca d'informar de les necessitats de tensió muscular.

Des de la perspectiva dinàmica, l'estabilitat s'aconsegueix gràcies al control dels canvis de posició o de situació de les corbes fisiològiques de la CV. Aquesta torna a ser una tasca dels mecanoreceptors propioceptius, en sinèrgia amb la resta de receptors del sistema sensoriomotriu. Són especialment importants els mecanismes que controlen les translacions i les rotacions dels diferents segments vertebrals. Cal recordar que al tronc es troba la majoria de la massa corporal del cos humà i que, per tant, els canvis de moviment de la CV poden suposar desplaçaments importants del centre de masses de tot el cos, posant en compromís l'equilibri (Thompson i Floyd, 1996; Hodges, 2003).

Es coneix que el sistema estàtic de la CV lumbar té una morfologia que podria proporcionar estabilitat sense necessitat de la presència de la musculatura que l'envolta. Ara bé, el paper de la musculatura i dels receptors propioceptius és cabdal per garantir-la en la dinàmica.

Els mecanismes a partir dels quals el sistema nerviós controla l'estabilitat de la CV segons Hodges (2003) atén a les dues grans possibles situacions en les que es pot trobar: predictibles o impredecibles. Aquesta dicotomia es pot associar a les modalitats conscient o inconscient de la propiocepció, que fan que el control neural sobre l'acció es dugui a terme a diferents nivells del SNC. Generalment, la resposta del SN es dona davant de diferents modalitats de forces rebudes, malgrat també es pot desencadenar davant dels canvis d'acceleració o de velocitat dels segments que s'estan movent (Saavedra et al., 2007).

Els mecanismes neurals d'estabilitat de la CV davant situacions predictibles estan basat en l'emissió de l'ordre de contracció de la musculatura que pot assegurar el segment que serà mogut, abans de que es realitzi el moviment. Aquest és un procés d'anticipació del SNC que governa, entre d'altres, la formació reticular del tronc de l'encèfal.

El control neural davant situacions impredecibles es produeix en forma d'actes de control motor reflex, com a resposta a l'entrada d'informació sensorial visual, vestibular i/o propioceptiva (Riemann i Lephart, 2002; Hodges, 2003; Purves et al., 2008).

Hodges (2003) també fa distinció entre els sistemes de control neural oberts o tancats.

Els sistema de control obert és aquell que contempla la planificació i desenvolupament de moviments voluntaris, sense l'estímul previ dels receptors propioceptius ni d'altres aferències. La prèvia activació de la musculatura respon a les característiques de la direcció i el sentit de la resistència a vèncer (com quan s'activen les neurones mirall).

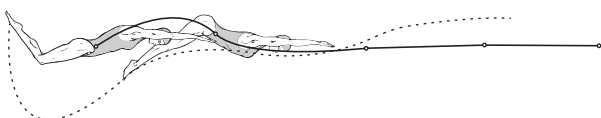
El sistema de control neural tancat és aquell que estableix la CV en funció dels estímuls que va rebent, de manera que el moviment s'ajusta a les necessitats de l'entorn i no a la voluntat de l'individu. El bon funcionament del sistema sensorial és cabdal per rebre informacions sobre les característiques de l'entorn i de la posició o moviment de les articulacions, i generar el feedback o resposta adequada a cada situació (Lephart i Fu, 2000; Hodges, 2003; Purves et al., 2008).

2.4.1 Control neural obert de la columna vertebral: Davant situacions predecibles o planificades

Hodges (2003) va contribuir al coneixement dels mecanismes a través dels quals el sistema nerviós augmenta la rigidesa i l'estabilitat de la columna CV davant situacions predecibles o planificades.

Va comprovar que encara que el moviment de les extremitats pugui desencadenar contraccions anticipades de la musculatura del tronc, aquestes no s'arriben a dur a terme quan la velocitat del gest és ràpida i el moviment de les extremitats té la mateixa direcció i sentit que el del tronc. D'altra banda, els moviments d'estabilitat de la CV davant d'una mobilització del centre de masses, provocada per les extremitats, es realitza en la mateixa direcció i sentit oposat al del moviment de les extremitats. És a dir, quan les extremitats superiors realitzen una extensió, el control neural provoca una lleugera flexió de la CV i quan realitzen una flexió, la CV experimenta un lleuger moviment d'extensió.

Els mecanismes anticipadors que controlen el moviment intervertebral estan relacionats amb el comportament de la musculatura profunda de la CV, en contacte directe amb les apòfisi vertebrals. Es va observar que, a diferència de la musculatura més superficial, els músculs profunds (com el transvers abdominal o els multífids) no responen a la direcció de la pertorbació. La seva arquitectura i localització els permet augmentar les forces de compressió al voltant de les vèrtebres, augmentant així la rigidesa al seu voltant i, en conseqüència, l'estabilitat vertebral.



En concret, el transvers abdominal millora la rigidesa augmentant la pressió intraabdominal i els multífids per la seva capacitat d'augmentar la tensió de compressió lateral i posterior intervertebral. L'augment de la pressió abdominal genera un moment extensor de la musculatura paravertebral lumbar, de manera que l'augment simultani de les forces anteriors, posteriors i laterals que reben les vèrtebres fan que aquest fenomen millori l'estabilitat intervertebral (Hodges, 1999, 2003).

2.4.2 Control neural tancat de la CV: Davant situacions impredecibles

El sistema d'estabilitat de la CV en control neural tancat es nodreix de les informacions sensorials per adequar una resposta estabilitzadora, en forma de feedback. Es va comprovar que aquest funciona de manera diferent segons la situació, estàtica o dinàmica, en la que es presentin aquest estímuls (Hodges, 2003).

Per a l'estabilitat estàtica, es realitza gràcies a l'activitat reflexa de la musculatura que envolta la CV. La musculatura abdominal i paravertebral són les que responen amb major velocitat després d'un estímulo impredecible, presentant els períodes de latència més petits que la resta de músculs del raquis. Ho fan en forma de cocontracció, ajustant-se als desequilibris anteroposteriors del centre de gravetat. El transvers abdominal només s'activa durant els desequilibris en flexoextensió quan el centre de masses suporta una càrrega superior a la del pes corporal o quan les extremitats superiors superen una resistència per damunt de l'alçada de les espatlles (Hodges, 1999, 2003).

Es va observar que l'estimulació elèctrica o mecànica dels propioceptors dels lligaments intervertebrals, del disc intervertebral, la càpsula articular i les articulacions sacroilíiques (realitzada a porcs, gats i amb humans), va generar una resposta més ràpida de la musculatura multífida del mateix costat de l'estímul, que presentava períodes de latència més curts. Es va realitzar el mateix en una situació predecible i el temps de latència va disminuir en tots els casos, i va desaparèixer completament en una situació en la que es va injectar analgèsics a la zona estimulada (Hodges, 2003).

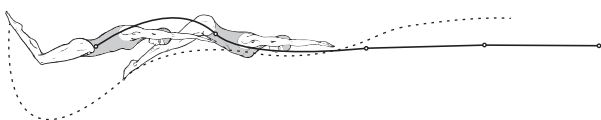
El control reflex per mantenir l'estabilitat dinàmica de la CV presenta períodes de latència menors que en una situació estàtica predecible. Ara bé, quan es tracta de persones amb simptomatologia dolorosa, augmenten durant les desestabilitzacions en flexió, extensió i inclinació lateral del tronc, així com la variabilitat dels processos de cocontracció és major (Reeves et al., 2005).

Les respostes posturals de la musculatura que envolta el tronc poden desencadenar-se a partir d'estímuls que es reben a les extremitats. Aquesta afirmació, descrita al treball sobre cadenes musculars proposat per Busquet (1997 a i b), va ser mesurada per Hodges (2003). Va observar que la realització, ràpida i previsible, de 30 repeticions de flexió glenohumeral bilateral fins a 60°, estava precedida per una força d'extensió de la CV lumbar. Quan el mateix moviment es realitzava de manera inesperada no es va produir cap registre electromiogràfic significatiu a la musculatura extensora lumbar.

Quan tot el cos es desplaça pel moviment de la superfície de recolzament, es produeix una sincronització encadenada de la musculatura de tot el cos, en especial de les extremitats inferiors. Quan el desplaçament de la superfície de recolzament és lent i previsible, la primera musculatura que envia informació sobre el seu estirament és la que travessa el turmell. Quan el moviment de la base de recolzament és ràpid, el reflex d'estirament s'inicia a la musculatura del maluc. En tots casos, es desencadena el reflex miotàtic de la musculatura del costat contrari al desplaçament, provocant una relocalització del centre de gravetat que estableix el cos.

En canvi, quan ens trobem en sedestació i la base sobre la que estem asseguts es desplaça, els primers músculs que reaccionen són els que envolten el tronc, també en sentit oposat al del desplaçament. És a dir, quan el desplaçament de la base de sedestació és cap a darrera es produeix una flexió del tronc i quan s'ha realitzat cap a davant el reflex és en extensió. Per exemple, es va observar que la musculatura del tronc enregistra signes d'activitat entre els 29 i 34ms després d'iniciat el desplaçament de la base de sedestació, i es mantenia fins a 248 a 287ms. En resum, davant desplaçaments lents de la base de sustentació s'activa la musculatura del mateix costat de desplaçament, i quan el desplaçament és ràpid s'activa la del costat contrari (Hodges, 2003).

La coordinació de la musculatura que envolta el tronc respon a la combinació entre les seves funcions d'estabilitzar i respirar. Es coneix que l'acció del diafragma i la musculatura del sòl pelvià està lligada a l'acció del transvers abdominal, i que la seva acció es produeix de forma sincrònica durant el moviment. El sistema nerviós coordina la respiració de tal manera que, durant el moviment, la combinació de les contraccions que es produeixen millori l'equilibri dinàmic de la CV. Durant la inspiració, el diafragma la musculatura del sòl pelvià i la resta de musculatura inspiradora, es contrau de forma concèntrica. Simultàniament, el transvers abdominal ho fa en excèntrica i a la inversa durant l'inspiració forçada.



Quan estem fent una activitat que requereixi certa estabilització de la CV i un lleuger ritme respiratori, les contraccions concèntriques i excèntriques dels músculs inspiradors i del transvers abdominal es combinen amb una part de contracció isomètrica, que ajuda a l'estabilització de la CV, a partir de l'augment de la pressió intraabdominal. Ara bé, quan la intensitat de l'exercici fa augmentar el ritme respiratori, arriba un punt en que es posa en compromís el manteniment de la contracció isomètrica i es perd el seu potencial estabilitzador de la CV (Hodges, 2003).

En el moment en que es produeix un augment de la pressió intraabdominal per la contracció anisomètrica de la musculatura abdominal, és necessària la contracció simultània de la musculatura del sòl pelvià, per evitar la dilatació involuntària dels esfínters de la zona. S'ha demostrat que, durant els moviments de les extremitats superiors per mobilitzar pesos, la contracció de la musculatura del sòl pelvià precedeix a la de la musculatura de les extremitats i no guarda relació amb la direcció ni el sentit de la resistència a vèncer (Hodges, 2003).

2.5 Etiopatogènia mecànica de la CV lumbar

Les alteracions o la patologia de la CV lumbar pot tenir diferents etiologies però, en la majoria del casos, són d'origen mecànic i degudes a la manca d'adaptació a les càrregues a les que es sotmet. Segons Panjabi (1992 a i b) qualsevol desequilibri entre els tres sistemes d'estabilització de la CV (passiu, actiu i neural) pot ser un factor desencadenant.

Les zones de maniobra de la CV es poden classificar, a efectes de la etiopatogènia, en dues: La zona elàstica i la zona neutre.

La zona elàstica de Panjabi és aquella en la que les amplituds de moviment o les càrregues, a les que es sotmet la CV, superen el límit elàstic de les parts toves, provocant la seva deformació permanent. Aquest fet provoca la pèrdua de la seva funció dins dels tres sistemes d'estabilització descrits.

La zona neutre és aquella en la que no es supera mai aquest límit elàstic i que, per tant, no suposa cap agressió per les parts toves i permet que mantinguin la seva funció estabilitzadora. Correspon a l'amplitud de moviment intervertebral realitzada amb les mínimes resistències internes, sense malmetre les parts toves (Gay, Ilharreborde, Berglund, Zhao i An, 2006; Yue, Timm, Panjabi i Jaramillo de la Torre, 2007). Els graus corresponents a les zones neutres dels segments intervertebrals lumbar, corresponen a 0.78° al segment L1-L2, 2.11° al segment L2-L3 i a 1.43° al segment L4-L5. En tots els segments la mitjana de l'amplitud segmentària estàtica era inferior a la dinàmica, realitzada a una velocitat de 1°/s (Taula 10).

Taula 10. Amplitud de moviment (ADM) i zones neutres dels segments intervertebrals lumbar (Gay et al., 2006).

	ADM Estàtica	ADM Dinàmica	Zona Neutra
L1- L2	10.90°	11.20°	.078°
L2-L3	11.35°	10.23°	2.11°
L3-L4	8.20°	9.90°	1.43°

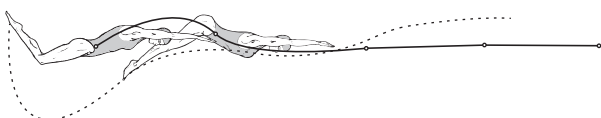
Quan la CV lumbar ha patit alguna lesió o procés degeneratiu, l'amplitud de la zona neutre minva més, augmentant les possibilitats de patir una agressió, ja que els teixits han perdut la capacitat que tenien per suportar resistències (Yue et al., 2007).

La manca d'estabilitat és un dels factors de risc més elevat per patir alteracions dels segments vertebrals lumbar, i desencadena un dels mals més comuns de la societat contemporània: el mal d'esquena (Panjabi, 1992 a i b, 2003, 2006; Busquets, 1997 a i b; Hodges, 2003; Salinas, 2007; Van Daele et al., 2007; entre d'altres).

Panjabi (2006) va observar que l'alteració de qualsevol dels sistemes d'estabilització de la CV lumbar pot provocar l'alteració del sistema no afectat, i generar-se un cercle de processos que augmenten la inestabilitat i poden ser els causants de la degeneració irreversible de la vèrtebra, del disc vertebral o del sistema lligamentós, iniciant o fent crònic el dolor lumbar. Ara bé, aquest procés sembla no produir-se a la inversa. Segons l'estudi realitzat per Sullivan, Donegan i Riddle (2000) un cop es pateix dolor lumbar i existeix un grau alt de discapacitat provocat pel mal d'esquena, els moviments màxims de flexió lumbar no es troben limitats. Al seu estudi es comparava la relació entre l'amplitud de moviment de flexió lumbar amb el grau de discapacitat, provocat pel mal d'esquena. Els resultats van demostrar que la flexió de la CV lumbar no manté relació significativa amb el mal d'esquena ja que tots els membres de la mostra, amb grau de discapacitat per sobre del 30%, no tenien cap problema a realitzar moviments de màxima flexió lumbar des de la posició de bipedestació.

2.5.1 Alteracions del sistema passiu

Les vèrtebres lumbar, els seus discos intervertebrals i el sistema lligamentós es veuen sotmesos contínuament a forces de compressió i tracció, tant a la vida quotidiana com a l'esport. Les pressions verticals exercides sobre el disc vertebral poden sotmetre al nucli polpós a una càrrega que equival a la meitat de la càrrega augmentada en un 50%, i la que rep l'anell fibrós equival a l'altre meitat disminuïda en un 50%, de manera que el nucli polpós



arriba a suportar fins a un 75% de la càrrega total, mentre l'anell fibrós només en rep un 25%. Ara bé, encara que no se suporti cap càrrega addicional, la pressió dins el disc mai és nul·la, sinó que sempre es troba en un estat de pretensió que li facilita la seva funció d'absorció i distribució horitzontal de la càrrega vertical.

Durant els moviments de la CV lumbar, el disc vertebral es veu sotmès a forces de compressió asimètriques que provoquen desplaçaments del nucli polpós i una distribució heterogènia a les forces a l'interior del disc.

Amb una flexió, augmenta la compressió de la part anterior del disc i el nucli polpós es desplaça cap enrere, provocant un augment de la tensió interna i posterior de l'anell fibrós. Durant l'extensió, la part del disc comprimida és la posterior, de manera que el nucli polpós fuig cap endavant, augmentat les tensions anterior i interna de l'anell fibrós. A les inclinacions laterals, la part de la concavitat és la que queda comprimida i la part sotmesa a tensions és la contralateral o la de la convexitat (Kapandji, 2001; Shum, Crosbie i Lee, 2007 a i b).

Durant el manteniment estàtic de la posició de bipedestació, la CV lumbar pot estar sotmesa a compressions uniformes, completament verticals, si el recolzament del pes es realitza de forma homogènia entre els dues extremitats inferiors. Quan augmenta el recolzament sobre una d'elles i es flexiona l'extremitat que suporta menor càrrega, la CV lumbar realitza una inclinació lateral que distribuirà de forma asimètrica les forces que reben els discos, tal com s'ha explicat que passa amb les inclinacions laterals (Busquet, 1997 a; Kapandji, 2001).

Durant la posició de sedestació, les forces internes que reben les lumbar depenen de la manera com la persona seu. Si la sedestació es realitza amb recolzament isquiàtic, la CV lumbar manté la seva curvatura lordòtica, de manera que el repartiment de la compressió discal es troba centrat. Ara bé, es tracta d'una postura que suposa un treball actiu estàtic de la musculatura paravertebral dorsal i lumbar, en contra de la caiguda del centre de gravetat per davant de L3. Si aquesta musculatura no està adaptada a aquest esforç, pot fatigar-se i desencadenar una simptomatologia dolorosa (Busquets, 1997 b; Kapandji, 2001).

Quan la posició de sedestació es realitza sobre els isquis i el sacre simultàniament, sense recolzament lumbar i deixant reposar només la zona dorsal, la pelvis es col·loca en retroversió i arrossegant a la CV lumbar cap a la flexió i rectificació de la lordosis. Malgrat aquesta és una posició en la que la musculatura paravertebral lumbar està relaxada i no es fatiga, la compressió que reben les vèrtebres lumbar és igual a la del manteniment o realització de una flexió intervertebral, és a dir, existeix una disminució del espai anterior del disc i el nucli polpós està contínuament exercint una tensió interna sobre la part posterior de l'anell fibrós (Fig. 35).

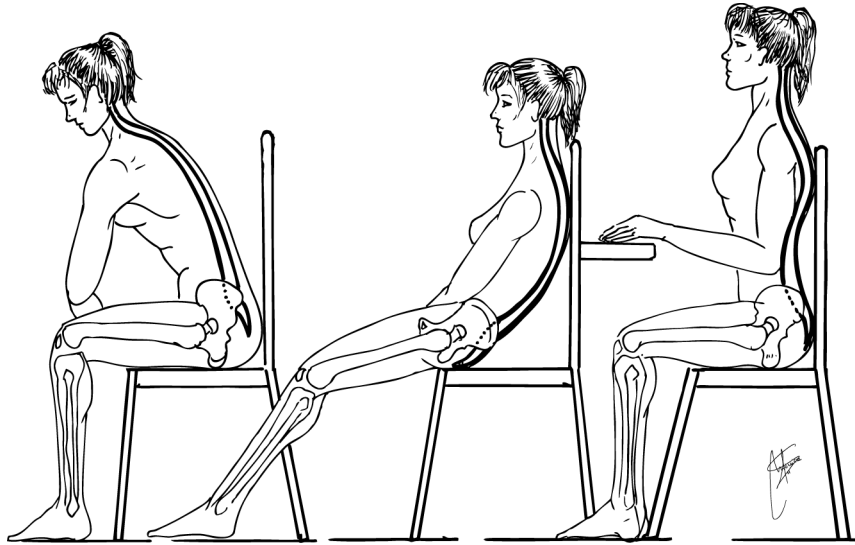
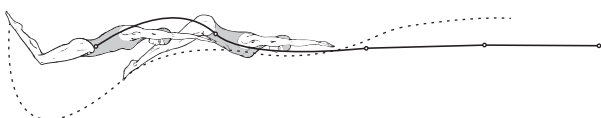


Fig 35. CV en diferents posicions de sedestació. D'esquerra a dreta: cifòtica, isquiocrural i isquiàtica (Adaptat de Kapandji, 2001)

El manteniment de la sedestació en una postura incorrecta ha demostrat ser un dels factors de risc de patir alteracions de la CV lumbar. S'accepta que la postura saludable hauria de ser aquella que no posa en compromís cap de les estructures vertebrals ni les parts toves que les travessen. Ara bé, hi ha discrepàncies entre les posicions de sedestació que resulten més apropiades per aconseguir el manteniment de la salut lumbar.

Segons Pynt, Higgs i Mackey (2001) hi ha tres models de sedestació correcta: la sedestació en angle o cubista, la posició cifòtica, flexionada o isquiocrural i la posició lordòtica o isquiàtica de "secretaria". A les consideracions proposades per Kapandji (2003) sobre els tres models de sedestació, Pynt et al. (2001) afegixen que en la sedestació cifòtica a més d'un augment de la compressió discal es produeix una disminució de la rehidratació del nucli polpós que, a llarg termini, provoca degeneracions prematures de l'espai intervertebral. Es produeix una pèrdua de la funció amortidora, una possible degeneració estructural dels cossos vertebrals lumbar i una distensió prolongada dels lligaments posteriors de la CV lumbar, que pot desencadenar en una pèrdua de la seva capacitat estabilitzadora.

Tot i que la compressió de les apòfisi articulars és major a la sedestació lordòtica, el manteniment d'aquesta postura ha demostrat ser la posició que menors conseqüències negatives provoca a la CV lumbar. Una de les estratègies per fomentar aquesta postura a la vida quotidiana ha estat la substitució de la cadira convencional per una pilota suïssa. A ciutats del nord d'Europa com Bèlgica el seu ús ha augmentat fins el punt en que es proposa a les escoles com a un mètode per garantir la higiene postural durant les hores de classe.



Merritt i Merritt (2007) van fer el seguiment de dues persones amb mal d'esquena que feien un tractament amb quiropràxia. Se'ls va proposar la introducció de la pilota suïssa com a cadira durant un mínim de 20-30 minuts diaris. Després d'un mes, els dos pacients van disminuir les seves visites i ambdós van experimentar millores en la simptomatologia dolorosa lumbar. Malgrat aquesta troballa, els investigadors són conscients de que l'estudi de dos casos no és suficient per afirmar de forma generalitzada que l'ús de la pilota suïssa, en substitució de la cadira de treball, redueix la simptomatologia dolorosa en tots els casos. Es coneix que seure sobre la pilota suïssa permet la modificació freqüent de la posició de la CV lumbar, millorant la irrigació de la musculatura que l'envolta i els processos de renutrició del disc intervertebral. També millora l'activitat dinàmica de la musculatura lumbar, posant en compromís la estabilitat del tronc i augmentant l'estimulació propioceptiva. La sedestació sobre la pilota suïssa provoca contraccions musculars imperceptibles, que ajuden a millorar la postura i alhora augmenten el to de la musculatura del tronc, convertint-la en una "faixa natural" que ajuda a mantenir la integritat de les estructures que la formen. Es considera que la postura més adequada per seure sobre la pilota suïssa és la que permet que les articulacions coxofemorals es trobin en una flexió no superior als 90° i les dels genolls entre els 90° i els 100°, pel que es recomana que les mesures de les pilotes s'ajustin a l'alçada de les persones que en fan ús (Pynt et al., 2001; Merritt i Merritt, 2007).

Les forces de compressió que reben els discos intervertebrals són més grans a mesura que s'apropen al sacre. A la compressió produïda per l'acció de la gravetat s'afegeix la que provoquen els músculs que envolten les vèrtebres.

Amb la modificació de la postura, fent un exercici amb impacte vertical o amb la mobilització d'una resistència addicional, la tensió que poden arribar a generar els músculs pot multiplicar la compressió vertebral fins a 5 vegades més de la que reben amb el pes corporal i en posició de bipedestació (Kapandji, 2001; Beraldo, 2004) (Fig. 36).

En situació normal, durant el dia, l'aigua del nucli polpós migra progressivament cap als orificis de les superfícies dels cossos vertebrals i, gràcies al descans en decúbit supí, la disminució de la compressió del disc provoca una reabsorció de l'aigua perduda. Si la càrrega de compressió és constant o més prolongada, no es permet la recuperació completa durant la nit i es degenera progressivament el disc, provocant la seva deshidratació, pèrdua de gruix i de capacitat per amortir les forces verticals (Kapandji, 2001) (Fig. 37).

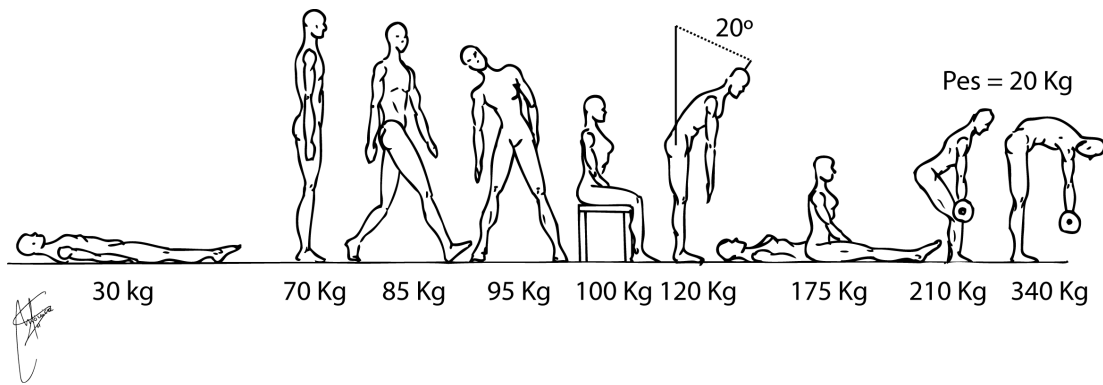


Fig 36. Compresió que rep L3 en un subjecte de 70kg en diferents situacions (Adaptat de Beraldo, 2004)

Amb l'edat el nucli polpós perd les seves propietats hidròfiles, disminuint la seva capacitat de generar pretensió interna i provocant una pèrdua de mobilitat i amortiment de la CV.

Si la força de compresió no és completament vertical es produeix una pretensió augmentada en el costat contrari al comprimit. La disminució de l'alçada del disc vertebral és considerable, pot arribar a produir un canvi en la relació de les superfícies articulars de la vèrtebra, augmentant la seva coaptació o bé fent-la perdre congruència que, a la llarga, pot provocar la degeneració prematura o artrosi (Kapandji, 2001).

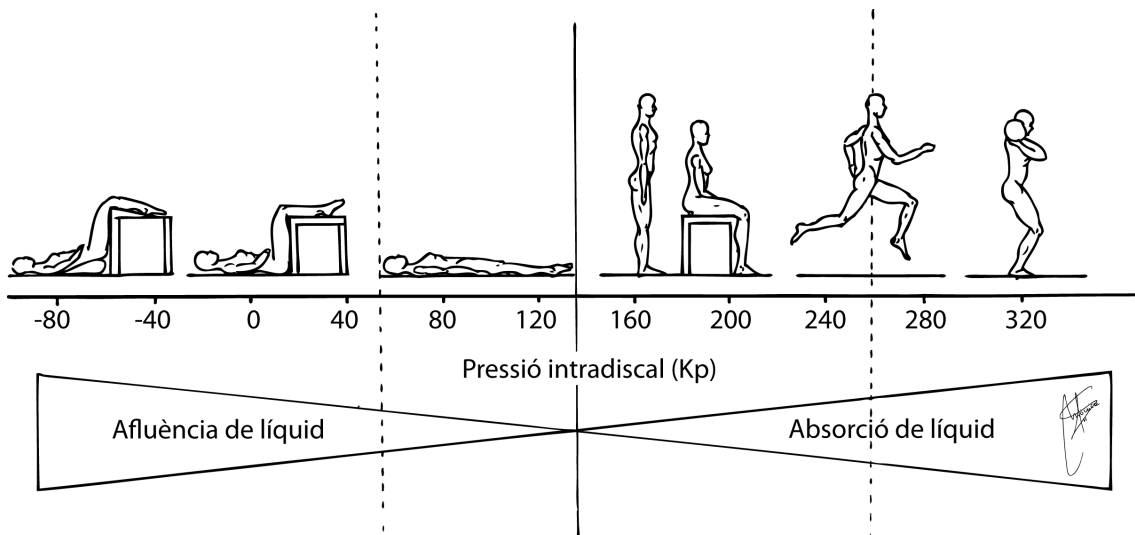
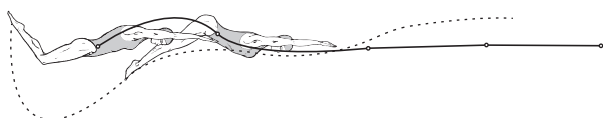


Fig 37. Grau de recuperació o pèrdua del líquid del disc vertebral en funció de les càrregues de compresió en diferents posicions (Adaptat de Beraldo, 2004)



A partir dels 25 anys d'edat les fibres de l'anell fibrós poden començar a degenerar, disminuint la resistència a les forces internes que el nucli polpós genera sobre l'anell fibrós.

Aquest fet pot provocar que el disc s'esquerdi per dins, provocant la fuga de la substància gelatinosa del nucli polpós per l'interior de l'esquerda. L'evolució d'aquesta fuga pot donar lloc a l'aparició d'una protrusió o d'una hernia discal.

A la majoria dels casos, les protrusions o les hernies són posteriors donat que, l'acció de la gravetat sobre el cos i l'abús dels moviments de flexió del tronc fan que la freqüència amb la que el disc vertebral es comprimit anteriorment superi a les compressions posteriors, pel que és més freqüent que el nucli polpós migri cap a les parts posteriors del disc, provocant protrusions o hèrnies posteriors o posterolaterals (Fig. 38) (Kapandji, 2001).

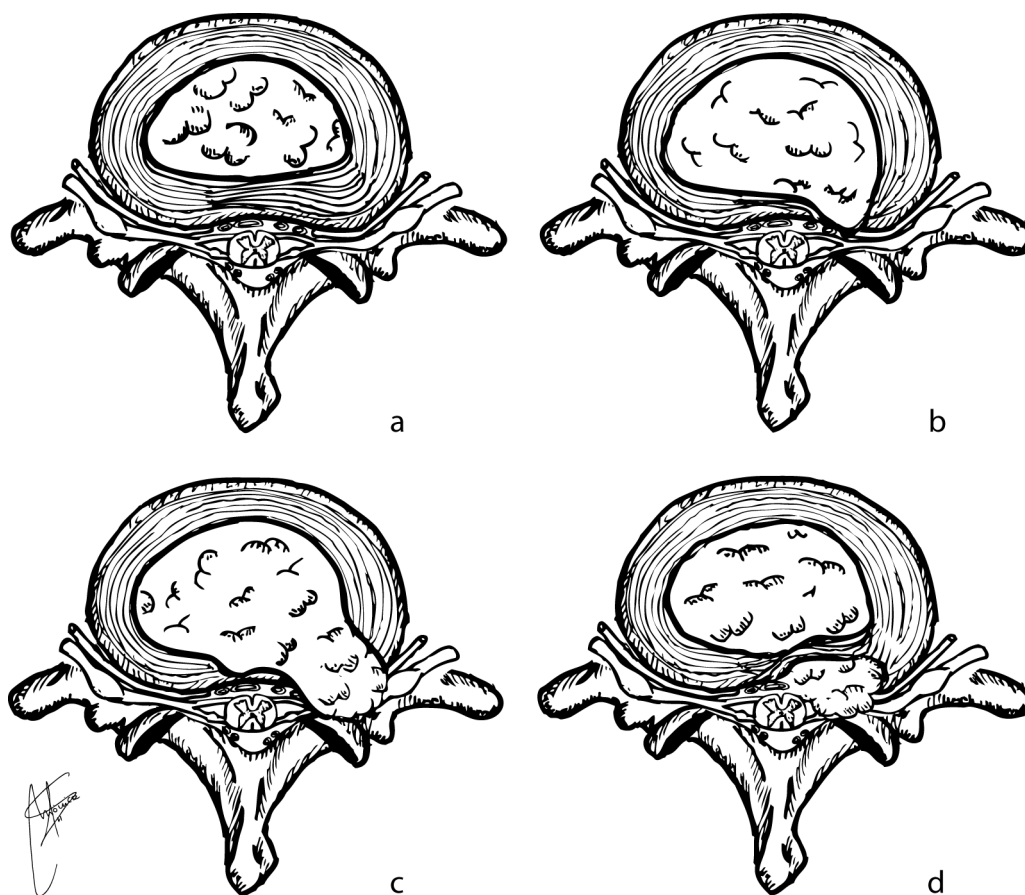


Fig 38. Imatge zenital del disc vertebral sà (a), d'una protrusió discal (b) i de dos tipus d'hèrnies posterolaterals (c i d)

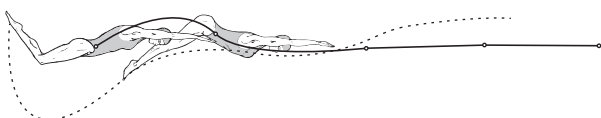
En els estudis que fan referència als desordres de la zona lumbar sovint es repeteixen els mateixos factors de risc, tots inherents a les individualitats de les persones, al tipus de feina que desenvolupen o a altres factors físics. En qualsevol cas, els problemes estan relacionats amb les característiques biomecàniques del treball de la CV lumbar, especialment amb les forces de compressió que rep (Panjabi et al., 1989; Panjabi, 1992 a i b). Marras et al. (2002) van estudiar que aquesta compressió variava en funció del gènere. Les dones tenien més estratègies de col·locació postural que reduïen la compressió del disc però, en termes relatius, quan no l'aplicaven tenien nivells de compressió lumbar molt més elevats que els homes estudiats.

Segons Sinaki, Brey, Hughes, Larson i Kaufman (2005) les desalineacions cifòtiques redueixen els nivells d'equilibri de les persones, així com disminueixen la força en general de la musculatura motora del tronc i de les extremitats superiors. El centre de masses de les persones afectades de hipercifosi s'avança, de manera que la compressió anterior dels cossos vertebrals provoca canvis estructurals de la CV dorsal. Es produeix una degeneració progressiva de la part anterior del disc vertebral dorsal, amb una possible distracció amb fissura de la part posterior. A més, la distensió continua del sistema lligamentós provoca la seva elongació permanent i la pèrdua de la seva capacitat per limitar els moviments de flexió, fent que la musculatura posterior hagi de suportar la càrrega estabilitzadora en comptes dels lligaments.

2.5.2 Alteracions del sistema neural

Les alteracions del sistema neural depenen, en la majoria dels casos, de la degeneració del sistema passiu, especialment per estretament del canal raquidi i el forat de conjunció. Si es produeix una protrusió o hèrnia discal posterior o posterolateral, el nucli polipós extravertit entra en contacte amb un segment de la medulla espinal o amb l'arrel d'un nervi perifèric. Aquest contacte provocarà una simptomatologia que pot irradiar-se a tot el trajecte del nervi afectat, i a tota la regió corporal, o dermatoma, amb la que es relaciona (Netter, 2007; Purves et al., 2008) (Fig. 39).

La simptomatologia més freqüent és el dolor, la pèrdua de la funció sensitiva i/o motora del nervi afectat. Si aquest és un nervi lumbar es pot perdre sensibilitat tàctil i propioceptiva la musculatura de la part anterior de les extremitats inferiors i de la planta del peu, fonamental per la marxa, la cursa a peu o fins i tot per la bipedestació.



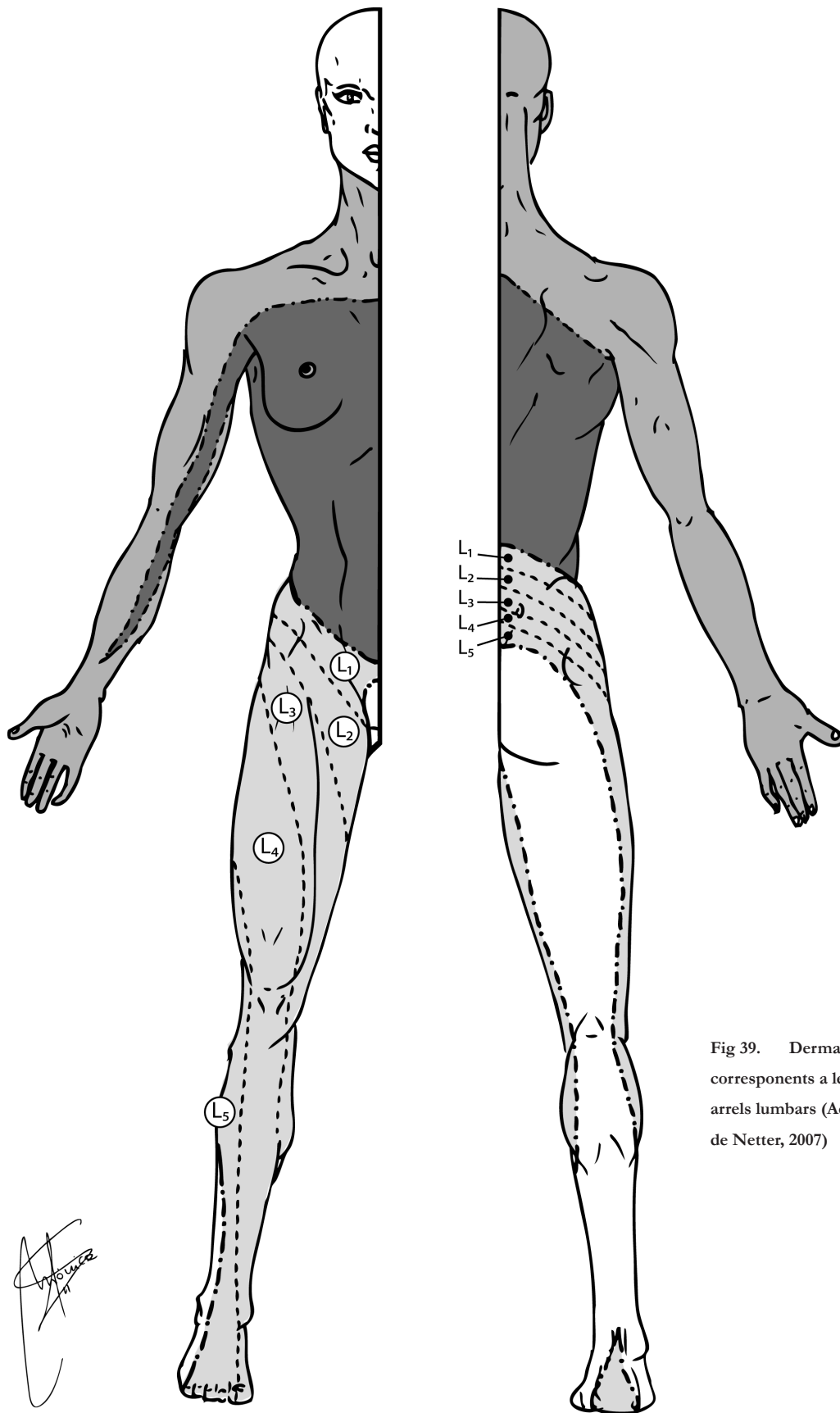


Fig 39. Dermatomes corresponents a les arrels lumbar (Adaptat de Netter, 2007)

Amb l'alteració de la via aferent es pot produir una pèrdua o alteració de l'activitat reflexa de la musculatura relacionada amb els nivells afectats (Reeves et al., 2005). L'etiologia de l'alteració del sistema neural no només pot ser física, o relacionada amb la incapacitat del sistema nerviós de regular els processos voluntaris o reflexos que estableixen la CV, sinó que també pot produir-se una alteració de la percepció dolorosa per aspectes relacionats amb l'estat emocional.

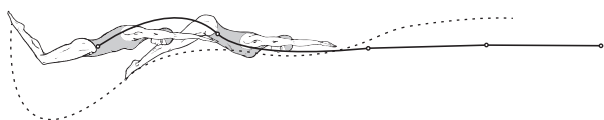
Nombroses publicacions estableixen les relacions entre l'estat emocional i el mal d'esquena, indicant que una de les causes de la simptomatologia dolorosa és la somatització de l'estat psíquic, que fa que les persones afectades presentin processos dolorosos crònics a on no es detecta cap alteració física. Segons Clarke i Smith (2000) els qüestionaris validats per l'avaluació de la discapacitat que provoca el mal d'esquena no es plantegen l'estat emocional de les persones enquestades, qüestió que posa en dubte l'establiment dels resultats que se'n desprenen. Middlenton i Pollard (2005) van estudiar la relació entre el mal d'esquena i els estats depressius. Segons els seus estudis, un dels factors que pot desenvolupar mal d'esquena crònic és l'estat emocional. En concret van observar que hi havia pacients amb mal d'esquena crònic que no tenien cap alteració estructural que pogués ser la causa de la simptomatologia dolorosa, i que el denominador comú de tots ells era que estaven passant per un període de depressió diagnosticada.

Després de sotmetre a la mostra a tractament psicològic i homeopàtic per abordar la depressió, tots els subjectes de la mostra van manifestar una reducció en la simptomatologia dolorosa.

2.6 Mètodes d'avaluació de l'amplitud de moviment de la CV lumbar

La mesura de l'amplitud de moviment de la CV lumbar ha estat determinant per conèixer les alteracions que podien provocar mal d'esquena (Portek, Pearcy, Reader i Mowat, 1983; Lowery, Horn, Boden i Wiesel, 1992; Lee, 2002; entre d'altres).

En una recerca de la precisió en l'avaluació de l'amplitud de moviment del segment lumbar, es va estudiar quines eren les principals errades que podien produir diferents instruments de mesura. Els més freqüents van resultar ser causades pel propi dispositiu, pels investigadors a l'hora de col·locar els sensors de posició a les articulacions, per les característiques individuals dels subjectes de la mostra i/o per les exigències d'alguna habilitat específica de la pròpia prova (Mayer, Kondraske, Beals i Gatchel, 1997).



La mesura de l'amplitud de moviment de la CV lumbar pot variar amb cada repetició i durant el transcurs del dia, pel que s'aconsella realitzar de 2 a 3 intents per comprovar la fiabilitat i assegurar que els resultats siguin estables i realitzar les mesures entre les 14:00 i les 17:00 per minimitzar les fluctuacions dels ritmes circadians (Keeley et al., 1986; Adams, Dolan, Hutton i Porter, 1990; Russell, Weld, Percy, Hogg i Unsworth, 1992).

2.6.1 Localitzadors electromagnètics.

Es tracta de dispositius electromagnètics per a la mesura de la posició i orientació d'un sensor respecte a una font de referència en l'espai. Els més utilitzats són el 3Space Tracker®, el Motion Star® i el Vicon-612.

Han demostrat donar una mesura clínica exacta, fiable i no invasiva dels moviments de la CV lumbar. S'ha utilitzat a diferents estudis de la CV ja que proporciona dades tridimensionals i precises i permet la llibertat de moviment del tronc en els tres plans de l'espai (Buchalter, Parnianpour, Viola, Nordin i Kahanovitz, 1988; Percy i Hindle, 1989; Hindle, Percy, Cross i Miller, 1990; Percy, 1993; Newcomer et al., 2001; entre d'altres).

Consta d'una unitat electrònica computeritzada, un software pel control de la recollida de dades, una font de referència en l'espai i dos sensors. La unitat electrònica determina la posició i l'orientació dels sensors en el camp magnètic, generat per la font de referència, controlant amb detall tots els canvis de posició. L'ordinador recull, emmagatzema i analitza les dades cinemàtiques en 3 dimensions (Percy, 1993).

La Motion Star® és un model posterior que també determina la posició i l'orientació dels seus sensors en l'espai. Captura fins a 90 sensors simultàniament a llarga distància, sense distorsió metàl·lica, i cadascun d'ells pot realitzar un seguiment de fins a 120 moviments per segon. Malgrat les dades que recull són fiables, la col·locació dels sensors pot resultar un problema, pel que s'aconsella ubicar-los a zones fàcilment localitzables, com el cap, el sacre, el manubri esternal i l'espina ilíaca anterosuperior (Bogduk i Twomey, 1991). Per a l'estudi de la CV lumbar els sensors es col·loquen, a la part superior, sobre L1 (Percy i Hindle, 1989; Hindle et al., 1990) o T12 (Buchalter et al., 1989; Waddell, Somerville, Henderson i Newton, 1992; Porter i Wilkinson, 1997) o T12/L1 (Nelson, Walmsley i Stevenson, 1995) i a L5-S1 com a la part limitant inferior.

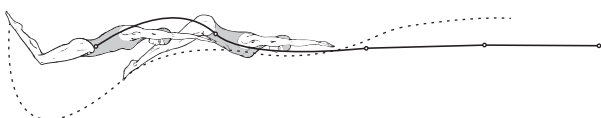
La col·locació dels sensors del 3Space Tracker[®] es realitza amb una cinta al voltant del tronc, però pot produir errades en els resultats i s'aconsella utilitzar cinta adhesiva per minimitzar-les. La seva velocitat de mostreig, per mesurar el moviment de la CV lumbar, oscil·la entre els 10 i els 28Hz en 10-20s. La més freqüent és el de 10Hz en 10s o de 5Hz per 6s (Dolan i Adams, 1993). Swinkels i Dolan (1998, 2000) van utilitzar el 3Space Tracker[®] per avaluar la capacitat de reposicionament de la CV (des de T1 a S2) comparant els resultats de dos dies, separats per un període de dues setmanes, d'una mostra asimptomàtica. Van avaluar els moviments en el pla sagital i frontal, mesurant l'error absolut en la reproducció activa de la posició neutre, la flexió i la inclinació lateral de la CV des de la bipedestació. Les errades de reposicionament en la posició neutre van ser de $3.79^{\circ} \pm 2.56$ pels moviments en el pla sagital i de $2.26^{\circ} \pm 1.59$ pels moviments en el pla frontal. La correlació amb els resultats del test, administrat dues setmanes després, va ser molt alta pel que van considerar aquest aparell com a un dels mètodes no invasius més fiables per realitzar aquest tipus d'avaluació.

Lam, Jull i Treleavan (1999) van utilitzar la localització electromagnètica per avaluar les diferències entre l'error de reposicionament d'una mostra formada per 20 persones amb mal d'esquena respecte un grup control de 20 integrants asimptomàtics. Van estudiar l'error de reposicionament en posició neutre dins el pla sagital, en sedestació, i van veure que no hi havia diferències significatives entre els dos grups ($2.25^{\circ} \pm 0.88$ en el test i de $2.32^{\circ} \pm 1.62$ al re-test), qüestió que els va portar a concloure que les persones amb mal d'esquena disposen d'un mecanisme extraordinari de mecanorecepció que compensa el dèficit mecànic que els causa el mal d'esquena.

La limitació més important d'aquests instruments és la dificultat de col·locar els marcadors en idèntics punts per part de diferents investigadors, l'elevat cost de l'aparell i la infraestructura que necessita el seu muntatge. Malgrat tot, els resultats que enregistra són compatibles amb les imatges radiogràfiques del moviment de la CV lumbar (Bogduk i Twomey, 1991).

2.6.2 Goniòmetre digital i Inclínòmetre

Els goniòmetres i inclinòmetres són aparells que mesuren el moviment angular de les articulacions (Fig. 23). L'inclinòmetre va ser utilitzat per primera vegada per Loebel (1967) per a l'avaluació unidimensional dels moviments de la CV lumbar.



Els estudis per la seva fiabilitat mostren coeficients de correlació entre els 0.73 i el 0.88 per avaluar els moviments de flexió i de 0.9 per els d'inclinació lateral.

En canvi, per avaluar el moviment d'extensió els valors de correlació no van excedir el 0.15. No es va poder utilitzar per avaluar els moviments de rotació del tronc.

Existeixen diferències entre les amplituds de moviment mesurades amb l'inclinòmetre respecte les que s'obtenen amb una radiografia simple, però no excedeixen els 14°, així que pot resultar un mètode de mesura assequible quan no es disposa de la sofisticació dels localitzadors electromagnètics i només es vol estudiar un pla de moviment (Lee, 2002).

El goniòmetre digital permet l'avaluació de dos plans de moviment. Els dos braços del goniòmetre estan units per una molla densa, anomenada endblock, que s'adapta als canvis de flexió, i distància entre els seus extrems, mentre s'està realitzant el moviment.

Enregistra simultàniament dos plans de l'espai, els entravessats pels eixos de referència x i y. La correlació dels resultats que proporciona la goniometria digital amb les amplituds de moviment fisiològiques ha passat la prova de fiabilitat, malgrat encara no s'utilitza amb freqüència com a mètode d'avaluació de l'amplitud de moviment de la CV lumbar.

Portek et al. (1983) van comparar els resultats d'amplitud de moviment lumbar de les tècniques radiogràfiques amb la altres instruments, com l'inclinòmetre i la mesura de la distracció de la pell, i van trobar que la dada que ofereixen és un índex de moviment vertebral en lloc de l'amplitud intervertebral total. La utilització de l'inclinòmetre es fiable però la seva aplicació ha de realitzar-se de forma molt curosa, protocol litzant la seva ubicació i assegurant la seva fixació al segment estudiat (Mayer et al., 1997).

2.6.3 Radiografies simples i tridimensionals

Els primers estudis que van determinar quin era el grau de mobilitat de la CV lumbar es van realitzar a cadàvers mitjançant goniòmetres de Perdriolle i radiografies simples. La informació que proporcionaven era precisa però poc ajustada a la realitat del moviment lumbar dels éssers vius, donat que l'eliminació de la musculatura al voltant de la CV pot donar una amplitud de moviment més elevada de la que es disposa, en presència dels músculs i fàscies que envolten els diferents nivells vertebrals. La utilització de les imatges radiogràfiques és exacte però en contra dels principis ètics pel risc que corren les persones, sotmeses a radiació (Percy, 1986 i 1993, Percy i Hindle, 1989; Lee, 2002; Gay et al., 2006).

Quan la radiografia es tridimensional, un dels principals inconvenients és la precisió en la que s'ha de col·locar els marcadors per localitzar-los radiològicament (Mayer et al., 1997).

En canvi, per analitzar dos plans de moviment és suficient amb l'ús de rectangles superposats a les vèrtebres per col·locar els marcadors just en un dels seus angles, i encara així, s'ha vist que per estudiar els moviments de rotació poden produir-se errades de 1° a 2° (Lee, 2002; Panjabi, 2003).

2.6.4 Mètodes optoelectrònics

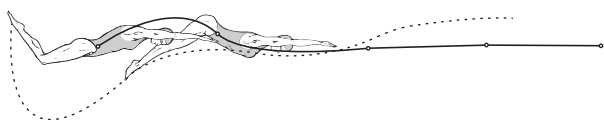
Els mètodes optoelectrònics s'utilitzen sovint per a l'avaluació del moviment de la CV. Es tracta de la col·locació de marcadors en el tronc, enregistrats per una càmera de vídeo per al seu posterior tractament (Lee, 2002). Permeten l'estudi del moviment i de la posició de la CV en els tres plans de l'espai i han demostrat tenir una alta correlació amb els resultats que s'obtenen amb la radiografia simple, ja que el màxim error estudiat no ha excedit dels 2° de diferència (Pearcy,1993).

El poder reflectant dels marcadors a la pell ha de ser major que qualsevol dels objectes de la sala a on es fan les mesures per poder-los diferenciar clarament a les imatges enregistrades amb el vídeo, i que les càmeres de vídeo han de tenir una altíssima resolució per captar les petites diferències que poden donar-se en els moviments de la CV. La dificultat en l'accessibilitat i el processament de dades l'allunya de ser un mètode funcional per l'avaluació clínica rutinària (Lee, 2002).

2.6.5 Lumbar Motion Monitor (LMM)

Es tracta d'un aparell que reconstrueix la mecànica de la CV en una estructura que es col·loca, a tall de motxilla, sobre l'esquena de les persones. Va ser elaborat per avaluar el component mecànic que pot provocar desordres en la CV, en relació al tipus de tasca que es realitza al lloc de treball (Fig. 40).

Funciona com a un esquelet extern que capaç de mesurar la posició, velocitat i acceleracions de la CV lumbar en els tres plans de l'espai, durant el temps que es dugui posat, de manera que quantifica el grau d'exposició a factors de risc relacionats amb desordres lumbar.



Les dades que recull es mostren en un gràfic a on s'analitzen: el nombre d'hores en que s'han sotmès les lumbar a aixecar pesos (expressat en nombre d'esforços per hora), els moments de força màxims, les amplituds màximes de flexió (en graus), les velocitats de les inclinacions laterals i la mitjana de les velocitats de torsió lumbar assolides (en graus per segon).

Els resultats es presenten en un quadre dividit per zones acolorides que representen les zones de menor a major risc.

Marras et al. (2002) el van utilitzar per avaluar les diferències en el posicionament lumbar en funció del gènere.

La majoria dels estudis el fan servir per determinar els factors de risc relatius als tipus de tasques o per comparar els riscos de patir alteracions de la zona lumbar dels diferents llocs de treball, més que per avaluar l'amplitud de moviment de la CV lumbar de forma aïllada (Ferguson, Marras, Burr, Davis i Gupta, 2004; Ferguson, Marras i Burr, 2005).

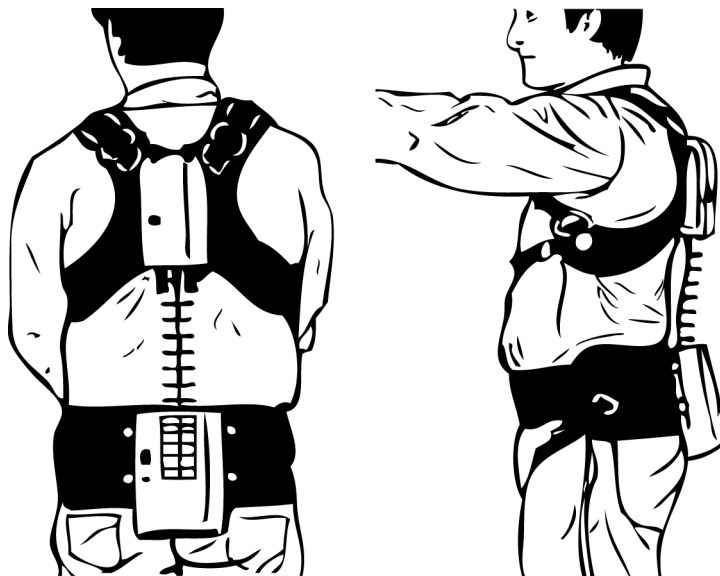
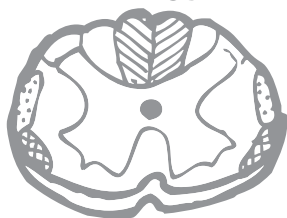
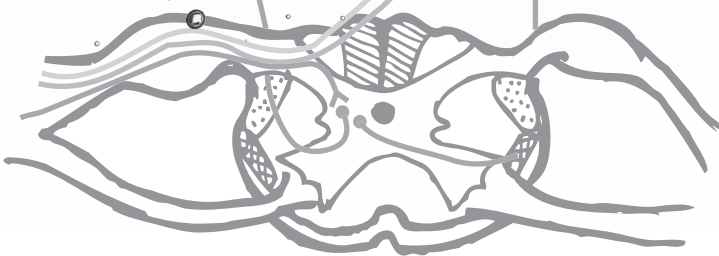
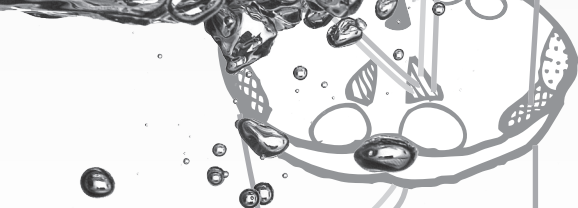
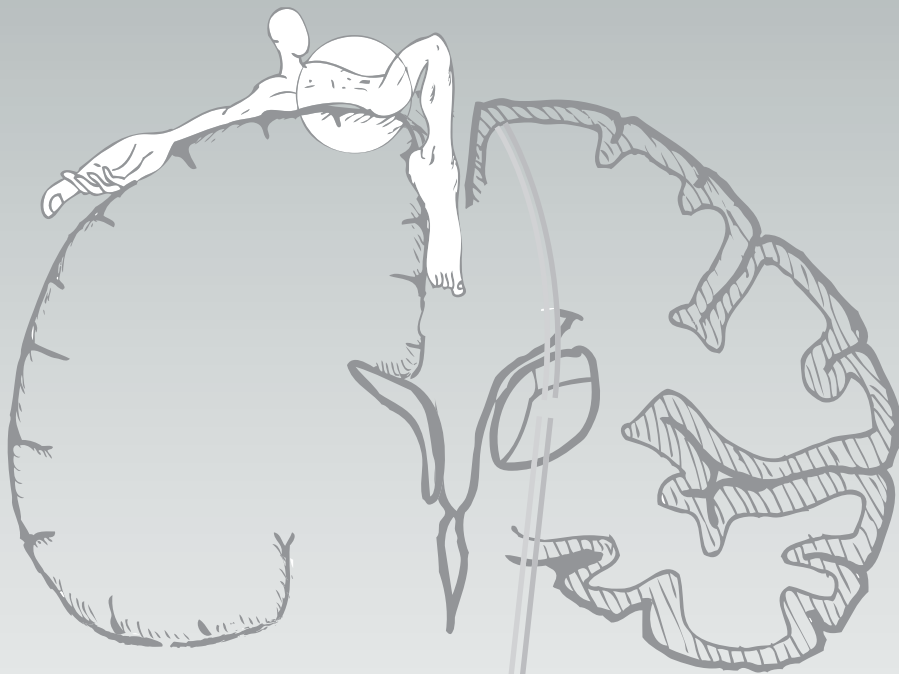


Fig 40. Lumbar Motion Monitoring (Fotografia editada per Pablo Coello)



Capítol 3

La Propiocepció
de la CV Lumbar

3. Propiocepció conscient de la columna vertebral

3.1 Receptors propioceptius lumbar

Gràcies a estudis histològics d'immunolocalització amb neuropèptids, ha estat possible la descripció de la ubicació amb detall dels receptors propioceptius de la CV lumbar. Es va trobar que a l'anell fibrós dels discos vertebrals i al lligament longitudinal anterior hi havia presència de corpuscles de Pacini, terminacions de Ruffini i també d'òrgans tendinosos de Golgi. Van trobar que la seva proporció disminuïa un 50% en persones amb mal d'esquena i era només del 15% amb persones amb escoliosi (Roberts, Eisenstein, Menage, Evans i Ashton, 1995).

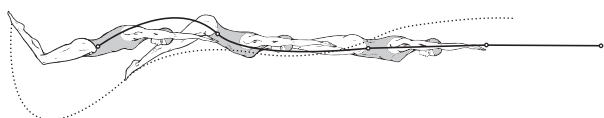
Altres estudis van trobar que la presència de receptors propioceptius al disc vertebral era només a la superfície i que les parts profundes no gaudeixen de cap mena d'innervació (Palmgren, Gröbbland, Virri, Kääpä i Karaharju, 1999). McLain i Pickar (1998) van estudiar els mecanoreceptors presents a les càpsules lumbar i toràciques. Van trobar una terminació de tipus I i quatre de tipus II a 10 càpsules articulars toràciques i cinc de tipus I, sis de tipus II i una de tipus III a 13 càpsules articulars lumbar (taula 2). En tots els casos hi va haver presència de terminacions lliures que no es van quantificar. Comparant les seves troballes amb el número de receptors descrits a les facetes articulars cervicals, hi havia una disminució substancial de la presència de propioceptors a les zones dorsal i lumbar en comparació amb les de la zona cervical. El resultat del seu estudi conclou que la presència de propioceptor és més alta a la zona cervical, en segon lloc a la lumbar i en menor mesura a la dorsal o toràcica.

3.2 Àrea de l'escorça sensitiva corresponent a la CV lumbar

L'àrea de l'escorça cerebral a on s'hi troben representades les terminacions neuronals sensibles que porten la informació de la CV lumbar, es troba a la part medial de l'escorça parietal somatosensitiva, al llinard entre els dos hemisferis cerebrals, dins la part més superior de la cissura precentral, corresponent a la zona 3b de Brodmann, dins de la circumvolució posterior i central del lòbul parietal (Purves et al., 2008) (Fig. 13 i 41).

3.3 Àrea de l'escorça motora destinada a l'activació de la CV lumbar

La representació motora del tronc, a l'escorça motora primària, és igualment petita en relació a la resta del cos. Les neurones motores primàries que activen a la musculatura del tronc es troben a la part medial de la circumvolució precentral del lòbul frontal. La desproporció entre tronc i les extremitats inferiors està justificada per la manca de precisió dels moviments que es realitzen en aquestes localitzacions corporals, a la inversa dels de les mans o a la cara, que necessiten molta més discriminació contràctil (Purves et al., 2008) (Fig. 41).



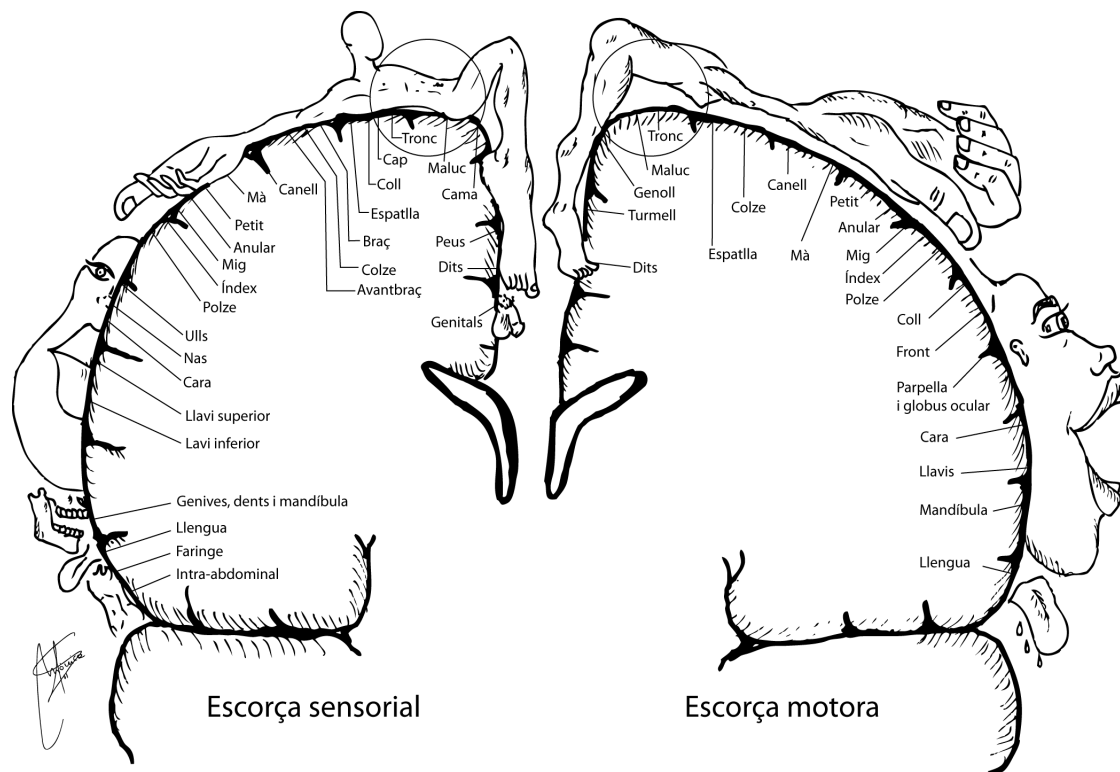


Fig 41. Representació corporal a l'escorça sensitiva vers l'escorça motora primària de Penfield

3.4 Alteració de la propiocepció conscient de la CV lumbar

La propiocepció a la zona lumbar es troba afectada especialment per la presència del dolor, a més dels factors que condicionen la propiocepció a nivell general. Quan es tracta d'estudiar l'alteració de la propiocepció lumbar es troben diverses recerques que analitzen les diferències entre el grau de precisió en el seu reposicionament entre subjectes asimptomàtics i simptomàtics.

Gill i Callaghan (1998) van trobar diferències significatives entre la precisió de reposicionament lumbar, en bipedestació i de genolls, entre els subjectes asimptomàtics i els que tenien mal d'esquena crònic. En canvi, Lam et al. (1999) van trobar que les persones amb dolor lumbar tenien una major precisió que les persones sense simptomatologia dolorosa.

Segons Newcomer et al. (2000 a i b) la manca de diferències pot ser deguda a que el nivell d'afectació lumbar no es prou greu com per provocar una disfunció de les aferències propioceptives, malgrat afirmen que la simptomatologia dolorosa disminueix la propiocepció de la CV dorsolumbar.

Altres estudis han avaluat la capacitat de reposicionament en posicions d'inclinació lateral i flexoextensió lumbar, des de la bipedestació, i han observat una disminució en la capacitat de reposicionament en flexió en els subjectes simptomàtics que no s'ha produït a la resta de posicions sol·licitades.

Tot i que utilitzen l'electromiografia i observen que hi ha un augment del registre electromiogràfic de la musculatura extensora de la CV vers la flexora, en la recerca de la flexió, segueixen atribuint la diferència a la manca de control de cocontracció resultant d'una disminució de la propiocepció de la mostra amb mal d'esquena (Laskowski et al., 2000; Newcomer et al., 2000 a i b).

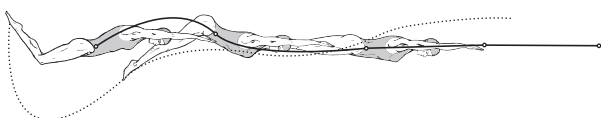
Brumagne et al. (2000) van avaluar la propiocepció de la CV lumbosacra mesurant la capacitat de reposicionament de 23 joves amb simptomatologia dolorosa lumbar i 21 sense, mitjançant l'estimulació amb vibració mecànica de les fibres musculars dels multífids abans i durant la realització de la prova. En tots els casos la vibració va millorar la precisió del resultat, atribuït a l'activació dels receptors de Pacini. Els resultats del grup amb mal d'esquena van ser significativament pitjors.

Koumantakis, Winstanley i Oldham (2002) també van estudiar les diferències entre la capacitat de reposicionament en els moviments de la CV toracolumbar durant els moviments de flexió, extensió, inclinacions laterals i rotacions des de la bipedestació. Van observar que hi havia diferències entre els subjectes amb mal d'esquena en la recerca de la flexió, que també atribueixen a la manca de propiocepció d'aquest grup, malgrat a la resta de posicions les diferències entre els dos grups no van resultar significatives.

O'Sullivan et al. (2003) van estudiar les diferències en el grau de reposicionament lumbosacre d'una mostra formada per 15 subjectes amb dolor crònic i inestabilitat lumbar respecte d'un grup de 15 subjectes asimptomàtics.

Des de la sedestació en posició de flexió màxima relaxada, se'ls va demanar reproduir la posició neutra 5 cops, separats per un descans en la posició inicial. Els resultats van demostrar que la capacitat de les persones amb simptomatologia va ser significativament inferior, afirmant la deficiència en la propiocepció conscient d'aquest grup.

Reeves et al. (2005) van estudiar com el mal d'esquena podia afectar a l'activitat reflexa de la musculatura que envolta la zona lumbar. Van observar quins eren els períodes de latència de la musculatura superficial anterior i posterior de la CV lumbar. Es va sotmetre als membres de la mostra a desestabilitzacions en sentit anteroposterior i lateral.



Havien de mantenir-se estables amb una contracció isomètrica la musculatura monitoritzada. Es va observar que el període de latència, entre l'estímul de desestabilització i la resposta motora, augmentava en els membres de la mostra amb mal d'esquena, respecte del grup control de subjectes sans. La musculatura més afectada va ser la paravertebral lumbar, que demostrava signes de fatiga molt abans que la musculatura anterior en els membres amb mal d'esquena.

La presència de dolor també altera la cinemàtica i la coordinació de la musculatura lumbar, limitant l'amplitud de moviment i reduint la eficiència d'aquesta musculatura (Wong i Lee, 2004; Shum, Crosbie i Lee, 2005 a i b, 2007 a i b)

En canvi, a l'estudi realitzat per Pai et al. (2005), l'anàlisi de la relació entre els membres simptomàtics i els asimptomàtics, en sedestació, no va donar diferències significatives.

Sembla que la presència de dolor no sempre és un factor que disminueix la propiocepció conscient de la CV lumbar, és més, millorant la propiocepció es pot disminuir el dolor i millorar la funció de l'articulació compromesa (Lephart i Fu, 2000).

3.5 Avaluació de la propiocepció conscient de la CV lumbar

3.5.1 Avaluació clínica funcional visual amb el suport de vídeo

La utilització de material audiovisual com a únic suport per a l'avaluació de la propiocepció de la CV lumbar és poc freqüent. Gill i Callaghan (1998) van fer-ho servir per a donar un feedback de la posició vertebral que la mostra havia de reproduir, mitjançant la visualització de la seva postura en una pantalla d'ordinador. La imatge s'enviava des d'una càmera digital que enregistrava el moviment des d'una perspectiva sagital.

La utilització del vídeo, com a suport visual durant la realització o repetició de moviments, activa les neurones mirall, les quals s'ha demostrat que són les responsables dels mecanismes d'imitació del gest observat, sense que aquest es realitzi necessàriament de forma conscient ni amb la informació dels receptors propioceptius. Aquest és un factor que contaminaria el resultat de les proves que pretenen avaluar la propiocepció de forma aïllada (Rizzolatti, 1994; Gallese et al., 1996; Montero, 2006).

3.5.2 Avaluació amb l'aparell validat per Taimela et al. (1999)

Taimela et al. (1999) van validar un instrument per avaluar la propiocepció de la “zona mitja” del tronc, que consistia en la fixació del tòrax a un banc, amb la persona asseguda, i un sistema que provocava la rotació de la superfície de sedestació. L'aparell estava dissenyat per a provocar rotacions passives del tronc, respecte d'un eix vertical que passava pels cossos de L4 i L5.

El tòrax es fixava amb un cinturó de seguretat d'automòbil per eliminar la participació del sistema vestibular en els moviments del cap. Es van eliminar els sorolls i vibracions del motor que movia la plataforma de sedestació per no interferir en la percepció del seu moviment, i es va anul·lar la participació visual amb la utilització d'una màscara negra sobre els ulls. El mateix aparell va ser utilitzat per Zazulak, Hewett, Reeves, Goldberg i Cholewicki (2007) per avaluar els efectes de la propiocepció de la zona mitja del cos en les lesions de genoll.

3.5.3 Avaluació amb l'aparell patentat per Pai et al. (2005)

Pai et al. (2005) van patentar un instrument de mesura de la propiocepció de la CV cervicodorsal, que consideren imprescindible per l'avaluació de la seva pèrdua o de la

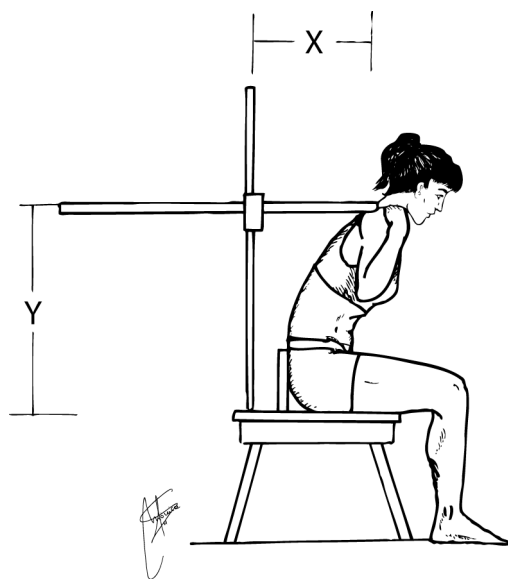
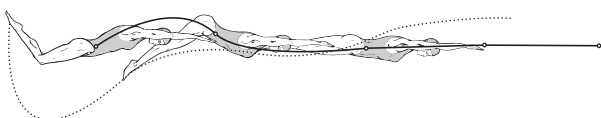


Fig 42. Aparell patentat per a la mesura de la propiocepció de la CV (Adaptat de Pai et al., 2005)

possible millora. Van mesurar els moviments de flexoextensió entre C7 i T4 i el sacre (Fig. 42). El mètode, no invasiu, de senzilla aplicació i econòmic, avalua la propiocepció a partir de la comparació de la posició articular percebuda, expressada verbalment pels membres de la mostra, amb la enregistrada per l'investigador.

El test consisteix en calcular la sensibilitat de la posició articular de la CV en sedestació. Des de la posició inicial, asseguts sobre un tamboret amb els peus mirant endavant separats a l'alçada dels malucs i les mans sobre les espatlles ipsolaterals, els subjectes s'han d'inclinar endavant tot el que puguin, mirant de mantenir el coll en posició neutre.



Després, han de buscar la posició que correspon als 2/3 de la flexió aconseguida. Es mesuren la distància horitzontal que correspon a la distància des de la columna central vertical de l'aparell fins el punt marcat a l'esquena, a nivell de C7-T4, i la distància vertical des de la barra horitzontal fins el punt de recolzament de la zona sacra (Fig. 42).

L'angle de moviment de cada repetició es calcula amb un full de càlcul en què s'ha integrat l'equació trigonomètrica $\text{Theta} = \text{Tan}^{-1} x/y$.

Per a validar l'aparell, van mesurar la capacitat de reposicionament de la CV en persones sanes, comparant els resultats del seu mètode amb els d'altres mètodes publicats per Newcomer et al. (2000 a i b), i comparant els resultats del seu mètode entre subjectes asimptomàtics i amb simptomatologia de dolor lumbar segons els resultats del test d'Oswestry (Fairbank, Couper, Davies, O'Brien, 1980; Fairbank i Pynsent, 2000).

3.5.4 Avaluació amb dinamòmetres isocinètics

L'avaluació de la propiocepció de la CV amb dinamòmetres isocinètics es fa en posicions de decúbit o sedestació. En decúbit lateral per avaluar les posicions o moviments d'inclinació lateral, i en decúbit supí o en sedestació per avaluar la de flexió i extensió.

Es col·loca als membres de la mostra de manera que L3 se situï en el fulcre de moviment d'una taula de massatge, fixada als braços mòbils del dinamòmetre computeritzat. El tronc i les cuixes es fixen amb corretges a la taula, per evitar els seus desplaçaments durant l'avaluació.

Hjortskov, Hye-Knudsen i Fallentin (2005) el van utilitzar en un estudi per avaluar la mesura en la que l'activació del sistema nerviós simpàtic afectava a la propiocepció de la CV lumbar. Els membres de la mostra estaven asseguts a una mena de seient de cotxe, mogut pels braços del dinamòmetre, mentre les seves espatlles i cuixes romanien subjectes amb corretges del mateix seient. Van comparar la capacitat de detectar, de forma passiva i activa, la posició de quatre amplituds de moviment de la CV lumbar en el pla sagital (a 10°, 20° i 30° de flexió lumbar), mentre el dinamòmetre es movia a una velocitat de 10°/s. Per avaluar la capacitat de reposicionament, la mostra havia d'intentar col·locar-se en els graus de posició indicats, i per avaluar la capacitat de detecció passiva, la cadira els movia i havien de prémer un botó quan sentissin que passaven per les amplituds de moviment especificades. La mostra va ser avaluada en dues sessions, separades per un període de dos a quatre dies. Una part de la mostra es va sotmetre a un període "amb estrès" i a un altre període "sense estrès", separats per un temps de 12 minuts.

Van observar que, tot i que els nivells d'arousal es veien altament afectats per l'estrès, no va provocar canvis en la precisió del reposicionament actiu i passiu de la CV lumbar, no podent afirmar la seva hipòtesi de que els fusos musculars disminueixen la seva sensibilitat quan augmenta l'activació del sistema nerviós simpàtic, tal com s'havia demostrat en estudis amb animals.

3.5.5 Electrogoniòmetre i flexòmetres

Laskowski et al. (2000) van avaluar la percepció cinestèsica de la CV lumbar amb un electrogoniòmetre adherit als braços d'un dinamòmetre isocinètic, amb els membres de la mostra en decúbit lateral sobre una taula articulada a nivell de L3. No s'han trobat altres estudis que hagin utilitzat aquests instruments de forma aïllada per a l'avaluació específica de la propiocepció de la CV lumbar.

3.5.6 Electromiografia

L'electromiografia no avalua directament les variables de precisió de reposicionament ni capacitat per detectar el moviment articular, però s'ha utilitzat per avaluar la resposta motora de la musculatura lumbar davant activitats que posen en compromís l'estabilitat del raquis o l'activitat propioceptiva reflexa.

Cholewicki et al. (2000) van estudiar la capacitat de control postural de la CV lumbar en la posició de sedestació sobre una plataforma inestable. Van modificar la inestabilitat de la plataforma utilitzant mitges esferes de diferents radis, de manera que quant major era el radi major era la desestabilització que provocava seure sobre la plataforma.

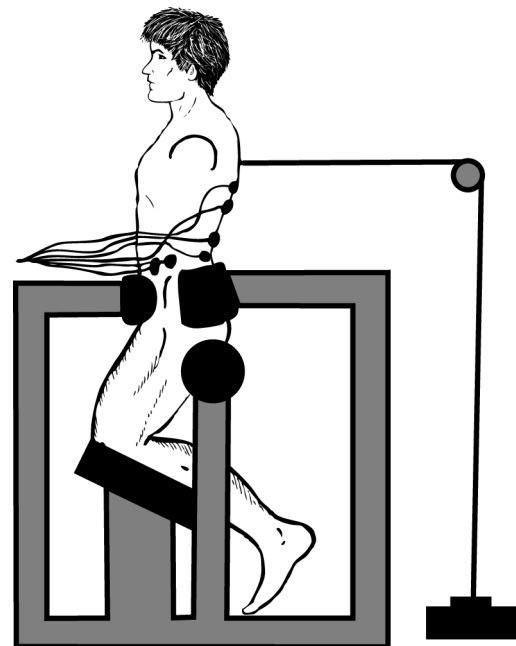
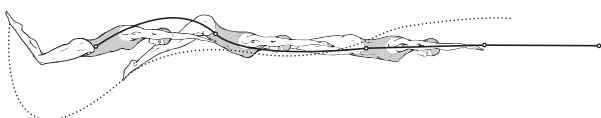


Fig 43. Sistema d'avaluació de l'activitat reflexa (Adaptat de Reeves et al., 2005)



Van mesurar els desplaçaments del punt de recolzament de les bases inestables amb una plataforma de forces tridimensionals i la resposta de la musculatura del tronc en accions de cocontracció amb electromiografia de superfície a la musculatura anterior i posterior de la CV lumbar. El registre electromiogràfic va permetre estudiar els temps de latència en la resposta i la sinergia d'aquesta musculatura davant de les diferents situacions d'inestabilitat, en subjectes sans i amb mal d'esquena.

Reeves et al. (2004) van avaluar la resposta reflexa de la musculatura anterior i posterior de la CV lumbar amb electromiografia, amb els subjectes de la mostra en sedestació isquiàtica i amb un suport de recolzament addicional en els genolls. Van provocar la desestabilització amb una resistència externa que empentava el tòrax dels membres de la mostra al voltant del tronc, a l'alçada de la dotzena vèrtebra dorsal (Fig. 43).

3.5.7 Anàlisi tridimensional computeritzada

L'anàlisi tridimensional computeritzada del moviment és un dels mètodes més utilitzats per a l'avaluació de la propiocepció. Els instruments més freqüents en les recerques són el Vicon-612© i el 3Space Track©.

El 3Space Track s'utilitza a diversos estudis de la propiocepció de la CV lumbar, donat que ha demostrat ser un dels instruments de mesura de l'amplitud de moviment vertebral que més s'ajusta a les mesures realitzades amb radiografia simple (Hindle et al., 1990; Pearcy, 1993; Ordway et al., 1997; Newcomer et al., 2000 a i b, 2001; Shum et al., 2005 a i b, 2007 a i b; entre d'altres).

Newcomer et al. (2000 a i b) el van utilitzar per avaluar l'error de reposicionament de la CV lumbar, entre els nivells vertebrals de D10 i S2, en els moviments de flexió, extensió i inclinació lateral. Van triar la posició de bipedestació, sense cap mena de subjecció a les extremitats inferiors, com a posició inicial. Demanaven realitzar la màxima amplitud de moviment en les tres posicions i cercar el 30%, 60% i 90% de cadascuna, mantenint-les 2s. Després havien de recuperar la posició inicial i mirar de reproduir les posicions en un període que no excedia els 5s. Van analitzar les diferències entre l'error de reposicionament dels subjectes asimptomàtics respecte els que tenien mal d'esquena, els resultats amb els ulls oberts respecte dels ulls tancats i les diferències entre sexes. Els resultats d'aquest estudi van demostrar que no hi havien diferències significatives entre els grups comparats.

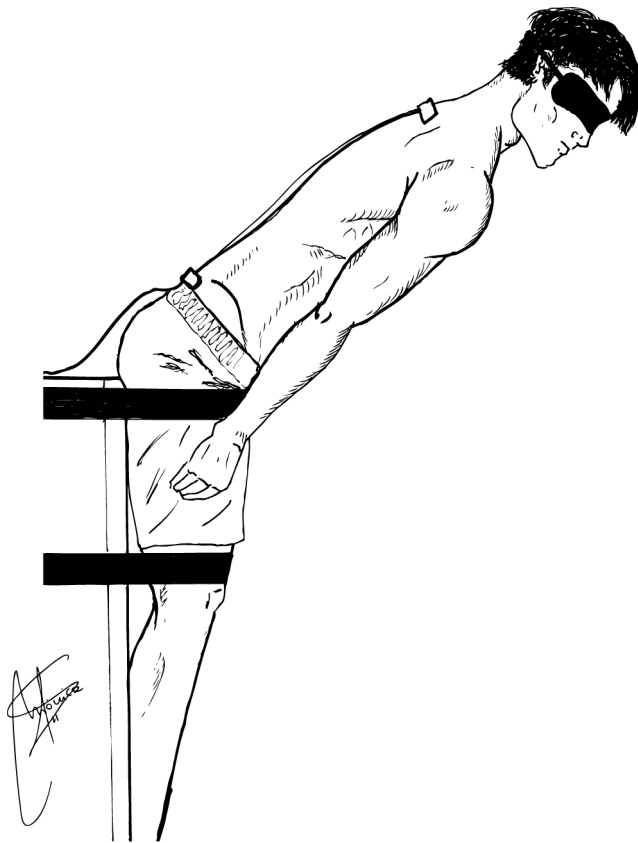


Fig 44. Posició per a l'avaluació de la propiocepció de la CV lumbar (Adaptat de Newcomer et al., 2000 a i b, 2001)

El mateix any va realitzar un estudi similar des de la posició de bipedestació i amb les extremitats inferiors subjectes amb corretges a l'alçada del maluc, per sobre del genoll (Fig. 44). En aquesta situació, els membres de la mostra amb mal d'esquena van tenir major errada de reposicionament durant els moviments de flexió que d'extensió. Exceptuant aquesta diferència, la resta de resultats van ser similars als de l'anterior estudi.

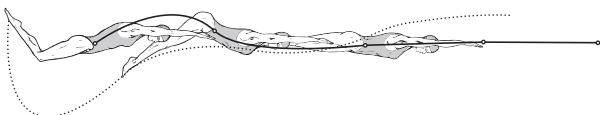
En trets generals, les mitjanes de l'errada absoluta van donar valors de 3.2° en la repetició de les posicions de flexió en el grup control i de 5.2° en el subjectes amb mal d'esquena.

Les errades en la recerca de les posicions d'extensió lumbar van presentar mitjanes de 4.3° al grup control i de 2.6° al grup de la mostra amb mal d'esquena. Les dones van enregistrar errades de $6.1 \pm 2.0^\circ$ pels moviments de flexió i de $4.0 \pm 1.8^\circ$ en els d'extensió. Tot i la diferència entre les errades per gènere, aquestes no van ser estadísticament significatives.

Newcomer et al. (2001) van utilitzar el 3Space Tracker per calcular les errades de reposicionament utilitzant una faixa lumbar i sense utilitzar-la, amb el mateix protocol de l'estudi anterior. Van poder observar que l'errada era menor amb una faixa en el grup amb mal d'esquena i només en la inclinació lateral del grup control.

Atribueixen el resultat a una estimulació tàctil que disminueix el llindar dels receptors cutanis, col·laborant a millorar la informació sobre la posició del tronc.

VanDaele et al. (2007) van realitzar un estudi a on s'avaluava la capacitat de reposicionament de la CV lumbar, en sedestació sobre una plataforma inestable, sincronitzant l'anàlisi tridimensional (Vicon-612®), de la CV i de les extremitats inferiors, amb l'enregistrament de les pressions exercides per la planta dels peus una plataforma de forces Kistler®.



Es van col·locar 13 marcadors reflectants ubicats per tot el cos (a les apòfisi espinoses de C7, D7 i L3, a la part posterior dels acromis, a la part més alta de les crestes ilíaqües, a les espines ilíaqües posteriors i superiors, a les tuberositats anteriors de la tibia i a la part superficial i lateral dels mal·lèols peroneals) i van analitzar els moviments de la pelvis i del tronc. Es van mesurar les amplituds de moviment angular i les velocitats angulars durant els moviments de flexió, extensió, inclinacions laterals i rotacions del tronc.

Van ser enregistrades les dades de tres repeticions consecutives, de 40s, durant la realització de quatre postures de dificultat progressiva. Abans de realitzar el test es va registrar la situació de repòs en sedestació sobre la plataforma va durant 5s (Fig. 45).

La capacitat de reproducció de les posicions articulars sol·licitades en les tres repeticions va ser escassa i també la dels resultats entre el test i el retest. La manca de reproductibilitat intertest i intratest va ser atribuïda a la manca d'un procés d'aprenentatge i a la excessiva dificultat per realitzar els moviments sol·licitats quan era la primera vegada que es seia sobre la plataforma inestable utilitzada (VanDaele et al., 2007).

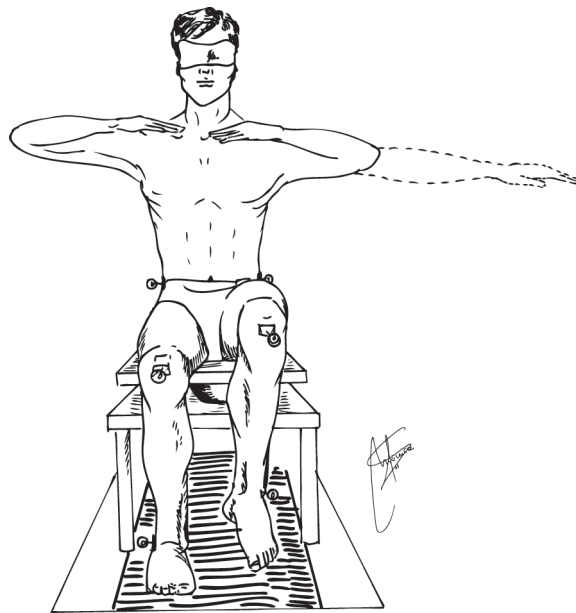


Fig 45. Posicions i moviment sol·licitats al test d'avaluació de la propiocepció sobre plat de Freeman (Adaptat de VanDaele et al, 2007)



Capítol 4

Entrenament de
la Propiocepció

4. Entrenament de la propiocepció

4.1 Concepte d'entrenament

El concepte d'entrenament ha estat altament estudiat pels professionals implicats en la millora o en la docència de tot el relacionat amb el rendiment esportiu.

Esdevé un concepte molt ampli, que no només té relació amb l'esport, sinó que abasta tots els àmbits en els que s'apliquin les ciències que estudien el moviment, l'anatomia, la fisiologia, la psicologia i la sociologia de l'ésser humà (Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007).

L'entrenament ha estat definit com a una activitat esportiva sistemàtica de llarga durada, progressiva i individualitzada, que té com a objectiu la millora de les funcions humanes, fisiològiques i psicològiques, per a poder superar tasques més exigents (Grosser, Brüggeman i Zintl, 1989; Bompa, 2007).

Altres consideren l'entrenament com a un procés pedagògic i educatiu, caracteritzat per la suficient repetició i intensitat de l'exercici físic, aplicat de forma progressiva, que estimuli el procés fisiològic de supercompensació de l'organisme, afavorint l'augment de la capacitat física, psíquica, tècnica i tàctica, i millorant el seu rendiment (Platonov, 2001).

També s'ha definit com a un procés complex d'actuacions amb la finalitat d'ensenyar i perfeccionar la tècnica esportiva, de forma ordenada i individualitzada, que busca el desenvolupament de les qualitats psíquiques i físiques, orientades habitualment a la millora del rendiment esportiu. En aquest sentit, quan major sigui el nivell de l'esportista més complicat resulta l'assoliment de millores significatives en el rendiment (Verkhoshansky, 2002).

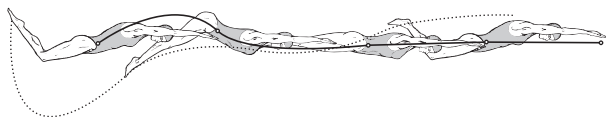
Les bases de la teoria de l'entrenament han estat construïdes a partir, fonamentalment, de les ciències que estudien l'individu des de una perspectiva biomèdica i, poc a poc, s'ha anat nodrint d'altres ciències com la psicologia, la sociologia, la pedagogia, la història i l'estadística, entre d'altres, que han ajudat a completar el coneixement sobre els factors que intervenen en el rendiment esportiu de l'ésser humà (Chollet, 2003; Bompa, 2007).

La teoria de l'entrenament en l'actualitat es basa en el fonament científic objectiu, que mira d'evitar que es reproduïxin les errades i les especulacions del passat, utilitzant els fets empírics i posant en dubte les suposicions.

Avui en dia, els esportistes professionals arriben a tenir un nivell físic tan elevat que és molt difícil superar-lo. Cada cop hi ha més nivell tècnic i tàctic constant, més control psicològic de l'estrès competitiu i més factors que accentuen la motivació extrínseca i els aspectes volitius dels esportistes. La tecnologia també ha aportat nous materials per generar sobrecàrrega, per reduir els esforços i millorar el rendiment.

Amb l'augment del coneixement sobre els factors que condicionen el rendiment dels esportistes, no només augmenten els èxits sinó que es fa més difícil la tasca de l'entrenador, pel qui és tot un repte aconseguir millores significatives en l'alt nivell. Les dificultats propicien que cada cop hi hagin més recerques que fugen dels mètodes tradicionals i busquen la manera de millorar en els detalls, més precisos, que condicionen el rendiment esportiu professional (Verkhoshansky, 2002).

Enguany es descriuen tres tendències generals que busquen millorar la metodologia i el coneixement sobre les qüestions que condicionen l'excel·lència esportiva: la tendència pedagògica, la teòric-pedagògica i la científic-aplicada.



La tendència pedagògica respon al què, al com i quan s'han d'aplicar les càrregues. Els seus seguidors tenen una visió ampla dels problemes i la sinterització d'elements vinculats a les ciències socials, elaborant el que es coneix com a teoria general de l'esport, que se centra més en la consideració de tots els detalls que condicionen la preparació i l'estat del propi esportista.

La tendència teoricopedagògica elabora tractats i compendis teòrics sobre els fonaments fisiològics i formulen propostes concretes d'organització de l'entrenament, com el concepte de la periodització.

La darrera tendència, la científicoplicada, es centra en l'estudi en profunditat dels factors, mecanismes i condicions que afecten el rendiment dins de la biologia, la fisiologia muscular, la biomecànica i la fisiologia neurològica, entre d'altres. La recerca realitzada dins d'aquesta tendència ha produït nombroses publicacions a on es reuneixen informacions teoricopràctiques d'estudis experimentals, tant als laboratoris com dins el mateix entrenament o competició.

Tot i que han contribuït a la millora del coneixement aplicat amb detalls del rendiment de les modalitats esportives, encara es considera un repte per l'entrenador la adequada combinació de tots aquest coneixements en el programa d'entrenament (Verkhoshansky, 2002; Bomba, 2007; Cometti, 2007).

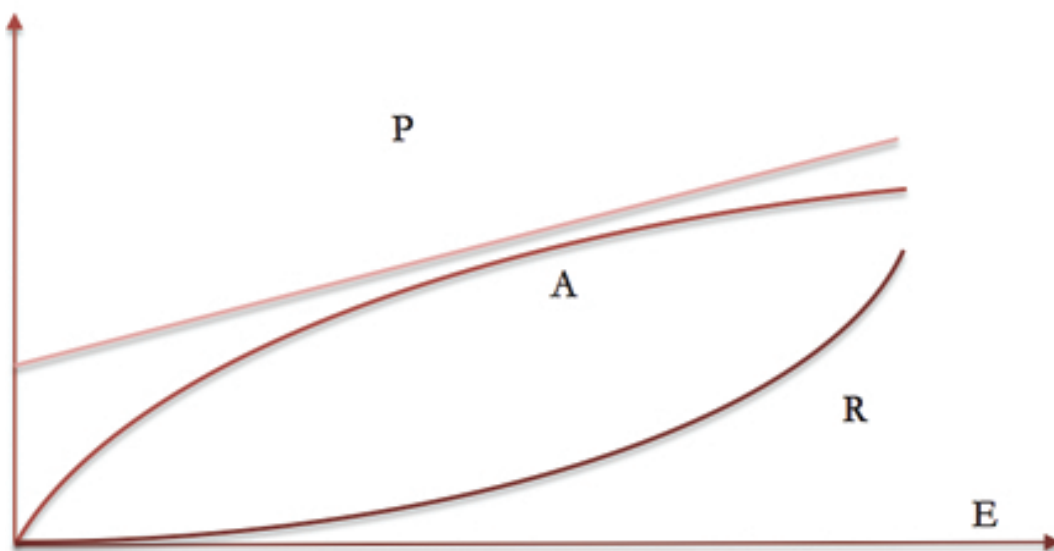


Fig 46. Llei del procés del perfeccionament esportiu (E), Potencial motriu (P), Aprofitament del potencial (A) i rendiment esportiu (R) (Verkhoshansky, 2002)

En trets generals, l'èxit esportiu depèn de l'augment del potencial motriu de l'esportista i de la seva capacitat per aprofitar de manera eficaç aquest potencial, ambdues considerades com la constant bàsica del procés d'entrenament que provoca un augment del rendiment (Fig. 46).

S'ha demostrat que per augmentar el potencial motriu de l'esportista és necessari un augment progressiu de l'estímul d'entrenament. Per aquest motiu es considera que entrenar per millorar el rendiment esportiu suposa sotmetre's a estímuls d'intensitat superior al que l'organisme està acostumat a suportar, anomenats també estímuls epicrítics (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002).

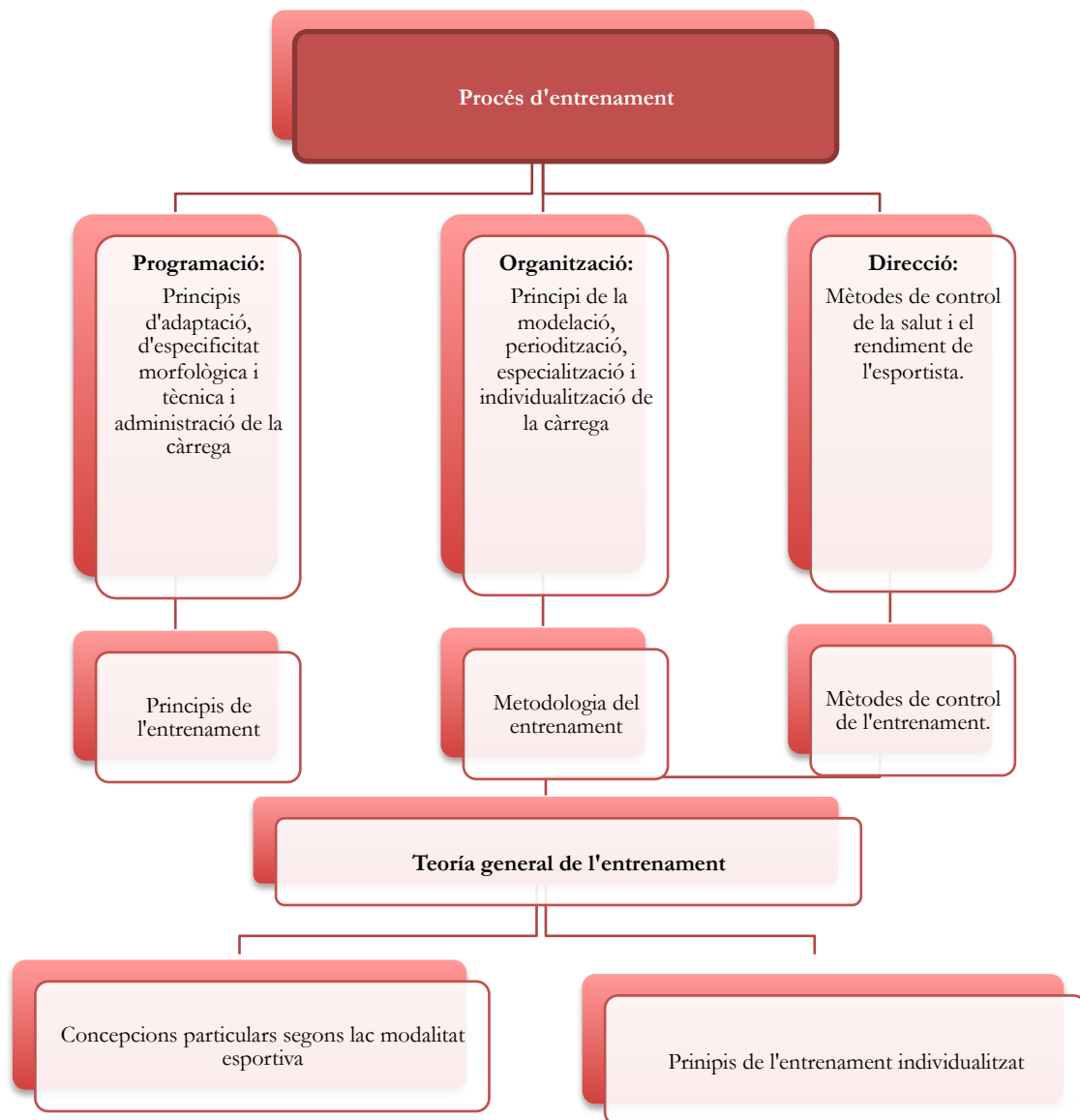
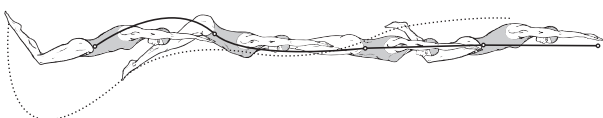


Fig 47. Factors que l'entrenador ha de conèixer (Adaptat de Verkhoshansky, 2002)



El procés d'entrenament requereix del coneixement multidimensional (Fig. 47), d'aspectes tant físics, fisiològics, psicològics i socials com d'altres de tipus organitzatiu (Verkhoshansky, 2002).

4.2 Teoria i principis de l'entrenament

Davant del repte per organitzar tot el coneixement que ajuda a l'esportista a perfeccionar el seu nivell, han sorgit un seguit de tractats i publicacions que ajuden a l'entrenador a prioritzar i a aplicar de manera ordenada les propostes d'entrenament, és l'anomenada teoria i metodologia de l'entrenament esportiu.

La teoria de l'entrenament està fonamentada en base als continguts i els criteris de les ciències que estudien el rendiment del cos humà, i dels procediments per assolir els objectius dels esportistes (Fig. 48).

Dins de l'esport aquests objectius són diversos i han estat descrits per diversos autors de renom dins la ciència de l'esport (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007; Cometti, 2007; entre d'altres).

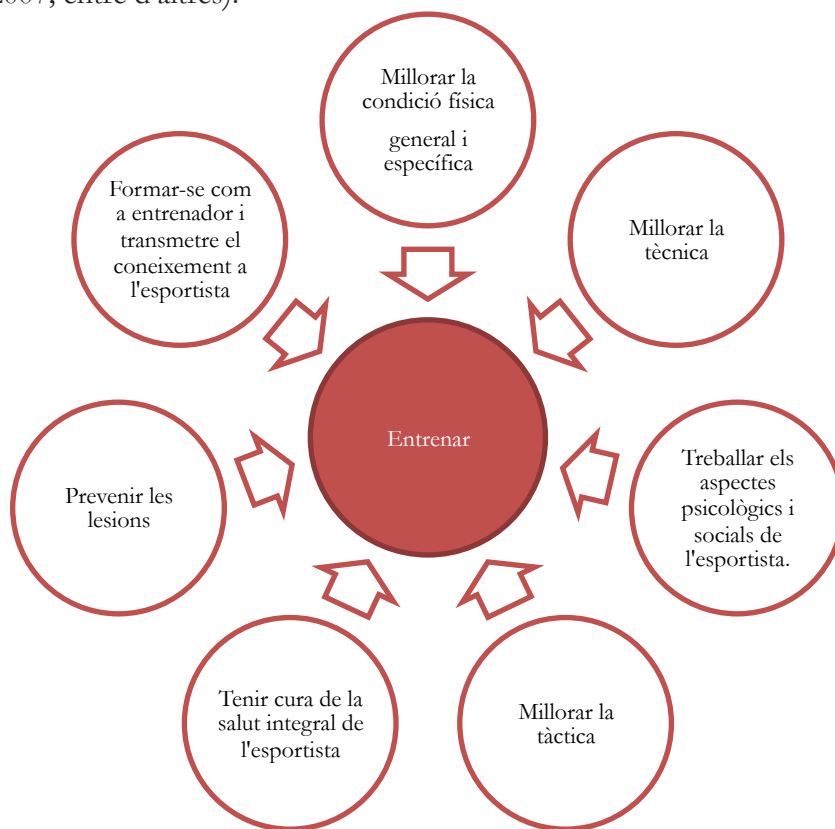


Fig 48. Objectius generals de l'entrenament

En trets generals, s'ha de millorar la condició física general i específica de l'esportista, treballar els aspectes psicològics i socials que ajuden a aprofitar les millores físiques aconseguides, com ara la gestió de l'estrès competitiu i la cohesió d'equip.

Cal controlar la salut de l'esportista i generar espais per a la prevenció de lesions, facilitant el seguiment del programa d'entrenament establert. En els esports d'oposició serà imprescindible pensar en millorar la tàctica.

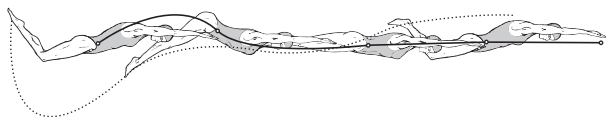
L'entrenador ha de plantejar-se la formació continuada per actualitzar els seus coneixements sobre els factors que poden ajudar a millorar el rendiment dels seus esportistes. Per finalitzar, la millora de la tècnica es destaca com a un dels eixos principals de l'entrenament específic a tots els esports (Grosser et al., 1989; Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Chollet, 2003; Bompa, 2007; Cuartero et al., 2011, entre d'altres).

Davant de l'extensa quantitat d'accions a emprendre per assolir l'èxit esportiu, sorgeix l'anomenada metodologia de l'entrenament. Basada en les ciències que estudien des de diferents perspectives el rendiment esportiu, mira de proporcionar una guia i algunes regles sobre com organitzar de forma sistemàtica l'entrenament esportiu: els principis de l'entrenament (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008; entre d'altres).

Es consideren una eina pràctica per l'entrenador, que actua com a pont d'unió entre la teoria i l'experiència pràctica, sempre en la recerca del fenomen de la supercompensació o d'adaptació positiva a un estímul d'entrenament (Grosser et al., 1989).

Tot i ser la base de molts dels plantejaments contemporanis de l'entrenament dins l'esport, no sempre satisfan les exigències i especificitats dels esportistes d'alt nivell en l'actualitat, i s'han de revisar per a respectar el bioritme dels esportistes entrenats, en constant variació (Verkhoshansky, 2002).

S'entenen com a principis a les necessitats concretes, que reflecteixen determinades lleis en forma de fonaments orientats a la pràctica, a les exigències i a les regles de la pròpia activitat (Grosser et al., 1989). Els principis de l'entrenament es descriuen de manera separada, però s'accepta que formen part d'un concepte general que no ha de tractar-se de forma estanca. Faciliten aspectes organitzatius així com alguns de caire més funcional, com puguin ser els mètodes, mitjans, factors condicionants i components de l'entrenament (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008).



4.2.1 Principi de participació activa i conscient de l'entrenament

Aquest principi està basat en la necessitat de l'esportista se senti partícip del procés d'entrenament dia a dia. Contempla la necessitat de que l'entrenador sigui capaç de transmetre la informació científica sintetitzada als seus esportistes, de manera que entenguin millor els objectius plantejats, a diferents terminis, i siguin més conscients i responsables del que estan fent.

Implica una necessitat d'organització del objectius, per part de l'entrenador, d'una manera realista i assequible al nivell dels esportistes amb els que tracta.

La planificació de tests, de forma regular, ajudarà a controlar l'assoliment o no dels objectius plantejats i esdevindrà un factor d'implicació i motivació tant de l'entrenador com dels esportistes (Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008).

4.2.2 Principi del desenvolupament multilateral

El contingut del programa d'entrenament ha de contemplar la pluralitat en la participació dels diferents sistemes corporals en l'acció entrenada, així com l'estat de maduració d'aquests sistemes en funció de l'edat cronològica i biològica. Es proposa l'administració de càrregues d'entrenament variades i poc específiques en els períodes d'iniciació esportiva, per facilitar l'estimulació de tots els sistemes corporals sense sobrecarregar-ne cap en concret, i augmentar el tant per cent de l'especificitat de l'entrenament en edats més avançades i nivells esportius més professionalitzats. Es coneix que l'especialització avançada genera millores en el rendiment a curt termini i aquest factor pot provocar la pèrdua de la visió multilateral de l'entrenament. Està demostrat que, si no es cremen etapes en les edats de maduració fisiològica i psicològica, es provoquen rendiments més estables, s'allarga la vida esportiva i es redueix el risc de lesió (Grosser et al., 1989; Bompa, 2007).

En l'actualitat, l'activitat de preparació general ha deixat de desenvolupar una part important de l'entrenament dels esportistes d'alt nivell i es fa servir més com a un mitjà de descans actiu.

S'ha demostrat que si en edats infantils i juvenils s'executen grans volums de treball de preparació general que no es correspon amb les exigències de la futura especialització es frena el desenvolupament de les aptituds innates dels esportistes i es limita la seva capacitat d'èxit en l'esport concret (Platonov, 2001).

4.2.3 Principi d'especialització

Quan es tracta d'esportistes d'un cert nivell o experiència, l'especialització de la càrrega és necessària per afinar en les necessitats concretes de millora o rendiment d'un esport determinat. Aquesta facilita les adaptacions morfològiques i funcionals de l'organisme adequades al tipus d'esforç que es realitza. Ara bé, s'ha de tenir en compte que l'especialització esportiva precoç pot provocar la saturació i abandonament de molts esportistes i la propensió a lesions, com a conseqüència de l'administració d'una càrrega forçada (Bomba, 2007; Cancela et al., 2008).

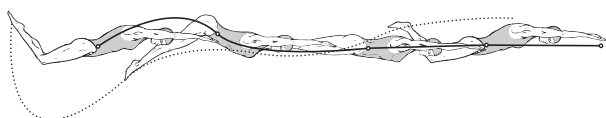
Una de les estratègies contemporànies per aconseguir fixar els processos d'entrenament dirigits a l'especialització, és la d'augmentar l'activitat competitiva, que ajuda a mobilitzar l'organisme i a estimular els processos d'adaptació i a augmentar la eficàcia de l'entrenament específic (Platonov, 2001).

4.2.4 Principi d'individualització

És conegut que la individualització de l'entrenament és un dels principis més contemplats en l'actualitat. Fa referència al tractament personalitzat que l'entrenador ha de fer amb els seus esportistes. Aquest ha de respondre a la planificació segons el seu nivell de tolerància, les particularitats de les seves habilitats, al potencial o capacitat d'aprenentatge dels estímuls proposats, així com a les característiques específiques de l'esport i disciplina concreta entrenada.

S'ha de considerar la individualització com a un mitjà a partir del qual es pot avaluar objectivament i observar subjectivament a l'esportista. En concret, està relacionat amb les diferències entre les seves edats cronològica i biològica, el morfotipus, el nivell de maduració del sistema nerviós, l'experiència i la capacitat per tolerar l'entrenament, així com del nivell de la seva condició física i les alteracions d'aquest nivell per problemes de salut (malalties o lesions).

La individualització també s'ha de donar adaptant el tipus de treball físic a l'estat de maduració general de l'organisme i tenint en compte les diferències de les adaptacions a la càrrega segons el sexe (Platonov, 2001; Bompa 2007).



4.2.5 Principi de varietat o versatilitat de la càrrega

És important, i segons els esports molt difícil, l'organització de l'entrenament i del contingut de les sessions d'una manera variada i, si és possible, divertida. En l'esport d'alt rendiment la repetició del tipus de sessió o d'exercicis condueix a la pèrdua de motivació per part dels esportistes, especialment en les especialitats de resistència.

La capacitat creativa de l'entrenador és cabdal en aquests casos i ajuda a mantenir el nivell d'atenció i implicació a les sessions d'entrenament. En aquest sentit, la introducció del joc pot ser un factor que intervingui de manera positiva en la variació de la càrrega i la reducció de la monotonia de la sessió (Grosser et al., 1989; Bompa, 2007; Cancela, 2008).

Una de les estratègies actuals per aconseguir la variació és l'ampliació dels mitjans no tradicionals de preparació, fent servir aparells i procediments metodològics que permeten augmentar els recursos, tant de l'entrenador com la pròpia condició física dels esportistes (Platonov, 2001).

4.2.6 Principi de modulació del procés d'entrenament

En l'actualitat ha augmentat la tendència a adequar l'entrenament al programa competitiu i a les característiques específiques de les competicions, no només en quant a les particularitats del programa de competició, sinó també a les peculiaritats geogràfiques i climàtiques de la ciutat a on es realitza.

Es mira d'incloure activitats que simulin les característiques ambientals i físiques de la competició per a la que s'està entrenant (Platonov, 2001; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008).

4.2.7 Principi de progressió de la càrrega i de sobrecàrrega

El principi de progressió s'aplica a qualsevol càrrega d'entrenament administrada, des de les més físiques i/o metabòliques fins a les més psicològiques i/o ambientals.

S'accepta que l'administració de qualsevol tipus de càrrega ha de ser gradual i progressiva en augment, tan dins del període d'entrenament com en la pròpia sessió.

Les estratègies de periodització ajuden a l'organització general de la càrrega de principi a fi del cicle. En funció dels objectius i el nivell dels esportistes, l'organització pot ajustar-se a períodes d'un any, en els nivells inferiors, dos anys en els casos d'esportistes que opten per participar en campionats del món o de quatre anys en els esportistes que apunten el seu rendiment màxim als JJOO. En qualsevol cas, l'administració de la càrrega ha d'augmentar a mesura que els esportistes s'adaptin i milloren la seva condició física i/o psíquica.

La sobrecàrrega controlada és imprescindible per no generar un estancament de l'estat de forma i facilitar els processos d'adaptació positiva de l'organisme. S'ha demostrat que si es realitza de forma esglaonada, i no lineal, l'entrenament esdevé més eficaç. Aquesta contempla els períodes de descàrrega, en els quals l'esportista descansa, es recupera i s'adapta a la càrrega (Bompa, 2007).

Per augmentar el rendiment és necessari un augment de la càrrega d'entrenament entre el 20 i el 40% per any, tenint cura de no sobrepassar els límits que poden suportar els diferents sistemes corporals. Cal assolir el límit segons la capacitat individual de cada esportista i generar un grau de cansament òptim sense arribar a l'esgotament total (Grosser et al., 1989).

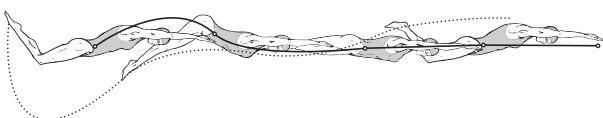
En trets generals, l'entrenador disposa de diferents estratègies per augmentar la càrrega de manera esglaonada i progressiva (Bompa, 2007):

- Augment de la freqüència d'entrenament: Per exemple, augmentant el nombre de sessions a la setmana.
- Augment del volum de càrrega per unitat d'entrenament mantenint la intensitat de l'estímul: e.g Sumant les hores d'entrenament a la setmana, o bé sumant els exercicis, metres, kilòmetres o rutines d'exercicis a la setmana.
- Augmentant la intensitat de l'estímul dins la unitat d'entrenament, comptabilitzant el nombre de sessions d'entrenament intenses per setmana.

Els coneixements sobre el comportament fisiològic, psicològic i mecànic del cos humà ajuden a establir criteris sobre com organitzar les sessions.

Es creu necessària la presència de parts en la pròpia sessió que facilitin la progressió ascendent i descendent de la càrrega diària, per facilitar el procés d'adaptació a l'esforç dels sistemes que treballen durant l'entrenament: l'escalfament i la tornada a la calma.

L'escalfament augmenta la temperatura corporal, millorant les característiques mecàniques dels biomaterials i la seva capacitat de suportar les tensions exercides durant la sessió d'entrenament.



També augmenta el ritme respiratori i cardíac, permetent que es facilitin els processos metabòlics cel·lulars necessaris per dur a terme l'esforç. La millora de la connexió neuromuscular, aconseguida durant l'escalfament, també es considera un factor que ajuda a prevenir contraccions desajustades a l'acció sol·licitada i, junt amb el canvi en el comportament mecànic dels biomaterials, a prevenir lesions. (Grosser et al., 1989; Cancela et al., 2008).

Els exercicis administrats dins de l'escalfament han de vetllar per l'escalfament dels grups musculars implicats en la tècnica esportiva i respectar les característiques de amplitud de moviment i velocitat d'execució de l'activitat posterior (Grosser et al., 1989; Cancela et al., 2008; Cuartero et al., 2010).

La tornada a la calma afavoreix la circulació de retorn, un cop finalitzada l'activitat central de l'entrenament, i arranca els processos naturals de recuperació postesforç que permetran rendir en el següent entrenament (Cancela et al., 2008).

4.2.8 Principi d'especificitat

Fa referència a la necessitat d'ajustar l'estímul o càrrega d'entrenament a les necessitats específiques de l'esforç que es pretén millorar. S'han de tenir en compte les característiques fisiològiques de l'esforç, en quant a via metabòlica predominant implicada, temps i intensitat del treball per estressar aquesta via metabòlica. És necessari conèixer i adequar les característiques del treball muscular a les tensions, en magnitud i velocitat, que es volen aconseguir millorar. És indispensable saber les amplituds de treball que requereix la tècnica esportiva, per treballar d'acord amb elles i facilitar la tècnica i, en conseqüència, la eficiència motora.

En els programes d'entrenament actuals predomina l'especificitat de l'esforç encarada a les característiques fisiològiques i no tant en les característiques mecàniques de l'activitat, considerades dins de les més importants pel rendiment esportiu (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007).

4.2.9 Principi d'entrenament a llarg termini

Es tracta del principi que considera que s'ha de plantejar l'entrenament per assolir fites progressives, a llarg termini i relacionades amb els objectius dels esportistes i amb les perspectives de projecció futura de la carrera esportiva.

Fa esment a la necessitat d'ajustar de manera racional el procés d'entrenament per no "cremar etapes" i per arribar en condicions als objectius futurs plantejats, sense generar pressions ni especialitzacions prematures (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002; Cancela et al., 2008; Cuartero et al., 2010).

4.2.10 Principi d'acció inversa

És tant important la correcta administració de la càrrega com el coneixement de la freqüència amb la que s'ha d'aplicar per a que es produeixi una adaptació positiva i no hi hagi una davallada de la condició física aconseguida.

Els efectes de l'entrenament són reversibles i depenen, la majoria dels casos, de la freqüència en la que s'administren i es combinen diferents tipus de càrrega.

Per exemple, les millores aconseguides amb l'entrenament de la força són ràpides, en tres setmanes a raó de dues sessions setmanals es poden observar millores significatives, però si es deixa d'administrar la càrrega més de 72h la davallada de la força aconseguida pot situar a l'esportista en un estat de forma inferior al de la sessió anterior (Cometti, 2007).

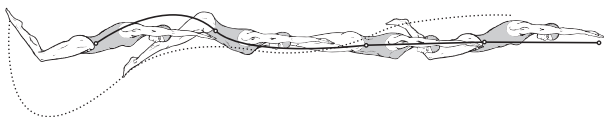
Cadascuna de les qualitats entrenables te unes particularitats específiques sobre els períodes en els que s'aconsegueix la seva millora i el temps que es triga a perdre's, en funció dels dies de descans o repòs entre sessions d'entrenament.

És imprescindible conèixer aquestes característiques per afavorir i mantenir, en la mesura del possible, les millores aconseguides (Cancela et al., 2008).

En ocasions és necessari facilitar períodes de regeneració als esportistes de més experiència i nivell, que han assolit un rendiment al llindar de les seves possibilitats màximes i pateixen un "estancament" o un descens del seu rendiment esportiu (Grosser et al., 1989).

4.2.11 Principi de continuïtat

Està relacionat amb els aspectes comentats al principi d'acció inversa i fa referència a la necessitat de repetir les activitats o exercicis el nombre suficient de vegades i de forma contínua per aconseguir les millores que es proposen. La suficiència en l'administració de la càrrega depèn del tipus d'adaptació buscada i és diferent en quant a la freqüència en la que es presenten les càrregues.



Es apropiat organitzar les sessions de manera que es mantingui l'efecte de supercompensació aconseguida i es permeti que la següent administració de l'estímul es doni en un estat de millora de la qualitat entrenada, i no en un moment de estancament o davallada (Grosser et al., 1989).

Només la repetició assegura la fixació d'hàbits i coneixements relacionats amb el rendiment esportiu i l'estabilitat de la tècnica i dels resultats esportius (Cancela et al., 2008).

El principi de continuïtat és especialment important en l'aplicació d'exercicis per millorar o aprendre una tècnica esportiva, sense la qual és impossible el rendiment en la majoria d'esports (Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008).

4.2.12 Principi d'adaptació

L'objectiu principal de qualsevol programa d'entrenament és el d'aconseguir que l'esportista s'adapti a les càrregues a les que se'l sotmet, ja siguin de caire metabòlic, fisiològic, físic com psicològic, millorant el seu rendiment.

L'adaptació es dur a terme quan es sotmet a l'organisme a un estímul per sobre del que "està acostumat" a suportar, o per sobre del llindar crític a partir del qual es posa en compromís l'homeòstasi de l'organisme. Aquesta estimulació provoca un procés de destrucció o catabolisme cel·lular durant l'entrenament, el qual engega un mecanisme de reconstrucció durant el descans que, progressivament, augmentarà la capacitat de l'organisme per suportar aquell tipus d'estímul, esdevenint el fenomen anomenat supercompensació (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008).

En trets generals, el procés d'adaptació s'aconsegueix creant la necessitat d'un major subministrament energètic per unitat de temps, abastint l'organisme dels nutrients necessaris per la seva recuperació postesforç i facilitant els descansos òptims per a que es recuperin i es sobrecompensin les cèl·lules afectades durant l'entrenament.

Es tracta d'augmentar de manera selectiva les possibilitats de treball de l'organisme, desenvolupant de forma quantitativa la capacitat de treball que millora una activitat motriu concreta, responsable de l'èxit esportiu (Verkhoshansky, 2002)

El procés d'adaptació es versàtil i requereix de l'adequació constant de l'estímul a mesura que l'organisme s'acostuma o s'adapta a ell. Obliga a augmentar progressivament l'estímul per a què es pugui seguir produint la sobre compensació de l'organisme i millori el funcionament del sistema o sistemes implicats en l'entrenament (Grosser et al., 1989; Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007).

4.2.13 Principi de periodització

Durant l'entrenament es succeeixen diversos estímuls alhora, que cal programar de manera adequada per a que no interfereixin negativament els uns amb els altres.

El principi de periodització estableix les guies sobre la manera d'ordenar l'administració de la càrrega en el temps, respecte dels objectius de rendiment que l'entrenador i els esportistes es proposen.

Tot i que, en principi, sembla ser una estructura tancada, la periodització facilita l'ordre i no hauria de tancar les portes a la reestructuració del programa d'entrenament en cas que sigui necessari, atenent als principis d'individualització i modulació, principalment (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002).

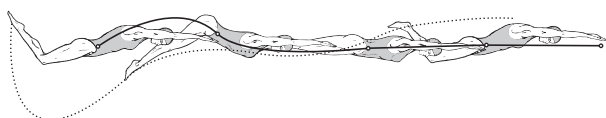
La periodització es defineix com a la planificació de l'entrenament d'acord amb la recerca del màxim pic de forma física en la competició o competicions seleccionades com a objectius principals dels esportistes. Gestiona la sobrecàrrega i descàrrega del organisme per controlar els nivells de fatiga i facilitar l'adaptació positiva. S'aconsegueix a partir de variació lògica i creativa dels mètodes, volums i intensitats d'entrenament (Turner, 2011).

A la natació competitiva està supeditada al gran nombre de competicions durant l'any, que impossibiliten el rendiment constant a tots els events. D'aquesta manera es dona per fet la competició en baix estat de forma o en situacions de sobrecàrrega o fatiga, centrant la preparació en aconseguir l'estat òptim de forma en una o dues competicions a l'any (Navarro i Rivas, 2001).

Les divisions i subdivisions dins de la programació de la temporada es coneixen com a macrocicles, mesocicles i microcicles d'entrenament (Fig. 49) (Navarro i Rivas, 2001; Platonov, 2001; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008; Ramírez, 2010).

Els **macrocicles** són les fases principals dins de cada temporada, orientats als objectius d'un any d'entrenament. La planificació anual en un sol macrocicle s'anomena unicíclica, en dos macrocicles bicíclica, en tres tricíclica i així successivament.

A la natació competitiva s'han organitzat les temporades en dos a cinc macrocicles. El model de cinc macrocicles va ser posat en marxa pels soviètics i consistia en la distribució de 10 setmanes per macrocicle, compost per 5 mesocicles (d'introducció, bàsic, de preparació especial, de precompetició i de competició) de 2 setmanes i 10 microcicles setmanals. L'estructura i contingut era constant amb la particularitat de que al final de cada macrocicle, coincidint amb la millora de l'estat de forma, augmentaven el volum i la intensitat de treball.



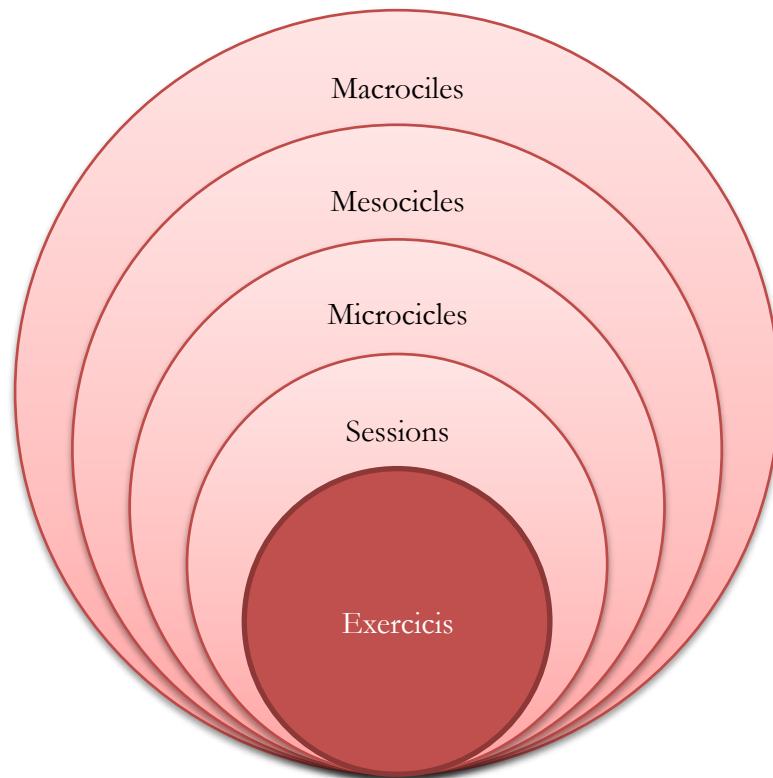


Fig 49. Estructura de la programació o periodització de l'entrenament

La competició important de l'any es realitzava al final del darrer macrocicle, després del qual hi havia un període transitori de 2 setmanes abans de començar la següent temporada. Aquest sistema organitzatiu tenia l'avantatge de poder regular la càrrega per poder tenir més pics de forma a l'any, però l'inconvenient de que el pic màxim de forma es donava a finals del tercer macrocicle, a 20 setmanes de la competició principal, de manera que el rendiment dins d'aquesta era més baix que el d'altres competicions de menor importància (Platonov, 2001).

Els models més contemporanis proposen l'organització en un, dos o tres macrocicles, depenent del nivell i edat dels esportistes entrenats. En línies generals, s'aconsella que l'entrenament dels nedadors més joves es plantegi sobre una base més general i amb menor nombre de competicions que els esportistes més veterans o d'elit. Per aquest motiu es proposen macrocicles unicíclics als esportistes més novells i bicíclics o tricíclics als més experimentats i de major nivell (Navarro i Rivas, 2001).

El model de 3 macrocicles, de 15 setmanes, es compon de 4 a 5 mesocicles, de 2 a 4 setmanes. Els mesocicles més llargs es proposen a principi i meitat de la temporada i els més curts al final per afavorir l'afinament o posta a punt prèvia a la competició important, al final del darrer macrocicle (Cuartero et al., 2010).

El model de dos macrocicles és el més popular a la natació competitiva dels nostres dies. El primer macrocicle és de 20 setmanes (de setembre a març) i el segon de 30 (de l'abril a l'agost).

Ambdós finalitzen amb una competició, essent la darrera competició la de major importància en el plantejament d'objectius, i disposen d'unes dues setmanes de descans al final del primer cicle (Cancela et al., 2008; Cuartero et al., 2010).

Els **mesocicles** són períodes, dins de cada macrocicle, en els que es mantenen les característiques de volum i intensitat d'entrenament. S'ha estudiat que la seva durada és la òptima per a l'organisme s'adapti eficaçment als volums i intensitats proposats. A la seva estructura general es destaquen tres períodes: de preparació, de competició i transició. El període de preparació està orientat a establir una base sòlida per la competició en el que es perfeccionen els hàbits motors i es desenvolupen del capacitats físiques, psíquiques i tàctiques. El període competitiu mira d'assolir un nivell òptim per competir i a mantenir-lo i el de transició a recuperar-se després de la competició (Platonov, 2001).

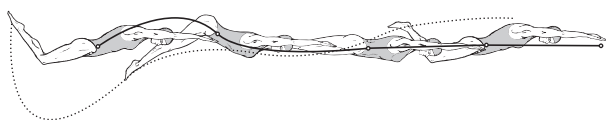
L'estructura del macrocicle, a on es planifiquen els mesocicles, ajuda a programar quins tipus de mesocicle respon millor a les necessitats o objectius del final del macrocicle en el que s'inclouen. Hi ha mesocicles d'introducció, bàsics, de preparació i control, mesocicles precompetició i de competició.

Els mesocicles d'introducció, com el seu nom indica, inicien a l'esportista en el treball específic de l'esport i estan compostats per exercicis de preparació física general i per la inclusió d'alguns exercicis de preparació més específica. Els mesocicles bàsics se centren en la preparació fisiològica, física, tècnica, tàctica i psicològica.

Els mesocicles de preparació i control se centren en la utilització d'exercicis que s'apropen a les característiques de volum i intensitat de la competició.

Els mesocicles de precompetició es destinen a polir aspectes treballats al mesocicle anterior i tenen una major càrrega de treball psíquic i tàctic. En funció de la ubicació d'aquest tipus de mesocicle respecte el calendari competitiu aquest es compona de microcicles més orientats a augmentar el nivell de preparació específica (els més llunyans a la competició), o bé a accelerar la recuperació i millorar l'eficàcia dels processos d'adaptació (els més propers a la competició).

Els mesocicles de competició, supeditats en nombre al calendari competitiu de cada esport, constitueixen les jornades de preparació a la competició i a la pròpia competició, a on l'especificitat de la càrrega és màxima (Platonov, 2001). En total, els mesocicles estan



composats de 3 a 6 setmanes, malgrat s'ha trobat que les millores més importants dins de cadascun d'ells es produeixen en les dues primeres setmanes i no tant a la tercera o quarta, i els més utilitzats són els de 4 setmanes (Platonov, 2001; Bompa, 2007; Cancela et al., 2008).

A la natació competitiva és freqüent trobar una organització en mesocicles segons el model de càrregues concentrades o ATR (Navarro i Rivas, 2001; Ramírez, 2010; Cuartero et al., 2010). L'acrònim ATR respon a les paraules d'Acumulació, Transformació i Realització de la càrrega (Navarro i Rivas, 2001). Els períodes d'acumulació tenen l'objectiu d'augmentar el potencial motor dels nedadors i es poden comparar als objectius d'un període preparatori. El mesocicle de transformació te l'objectiu de transformar l'estat general de forma aconseguida en la força, resistència i velocitat específica desitjada, entre d'altres qualitats. El mesocicle de realització estableix les premisses per que el potencial aconseguit es materialitzi durant les competicions (taula 11)(Navarro i Rivas, 2001).

Taula 11. Mesocicles de càrregues concentrades ATR (Navarro i Rivas, 2001; Ramírez, 2010)

Mesocicles		
Acumulació	Transformació	Realització
Resistència bàsica	Resistència específica	Resistència competitiva
Força bàsica	Força específica	Força veloç
Tècnica bàsica	Tècnica específica	Tècnica competitiva

Els **microcicles** corresponen als períodes d'entrenament setmanal, la estructura i contingut dels quals determinen la qualitat de tot el procés descrit fins ara.

La naturalesa de les sessions dins de cada microcicle és canviant, com ho són les demandes fisiològiques i psicològiques dels esportistes en cada moment de la temporada, que canvien d'acord amb la seva capacitat de treball, els requeriments de recuperació i el calendari competitiu (Platonov, 2001; Bompa, 2007). Les activitats dins d'una sessió han de mantenir una seqüenciació que faciliti el procés de recuperació i d'adaptació, i han d'estar d'acord amb la sessió prèvia. Per exemple, si a una sessió de resistència li segueix una de tècnica no es permet que el sistema nerviós, imprescindible pels exercicis de tècnica, es recuperi adequadament i la capacitat d'assimilar la sessió serà menor a si s'inverteix l'ordre de les sessions (primer la tècnica i després la resistència).

Els exercicis, unitats bàsiques de càrrega dels microcicles, representen el principal mètode d'entrenament per augmentar el rendiment. L'entrenador ha de saber triar quins són els exercicis que més s'adapten a l'especificitat de l'esport i als objectius de rendiment.

Es poden classificar dins de tres categories: exercicis pel desenvolupament físic general, exercicis específics pel desenvolupament de les qualitats físiques i els exercicis propis de l'esport o per desenvolupar les habilitats específiques de l'esport, com la tècnica i la seva execució amb una velocitat o força determinada. Aquests darrers es consideren la millor manera d'optimitzar l'adaptació de l'esportista a la especificitat de la competició (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007).

4.3 Teoria i metodologia dels exercicis per a millorar la tècnica esportiva

Aprendre a perfeccionar la tècnica progressant en la intensitat d'execució i, posteriorment, introduir la velocitat, la força i la resistència de forma ascendent, es considera la seqüència òptima d'exercicis dins d'una sessió, tot i que les combinacions s'han d'adequar a les particularitats de l'esport i les necessitats dels esportistes (Bompa, 2007).

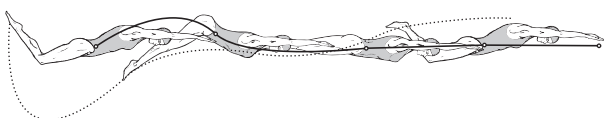
Els **exercicis per millorar la tècnica** estan orientats a aconseguir "l'estabilitat i varietat racional" dels moviments que determinen el rendiment físic. Es busca la transformació o perfeccionament de l'estructura de les accions motrius que condueixen a l'èxit més eficient dins l'esport.

Tenen en compte les individualitats dels esportistes, des de les de tipus morfològic fins a les particularitats fisiològiques, psicològiques i genètiques (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002). Quan més perfecta és una tècnica, menor serà l'energia que l'esportista necessita per assolir un objectiu de rendiment concret, pel que una bona tècnica està directament relacionada amb una eficiència elevada (Bompa, 2007)

4.3.1 La tècnica i propiocepció

La tècnica esportiva és el conjunt organitzat de moviments necessaris per resoldre una acció motora concreta dins d'un esport determinat. Es tracta d'un concepte directament vinculat a la biomecànica i a la cinesiologia, és a dir, al coneixement del paper que juguen les forces mecàniques que produeixen el moviment del cos humà, del seu suport anatòmic funcional i neurofisiològic (Verkhoshansky, 2002; Gutiérrez, 2010).

La informació principal per assolir una tècnica arriba a l'aparell locomotor mitjançant la informació dels receptors propioceptius. Aquesta informació s'afegeix a la informació



visual, vestibular, tacte i altres informacions sensibles per permetre la interacció efectiva del moviment amb el context en el que es realitza (Platonov, 2001).

Ara bé, tot i que els receptors visuals i vestibulars participen en la regulació de la postura tècnica, no poden subministrar la sensibilitat i la rapidesa d'actuació necessària per la tècnica. Per aquest motiu, el paper fonamental en el mecanisme de regulació de la postura tècnica el desenvolupa la propiocepció (Verkhoshansky, 2002).

4.3.2 Principis de l'aprenentatge tècnic

La metodologia per a la millora tècnica està basada en 5 principis segons Verkhoshansky (2002):

- **Principi de la realització de la orientació predominant d'una acció**
Es tracta de començar a treballar la realització d'un exercici amb l'estructura motriu semblant a la estructura motriu de la tècnica, amb resistències i velocitats d'execució baixes.
- **Principi de la graduació**
Amb la millora del domini del gest s'ha d'introduir l'augment de la velocitat dels moviments i potència de l'esforç, fins a ser la més semblant a prop de l'objectiu competitiu de l'any.
- **Principi de l'ensenyament progressiu**
Consisteix en la recerca de la repetició periòdica de la seqüència de moviments que componen la tècnica esportiva, amb l'augment gradual de la velocitat d'execució a mesura que la preparació física de l'esportista millora. Des d'aquest punt de vista l'exercici tècnic no assolirà el seu nivell d'execució màxim fins que la preparació física de l'esportista no ho permeti.
- **Principi d'individualització de l'alt nivell tècnic esportiu**
Adequació de l'execució tècnica a l'estat morfològic, fisiològic, psicològic i genètic de l'esportista. En el sentit fisiològic i psicològic, es tracta d'augmentar cada cop més l'estat de fatiga durant l'execució de l'exercici de tècnic.
- **Principi de recolzament en la preparació física especial**
És imprescindible acompanyar el perfeccionament tècnic amb una preparació física orientada a la millora de les capacitats que faciliten l'acció tècnica concreta, facilitant la seva execució en situacions de fatiga o intensitat elevada.

4.3.3 Fases de la preparació tècnica

A la literatura científica es proposen les següents fases per la preparació tècnica (Grosser et al., 1989; Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007):

a. Fase de creació de la primera imatge sobre l'acció motriu i la formació de l'orientació del seu aprenentatge.

Es realitza una orientació funcional de l'exercici amb mètodes verbals i didàctics, com les filmacions, els vídeos d'algun model i/o les imatges sobre la seqüència dels moviments que es volen assolir.

Es donen les directrius i vies bàsiques per l'assimilació tècnica, que en aquesta fase és molt general i se centra en el mecanisme principal del moviment tècnic per a l'obtenció d'una primera imatge motriu, la qual resumeix totes les informacions sobre el moviment assequibles per l'esportista. En elles s'inclou la pròpia experiència motriu de l'esportista.

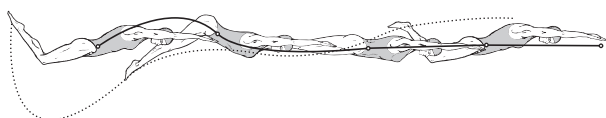
b. Fase de formació de l'habilitat inicial o primera etapa d'assimilació

Es forma l'habilitat per executar l'estructura bàsica del moviment, generalitzant les accions motrius i la coordinació muscular, no sempre de forma racional. És necessari eliminar alguns moviments i realitzar els exercicis amb freqüència, donat que les pauses entre sessions disminueixen la seva eficàcia. Ara bé, durant la sessió no s'han de realitzar masses repeticions seguides, donat que la formació dels nous hàbits està relacionada amb el bon funcionament del sistema nerviós. S'utilitzaran exercicis analítics que dissocien l'acció tècnica per facilitar el seu aprenentatge per separat i per unir-los posteriorment.

c. Fase de formació de la execució perfecta de l'acció motriu

Se centra en la concentració en els processos nerviosos que faciliten l'aprenentatge tècnic. En aquesta fase, les fases de la tècnica s'estabilitzen i el paper dominant en la direcció de l'acció passa pels propioceptors (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002).

Es prioritza la utilització de mètodes basats en la percepció motriu, mirant de formar una estructura cinemàtica i dinàmica racional dels moviments. S'apliquen mètodes orientats a la creació de la imatge integral de l'acció motriu i de la unió de les seves parts.



d. Fase d'estabilització de l'hàbit

Es consolida l'acció motriu i es determinen els trets característics de l'hàbit motriu: l'automatització i l'estabilitat de l'acció. Per aquest motiu és necessària la repetició múltiple dels exercicis de tècnica en situacions tant estables com variables.

e. Fase d'assoliment de la tècnica en les condicions de la competició:

Es forma un model generalitzat perceptiu del moviment integral i el seu control sensorial lògic. Es destaca la consciència del gest, el seu enteniment profund i la importància de regular l'acció en diferents situacions dinàmiques, cinemàtiques i rítmiques. L'assoliment tècnic en aquesta fase es troba dificultat per l'aparició de la fatiga, la elevada tensió emocional i la manca d'atenció en la tasca.

En totes les fases és molt important la forma i la temporització amb que es realitzen les correccions o les informacions sobre els detalls de la tècnica.

Les formes més efectives són les informacions sincròniques i ràpides, que han d'estar presents en els 30s posteriors a la realització del moviment, donat que la capacitat d'emmagatzemar la informació sensorial rebuda durant el moviment es manté de 25 a 30s en la memòria. Més tard les informacions externes, ja siguin qualitatives com quantitatives, han d'estar disponibles en un període molt curt de temps si volem que siguin eficaces al moment. D'altra banda, les informacions que es donin més tard només serveixen per modificar la imatge que l'esportista té del moviment i de les seves errades, però no per corregir-la ni millorar l'esquema motor necessari per realitzar-les de forma eficient (Grosser et al., 1989; Verkhoshansky, 2002).

4.4 Protocols d'entrenament de la propiocepció.

4.4.1 Antecedents.

Com s'ha explicat, l'entrenament de la propiocepció va sorgir en el camp de la medicina física i la rehabilitació i, més endavant, s'ha considerat dins dels programes d'entrenament dels esportistes.

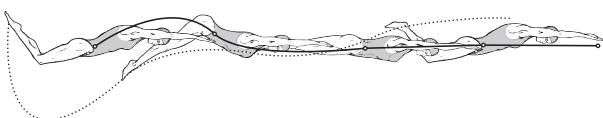
Dins de l'esport, el treball propioceptiu s'ha relacionat més amb la rehabilitació o la readaptació a l'esforç que amb una manera de millorar el rendiment dels esportistes. Malgrat la seva consideració d'imprescindible pel treball de l'activitat postural i l'aprenentatge i execució de la tècnica, l'entrenament postural i tècnic no han gaudit del nom "d'entrenament propioceptiu", sinó que s'ha anomenat "entrenament tècnic", "preparació tècnica" (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007).

Els primers protocols de propiocepció van nèixer en el marc de la rehabilitació neurològica, abans de la dissociació entre el sistema sensoriomotriu i la propiocepció (Lephart i Fu, 2000; Ashton-Miller, 2000). Fins al moment no s'han modificat els exercicis proposats per la millora de la propiocepció i els protocols proposats actualment inclouen fonamentalment exercicis que posen en compromís l'equilibri (Laskowski, 1997; Laskowski et al., 2000; Lephart i Fu, 2000; Fort et al., 2009; Cuartero et al., 2010).

4.4.2 Propostes d'entrenament propioceptiu a l'actualitat.

A continuació es mostra un recull de recerques que proposen diferents tipus d'entrenament propioceptiu, des de 1997 fins el 2009:

Mattacola i Wills (1997) van realitzar un estudi de cas únic amb tres subjectes, sotmetent-los a 6 setmanes d'entrenament propioceptiu, durant 3 sessions a la setmana i 10 minuts de durada de la sessió. L'entrenament consistia en la realització de 3 sèries de 25 repeticions de manteniment de l'equilibri amb el recolzament d'una extremitat inferior sobre una plataforma inestable en un sol pal de l'espai. Van avaluar l'eficàcia de l'entrenament aplicant un test a on es mesurava la capacitat de mantenir l'equilibri sobre la mateixa plataforma, amb recolzament unipodal i bipodal, tant en els desequilibris anteroposteriors com en els laterals (modificant la col·locació de la plataforma).



Van comptabilitzar el nombre de vegades que la plataforma contactava amb el terra en les dues situacions de recolzament i direcció de desestabilització. La intervenció no va provocar millores en l'equilibri en totes les situacions avaluades però van observar millores en l'habilitat dels subjectes sobre la plataforma inestable.

Laskowski et al. (1997, 2000) explicaven que els exercicis dins de l'entrenament de la propiocepció havien d'incloure seqüències de moviments controlats conscientment i d'altres que exercicis que suposessin una alteració sobtada de la posició articular, per estimular els reflexos que provoquen la contracció muscular. Consideraven que per millorar el sistema propioceptiu, s'havia de posar en compromís l'estabilitat dinàmica de les articulacions.

La major part dels exercicis proposats eren exercicis d'equilibri, segons la premissa de què ajudaven a entrenar la propiocepció. Proposaven exercicis d'equilibri estàtic sobre una extremitat inferior i, progressivament anar afegint desestabilització, a base d'augmentar la inestabilitat de la superfície de recolzament. Per millorar la propiocepció de les articulacions de les EEII es proposaven exercicis en cadena cinètica tancada, accentuant la seva funcionalitat. També van fer esment a la importància de l'entrenament propioceptiu dins del principi d'especificitat de la teoria de l'entrenament. Proposaven exercicis similars a la tècnica esportiva per estimular la propiocepció de les articulacions implicades en ella, amb l'objectiu de millorar l'aferència propioceptiva i consolidar l'engrama motor específic. A la CV lumbar, l'estabilització muscular dinàmica ha estat el mètode més utilitzat, centrant-se en equilibrar la distribució de la càrrega al voltant de la pelvis, correctament alineada, i en la coordinació de la força de la musculatura anteroposterior del tronc en el pla sagital. En cap dels seus estudis descriuen els criteris d'execució dels exercicis que proposen.

Kaminski, Buckley, Powers, Hubbard i Ortiz (2003) van fer una proposta d'entrenament propioceptiu per la millora de la inestabilitat del turmell a una mostra formada per 38 subjectes, físicament actius, amb problemes d'inestabilitat. L'entrenament va consistir en l'aplicació de 2 sèries de 25 repeticions d'oscil·lacions del maluc (amb el genoll estès) en els tres plans de l'espai, contra la resistència d'una banda elàstica Thera-Band® lligada a la cama, per sobre dels mal·lèols, mentre el turmell inestable romania descalç a terra.

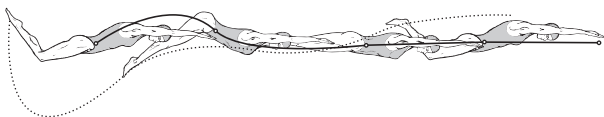
La freqüència de les oscil·lacions es va controlar amb un metrònom a 80 bits/min. Si els subjectes eren capaços de completar les 2 sèries de 25 repeticions en totes les direccions sense perdre l'equilibri, els canviaven la resistència de la banda elàstica. Si arribaven a mobilitzar la màxima resistència que permeten aquestes bandes, els augmentaven 10 repeticions per sèrie.

Van mesurar la propiocepció, abans i després de l'aplicació dels exercicis, amb un dinamòmetre isocinètic a 30 i 120°/s, per comparar la capacitat de detectar els canvis de posició passiva d'ambos turmells. No van trobar millores en cap cas.

Al l'estudi realitzat per Paterno, Myer, Ford i Hewett (2004) es plantejava l'entrenament neuromuscular relacionat amb l'equilibri i la propiocepció simultàniament, emfatitzant en la idea de que la propiocepció és determinant per l'equilibri. Van comptar amb una mostra de 41 atletes femenines asimptomàtiques, a les que es va sotmetre a un entrenament de 6 setmanes, 3 dies setmanals, dins de les sessions que ja tenien programades. Es van proposar exercicis d'equilibri que posaven en compromís el maluc, el genoll i la pelvis, amb l'objectiu de provocar millores en l'estabilitat anteroposterior i lateral del genoll. Els efectes de l'entrenament van ser avaluats amb un establidòmetre i només es van trobar disminucions dels desplaçaments anteroposteriors del centre de gravetat després de finalitzar el període d'entrenament. El seu estudi no especifica ni el temps d'administració dels exercicis ni la durada dels mateixos dins del programa habitual de les atletes, així com tampoc determina les sèries i repeticions totals realitzades.

Verhagen et al. (2004) van proposar un programa d'exercicis de propiocepció a 116 equips de voleibol, un total de 1127 subjectes. Estava basat en 14 exercicis de desestabilització articular en diferents situacions: sobre superfície estable, plataformes inestables i pilotes suïsses. Cada setmana es proposava la realització de 4 exercicis de similar intensitat i dificultat. L'entrenador triava un dels 4 i l'introduïa dins de l'escalfament quotidià de l'equip, suposant una dedicació de 5 minuts en total per sessió. Els mateixos entrenadors dels equips de la mostra van enregistrar i controlar el seguiment del programa d'entrenament en un full de control facilitat pels investigadors. El resultat del programa d'entrenament va observar-se a partir de l'anàlisi de la incidència de lesions entre el grup que havia dut a terme l'entrenament i el grup control. Va enregistrar-se més incidència lesional al grup control.

Xu, Hong i Chan (2004) van estudiar l'efecte del tai-txi en la millora de la cinestèsia en 68 subjectes entre 65 i 66 anys d'edat. Relacionaven les característiques del tai-txi amb les necessitats d'estimulació del sistema propioceptiu, donat que totes les seves formes emfatitzen en el manteniment de l'atenció i en el control conscient del moviment. Després de comparar tres grups de 21 persones, amb diferents tipus d'activitat esportiva (no practicants d'activitat física, corredors/nedadors i practicants de tai-txi, tots ells amb una experiència prèvia mínima de 4 anys de pràctica o no pràctica).



El grup practicant va resultar ser el que millors resultats va tenir en la detecció de la posició i el moviment articular del genoll i del turmell. Van concloure en que, tot i que està demostrat que l'activitat física en general millora la qualitat del treball propioceptiu i, en conseqüència, les variables relacionades amb la propiocepció, no totes les activitats ho fan per igual, semblant que les que impliquen un component d'atenció i realització conscient del gest, milloren la qualitat de la recepció propioceptiva.

Ávalos i Berrío (2007) van realitzar un treball monogràfic descriptiu, a on es plantejava l'evidència del treball propioceptiu per la prevenció de lesions a l'esport. Després d'una descripció acurada de la neurofisiologia de la recepció propioceptiva, la seva proposta està basada en l'administració d'exercicis dissenyat pel desenvolupament de respostes compensatòries neuromusculars amb càrregues potencialment desestabilitzadores, promovent respostes automàtiques i protectores de manera aleatòria. Dins de les propostes es troben exercicis d'equilibri i d'agilitat (equilibris sobre diferents tipus de plataformes o materials inestables, canvis de ritme, etc.). Proposen una progressió que impliqui un augment gradual de la velocitat, la força i el control de l'exercici, mirant de què un exercici realitzat a priori de manera conscient, s'arribi a automatitzar segons les característiques funcionals dels subjectes que els practiquen. Plantegen que s'haurien d'incloure els exercicis dins el període preparatori dels esportistes, a principi de la temporada, a raó de 2 sessions setmanals d'una durada de 15 a 20 minuts per sessió. Es plantegen realitzar de 5 a 10 exercicis per sessió, aplicant una sèrie de 20 a 25 repeticions mantenint les postures o realitzant els exercicis durant un temps entre 20 i 30 s. A les seves conclusions destaquen la inexistència d'un mètode protocol·litzat per l'entrenament de la propiocepció.

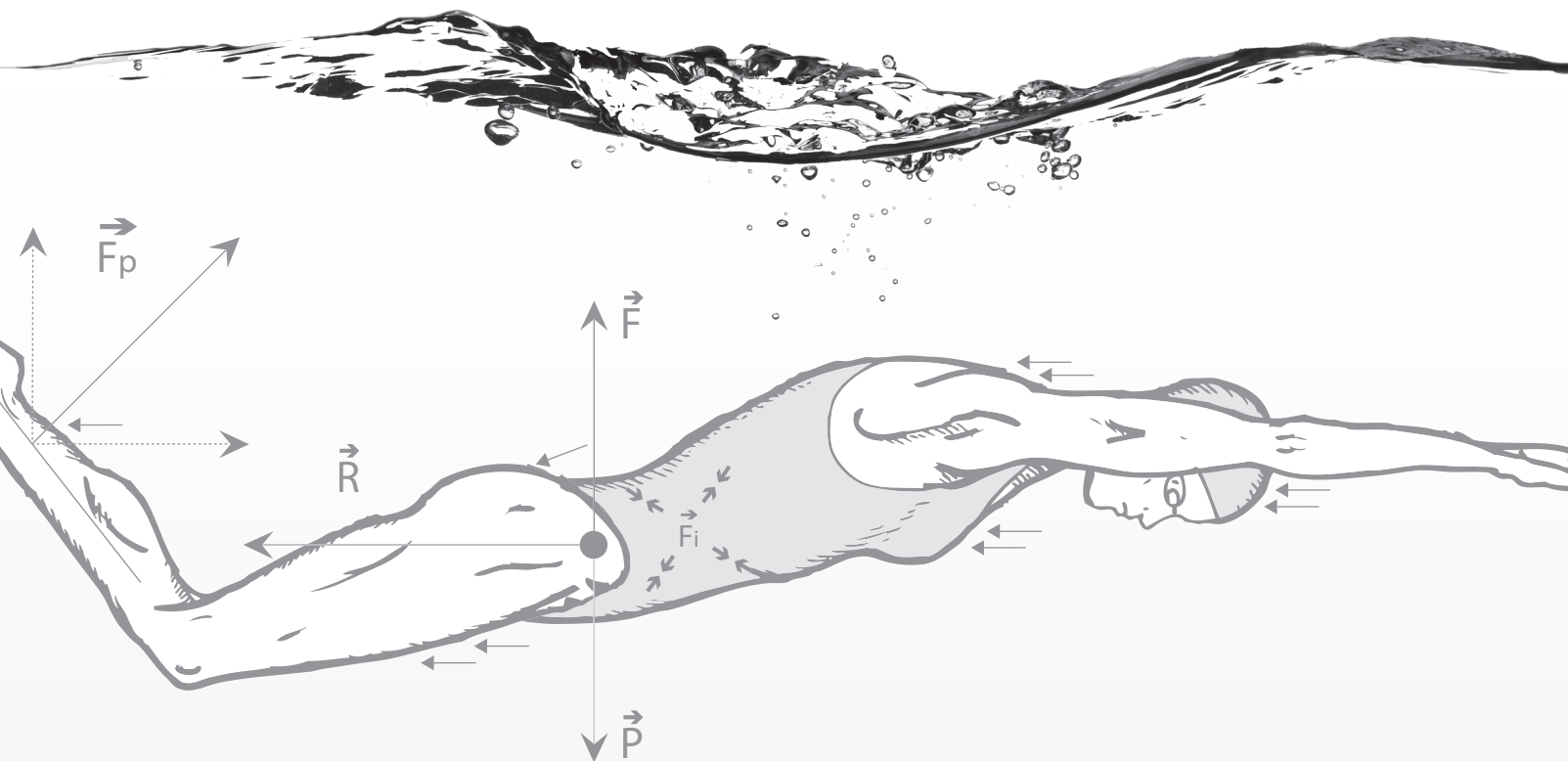
Tarantino (2009) va publicar un disseny d'exercicis de propiocepció per millorar l'estabilitat del genoll. Dins la metodologia de progressió que proposa es troben idees com la de disminuir la mida i/o l'estabilitat de la base de recolzament progressivament, passant de recolzaments bipodals a unipodals o utilitzant materials inestables, o la de restringir la informació que arriba a través d'altres sistemes per centrar el treball en els propioceptors proposant curiosament un exemple contrari, és a dir, començar els exercicis davant d'un mirall i progressar tancant els ulls per restringir les aferències visuals.

Fort et al. (2009) van publicar efectes d'un entrenament propioceptiu utilitzant el mètode TRAL, bastat en la percepció del moviment i dels canvis de posició del centre de gravetat.

Justificaven el seu treball fent al·lusions als estudis que, habitualment, proposen exercicis d'equilibri per millorar la propiocepció, entre ells el de Verhagen et al. (2004).

Van comptar amb una mostra de 28 jugadors i jugadores de voleibol, amb absència d'un grup control. Es va aplicar un entrenament durant 3 mesos, consistent en l'administració de dilluns a dijous de 12 exercicis en posició bípeda i unipodal, la durada total dels quals era de 15 minuts. Dins dels criteris de progressió proposaven que, un cop dominat l'exercici amb els ulls oberts, s'augmentés la dificultat de l'exercici augmentant el rang de moviment, el nombre de tasques o repeticions a realitzar i, finalment, tancant els ulls.

L'avaluació, anterior i posterior al període d'aplicació dels exercicis, es va realitzar amb un estabilmètre i 4 test d'equilibri (test unipodal amb els ulls oberts i unipodal amb els ulls tancats, ambdós sobre l'extremitat inferior esquerra i dreta).



Capítol 5

Entrenament de la Propiocepció
a la Natació Competitiva

5. Entrenament de la propiocepció a la natació competitiva

5.1 Antecedents

L'entrenament de la propiocepció a la natació competitiva sempre s'ha entès com a un mitjà per a la prevenció de lesions. Més recentment, comencen a proposar-se treballs que fan menció de la propiocepció en el context de la preparació física (Chollet, 2003; Cuartero et al., 2010).

Segons Chollet (2003) la natació, com a qualsevol pràctica motriu, no pot escapar als principis que afecten a la motricitat que, com s'ha explicat, es troben dins de les ciències de l'anatomia, la neurofisiologia i la psicologia cognitiva.

Per resoldre de manera eficaç una tasca motriu és necessari la presa de consciència, a partir del retorn o feedback sobre el desfasament entre l'acció realitzada i la prevista. S'entén com a feedback el conjunt de senyals descriptives del moviment, donades durant la mateixa execució de la resposta motriu en temps real. En aquest sentit, la naturalesa exteroceptiva de la informació sobre el moviment estarà lligada a la informació retroactiva sobre el rendiment esportiu, mentre que la propiocepció estarà lligada al feedback.

Dins l'aprenentatge de la tècnica a la natació es considera la necessitat de l'establiment d'un procediment pedagògic, d'objectius motrius i motivacions per l'esportista, la modificació dels comportaments motors erronis, l'elaboració de consignes adequades per facilitar la consciència sobre el gest i, finalment, el procés d'automatització del gest. Es considera que s'ha de dotar al moviment dels automatismes suficients per reduir el cost de l'execució tècnica, alliberant-lo de moviments innecessaris. Amb aquesta finalitat, la correcció exteroceptiva del moviment que fa servir les informacions visuals, com el vídeo, és més difícil i tardana que la correcció de tipus propioceptiu, ja que la disminució en la centralització de l'atenció en la imatge del gest general limita la capacitat d'atenció en el moviment articular concret que es pretén millorar (Chollet, 2003).

Tot i les publicacions sobre els esmentats aspectes, que consideren la propiocepció en un pla més enclòs en l'entrenament i al rendiment tècnic, encara no es disposen de protocols de treball que posin en pràctica aquests coneixements.

A les propostes més contemporànies d'administració d'exercicis propioceptius a la natació es troba la de Cuartero et al. (2010). Dins de la preparació física proposen un treball d'enfortiment i de consciència i control de la zona lumbar per a la millora de la posició dins l'aigua. El protocol consta d'exercicis de caràcter específic a on es treballen diferents situacions d'instabilitat, per a reforçar el reequilibri i l'autocontrol corporal a nivell abdominal i lumbar, a base d'imitacions del gest tècnic i proposant augmentar la dificultat d'execució tancant els ulls per, segons els autors, millorar la propiocepció.



5.2 Necessitats de l'entrenament de la propiocepció a la natació

5.2.1 El “cinquè estil”: El Moviment Ondulatori Subaquàtic.

La natació és un esport amb una història de recerca científica prou important com per pensar que ja no hi ha gaire més per descobrir, especialment quan es tracta de la tècnica dels nedadors i de les nedadores de major nivell. La millora de la tecnologia en la creació de càmeres i sistemes d'enregistrament subaquàtics, cada cop més precisos i sofisticats, i l'aportació de la biomecànica ha estat clau per descobrir els detalls que milloren el rendiment dels nedadors amb més qualitat tècnica (Gavilán, 2002; Gavilán, García, Pardillo i Arellano, 2002; Chollet, 2003).

Quan les centèsimes que es poden guanyar amb la tècnica dels estils de competició són escasses, la importància de la fase subaquàtica en la millora dels resultats ha fet que es plantegi la descripció i l'estudi exhaustiu d'un nou estil: el cinquè estil.

El cinquè estil fa referència a la natació subaquàtica en posició de decúbit pron, amb les extremitats superiors esteses per damunt del cap i la resta del cos realitzant un moviment ondulatori, des de la cintura fins a la punta dels peus, recordant la manera de desplaçar-se dels dofins (Aguado, 2010).

La natació subaquàtica no s'ha destacat especialment fins que alguns campions del món, com Michael Phelps, van centrar part del seu entrenament en millorar aquesta tècnica. Aquest fet i la revolució dels banyadors que milloraven el desplaçament dins l'aigua, van fer batre rècords del món sense precedents al passat campionat del món de Roma al 2009, tot i que al 1977 Aleyev ja va destacar que la utilització de banyadors ajustats podia fer disminuir la resistència hidrodinàmica (Aleyev, 1977, citat a Gavilán et al., 2002). A partir d'aquest campionat, la federació internacional de natació (FINA) va prohibir la seva utilització, especialment recolzada pels Estats Units d'Amèrica, qui comptava amb més nedadors amb un clar domini de la propulsió subaquàtica. Segons les declaracions dels propis entrenadors i biomecànics de Phelps es defineix com a “l'arma sense la qual és impossible tenir èxit” o “el salt de diferència quàntica” (Aguado, 2010).

Malgrat ha estat utilitzat des de fa dècades i estudiat fa més de 70 anys, els estudis de les reduccions del temps total de cursa a patir de la reducció del temps a sota l'aigua són més recents i el motor que impulsa la recerca dels factors que milloren el cinquè estil (Gavilán et al., 2002; Aguado, 2010).

La “natació de doff” va ser estudiada per primera vegada per Volney Wilson als anys 30 amb el nedador i actor Johnny Weissmuller. Es va fer una comparació de la propulsió dels peixos respecte la d’un humà imitant el seu moviment ondulatori.

A principis dels anys 80 aquella manera de desplaçar-se sota l’aigua comença a anomenar-se Moviment Ondulatori Subaquàtic (MOS), inclòs a la part de lliscament sota l’aigua de les sortides i els viratges. En aquell moment, i durant anys, els beneficis només es van associar a l’estil de papallona, fins que David Berkoff la va utilitzar amb l’estil esquena al 1988 i va batre successius rècords del món en la prova de 100 m esquena, nedant 35 m per sota l’aigua. La tècnica es va començar a aplicar multitudinàriament i l’augment de rècords del món va provocar que la FINA limités la distància permesa per nedar sota l’aigua inicialment en 10 m i, més tard fins al moment actual, a 15m (N.8.5 Reglament de natació, FINA 1998) (Sánchez i Arellano, 2002; Aguado, 2010).

En l’estudi dels models biomecànics de rendiment a la natació es va contemplar la divisió del temps total de prova en quatre fases: temps de sortida, temps nedat, temps de viratge i temps d’arribada (Fig. 50) (Hay, 1985; Citat a Sánchez i Arellano, 2001). A partir d’aleshores s’ha estudiat en detall cadascuna d’elles i la manera com intervenen en el temps final de cada prova en natació (Gavilán et al., 2002).

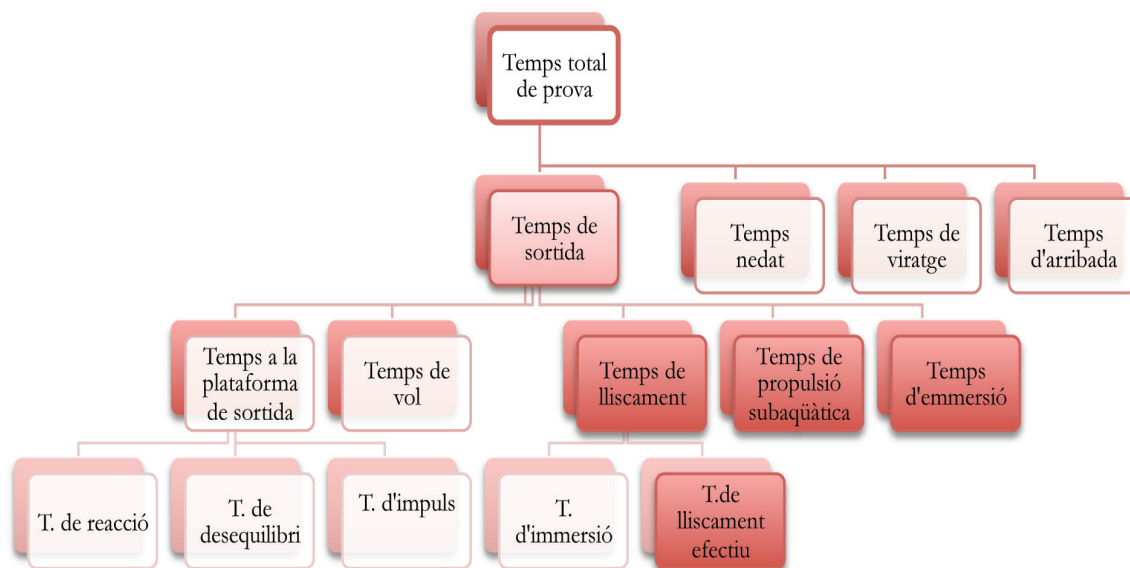


Fig 50. Paràmetres que determinen el temps total de la prova (Adaptat de Sánchez i Arellano, 2002)



Els anàlisis quantitius de les competicions arreu del món han demostrat que els temps dedicats a les sortides i els viratges són determinants, especialment el temps de MOS, que ha resultat tenir una alta correlació amb el temps total de sortida (Arellano i Oña, 1987; Sánchez i Arellano, 2002).

Abans dels JJOO d'Atenes del 2004 la USA Swimming Federation va sol·licitar i subvencionar estudis sobre la natació subaquàtica al departament de biomecànica de la Universitat George Washington, que aleshores estudiaven els factors biomecànics de la natació dels peixos.

A la Universitat de Granada, el grup de recerca encapçalat per Raúl Arellano ja havien publicat diversos estudis sobre la biomecànica del moviment ondulatori subaquàtic i una tesi doctoral sobre els factors biomecànics de la natació subaquàtica, a on ja es contemplava la importància d'aprofundir en la seva recerca (Arellano, 1999; Arellano, Gavilán i Garcia, 1999; Arellano, Pardillo i Gavilán, 2002; Gavilán, 2002; Gavilán et al., 2002).

Cossor i Mason (2001) van realitzar un estudi de les sortides de natació als JJOO de Sydney a l'any 2000 a on es van enregistrar dades des de cinc càmeres aèries i dues a 5m de la plataforma de sortida, per recollir l'amplitud i la freqüència de braçada, els parcials de velocitat i els temps de sortida, de viratge i el temps total de la prova, així com els parcials en 25m. Per estudiar amb detall el temps de la sortida es van desglossar els temps de reacció (des de que es produeix el senyal de sortida fins a que el nedador perd el contacte amb la plataforma de sortida), el temps de vol, el temps de natació subaquàtica (des que el cap entra en contacte amb l'aigua per submergir-se fins que emergeix) i el temps total per finalitzar els 15m permesos (des que el cap emergeix de l'aigua fins que arriba a la línia de la surera que marca els 15m) (Fig. 44). El temps total de sortida es va calcular des de que es dona la senyal de sortida fins que el cap a superat la línia dels 15m. Van ser analitzades les sortides de 10 nedadors de 100 m i 200 m papallona, 11 nedadors de 100 m braça, 10 de 100 m d'esquena i estil lliure, 9 nedadors de 200 m lliures i 4 de 400 m estils. Es va trobar que el temps total de sortida es reduïa significativament quan més augmentava el temps i la distància de la fase subaquàtica, especialment en les proves de 200m papallona, 100m esquena i 100m lliures. També es va observar una reducció del temps de sortida quant major era la velocitat de la fase subaquàtica, especialment en les proves de 100 m esquena i braça.

L'estudi va concloure emfatitzant la destacada importància de la fase subaquàtica en el temps total de sortida i la necessitat d'aprofundir en els factors que la poden millorar.

Altres estudis biomecànics, des d'aleshores fins enguany, s'esforcen en conèixer detalladament els factors que condicionen el MOS (e.g. Arellano, 1999; Arellano et al., 1999; Arellano et al., 2002; Gavilán, 2002; Gavilán, Arellano i Sanders, 2006; entre d'altres).

5.2.2 Biomecànica de la natació subaquàtica

Quan una persona es desplaça dins l'aigua està sotmesa a dos tipus bàsics de força: internes i externes (Arellano, 1999; Gavilán et al., 2002; Ungerechts i Arellano, 2011). Les internes fan referència a les tensions que els músculs provoquen sobre el propi cos i les externes a les forces a les que el cos es veu sotmès al seu voltant (Fig. 51). Les forces externes a les que es veu sotmès un nedador durant la natació subaquàtica es concreten en: les forces propulsives (F_p), la resistència hidrodinàmica (R), la força de flotació (F) i el pes (P) (produït per l'acció de la gravetat) (Gavilán et al., 2002; Ungerechts i Arellano, 2011).

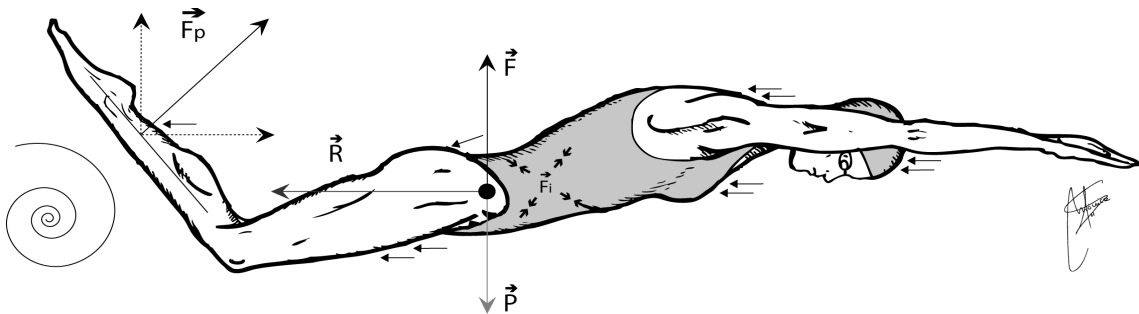


Fig 51. Forces externes al nedador durant el MOS (Adaptat de Gavilán et al., 2002)

La **resistència hidrodinàmica** pot ser passiva, mentre el nedador no es mou o llisca, o activa en el moment en el que s'aplica la força de propulsió (F_p). Ambdues són determinants i directament proporcionals a la velocitat de desplaçament, malgrat no són de la mateixa magnitud. La resistència hidrodinàmica passiva és menor i condicionada per la composició corporal, mentre que l'activa és major i depèn de la força i velocitat de la musculatura propulsora. Està definida com a la suma de la resistència de fricció de l'aigua i la força de pressió, alhora definida com a la suma de la resistència que provoca la forma del cos del nedador i la provocada per l'onada que l'ha generada (Fig. 52).

La forma i composició de la superfície del cos del nedador condiciona altament el seu desplaçament dins l'aigua, condicionant-lo a tendir a un règim de desplaçament més turbulent que laminar (règim propi dels projectils submarins o dels peixos).





Fig 52. Composició de la resistència hidrodinàmica

Aquest fet provoca un augment de la resistència hidrodinàmica a la que es sotmet el nedador respecte a la que es sotmeten els peixos (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Gavilán, 2002; Cervantes, 2004; Silva, Persyn, Colman i Alves, 2005; entre d'altres).

La **resistència de fricció** és proporcional a la velocitat de desplaçament i a l'àrea de la superfície corporal submergida, és a dir, quanta més velocitat es tendeix a provocar més turbulències i més disminueix l'eficàcia del desplaçament. Si la superfície corporal és rugosa (per les característiques del banyador o el pèl) o massa tova (per manca de to o rigidesa muscular i excés de teixit adipós) el requeriment energètic pel desplaçament subaquàtic augmenta, podent augmentar l'aparició de la fatiga i la reducció de la velocitat de desplaçament (Grosser et al., 1989; Gavilán et al., 2002; Chollet, 2003)

La **resistència de pressió** provocada per la forma del cos es defineix com el gradient de pressió entre la part de davant i de darrera del cos que es desplaça. Aquesta diferència genera una sèrie de remolins, proporcionals a la densitat de l'aigua, l'àrea de la secció transversal del cos del nedador (depenent de la seva postura a l'aigua) i el coeficient de forma (condicionat per la forma i mida del cos). Una disposició del cos alineada, a la profunditat adequada, o la correcta sincronització dels moviments del cos durant el MOS poden ajudar a reduir la resistència de pressió deguda a la forma (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Chollet, 2003; Silva et al., 2005; Ungerechts i Arellano, 2011).

La **resistència de pressió** provocada per les onades de l'aigua està causada pel desplaçament de l'aigua de zones de major a menor pressió durant els moviments ondulatoris del nedador. Aquesta força augmenta amb l'augment de les oscil·lacions verticals generades pel nedador i la seva velocitat de desplaçament, i és mínima en la posició completament alineada del cos del nedador durant el lliscament i el MOS (Fig. 53).

S'ha demostrat que els nedadors amb millor tècnica de MOS generen menors oscil·lacions verticals i, en conseqüència, redueixen la resistència de pressió generada per les onades, que també són menors en aquests casos (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Elipot, Houel, Hellard i Dietrich, 2010).

En trets generals, diferents autors han arribat a la conclusió de que la millora tècnica del MOS és més important que l'adequació de la composició corporal per a reduir la resistència activa (Gavilán et al., 2002).

5.2.3 La tècnica de la natació subaquàtica

S'accepta que la divisió de la tècnica de la natació subaquàtica per l'estudi acurat de cadascuna de les fases per separat, permet la creació d'estratègies per millorar-les i dóna informacions més detallades sobre les possibles errades en l'execució (Verkhoshansky, 2002; Sánchez i Arellano, 2002; Chollet, 2003; Arellano, 1999; Roig, 2010).

La tècnica de la natació subaquàtica esta dividida per dues parts: la fase de lliscament i la fase de MOS (Sánchez i Arellano, 2002; Gavilán et al., 2002).

La **fase de lliscament** és la fase a la que el cos del nedador entra a l'aigua i es col·loca alineat, sense moure's, abans de començar el MOS. La posició del cos en aquesta fase condiciona l'aparició de l'anomenada resistència de fricció passiva (Gavilán et al., 2002; Chollet, 2003; Silva et al., 2005; Roig, 2010; Wada et al., 2010).

Durant aquesta fase el nedador ha de mirar de mantenir la velocitat aconseguida durant l'impuls, tant a la sortida com en els viratges, per al que és fonamental la disposició del cos, respecte de l'aigua, en la posició i orientació que redueixi al màxim la resistència de fricció passiva (Fig. 53). Aquesta posició està definida pels següents indicadors (Houel, Elipot, Andrée i Hellard, 2010; Marinho et al., 2010; Roig, 2010):

- El cap entre els braços.
- Les extremitats superiors en prolongació de la longitudinal del cos:
 - Les articulacions glenohumerals en flexió de 180° i lleugera rotació interna
 - Els colzes estesos.
 - Els canells en posició neutre.
 - Les mans juntes amb els dits estesos, els palmells orientats al fons de la piscina, lleugerament per sobre de la línia que segueix la longitud de tot el cos.
- El tronc alineat, mirant de reduir al màxim la corba lumbar.
- La pelvis en retroversió.
- El maluc i el genoll en posició neutre.
- El turmell en extensió màxima.



- Recerca de l'alineació entre les mans, els colzes, les espatlles, el tronc, els malucs, els genolls i la longitudinal del peu, en direcció de la línia de lliscament subaquàtic.

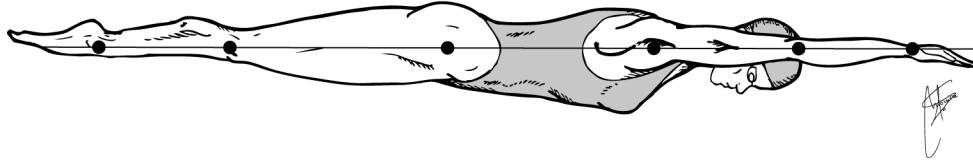


Fig 53. Posició de mínimes resistències (Adaptat de Roig, 2010)

La fase de lliscament permet als nedadors recórrer una part important dels 15m permesos sense moure's. Els estudis cinemàtics sobre les velocitats parcials, acceleracions i desacceleracions que pateixen els nedadors durant la fase subaquàtica, demostren que els nedadors haurien de mantenir la posició de lliscament fins als 5.5m. Si comencen el MOS massa aviat, les resistències hidrodinàmiques augmenten i poden limitar el rendiment del nedador durant la sortida (Houel et al., 2010).

A més de la distància, s'ha estudiat que la recerca de la profunditat òptima del lliscament redueix la resistència provocada per les onades que el propi nedador genera al seu pas, que sembla ser menor als 2m de fondària. Ara bé, també es coneix que superar aquests 2m pot perjudicar al nedador en el temps total subaquàtic (Marinho et al., 2010). Es parla de nedar a una profunditat major al triple del diàmetre corporal, aproximadament entre els 0.7 i els 1.2m (Vorontsov, 2000, citat a Gavilán et al., 2002).

Un dels reptes en la millora de la recerca de la posició alineada, requerida a la fase de lliscament, és el d'aconseguir mantenir la línia de les extremitats inferiors (EEII) alineada amb la resta del cos (a 180°). S'ha demostrat que els banyadors retirats per la FINA facilitaven la flotabilitat de les EEII i la conseqüent facilitat per aconseguir l'alineació corporal, aspecte que haurà de solucionar la preparació física (Gavilán et al., 2002; Wada et al., 2010).

Durant el lliscament els nedadors i les nedadores de major nivell presenten una gran sinergia entre la musculatura estabilitzadora de les espatlles, el maluc i el genoll, que els facilita el manteniment de la posició de mínimes resistències hidrodinàmiques (Elipot et al., 2010; Roig, 2010).

La tècnica del MOS està composta per una seqüència cíclica de moviments sota l'aigua que s'inicien immediatament després de la fase de lliscament. Cada cicle es dona en un temps molt curt, menor a 1s, i està dividit en 4 fases: Fase descendent de la batuda, 1a fase de batuda ascendent, 2ona fase de batuda ascendent i fase de transició ascendent-descendent (Gavilán, 2002; Gavilán et al., 2002).

Fase descendent:

La posició inicial de la fase descendent és aquella en la que els genolls es troben en la màxima flexió durant tot el MOS. En aquesta posició, la CV dorsal es troba lleugerament flexionada i les espatlles estan per sobre de la línia dels malucs. La longitudinal de les extremitats superiors busca l'horitzontalitat, mirant d'evitar oscil·lacions del centre de gravetat. Les cuixes haurien d'estar alineades amb el tronc per oferir menor resistència a l'avanç (Fig. 55 a). La posició final de la fase descendent col·loca els genolls en màxima extensió i els malucs en la posició més elevada i flexionada de tot el MOS. La CV dorsal i la longitudinal de les EESS miren de mantenir-se a l'horitzontal, donat que en aquest punt, la batuda de cames provoca l'acceleració màxima del centre de gravetat i el pic màxim de velocitat lineal de tot el cicle (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002). El cap es manté entre els braços, també en l'horitzontal (Fig. 55b).

1a Fase de batuda ascendent:

Es tracta d'una fase molt curta en la que tot el cos es col·loca en la horitzontal en posició de màxim lliscament. En la primera fase de la batuda ascendent el turmell es comença a flexionar, esdevenint la única diferència entre aquesta posició i la de lliscament en mínimes condicions de resistència (Fig. 54 i 55 c).

2ona Fase del batuda ascendent:

En aquesta fase es perd progressivament l'horitzontalitat degut a l'ondulació del cos i com a conseqüència de la gradual flexió dels genolls. La massa d'aigua desplaçada endavant en la zona dorsolumbar provoca la propulsió en un moment en el que el centre de gravetat es desaccelera, gràcies a l'efecte de la inèrcia de la massa d'aigua mobilitzada (Gavilán et al., 2002; Silva et al., 2005).

L'acció del cos provoca un efecte d'ona d'orientació craniocaudal que augmenta la propulsió i disminueix la resistència hidrodinàmica total (Silva et al., 2005). Amb l'elevació dels peus, els malucs s'estenen i les articulacions glenohumerals tornen de la flexió de 180° que tenien a una flexió uns 30-40° menor, tot i que el cap i la resta de les EESS es mantenen alineades. La trajectòria dels peus es desaccelera progressivament i s'anul·la la força de propulsió generada amb el seu descens previ.



Fase de transició ascendent-descendent:

Es tracta d'una fase molt breu en la que el turmell es col·loca en la posició de flexió plantar màxima per iniciar la fase descendent. Es tracta del moment en què es produeix la màxima desacceleració del centre de gravetat per iniciar immediatament tot el cicle descrit (de la Fig. 55c a la 55a).

Durant el MOS hi ha una tendència a realitzar el moviment ondulatori amb menors oscil·lacions verticals del centre de gravetat quan major és el nivell (Fig. 54), de manera que l'eficiència i el rendiment augmenten, fins al punt en el que les velocitats de desplaçament subaquàtic poden variar des d'1m/s dels nedadors de menor nivell a 2 m/s en els millors nedadors. Aquestes diferències també provoquen que els millors nedadors generin menors onades i disminueixi la seva resistència de pressió deguda a les onades (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Gavilán et al., 2006; Elipot et al., 2010).

Els nedadors més flexibles han demostrat tenir majors amplituds i millor eficàcia dels moviments ondulatoris del cos, pel que aquest és un dels factors que és considera determinant en el rendiment dins el MOS. S'accepta que mentre l'ADM de malucs, genolls i turmells té un gran component congènit, s'ha de mirar de mantenir aquesta amplitud. A més, es coneix que existeix una relació directa entre l'ADM i el grau d'ondulació que els nedadors poden aconseguir per a millorar el rendiment del MOS. S'ha comprovat que existeix una propulsió addicional en els nedadors que aconseguen realitzar el moviment ondulatori en el tronc, donat que es considera una força propulsora afegida a la dels peus que redueix la variabilitat de la velocitat entre els cicles del MOS.

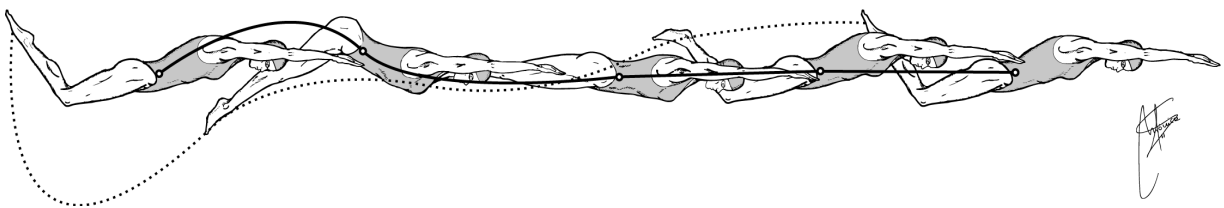


Fig 54. Trajectòries del peu i del centre de gravetat durant un cicle del MOS (Basat en Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2006)

Ara bé, si els nedadors gaudeixen d'una ADM del tronc molt elevada i no la poden controlar voluntàriament, es generen moviments a la zona mitja que empitjoren l'eficiència de tota l'activitat propulsora (Gavilán et al., 2002; Silva et al. 2005; McLeod, 2010).

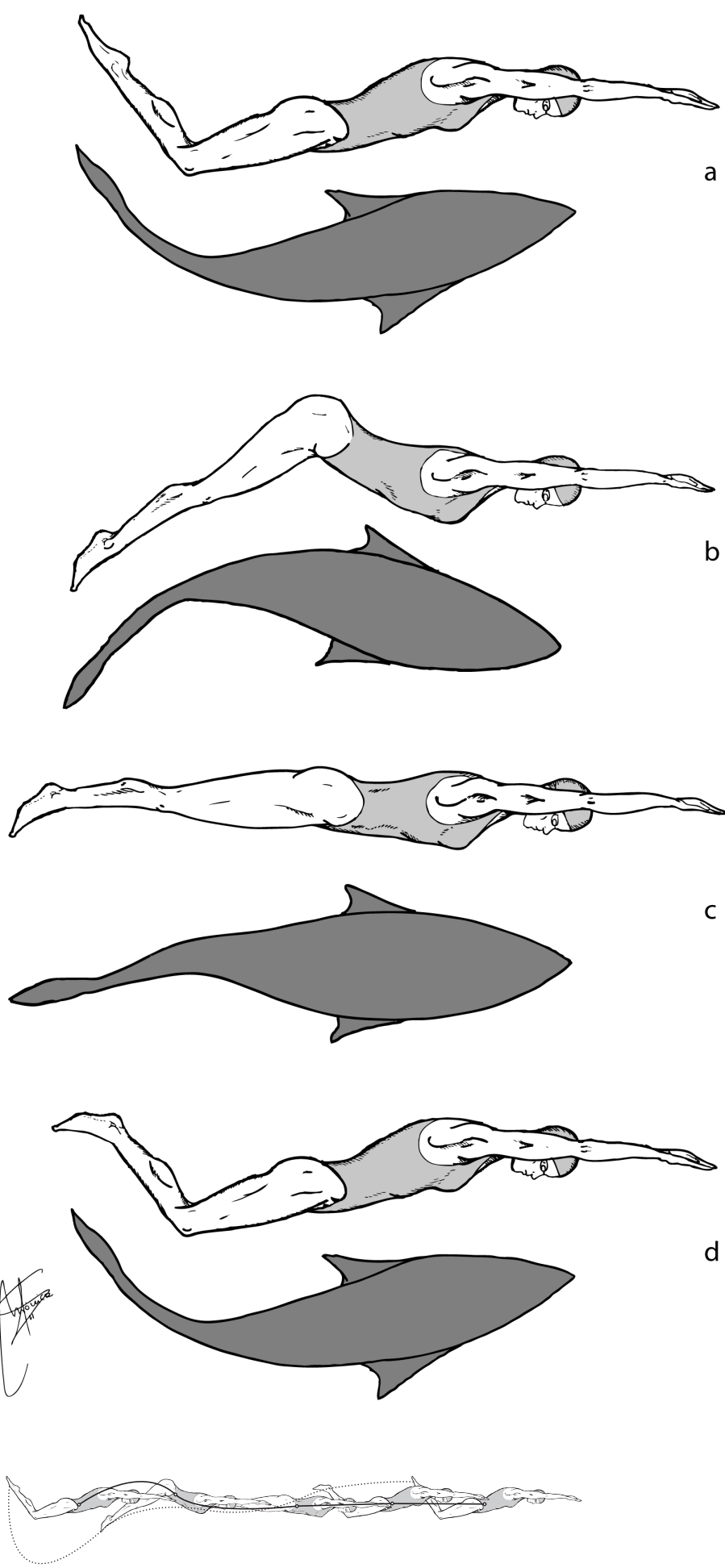


Fig 55. Fases del MOS i comparativa amb el MOS dels peixos (Basat en Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Cervantes, 2004 i Ungerechts i Arellano, 2011)

5.2.4 Musculatura implicada en la natació subaquàtica

El desplaçament subaquàtic té la particularitat de realitzar-se en un mitjà fluid i respecte d'una superfície de recolzament variable (Navarro i Rivas, 2002). Inicialment es va estudiar la propulsió dels nedadors a partir de l'anàlisi de les superfícies corporals que es recolzaven sobre les masses "quietes" d'aigua, però en l'actualitat s'explica a partir de l'estudi dels vòrtex (Arellano, 1999; Arellano et al., 2002; Ungerechts i Arellano, 2011).

Els vòrtex són els remolins que es generen per les diferències de pressió al voltant dels nedadors durant el seu desplaçament, que constitueixen una mena de cilindre sobre el que recolzar-se per avançar dins l'aigua (Arellano, 1999; Arellano et al., 2002; Silva et al., 2005; Arellano et al., 2006; Ungerechts i Arellano, 2011).

Musculatura responsable del manteniment de la posició de mínimes resistències o de lliscament:

L'adopció de la posició de lliscament en la direcció del desplaçament subaquàtic es dificulta especialment per la resistència de forma. És habitual que després d'entrar dins l'aigua a la sortida, el cos tendeixi a flotar per les parts que tenen menor densitat, és a dir, a les que es disposa major quantitat de greix corporal (la zona abdominal baixa, la pelvis i les cuixes). Aquest fet provoca una elevació de la part inferior del cos, empentada cap a la superfície, que desvia la longitudinal del cos respecte de la direcció de desplaçament (Roig, 2010) (Fig. 56).

En aquest cas, la força que pot lluitar contra la força de flotació és la força que evita que el conjunt alineat de les EEII es mogui respecte de la pelvis (Fig. 55). D'una banda el recte abdominal i els oblics menors de l'abdomen eviten l'avantversió de la pelvis amb una contracció de tipus isomètric. La participació del transvers abdominal és clau per augmentar la rigidesa del tronc, a partir de l'augment de la pressió intraabdominal, i disminuir les turbulències que es puguin general al voltant (Arellano et al., 2002; Hodges, 2003; Salo i Riewald, 2010). La contracció estàtica del gluti major reforça l'estabilització de la pelvis en retroversió i el manteniment del maluc en posició neutre (Fig. 56).

La contracció isomètrica conjunta dels extensors del genoll (quàdriceps) i turmell (tríceps sural, tibial posterior, peroneus laterals) i dels flexors del peu (flexors intrínsecs plantars i flexors comuns dels dits del peu) permetent l'alineació de les EEII des de la cuixa fins a les puntes dels dits del peu.

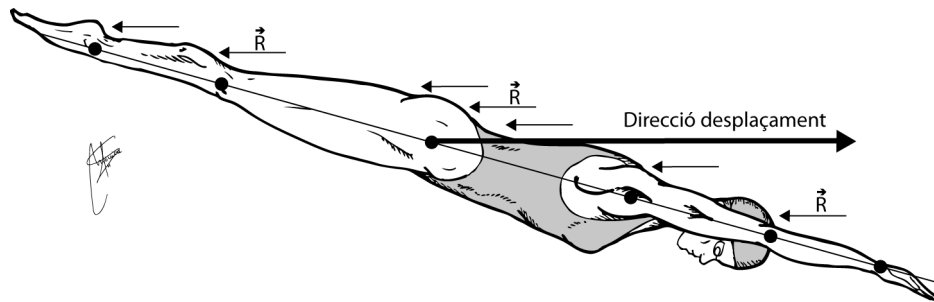


Fig 56. Desviació del cos durant el lliscament subaquàtic (Basat en Roig, 2010)

A les EESS la musculatura que aproxima les escàpules i els extensors de la CV dorsal (trapezi, romboide, dorsal llarg, principalment) permeten el manteniment de les EESS alineades amb la resta del cos.

La contracció isomètrica del deltoide, especialment el mig, manté cada ES en línia amb el tronc i la contracció estàtica dels extensors del colze (tríceps braquial i anconal), del canell i dels dits mantenen alineats el braç, l'avantbraç i la mà (McLeod, 2010) (Fig. 57).

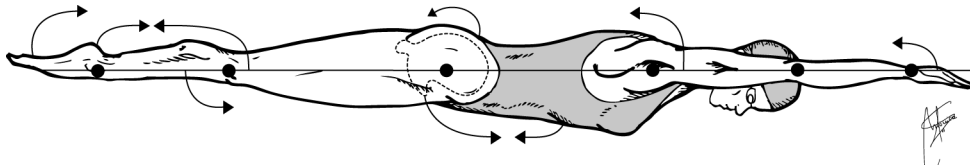


Fig 57. Forces d'estabilització de la posició hidrodinàmica durant el lliscament.

Musculatura responsable del MOS:

Els vòrtex poden ser provocats per qualsevol segment i es transmeten en sentit craniocaudal durant el MOS (Gavilán et al., 2002).

Les forces que el nedador aplica sobre els vòrtex generen moviments circulars o rotatoris, donat que sempre es donen respecte d'un punt fix: les articulacions o fulcres de moviment del cos. En realitat, el desplaçament del cos es dona gràcies als moments de força que la musculatura, motor de les palanques humanes, és capaç de provocar (Arellano, 1999; Ungerechts i Arellano, 2011).

Els moments de força que es generen en el MOS, es fan respecte d'un eix transversal esquerre-dret i sobre un pla sagital. La musculatura propulsora del gest és la que pot generar moviments de les articulacions implicades en el MOS dins d'aquest pla (Fig. 59).



La musculatura abdominal és la responsable de generar el moviment ondulatori del tronc durant el MOS. A més assegura una base ferma de sustentació sobre la qual els moviments de propulsió de les EEII són més potents i eficients (McLeod, 2010; Salo i Riewald, 2010). És especialment cabdal per passar de la posició dinal de la fase descendent a la posició de la primera fase de la batuda ascendent (Fig. 55c i 58), donat que es passa d'una posició d'extensió lumbar i avantversió pèlvica a una posició neutre, havent de fer-se una potent flexió lumbar i retroversió de la pelvis.

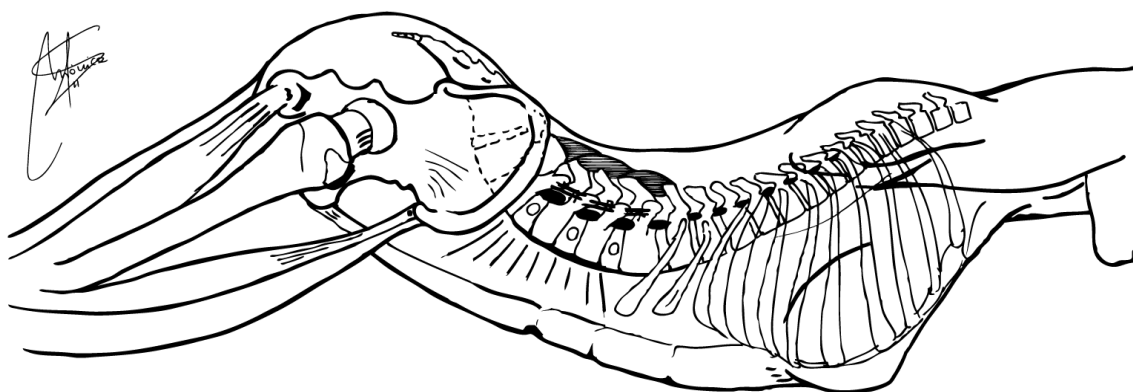


Fig 58. Situació de la musculatura abdominal a la fase final de la batuda descendent.

La musculatura lumbar (quadrat lumbar i paravertebrals lumbar) és la responsable de realitzar les extensions lumbar, necessàries per passar de la primera a la segona posició de la fase descendent (Fig. 55a i 55b).

A les EEII, els flexors del maluc (psoes ilíac, recte anterior del quàdriceps, gluti menor i tensor de la fàscia lata) actuen de forma encadenada amb el quadrat lumbar per provocar la flexió dels malucs a la posició de la 2ona fase de batuda ascendent.

La potent extensió dels genolls i la lleugera flexió dorsal del turmell, que quasi no troba resistència, es dona gràcies a la inèrcia generada per la cadena cinemàtica anterior, amb la participació dels extensors del genoll i els flexors dorsals del turmell (Chollet, 2003; McLeod, 2010).

Les EESS segueixen mantenint el patró de contracció estàtica descrit a la fase de lliscament.

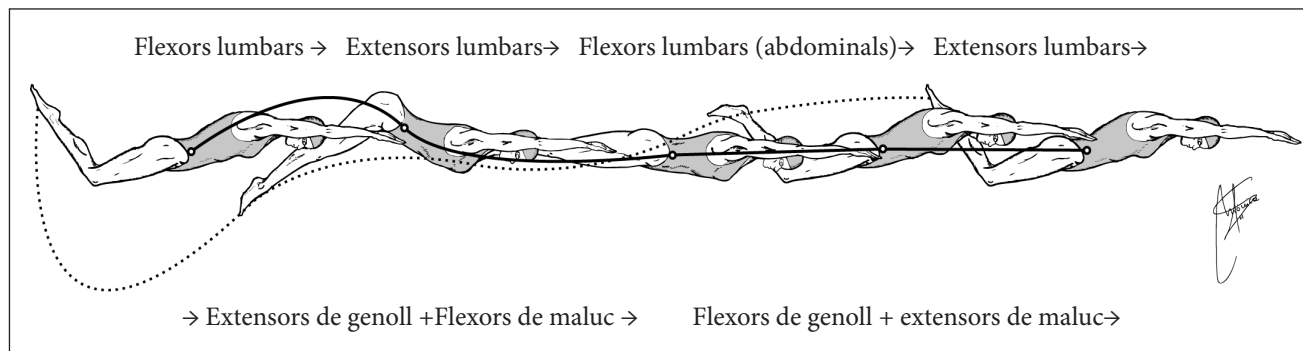


Fig 59. Cadenes cinètiques del tronc (part superior) i les EEII (part inferior) que participen al MOS.

5.2.5 Mètodes d'entrenament de la tècnica de natació subaquàtica

5.2.5.1 Consideracions prèvies a l'entrenament tècnic

Segons Chollet (2003), abans d'aplicar qualsevol mètode de millora de la tècnica, cal plantejar-se els motius de les possibles errades en la seva execució. Les errades més freqüents tenen una relació directe amb la propiocepció, el nivell de força i les característiques morfològiques dels propis esportistes. Entre elles es destaquen les següents:

- **El baix nivell de percepció corporal**

El nivell de consciència del cos pot anar per darrera de les evolucions físiques dels nedadors. Si cometen errades tècniques sense ser-ne conscients no es podran corregir.

La repetició d'un gest mal fet consecutivament, sense corregir-lo a temps, pot dificultar i alentir la seva millora.

- **Les errades tècniques acostumen a anar lligades a deficiències de tipus físic o morfològic que els nedadors miren de compensar**

La seva identificació ajuda a que aquesta compensació es faci de manera programada i controlada, per aconseguir una millora en el rendiment tècnic que no suposi esforços innecessaris. Per exemple, s'ha demostrat que la flexibilitat màxima del turmell és cabdal pel rendiment en el MOS i que els nedadors que són capaços de realitzar una hiperextensió del genoll, durant la batuda de EEII, generen un vòrtex addicional al final del batut ascendent. A diferència dels peixos, el tronc dels nedadors no és tan capaç de generar desplaçaments d'aigua al seu voltant perquè no es mou tant durant el MOS. En el cas dels nedadors amb excés de corbes a la columna vertebral i manca de força per controlar-les, pot provocar oscil·lacions del tronc que limiten la velocitat del MOS (Gavilán, 2002; Gavilán et al., 2002).



- **La tècnica sempre depèn dels components psicològics del nedador**

L'estat de nerviosisme o relaxació, de concentració o desconcentració i de manteniment o no manteniment de l'atenció en la tasca poden modificar molt la tècnica dels nedadors, d'un dia concret d'entrenament. Cal buscar estratègies en la planificació de l'entrenament de la tècnica per evitar la fatiga psíquica dels esportistes i evitar l'aparició dels esmentats factors (Chollet, 2003).

5.2.5.2 Mètodes contemporanis

La metodologia per la millora de la tècnica a la natació competitiva està especialment proposada pels biomecànics. Consisteix, fonamentalment, en l'administració de feedbacks de correcció als nedadors després d'haver-los enregistrat amb càmeres subaquàtiques.

Els **indicadors** que es consideren més importants per l'entrenament de la tècnica de la natació subaquàtica són els següents (Gavilán et al., 2002):

- Sincronització dels moviments que generen l'ondulació del cos, per facilitar la simetria i el ritme més adequat al rendiment.
- Manteniment del temps d'apnea entre els 10 i els 15m, tant a la sortida com en els viratges, sense que aquesta disminueixi el rendiment de la fase de natació en superfície.
- Treballar la consciència de la posició del cos a l'aigua per disminuir, en la mesura del possible, la resistència hidrodinàmica (Chollet, 2003; Silva et al., 2005; De la Fuente i Arellano, 2010).

De la Fuente i Arellano (2010) van demostrar que, després d'una sessió d'entrenament de sortides, els nedadors als que van donar un feedback de millora dins els 5s després de cada execució, van experimentar més millores immediates que els grups als que no se'ls va donar cap mena d'indicació. Els autors conclouen que la simple repetició sistemàtica de l'acció tècnica no és suficient per perfeccionar la tècnica i que és necessari millorar la qualitat de la informació propioceptiva i exteroceptiva rebuda per ajudar a optimitzar el patró motor desitjat. Ara bé, no especifiquen quin tipus d'indicacions van rebre els membres de la mostra ni de quina manera (verbal, tàctil, visual, o combinacions d'aquestes)

Altres recerques donen més importància, no tant al temps que es triga a donar les indicacions de millora als nedadors, sinó a les característiques d'aquestes.

Schmidt, Ungerechts, Buss i Shack (2010) van realitzar un estudi per avaluar l'efecte d'un entrenament basat en la millora de la tècnica a partir de la millora de la representació mental que els nedadors i les nedadores tenen del gest tècnic, en concret de la braçada de crol. És a dir, com creuen els nedadors que es mouen els seus segments durant l'execució tècnica, o quins criteris tenen ells mateixos per representar-los mentalment. Van comptar amb una mostra de 23 nedadors al grup experimental i 24 al grup control. Als dos grups se'ls va avaluar el coneixement inicial sobre el gest tècnic mitjançant el SDA-M (Anàlisi de la dimensió estructural de la memòria motora) durant 3 dies de test.

Després del primer test, els dos grups van entrenar sense cap indicació específica durant 12 setmanes i, després del segon test, el grup experimental es va sotmetre a 18 setmanes més d'entrenament en el qual l'entrenador explicava al nedador, de forma individualitzada, els aspectes en els que s'havia de concentrar.

Després de practicar-los, el nedador o la nedadora li comunicava les sensacions que havia tingut a l'entrenador. Els seus resultats demostren que el grup experimental va aconseguir millores significatives després de les 18 setmanes extres d'entrenament. Els autors consideren que el treball sistemàtic dels aspectes cognitius, relacionats amb la tècnica, haurien d'incloure's en la planificació a llarg termini, temporada a temporada, i començar a aplicar-se com a un mètode d'educació des de les categories més joves.

Un mètode semblant, a través de tècniques de visualització, va ser aplicat durant un període de 3 setmanes, a raó de 2 hores diàries, i no va tenir el mateix resultat. Els investigadors van atribuir la manca de millores al curt període d'entrenament proposat (Scurati, Michielon, Longo i Invernizzi, 2010).

Brito, Belvis i Oliveira (2010) van estudiar l'efecte de la restricció visual en l'organització temporal de la braçada de crol i, en contra del que esperaven, els nedadors van mantenir tant la direcció com la freqüència habitual. Conclouen el seu treball considerant que la mostra estudiada possiblement tenia el patró motor molt estructurat de forma conscient i la retirada de l'estímul visual no el va alterar. En canvi, altres estudis han trobat serioses dificultats per nedar normalment amb la retirada visual, especialment en la direcció del desplaçament.

Els investigadors que estudien els efectes de les manipulacions sensorials en la tècnica esportiva consideren important conèixer exactament els factors perceptius que alteren la execució tècnica per a poder combinar-los adequadament en l'administració de feedbacks de millora (Invernizzi, Longo, Tadini i Scurati, 2010; Shimojo, Ichikawa, Tsubakimoto i Takagi, 2010).



Un cop identificats els factors determinats per la millora de l'acció es considera molt important la informació verbal que es dona als nedadors. S'ha demostrat que l'administració de les indicacions verbals correctes pot ajudar a millorar immediatament alguns aspectes de la tècnica.

Zatón (2010) va comprovar que la inclusió d'informacions verbals sobre les característiques de les informacions propioceptives, que el nedador havia de "sentir", van millorar immediatament la seva execució de la braçada de crol. La informació, expressada verbalment, sobre com millorar el moviment hauria de provocar que el nedador sigui conscient del que necessita per millorar la coordinació de l'acció tècnica. Per aquest motiu, i coneixent que gràcies a la informació propioceptiva és possible la creació d'un moviment harmònic, es creu que l'entrenador hauria d'establir una jerarquia en l'ordre de les informacions aportades, d'acord amb les característiques de la recepció i assimilació de la informació propioceptiva. Aquesta manera de procedir hauria de millorar l'adquisició conscient del gest tècnic (Zatón, 2010; Schmidt, 2010).

5.2.6 Exercicis per l'entrenament de la tècnica de natació subaquàtica

Tot i que les propostes metodològiques per a la millora de la tècnica de la natació subaquàtica es troben dins de la recerca de la biomecànica, els exercicis publicats es plantegen dins el marc de la preparació física.

En general, fan esment a la importància de reforçar la zona mitja del cos, "the Core", i s'anomenen més per la zona que treballen que per la tècnica que pretenen millorar (Giorgi i Davie, 2008; Salo i Riewald, 2010; McLeod 2010; Cuartero et al., 2010).

Es fa especial èmfasi a la importància que tenen els exercicis per mantenir l'equilibri i la posició corporal hidrodinàmica, així com per millorar la tècnica i prevenir lesions. A més, es considera que treballar la musculatura de la part central del cos ajuda a enllaçar, de forma eficaç, els moviments de les extremitats durant la propulsió i a iniciar els moviments ondulatoris (McLeod, 2010; Salo i Riewald, 2010).

Giorgi i Davie (2008) van publicar un programa d'exercicis propioceptius per al tronc a on plantejaven l'execució de 2-3 sèries de 5-10 repeticions mantenint 2-3s en la fase d'escurçament muscular i uns altres 2-3s en la fase de estirament.

Els exercicis consisteixen en la realització de diverses posicions d'elongació longitudinal del cos amb diferents accions de les extremitats, primer en decúbit supí i després en decúbit pron (Fig. 60).

A les indicacions verbals que proposen es repeteixen les següents indicacions:

- Malucs i genolls relaxats
- La columna s'allarga portant el melic cap a l'esquena, estirant el coll i realitzant respiració abdominal
- Col·locar escàpules.

En cap de les explicacions dels exercicis es detalla com és la respiració abdominal ni com han de fer coincidir la respiració amb l'execució del moviment.

Es proposa començar les sessions amb els exercicis propioceptius i centrar-se en la qualitat, i no la quantitat d'exercicis.

El temps de manteniment de les posicions sol·licitades és el mateix per tots els exercicis propioceptius i es realitza sota les mateixes característiques, pel que fa a l'amplitud de moviment que es demana.

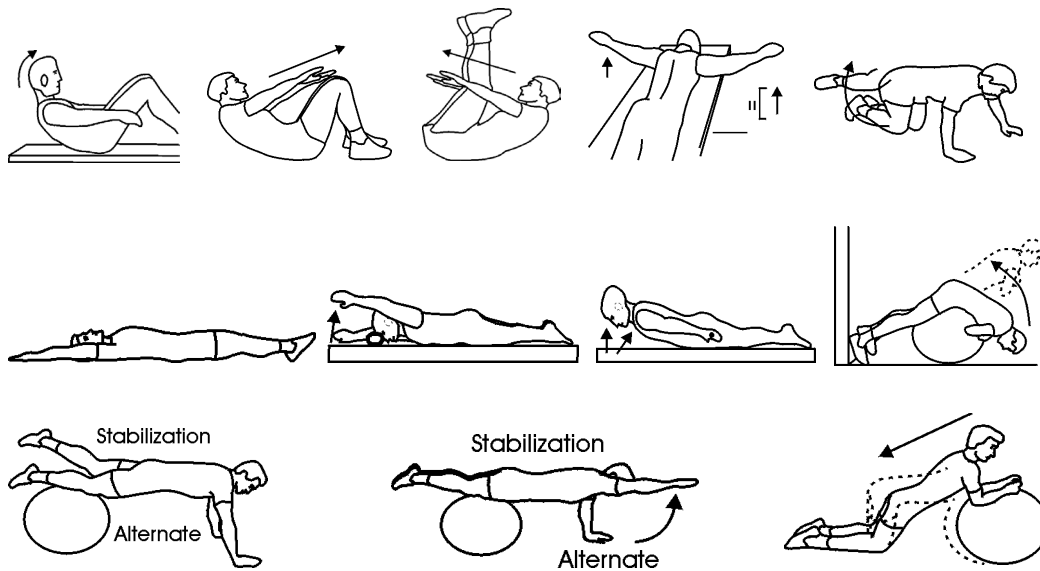


Fig 60. Alguns exercicis proposats (Giorgi i Davie, 2008; Salo i Riewald, 2010)



En canvi, per a la resta d'exercicis de preparació física (no propioceptius) es compta amb un règim de progressió adequada al nivell i edat dels nedadors, des dels manteniments de 15s a les primeres sessions de les edats més joves i de 60s als nivells superiors, fins a arribar a realitzar manteniments de posicions de 60s i 180s, respectivament (Giorgi i Davie, 2008).

Salo i Riewald (2010) proposen començar els exercicis de treball de la zona mitja amb 2-3 sèries de 15 repeticions, mantenint la posició comptant fins a 10, al nivell d'iniciació, 15 s al nivell mig i fins a 45 s a l'avançat. A mesura que es guanya força s'augmenten les repeticions fins a arribar a 25 en els nivells d'iniciació. Als nivells mig i avançat canvien les posicions del cos, incrementant la dificultat de l'acció i aplicant els mateixos temps de manteniment.

McLeod (2010) considera que una manera d'assegurar una tècnica d'execució adequada és utilitzar poca o cap resistència al principi. S'inicia amb el reclutament conscient de la musculatura abdominal, per controlar la posició dels malucs i de la pelvis. Es creu que una aproximació útil és la de visualitzar tots els músculs abdominals com si fossin una faixa i centrar-se conscientment en contraure'ls per a que adoptin aquesta forma.



Segona Part

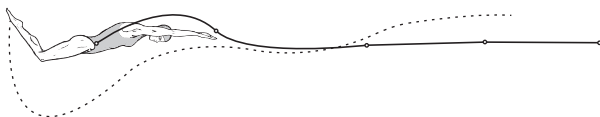
Aplicació Empírica

6. Introducció i plantejament del problema

Tot i que des del 2002 es va fer la diferenciació conceptual entre la propiocepció i el sistema sensoriomotriu, els exercicis que es proposen per a millorar la propiocepció encara segueixen posant en compromís altres receptors del sistema sensoriomotriu i no tant als propioceptius.

Els exercicis sobre situacions d'inestabilitat continuen essent l'eix metodològic dels programes de reeducació propioceptiva, malgrat es coneix que la propiocepció condiona l'equilibri i que els exercicis d'equilibri no suposen un estímul epicrític per a la propiocepció.

S'ha demostrat que l'activitat reflexa, que s'estimula amb els exercicis sobre superfícies inestables, no genera cap mena de millora en la conductivitat de les neurones associades a receptors propioceptius, pel que l'efecte d'aquests exercicis per prevenir lesions a partir de la millora propioceptiva és, ara per ara, inexistent.



L'entrenament de la propiocepció conscient es considera indispensable per la millora de la capacitat de visualització, de la tècnica, de l'apreciació estètica de la dificultat esportiva, del control sobre la postura saludable, entre d'altres. Ara bé, la recerca sobre la metodologia per seu entrenament és absent, com ho és la consideració de que aquesta metodologia hauria de respectar els criteris metodològics que s'apliquen a altres qualitats físiques que depenen del sistema nerviós. Encara no hi han protocols que fugin del clàssic exercici de desequilibri articular i no es tenen clars quins són els criteris d'administració dins de la planificació de la temporada.

A més, la majoria de protocols d'exercicis per millorar la propiocepció es donen en l'àmbit de la salut i en articulacions amb problemes d'estabilitat, com puguin ser el genoll, el turmell o la glenohumeral, i són més escassos els protocols per a la CV lumbar.

A la natació, la millora del rendiment esportiu s'ha vist clarament afectada per l'aportació de la tecnologia. La innovació en els materials dels vestits de bany va revolucionar els marcadors i augmentar estrepitosament els rècords del món. La seva prohibició ha estat un nou repte pels entrenadors i nedadors que, actualment, han de recuperar aquell rendiment a base de millores en els programes de preparació física i a combinar, de forma magistral, tots els mètodes que la ciència posa al seu abast per millorar el rendiment esportiu.

Un dels aspectes que pot marcar la diferència a l'alt nivell, quan la tècnica dels estils està pràcticament dominada, és la recerca de mètodes per a la millora de la tècnica de natació subaquàtica o cinquè estil, considerada avui en dia el fet diferenciador entre els nedadors bons i els molt bons.

7. Objectius i hipòtesis

7.1 Objectius

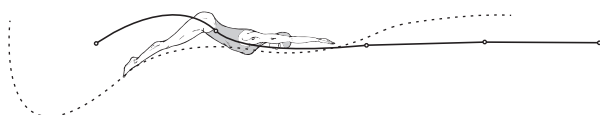
A l'estudi experimental pur, que s'exposa a continuació, es pretén conèixer quins són els efectes de l'aplicació de dos mètodes d'entrenament sobre les variables relacionades amb la propiocepció i l'amplitud de moviment de la CV lumbar. És a dir, avaluar l'entrenabilitat de la propiocepció i el rang d'ADM lumbar durant un període de 3 mesos, a una mostra de nedadors i nedadores de nivell autonòmic, nacional i internacional.

Dins dels objectius procedimentals caldrà:

- Dissenyar uns exercicis i una proposta d'aplicació que respectin la tècnica i participació muscular de la CV lumbar al cinquè estil i la teoria de l'entrenament.
- Aplicar, de forma controlada, programada i sistemàtica, els exercicis amb dos mètodes d'entrenament diferents.
- Avaluar l'amplitud de moviment i la precisió en el posicionament de la CV lumbar dels membres de la mostra abans i després de ser sotmesos als exercicis en dues situacions d'entrenament i respecte del grup control.

Els objectius que es pretén demostrar són els següents:

- Determinar la influència de dos mètodes d'entrenament sobre l'errada de reposicionament lumbar en el pla sagital i sobre el rang d'ADM lumbar en el mateix pla.
- Conèixer la incidència de l'aplicació del mètode d'entrenament amb els ulls tancats sobre les variables relacionades amb la propiocepció i l'ADM lumbar.
- Conèixer la incidència de l'aplicació del mètode d'entrenament amb els ulls oberts sobre les variables relacionades amb la propiocepció i l'ADM lumbar.



7.2 Hipòtesis

Un cop revisada la literatura científica i observades les mancances en alguns dels aspectes que condicionen el rendiment físic a la natació competitiva, a la part empírica es plantegen les següents hipòtesis:

H1:

“L’amplitud de moviment lumbar en el pla sagital experimentarà un increment després de la realització d’exercicis que comprometin els extrems del moviment lumbar en el mateix pla”.

H2:

“L’errada de reposicionament lumbar en el pla sagital serà menor després de la realització dels mètodes d’entrenament 1 i 2, que repeteixen un patró de moviment lumbar en tota la seva amplitud dins el pla sagital, respecte de no realitzar cap mena d’intervenció d’aquest tipus”.

H3:

“L’errada de reposicionament lumbar serà menor aplicant el mètode d’entrenament amb els ulls tancats, centrant l’atenció sobre la zona lumbar, que realitzant-lo amb els ulls oberts sense cap limitació sensorial”.

8. Mètode

8.1 La Mostra

Han participat en l'estudi una mostra seleccionada de forma no probabilística intencional de 57 nedadors i nedadores de nivell nacional espanyol, 34 del gènere masculí i 23 del femení, d'edats compreses entre els 15 i els 33 anys, alçades entre els 161 i els 192 cm, pesos entre els 49 i els 95 kg i IMC entre el 18 i el 26 (taula 12).

Taula 12. Característiques descriptives de la mostra

N	Sexe (n)		Edat (anys)	Alçada (cm)	Pes (kg)	IMC
	♂	♀				
57	34	23	20.5±3.7	177.6±7.2	71.5±9.3	22.5±2

Tots els integrants entrenen 6 dies a la setmana, un total de 9 sessions de 2 a 2h 30min dins l'aigua i de 2 a 3 sessions de 1h30min a 2 hores de preparació física en sec.

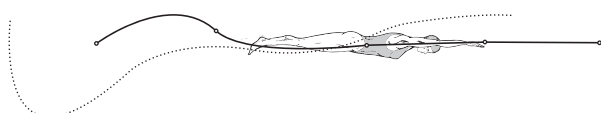
En total, la mostra compta amb 20 velocistes (que entrenen per proves de distàncies de 50 i 100m), 31 migfondistes (que entrenen per proves de distàncies de 200 i 400m) i 6 fondistes (que entrenen per proves de 800 i 1500m).

Respecte del nivell dels integrants de la mostra, s'ha comptat amb 35 d'un total de 37 integrants de l'equip nacional absolut espanyol (ENA), 12 de 12 integrants de la selecció catalana de natació i 11 de 11 integrants de l'equip absolut del Club Natació Mediterrani. Tots ells de la temporada 2009-2010. S'han descartat dos integrants de la selecció espanyola per no estar presents en la concentració de pretemporada de setembre de 2009, a on es van realitzar les avaluacions inicials i la jornada de familiarització d'aquest col·lectiu.

Els nedadors de l'equip nacional absolut està format pels dos millors nedadors de cada prova del calendari competitiu nacional, segons els resultats del Campionat d'Espanya de primavera 2009. Competeixen a nivell autonòmic, nacional i internacional.

Els integrants de la selecció catalana són els dos millors de cada prova nascuts a Catalunya, excloent els que ja han estat seleccionats per l'equip nacional espanyol, competeixen a nivell autonòmic, nacional i internacional.

Els integrants del Club Natació Mediterrani són nedadors que competeixen a nivell autonòmic i nacional.



Els 57 integrants de la mostra s'han dividit en 3 grups: 2 grups experimentals (1 i 2) i el grup control (taula 13 i Fig. 61).

Els tres grups s'han distribuït de manera que el nombre d'integrants sigui proporcional en nombre, gènere i integrants per nivell, especialment en els grups d'entrenament 1 i 2 (Taula 14 i Fig. 61).

Taula 13. Característiques descriptives dels grups experimentals i del grup control

Grup	N	♂	♀	Edat (anys)	Alçada (cm)	Pes (kg)	IMC
Tots	57	34	23	20.5±3.7	177.6±7.2	71.5±9.3	22.5±2
G1	20	13	7	19.5±3.0	178±8.4	72.6±11.3	22.7±2.1
G2	21	13	8	21.5±4.2	177.9±5.7	71.3±6.9	22.5±1.7
G. Control	16	8	8	20.4±3.6	177.5±8.9	70.3±9.9	22.2±2.2

La constitució del grup control es va realitzar a partir dels nedadors de l'equip nacional que no entrenen als centres d'alt rendiment i que es troben distribuïts geogràficament de manera molt heterogènia dins del territori espanyol i europeu. De forma aleatòria s'han inclòs 2 integrants del CE Mediterrani i 1 integrant de la selecció catalana.

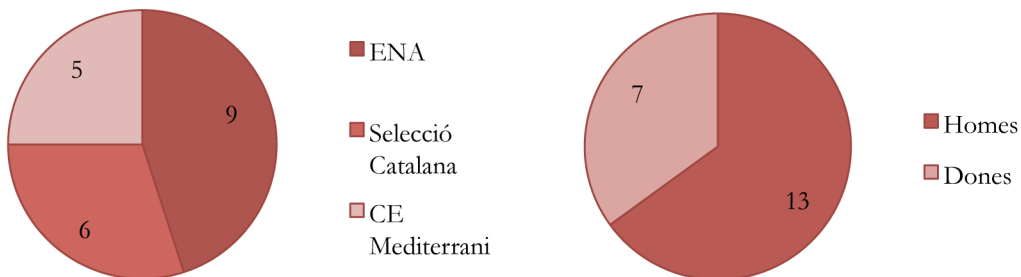
Els integrants dels grups d'intervenció han estat formats a partir de la divisió aleatòria dels integrants de cada grup d'entrenament controlat pels responsables del seguiment de la proposta d'intervenció, mirant de mantenir el més homogèni possible el nombre total de subjectes dels dos grups experimentals i la composició dels grups en quant al gènere. La recerca de la homogeneïtat de gènere dels grups ha provocat les diferències del nombre d'integrants per nivell dels grups experimentals.

Tots els integrants del grup 1 es van comprometre verbalment i per escrit a realitzar els exercicis segons els criteris d'execució proposats especialment ells i a no comunicar-ho a la resta, donat que en molt casos els integrants dels dos grups entrenaven en el mateix centre.

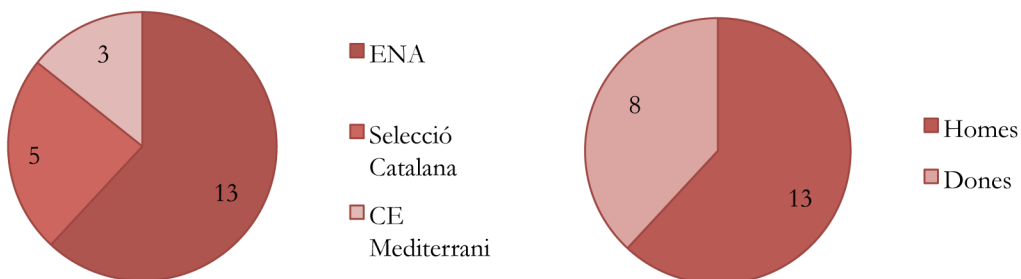
Es va comunicar als integrants del grup control, de forma verbal i per escrit (veure annex 1), que se'ls faria una avaluació inicial i final però que no havien de realitzar els exercicis durant un període de 3 mesos.

Es va convidar a tots els nedadors de la mostra a posar en pràctica el mètode amb el que s'observin resultats més positius pel seu rendiment esportiu, un cop finalitzat el període d'estudi, després del post-test.

Grup experimental 1



Grup experimental 2



Grup Control

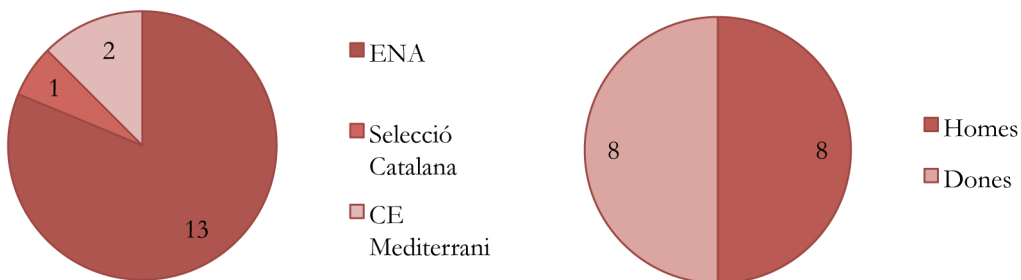
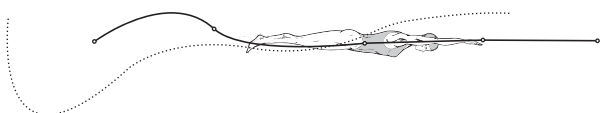


Fig 61. Nombre d'integrants dels grups d'intervenció segons nivell



Tots els integrants de la mostra van signar el full de consentiment informat aprovat per la comissió d'ètica de la Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i l'Esport (FPCEE) Blanquerna. En el cas dels membres menors d'edat el document de consentiment va ser signat pels respectius pares (veure annex 2).

També va ser signat un document de cessió d'imatge de la FPCEE Blanquerna, pels nedadors i nedadores que van ser fotografiats durant l'avaluació, o bé utilitzats com a model, per la il·lustració dels exercicis amb foto i vídeo (veure annex 3).

8.2 Disseny de la investigació

Es tracta d'un estudi experimental pur, a on es mesurarà les variables d'amplitud de moviment (ADM) i errada de posicionament de la CV lumbar en el pla sagital, abans i després d'administrar un protocol de 3 exercicis consecutius, durant un total de 75 sessions, realitzades de dilluns a dissabte, i dins un període màxim de 3 mesos naturals (Fig. 62).

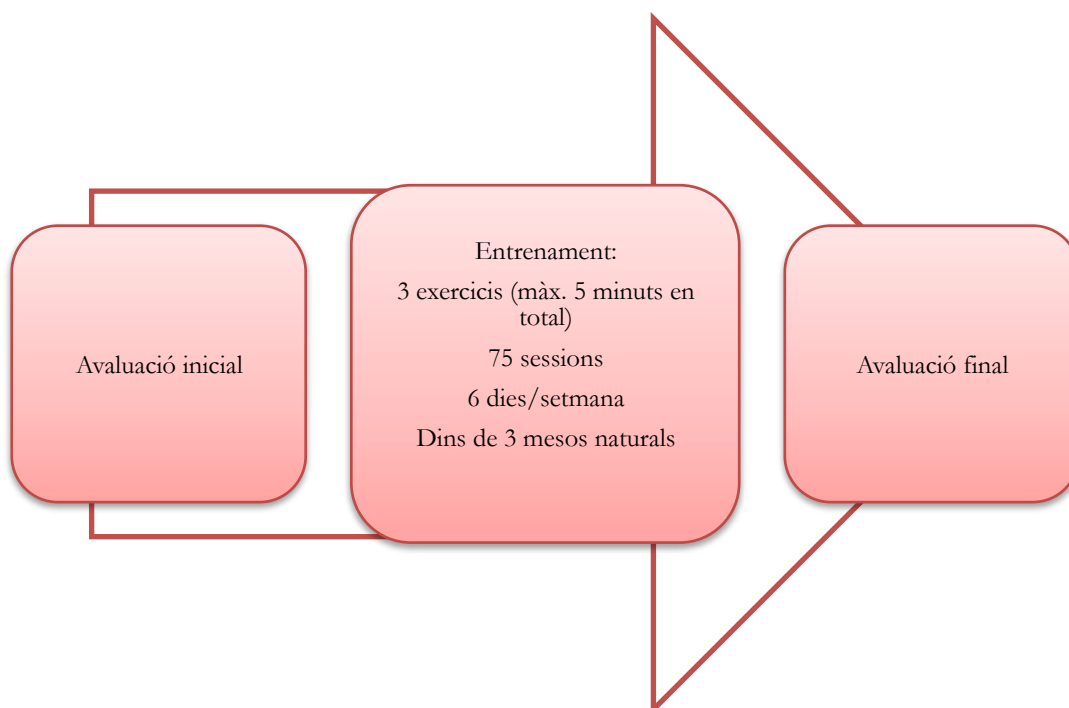


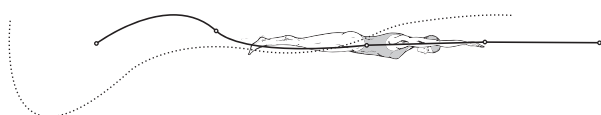
Fig 62. Esquema disseny experimental

Les variables contemplades es mostren a la taula 14.

Per provar les hipòtesis s'estableixen relacions entre les variables grup experimental, nivell, estil i sexe amb les variables d'ADM i errada de re posicionament absoluta i relativa (Fig. 63).

Taula 14. Variables

Variables independents	Variables dependents	Variables contaminants controlades	Variables contaminants no controlades
Edat	ADM en flexió lumbar.	Nombre de sessions d'exercicis realitzades.	Estat emocional dels subjectes de la mostra.
Gènere	ADM en extensió lumbar	Indumentària durant l'avaluació.	Nivell d'atenció dels participants del grup 1.
Nivell (selecció espanyola, catalana o club).	Rang d'ADM en el pla sagital: Amplitud de moviment des de la màxima flexió a la màxima extensió.	Temperatura ambient durant l'avaluació.	Nivell de motivació i implicació en la realització dels exercicis dels grups d'entrenament 1 i 2.
Distància de competició (velocistes, migfondistes i fondistes).	Errada absoluta: Graus de diferència, en valor absolut, entre els graus de la posició intermèdia percebuda i la real.	Protocol d'avaluació.	Nivell de fatiga psíquica durant la realització dels exercicis.
Estil de competició principal (crol, esquena, papallona i braça).	Errada relativa: % d'errada respecte l'errada absoluta i el rang d'ADM en el pla sagital.	Situació de descans per l'avaluació i realització dels exercicis.	
	Grup experimental: Manera de fer els exercicis.	Típus d'entrenament a l'aigua.	
		Típus d'entrenament al gimnàs.	



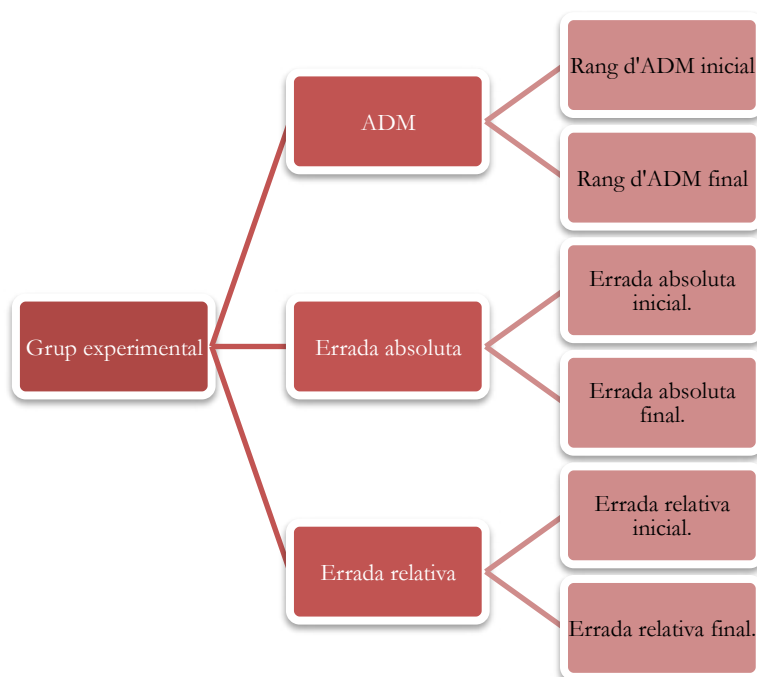


Fig 63. Exemple d'encreuament de variables plantejat a les hipòtesis

8.3 Materials, instruments i instal·lacions per l'avaluació

Pilotes suïsses

S'han utilitzat pilotes suïsses de 3 diàmetres per a que, durant l'avaluació, la postura en sedestació sobre la pilota suïssa no limiti els moviments de la CV lumbar en el pla sagital i permeti que els participants es mantinguin dins d'uns marges de 90-110 de flexió coxofemoral i entre els 70-90 de flexió de genoll (Kapandji, 2001; Merritt i Merritt, 2007).

- 55cm per subjectes d'alçades entre els 160 i el 170cm d'alçada.
- 65cm pels membres d'alçades entre els 171 i els 180cm d'alçada.
- 90cm pels integrants de la mostra entre els 181 i els 192 cm d'alçada.

Ordinador portàtil

S'ha utilitzat l'ordinador per reproduir el vídeo explicatiu de la prova mentre es col·locava el goniòmetre als membres de la mostra, evitant les interferències en els resultats obtinguts fruit de la quantitat d'informació administrada per l'investigador. Després s'ha utilitzat per enregistrar les dades recollides pel Biopac.

Biopac (Biopac Systems©, Inc. USA)

Sistema computeritzat d'adquisició i anàlisi de dades estructurat a base de mòduls que actuen com a transductors d'un senyal elèctric que es descodifica per transformar-lo en la unitat de mesura desitjada (graus, metres per segon, batecs per minut, entre d'altres).

Goniòmetre digital o electrogoniòmetre (Transductor TSD130A de Biopac System©, USA)

Es va mesurar l'amplitud de moviment, en graus, amb un goniòmetre digital biaxial, transductor analògic TSD130A del sistema computeritzat Biopac Systems©. Estava connectat a un ordinador portàtil al qual se li havia instal·lat el software de recopilació de dades AcqKnowledge. El goniòmetre va ser calibrat en els eixos x i y a cada sessió d'avaluació, tot i que només es van utilitzar les dades del pla sagital. Es va configurar una freqüència de mostreig de 3125Hz.

Cronòmetre manual (Namaste model 898, Espanya)

El cronòmetre s'ha utilitzat per localitzar els intervals de temps de la prova en els que els membres de la mostra realitzen les posicions sol·licitades.

Bàscula amb tallímetre (Soehnle professional 2755, Alemanya)

Bàscula digital amb precisió de 100 g i regle mil·limetrat per mesurar la massa i l'alçada dels membres de la mostra prèviament a la realització de la prova.

Altres materials: (Fig. 64)

- 2 màscares negres: Per a cobrir els ulls (una de recanvi).
- Tisores per tallar la cinta adhesiva.
- Cinta adhesiva de doble cara per col·locar els braços del goniòmetre sobre la pell dels membres de la mostra.
- Cinta adhesiva hipoalergènica per assegurar els braços del goniòmetre.
- Alcohol sanitari de 96° per netejar la pell dels subjectes abans de col·locar el goniòmetre i per netejar l'adhesiu sobrant després de cada mesura.
- Paper i bolígraf per anotar els parcials de cada membre de la mostra al finalitzar cada mesura.

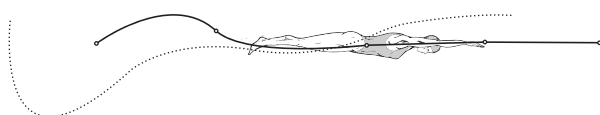




Fig 64. Imatge dels materials i mètode del test (Fotografia editada per Pablo Coello)

Instal·lacions

Les avaluacions inicials i finals es van dur a terme a diferents ubicacions geogràfiques i instal·lacions.

Tots els espais eren sales d'un mínim de 20m², amb una temperatura ambient entre els 20° i els 22°. Amb connexió elèctrica i en una ubicació a on el soroll ambiental no destorbava l'atenció dels membres de la mostra.

Entre ells es troben: El gabinet mèdic de natació del centre d'alt rendiment Joaquín Blume de Madrid, la sala de reunions del despatx d'entrenadors del Centre d'Alt Rendiment esportiu de Sant Cugat (C.A.R), una sala de fisioteràpia del centre d'entrenament Tenerife Top Training i un espai dins el gimnàs del Club Esportiu Mediterrani.

8.4 Procediment

8.4.1 Procediment d'avaluació

Cronologia (taula 16)

L'avaluació inicial es va realitzar de forma separada en els tres grups segons nivells.

Els integrants de la selecció espanyola van ser avaluats durant la concentració de pretemporada, a finals de setembre de 2009.

La selecció catalana i del club natació Mediterrani van ser avaluats dins la setmana següent a la concentració, durant la primera setmana d'octubre de 2009.

L'avaluació final es va fer entre finals de desembre de 2009 i principis de gener del 2010, de forma esglaonada, a mesura que els integrants de la mostra finalitzaven les 75 sessions sol·licitades.

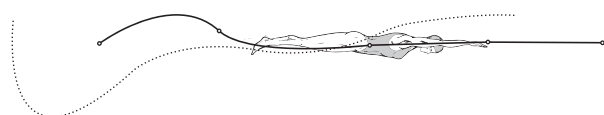
Antecedents del test d'avaluació

El test administrat és un test dissenyat per la investigadora d'aquesta tesi, que ha passat la prova de la fiabilitat en un estudi realitzat amb 12 subjectes voluntaris, estudiants de ciències de l'esport, sense cap simptomatologia dolorosa a la CV lumbar ni experiència amb la pilota suïssa.

Dins la mostra hi va haver 8 integrants masculins, de 22.3 ± 2.6 anys d'edat, alçades entre els 173 i els 185 cm i masses entre els 62 i els 88kg. La resta d'integrants van ser 4 noies, de 23 ± 1.8 anys d'edat i alçades compreses entre el 161 i els 170cm i masses entre 53 i 65 kg. Tots els membres de la mostra manifestaven tenir una activitat física setmanal d'entre 4 i 14h.

La prova de fiabilitat va ser realitzada observant la repetibilitat intents i entre test d'un mateix subjecte.

La repetibilitats entre intents va ser calculada entre 3 repeticions de flexió i extensió màximes alternades, primer amb els ulls oberts i, després d'un descans de 20s, amb els ulls tapats en una mateixa jornada d'avaluació. Va ser calculada amb la mesura del coeficient de variació entre les 3 repeticions de les posicions. Es va establir que el coeficient de variació havia de ser menor al 100%. Els resultats van donar coeficients de variació amb mitjanes de 5.8% pels moviments de flexió, realitzant la prova amb els ulls oberts i de 6.1% realitzant la prova amb els ulls tapats.



Els coeficients de variació pels moviments d'extensió van tenir unes mitjanes de 9.5% amb els ulls oberts i del 6.8% amb els ulls tapats.

La repetibilitat entre tests va ser avaluada en dos jornades, separades per un període de 2-3 dies. Va ser aplicat el test de rangs de Wilcoxon, per avaluar la variació entre les mitjanes de les posicions mesurades al mateix subjecte. Es va considerar que s'acomplia la repetibilitat entre test quan les diferències entre els resultats dels dos dies no eren significatives ($p \geq 0.05$). Els resultats van ser de $p=0.28$ per les posicions de flexió amb ulls oberts i $p=0.17$ amb els ulls tapats, i de $p=0.5$ per les posicions d'extensió amb els ulls oberts i $p=0.87$ amb els ulls tapats. L'alta fiabilitat en la repetibilitats entre intents i la metodologia utilitzada en els antecedents dins la recerca de la propiocepció han estat la causa per la qual el test d'avaluació del present estudi s'ha realitzat amb els ulls tapats.

L'objectivitat interna s'acomplia per que l'avaluadora va ser la mateixa i va aplicar el mateix protocol d'avaluació en tots els casos.

L'estudi va ser presentat amb un pòster al 14è Congrés del European College of Sport Science, celebrat a Oslo el 25 de juny de 2009 (veure annex 4).

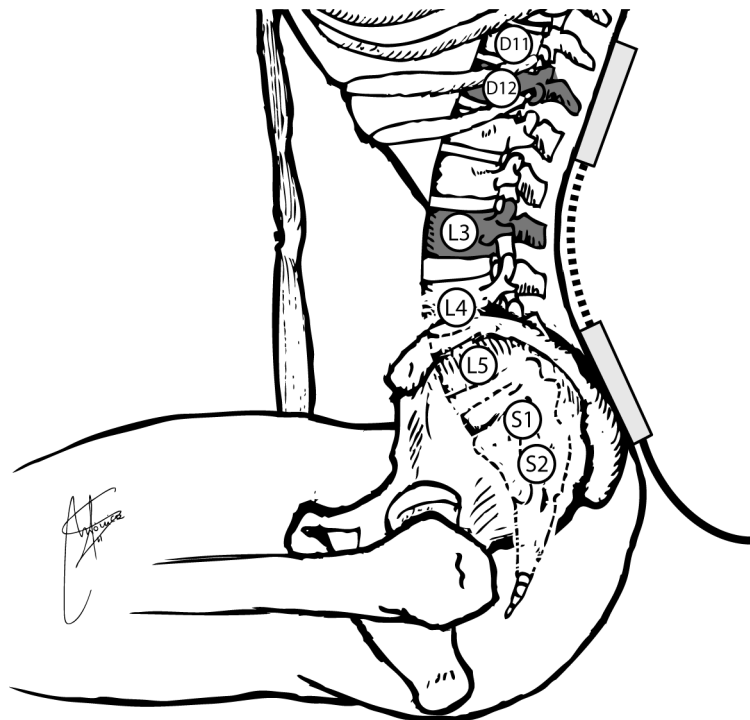


Fig 65. Ubicació del goniòmetre

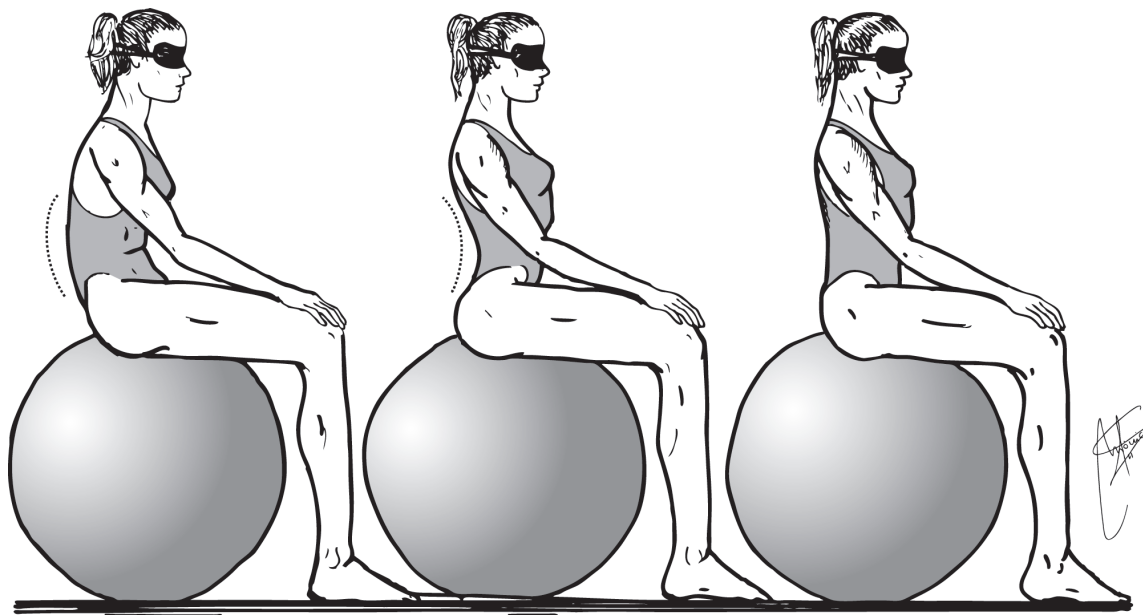


Fig 66. Moviments sol licitats al test, d'esquerre a dreta: Flexió, extensió i posició intermèdia percebuda

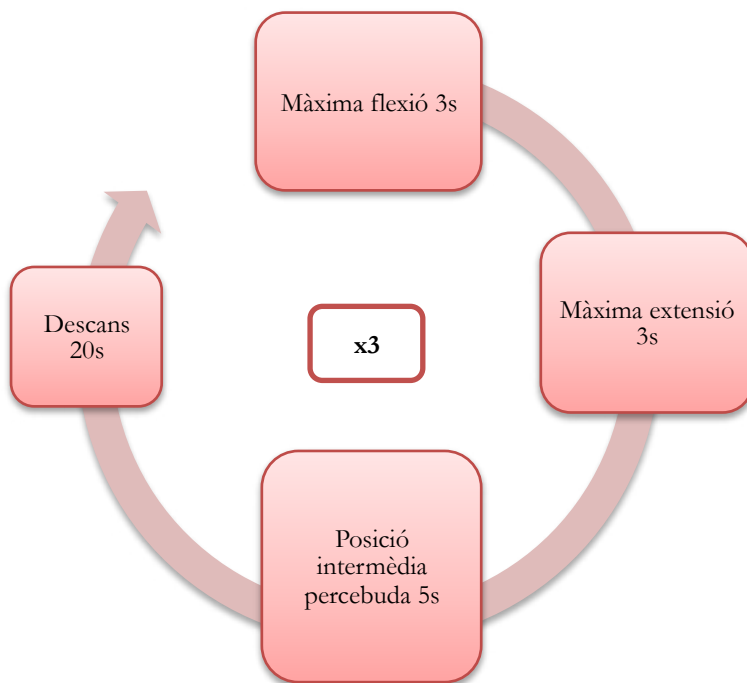
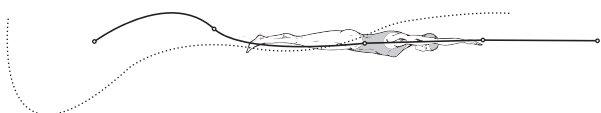


Fig 67. Cicle, temps de manteniment de les posicions i descansos del test



Descripció del test d'avaluació

Abans de l'avaluació, es va informar a tot el grup, de forma oral i per escrit, sobre l'estudi en el que se'ls convidava a participar, de forma voluntària. Tots van acceptar i signar el full de consentiment (veure annex 2).

Els subjectes de la mostra van passar el test d'un en un. Abans de començar, es va realitzar l'anamnesi i les mesures de pes, alçada de forma individualitzada i a porta tancada.

A l'anamnesi l'investigador va obtenir dades referents a les proves i distàncies en les que competia cada integrant de la mostra, així com de l'experiència ne exercicis de control lumbar i la història de simptomatologia dolorosa lumbar o d'altres regions del tronc i la pelvis. Cap dels participants presentaven simptomatologia dolorosa lumbar, ni de cap altre tipus. Les dades van ser anotades directament a una base de dades de l'ordinador portàtil.

Un cop finalitzada l'anamnesi es va procedir a col·locar el goniòmetre, mentre els subjectes estaven en bipedestació visualitzant un vídeo amb les indicacions de la prova a la pantalla de l'ordinador (veure annex 5).

El braç superior del goniòmetre es va ubicar sobre les vèrtebres D11 i D12, el centre de la molla del descodificador es va situar a l'alçada de L3 i el braç inferior del goniòmetre es va subjectar sobre la superfície de S1 i S2 (Fig. 65).

El test va consistir en l'avaluació dels graus de posició, en tres intents consecutius, d'una seqüència de posicions de la CV lumbar en pla sagital (en màxima flexió, extensió i en la posició intermèdia percebuda), mantingudes durant 3s, 3s i 5s, respectivament. El temps de descans entre repeticions de la mateixa seqüència va ser de 20s (Fig. 66 i 67).

8.4.2 Procediment d'intervenció

8.4.2.1 Justificació i disseny dels exercicis

Per a l'assoliment del propòsit del present estudi es plantegen 3 exercicis que respecten les bases teòriques desenvolupades i pretenen els objectius que es detallen a continuació.

a. Facilitar l'estimulació dels propioceptors de forma conscient.

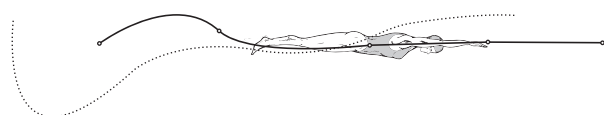
Es mira de que l'amplitud de moviment i la velocitat d'execució provoquin la màxima estimulació dels receptors propioceptius. Es proposa assolir la màxima extensió lumbar per provocar un estirament de la musculatura i dels lligaments anteriors de la CV lumbar, amb el propòsit d'estimular els fusos musculars del recte abdominal (oblics major i menor) i els receptors de Pacini, Ruffini i òrgans tendinosos Golgi ubicats al lligament comú anterior i al lligament anterointern capsular, els quals s'estimulen als extrems del moviment.

La velocitat d'execució de l'exercici, lenta i controlada, permet que s'activin els receptors de Pacini al inici del moviment i durant els canvis de posició (per tenir baix llindar d'activació i ràpida acomodació). Els receptors de Ruffini i de Golgi s'estimulen en el manteniment dels extrems de la posició d'extensió lumbar, facilitant la informació sobre la posició, els límits i la velocitat del moviment (per tenir un llindar d'estimulació baix i, al ser menys acomodables, mantenir més temps la seva estimulació).

L'arribada als extrems de l'extensió i la sol·licitació muscular a partir de la màxima extensió, augmenta el nombre de fusos musculars activats, així com el temps de treball de la musculatura implicada i el temps total d'estimulació.

Es proposa en manteniment del cap a terra per no provocar cap alteració de la posició ni de l'acceleració del cap, evitant l'estimulació de l'aparell vestibular que, com s'ha explicat, no proporciona cap informació propioceptiva.

A fi i efecte de que les informacions arribin a l'escorça sensitiva primària, es proposa una execució voluntària, controlada i repetida 10 cops, de manera que, amb la repetició sistemàtica i diària, es generi un registre conscient de la tasca, a l'escorça premotora, que faciliti el control conscient dels moviments i posicions de la CV lumbar en el pla sagital.



b. Eliminar l'activitat reflexa per millorar l'estatèstèsia i la cinestèsia simultàniament.

La velocitat lenta i controlada, evitant els canvis bruscos o sobtats de posició o de tensió muscular, elimina l'estimulació de l'activitat reflexa propioceptiva, evitant que la informació es processi a nivell medullar i s'elabori a l'escorça cerebral. Es descarten totalment les desestabilitzacions o desequilibris, per centrar l'estimulació en els receptors propioceptius i facilitar el control conscient de la tasca.

c. Evitar els factors que afecten negativament la propiocepció.

S'administra una sola sèrie de 10 repeticions de cada exercici, de manera que es generi la mínima fatiga física, metabòlica i psíquica.

El volum de càrrega en un exercici no supera el minut, i la velocitat d'execució és lenta. Ambdues característiques eviten l'exhauriment de glucosa i faciliten el treball del metabolisme aeròbic, evitant la presència de metabòlits que augmentin la fatiga física.

L'administració d'una sola sèrie de cada exercici mira d'evitar la fatiga del sistema nerviós central.

Respecte dels factors d'edat, sexe i experiència motriu, tots els membres de la mostra es troben dins dels grups d'edat en els que la propiocepció és igual. L'experiència motriu i el sexe dels integrants dels grups d'entrenament ha estat homogènia, tal com s'explica a la descripció de la mostra.

Cap dels participants presentava simptomatologia dolorosa, ni cap mena d'alteració del funcionament del SNC.

d. Estimular la musculatura motora de la CV lumbar en el pla sagital, especialment la musculatura flexora implicada en la natació subaquàtica.

Es proposa la realització dels exercicis des de la posició de decúbit i sol·licitant els extrems dels moviments d'extensió per augmentar l'exigència i el temps de treball de la musculatura motora de la CV lumbar en el pla sagital, especialment la musculatura flexora lumbar (recte abdominal i oblics). La disposició dels segments corporals, alineats amb el tronc, respon a la necessitat de implicar a les cadenes musculars cinètiques anteriors i posteriors sol·licitades tant a la fase de lliscament com al MOS.

e. Implicar a la musculatura que augmenta la pressió intraabdominal: el transvers abdominal.

El control de l'inspiració i el manteniment de les posicions d'elongació corporal en apnea espiratòria busca l'activació especialment intensa del transvers abdominal.

f. Aplicar els principis de l'entrenament.

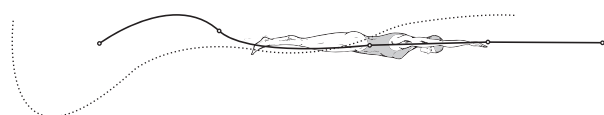
El disseny dels exercicis i de la seva aplicació ha mirat de respectar, en la mesura del possible la teoria de l'entrenament, des dels aspectes més generals als més específics.

Segons els principis de **periodització**, començant per la ubicació dins del macrocicle, l'administració del entrenament s'ha proposat just després de la tercera setmana d'entrenament, durant el primer macrocicle, d'un plantejament bicíclic de temporada a on els objectius de rendiment es troben a 16 setmanes, a temps de poder modificar i millorar la seva administració de cara a la primera prova important de l'any. Es tracta d'un període dins el qual els nedadors han recuperat lleugerament el seu estat de forma física després del període transitori de vacances i el nivell de força és el just per poder realitzar els exercicis proposats.

En quant a la preferències d'administració dins del mesocicle i els microcicles, cal dir que la durada i la intensitat dels exercicis és tan petita que no hauria d'afectar al desenvolupament de la part central de la sessió.

La seva realització al principi de la sessió, no només permet realitzar un l'exercici sota les mínimes condicions de fatiga física i psíquica sinó que pot resultar un exercici interessant per incloure'l dins de l'escalfament per augmentar el grau de connexió neuromuscular i augmentar lleugerament la temperatura corporal i la freqüència cardíaca (característiques que hauria de garantir un bon escalfament).

Els mateixos exercicis es podrien plantejar de diferents maneres per ajustar-se als continguts dels mesocicles de càrregues concentrades, propis de la planificació a la natació competitiva. En aquest sentit en el període d'acumulació es podrien realitzar tal i com es proposen al present estudi, al període de transformació es podrien realitzar al principi de l'escalfament (5 respiracions) i al final de l'escalfament (unes altres 5) i enllaçar la realització dels exercicis amb una transferència a l'aigua mirant de pensar en el gest que acaben de realitzar durant el primer contacte diari del nedador amb l'aigua. Dins del període de realització aniríem desplaçant els exercicis cap al final de l'entrenament, de manera que el sistema nerviós encadeni un cert grau de fatiga de l'escalfament amb la primera sortida o entrenaments de sortides de la forma més semblant a la competició.



A nivell d'altres principis de l'entrenament, l'administració dels exercicis, aconsegueix el principi de participació activa i conscient de l'entrenament, no només per l'explicació detallada que van rebre els nedadors i entrenadors sobre els motius pels quals era recomanable realitzar els exercicis, sinó perquè és possible tenir un feedback de l'evolució tant del seu control conscient, a partir del test d'avaluació.

Es respecta el principi de desenvolupament multilateral, per sollicitar la sinèrgia entre cadenes cinètiques que inclouen gran part de l'aparell locomotor del nedador, així com la implicació activa i conscient del seu sistema nerviós central i el respiratori.

Es tracta d'una proposta que aconsegueix el principi d'especialització per la natació competitiva i la individualització de la càrrega en el sentit de que, es tracta d'un treball vinculat totalment a la natació i, al treballar en el rang de moviment màxim individual i el ritme de respiració personal de cada nedador i nedadora, permet respectar les individualitats dels que posen en pràctica els exercicis.

La varietat i versatilitat de la càrrega es pot aplicar, en moments més avançats del període d'entrenament, afegint resistències externes a l'acció de la gravetat, que permetin augmentar el nivell d'exigència de la musculatura implicada. Es podrien variar els materials, des de manovelles, fins a llastres, gomes i altres sistemes d'administració de resistència.

També es podria realitzar una progressió de la càrrega de treball del SNC, donat que la inclusió d'altres modalitats sensorials, alhora que es sollicita mantenir l'atenció sobre la tasca, podria ser una manera d'augmentar la dificultat amb la que es reben les informacions propioceptives. Per exemple, afegir estímuls auditius, visuals, tàctils, etc.

S'aconsegueix el principi d'especificitat donat que l'exercici respecta les característiques tècniques concretes de les posicions articulars en la natació subaquàtica, ajustant l'estímul a les necessitats específiques de la tècnica de lliscament i del MOS.

Es respecta el principi d'entrenament a llarg termini, ubicant els exercicis en un moment de la temporada que facilita l'assoliment dels objectius de rendiment dels nedadors i nedadores.

La administració durant 75 sessions, d'una sessió diària, considera el principi d'acció inversa, de continuïtat i d'adaptació donat que es coneix que les qualitats que depenen del sistema nerviós necessiten més freqüència de pràctica, a ser possible a diari i durant un mínim de 6 setmanes. A més és necessari que la seva administració es dugui a terme amb una situació de descans del SNC, motiu pel qual es proposen els exercicis com a primera activitat de la sessió d'entrenament del dia prevista.

També es respecta la teoria i metodologia dels exercicis per millorar la tècnica esportiva que es detalla a continuació:

Se segueix el principi d'orientació predominant de l'acció, donat que l'estructura motriu és semblant a la tècnica de la natació subaquàtica. Es pretén acomplir el principi de la gradualitat de l'augment de la velocitat i potència de l'esforç, però no s'aplica en el present estudi. Es garanteix el principi de l'ensenyament progressiu, pel que fa a la repetició periòdica de la seqüència de moviments que componen la tècnica de la natació subaquàtica. També es segueix el principi d'individualització de l'alt nivell tècnic esportiu, donat que s'adequa l'execució a les possibilitats i amplituds de cada nedador i nedadora i es proposen recursos per augmentar cada cop més l'estat de fatiga durant l'execució de l'exercici.

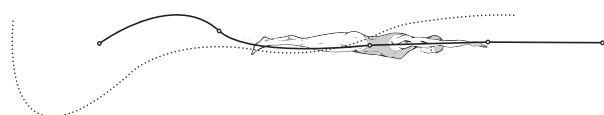
Per últim, els exercicis s'acompanyen de la preparació física pròpia dels nedadors i nedadores, de la qual la investigadora principal del present estudi, n'és coneixedora.

Dins de les fases d'assoliment de la tècnica esportiva existents a la literatura científica, la present proposta estaria a cavall entre la fase de formació de l'habilitat inicial i primera etapa d'assimilació i la fase de formació de l'execució perfecte de l'acció descrites per Platonov (2001) i Verkhoshansky (2002).

g. Garantir la salut física dels membres de la mostra.

El plantejament dels exercicis s'ha realitzat vetllant per la salut de la CV lumbar dels membres de la mostra. La recerca de les màximes posicions d'extensió no situen a la CV lumbar fora de les amplituds de zona neutre i s'han descartat els moviments de màxima flexió, dins dels quals es podria provocar l'alteració dels sistemes d'estabilització lumbar descrits per Panjabi (1992).

El tipus de musculatura implicada, no només és una musculatura que, controlada de forma conscient, pot millorar el rendiment de la natació subaquàtica, sinó que també garanteix l'estabilitat de la zona mitja del cos, una de les més afectades per la simptomatologia dolorosa. És a dir, l'efecte dels exercicis s'extrapola també a un efecte protector i preventiu de la possible alteració de l'estabilitat lumbar. D'altra banda, el poder preventiu assegura la continuïtat en la realització del programa d'entrenament al que estan sotmesos els nedadors i nedadores de la mostra.



8.4.2.2 Descripció dels exercicis

Com s'ha explicat, s'han dissenyat 3 exercicis que posen en compromís la musculatura de la cadena cinètica responsable de l'alineació i del moviment de la CV lumbar en el pla sagital, en la posició de desplaçament subaquàtic.

En trets generals, es proposa la recerca inicial de la màxima posició d'extensió per assolir l'alineació de tot el cos al final del moviment sol·licitat.

La seqüència dels moviments respon a la necessitat de millorar l'amplitud de moviment lumbar i el recorregut de treball de la musculatura flexora de la CV lumbar, en la posició de lliscament subaquàtic. Els exercicis es presenten de forma ordenada i progressiva en quant a l'esforç que suposa la seva execució.

Exercici 1

El primer exercici es realitza des de la posició de genolls, amb les mans separades a l'alçada de les espatlles i els genolls separats a l'alçada dels malucs. Des d'aquesta posició es realitza la inspiració alhora que s'estén la CV vertebral lumbar, accentuant la corba lordòtica. A continuació, durant l'expiració, s'ha de rectificar la corba lumbar alhora que s'allarga tot el cos, estenent una extremitat superior i la extremitat inferior contrària, mirant d'allunyar al màxim la punta dels dits de la mà de la dels peus (Fig. 68).

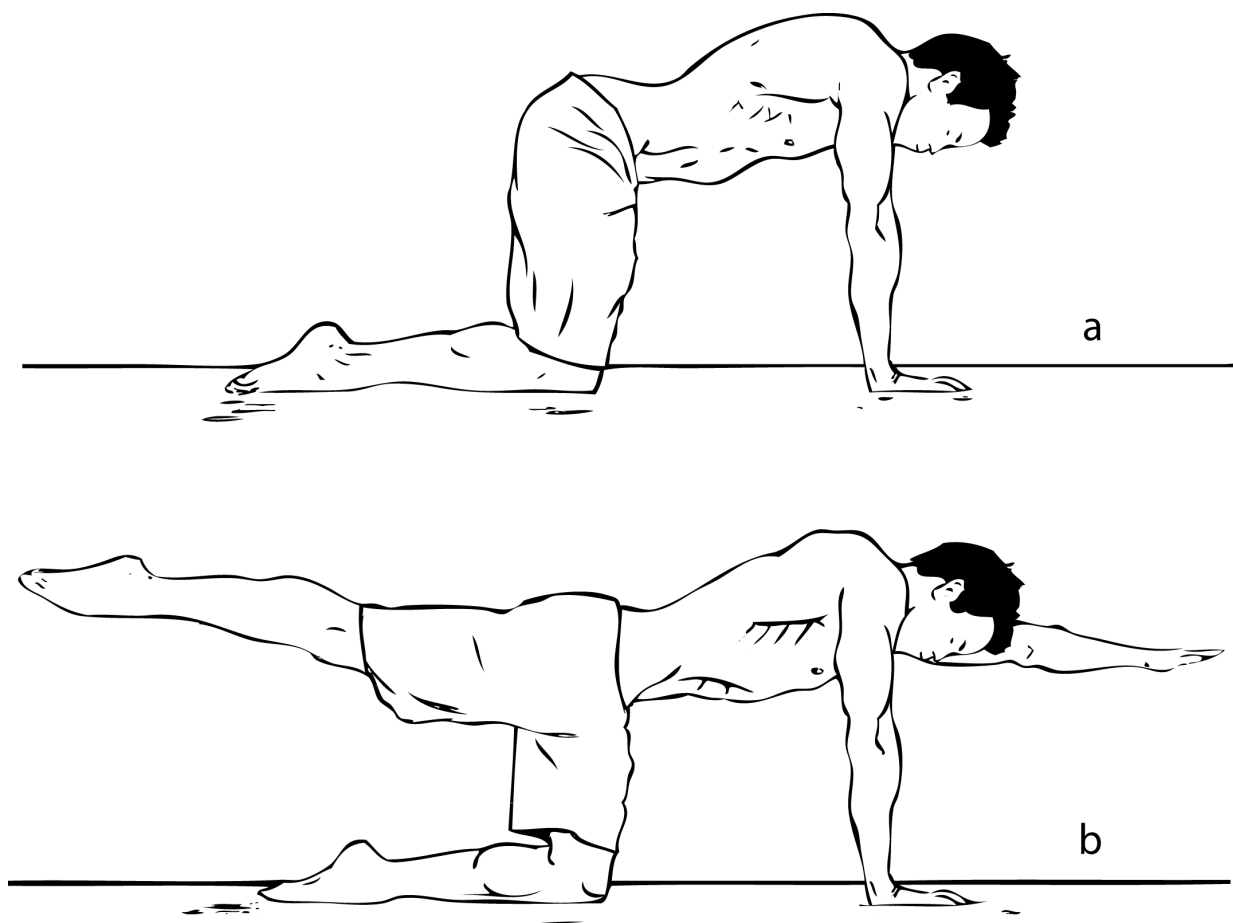
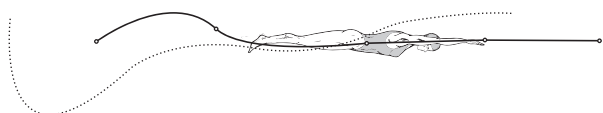


Fig 68. Exercici 1: posició inicial (a) i final (b) (Fotografia editada per Pablo Coello)



Exercici 2

El segon exercici parteix del decúbit pron amb tot el cos estès en la posició de la natació subaquàtica, amb els peus i les mans juntes i el front recolzat a la màrrega. A partir d'aquí, s'han d'arquejar les lumbar mentre s'inspira i, quan s'expulsa l'aire, reduir la lordosi lumbar tot el que es pugui alhora que s'allarga el cos, separant al màxim les puntes dels dits de les mans de les dels peus, mirant de no tocar a terra (Fig. 69)

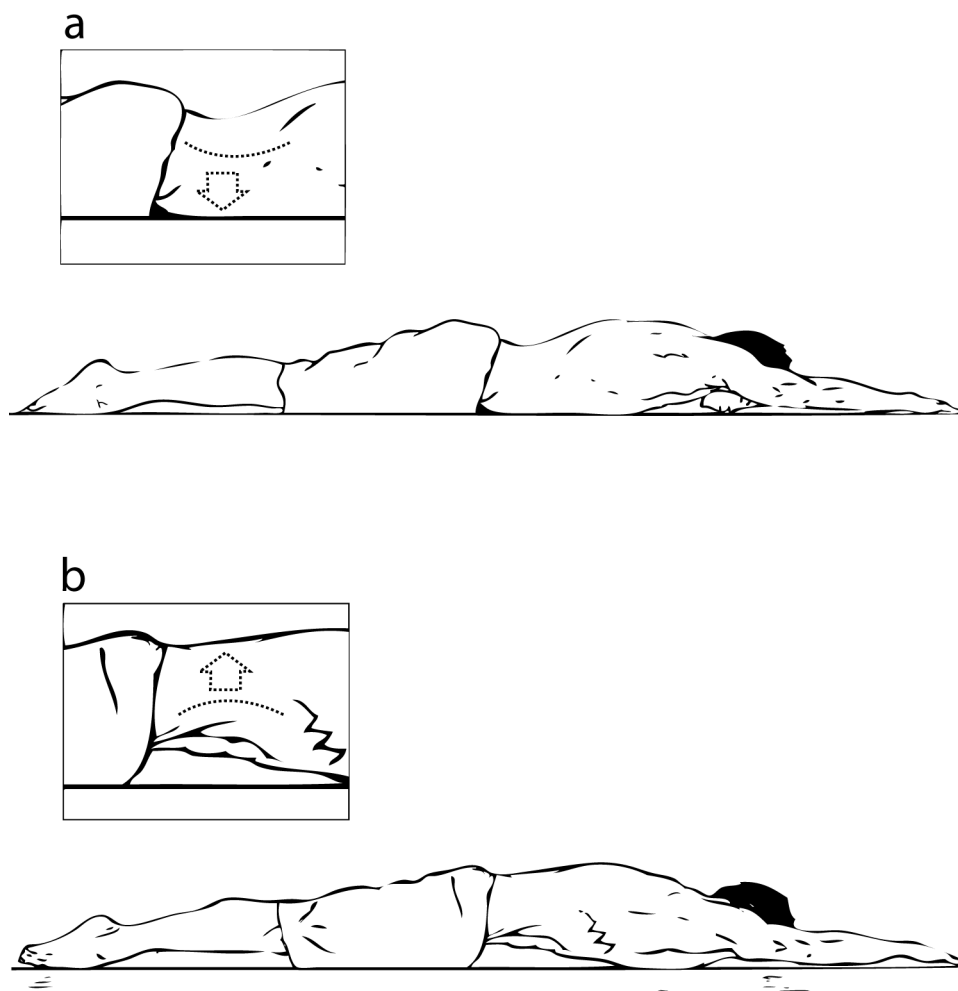


Fig 69. Exercici 2: posició inicial (a) i final (b) amb detall lumbar (Fotografia editada per Pablo Coello)

Exercici 3

El tercer exercici es realitza des de la posició de decúbit supí, amb els peus recolzats a terra, separats a l'alçada dels malucs, i les extremitats superiors esteses per damunt del cap amb les mans juntes, simulant la posició dels braços durant la natació subaquàtica. A partir d'aquesta posició, l'exercici consisteix en inspirar alhora que s'accentua la lordosi lumbar i espirar mentre s'estén una o les dues extremitats inferiors, mirant de reduir al màxim la corba lumbar i de separar la màxim la punta dels dits dels peus de les de les mans (Fig. 70). Durant la jornada de familiarització es va poder veure que la majoria dels integrants de la mostra no podien realitzar la segona progressió (Fig. 70c), de manera que se'ls va donar la indicació de progressar de la primera posició final (Fig. 70 b) a la segona paulatinament, introduint la posició final 2 a poc a poc a les 10 repeticions, fins a poder realitzar-les totes sense arquejar les lumbrars en el moment d'allargar tot el cos.

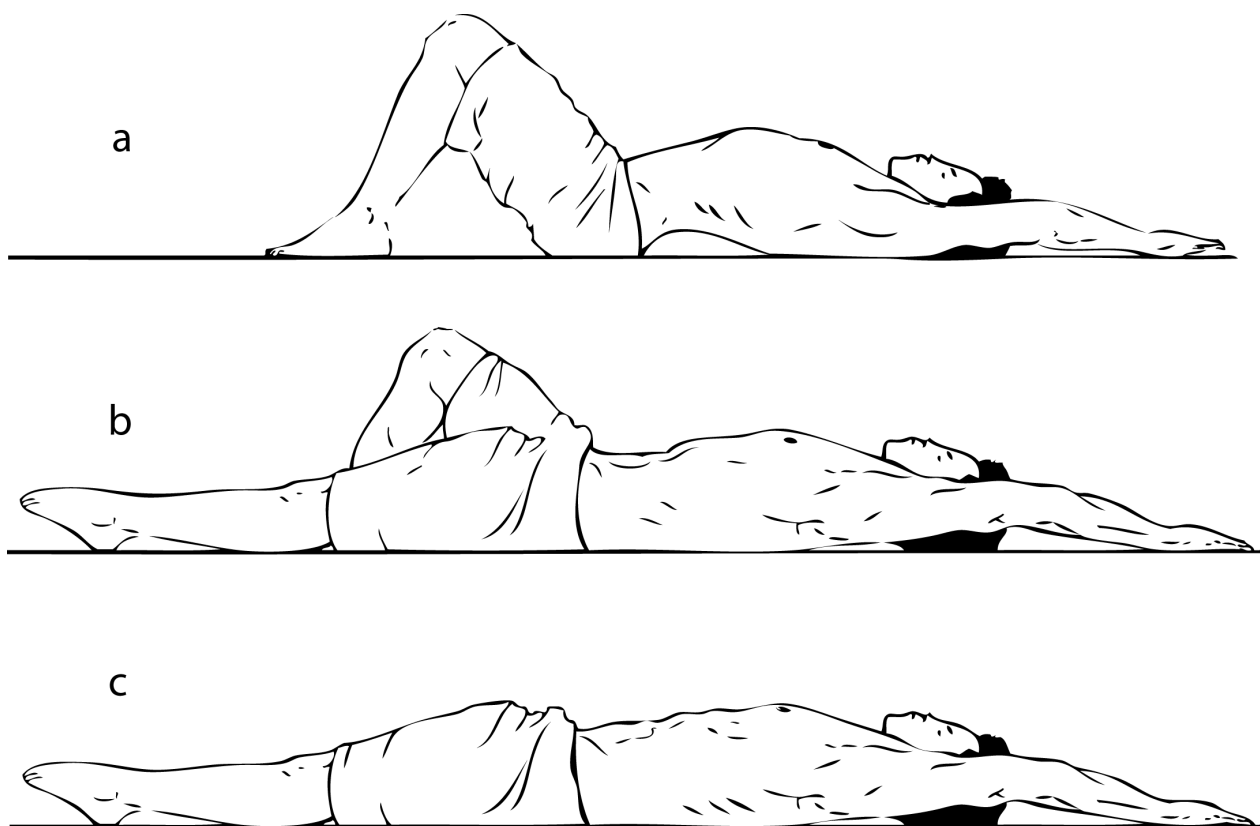
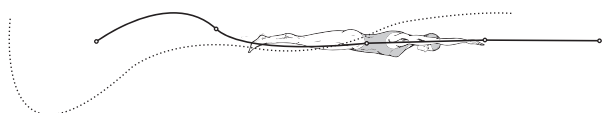


Fig 70. Exercici 3: Posició inicial (a), posició final 1 (b) i posició final 2 (c) (Fotografia editada per Pablo Coello)



En tots els exercicis la posició d'alineació s'havia de mantenir en apnea espiratòria durant 3s.

El ritme d'execució dels exercicis era el propi ritme de respiratori controlat i sense forçar.

Havien de realitzar una sèrie de 10 respiracions de cada exercici, una sessió al dia abans de qualsevol activitat de la sessió d'entrenament del matí o de la tarda, és a dir, en una situació de descans físic i psíquic.

8.4.2.3 Proposta d'aplicació dels exercicis

Antecedents

Davant els fonaments neurofisiològics, algunes apreciacions de la teoria de l'entrenament i la pròpia recerca s'ha plantejat aplicar els exercicis amb dues metodologies diferents.

La neurofisiologia destaca la importància del manteniment de l'atenció sobre la tasca per a què les entrades sensorials es processin de forma més eficient al SNC. L'atenció sobre la tasca també és un factor que condiona positivament la recepció propioceptiva conscient, i es parla de que només es pot aconseguir tenir una consciència del gest si es manté l'atenció durant la seva execució (Mezières, 1984; Lephart i Fu, 2000; Kandel et al., 2001; Koch, 2005; Purves et al., 2008)

El manteniment de l'atenció es considera primordial per a l'aprenentatge tècnic especialment en les fases en les que s'apliquen els presents exercicis. S'afirma que només en el cas de focalitzar l'atenció sobre el gest es pot aconseguir millorar la precisió en la modificació de la posició articular (Ashton-Miller et al., 2001; Verkhoshansky, 2002; Chollet, 2003; Xu et al., 2004).

Sembla que quan major sigui la focalització en l'entrada d'estímul al SNC millor és la recepció de l'entrada sensorial concreta. No està clara la manera com la visió interfereix en l'estímul propioceptiu però nombroses recerques destaquen la importància d'anul·lar la visió per avaluar la propiocepció i en alguns casos s'ha observat millores en la precisió de reposicionament quan s'anul·la l'estímul visual.

Arrel d'aquests dubtes, al treball de recerca es va realitzar un estudi pilot a on s'avaluava la precisió en la localització de la posició intermèdia percebuda de la CV lumbar, en 28 estudiants voluntaris de Ciències de l'Esport. Es van comparar les diferències entre les errades de reposicionament amb els ulls oberts i els ulls tapats i els resultats van ser millors quan es tapaven els ulls amb un antifaç.

Proposta d'intervenció

Per reforçar i contrastar les teories de la neurociència i de l'entrenament i les recerques que destaquen la importància de l'execució de l'exercici en condicions determinades però poc provades de manera experimental, es proposa l'administració dels exercicis en dues situacions diferents. D'aquesta manera la mostra es va dividir en tres grups que havien de dur a terme l'entrenament en diferents condicions (taula 15):

- El grup experimental 1 (G1) hauria de realitzar els exercicis proposats amb els ulls tancats, mantenint l'atenció sobre la zona lumbar.
- El grup experimental 2 (G2) hauria de realitzar els exercicis tal com se'ls va explicar a la jornada de familiarització, respectant només la tècnica d'execució.
- El tercer grup no va realitzar els exercicis, intervenint com a grup control de l'estudi.

Taula 15. Característiques de l'administració dels exercicis segons els grups d'entrenament.

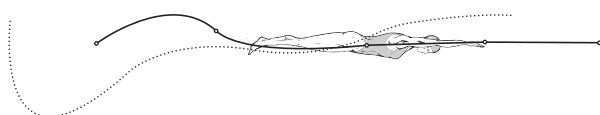
Grup d'entrenament	Característiques de l'aplicació dels exercicis
G1	Realitzen els exercicis segons les indicacions tècniques rebudes de forma verbal i per escrit i, a més, els executen amb els ulls tancats, centrant l'atenció en les posicions i moviment de la zona lumbar.
G2	Només realitzen els exercicis segons les indicacions tècniques rebudes de forma verbal i per escrit.
GC	Grup control. No realitzen els exercicis.

Període d'intervenció

Els períodes d'intervenció van tenir lloc des d'octubre de 2009 a gener de 2010. Els nedadors de la selecció espanyola i selecció catalana van realitzar els exercicis durant el període d'octubre a desembre de 2009. Els integrants del Club Esportiu Mediterrani van realitzar-lo entre mitjans de novembre de 2009 i mitjans de gener de 2010 (taula 16).

Tots els grups van ser avaluats en els 2-3 dies posteriors a la finalització dels respectius períodes de realització dels exercicis.

Es va proposar durant el primer macrocicle d'entrenament de tots tres grups, dins d'una planificació bicíclica de la temporada, caracteritzada per una quantitat major de treball tècnic que de màxim volum, força o velocitat.



Els dos grups van ser controlats per diferents persones:

- El grup de la Blume de Madrid, va ser supervisat per l'entrenador i el fisioterapeuta dels nedadors i de les nedadores de la mostra que entrenen allà.
- Un altre grup va entrenar amb el preparador físic i l'entrenador de la selecció espanyola al CAR de Sant Cugat, a on també entrenava el grup de la selecció catalana, amb el seguiment del seu preparador físic.
- Els nedadors del Club Esportiu Mediterrani van ser dirigits pel seu entrenador.

A tots els nedadors i controladors se'ls va lliurar un document d'explicació tècnica dels exercicis i, als responsables de fer el seguiment, un full de control a on havien d'anotar, amb una creu, els dies en els que els subjectes no havien realitzat els exercicis (veure annexos 7 i 8).

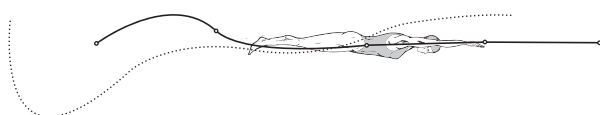
Al final de cada setmana d'entrenament es va recollir, per telèfon i correu electrònic, la informació sobre el que havia succeït en el decurs de la setmana i sobre el full de seguiment, per anar comptabilitzant les sessions realitzades per cadascun dels integrants de la mostra dels grups experimentals 1 i 2.

Un cop realitzades les 75 sessions es va procedir a concretar una data i hora per fer les avaluacions finals, dins dels 2-3 dies posteriors a la finalització de l'entrenament. No es va produir cap incident que provoqués un desfasament del període d'administració dels exercicis més enllà del previst.

8.5 Anàlisi estadística

8.5.1 Recollida i tractament de les dades

Inicialment, s'han extret de les dades recollides pel software del Biopac© en un full de càlcul a on es mostrava la informació dels graus de posició a cada segon, de cadascuna de les avaluacions. S'ha calculat la mitjana dels graus de posició dels intervals de temps recollits amb el cronòmetre manual. És a dir, dels 3 intervals de manteniment de les posicions de flexió màxima, extensió màxima i posició intermèdia percebuda, anomenats amb les abreviatures F1, F2 i F3 per les mitjanes dels intervals de flexió màxima; E1, E2 i E3 per les mitjanes dels intervals d'extensió i P1, P2 i P3 per les mitjanes dels intervals de manteniment de les posicions intermèdies percebudes.



Aquestes dades s’han introduït a un full de càlcul, a on s’havien recollit prèviament les dades corresponents a edat, sexe, nivell, grup d’entrenament, estil i metres de la prova principal, alçada i pes.

En el mateix full de càlcul s’han calculat l’IMC, les mitjanes de les tres repeticions de cada posició, els graus corresponents a la posició intermèdia real, la diferència de graus entre la posició intermèdia real i la percebuda (variable d’error absoluta), el rang de moviment entre la màxima flexió i la màxima extensió lumbar (rang ADM) i el % al que correspon l’error absoluta respecte del rang ADM (variable d’error relativa) (taula 17).

Un cop realitzat aquests càlculs s’han exportat les dades al programa IBM SPSS V19 (veure annex 9).

Taula 17. Columnes de variables exportades al SPSS V19.

n	Edat	Sexe	Nivell	G	Estil	Metres	Alçada	Pes	IMC	XF	XE	XP	Rang ADM	1/2REAL	Er. Absoluta	Er. Relativa (%)
---	------	------	--------	---	-------	--------	--------	-----	-----	----	----	----	----------	---------	--------------	------------------

Un cop exportades les dades s’ha procedit a categoritzar les variables tal com es mostra a la taula 18.

Taula 18. Categorització de variables.

Variable	Categories
Gènere	1= home, 2=dona
Nivell	1= Equip Nacional Espanyol 2= Selecció catalana. 3= Equip del club natació Mediterrani.
Grup d’intervenció	1= Grup 1. 2= Grup 2. 3= Grup control.
Estil	1= lliure (crol). 2= Esquena. 3= Papallona. 4= Braça. 5= Estils.
Metres	1= Velocistes (50-100m). 2= Migfondistes (200-400m). 3= Fondistes (800-1500m).

Les variables dependents van ser duplicades, diferenciant els valors inicials i finals (d'abans i després del període d'entrenament) amb un número 1 i un número 2 al final de l'abreviatura (e.g E1 i E2, F1 i F2 ó ErAbs 1 i 2).

8.5.2 Proves estadístiques aplicades

Un cop categoritzades les dades al IBM SPSS V19, s'ha procedit a aplicar les proves estadístiques que es detallen a continuació (Fig. 71):

- **Estadística descriptiva**

S'han obtingut dades sobre els valors màxims, mínim, mitjanes i desviacions típiques de les variables independents, utilitzades per la descripció de la mostra, i de les variables dependents que es mostren en l'apartat de resultats. Els resultats es presenten a la taula inclosa a cadascun dels apartats anomenats (taules 12, 13). S'han calculat en el següent ordre:

1er El total de la mostra sense segmentar.

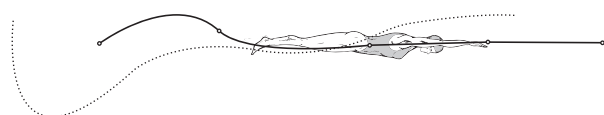
2n Mostra segmentada per: gènere, grup d'intervenció, nivell, distàncies de competició entrenades i estils de competició.

- **Prova de normalitat de Kolmogorov-Smirnoff**

Aquesta prova ens permet comparar la distribució normal acumulada d'una variable contínua amb distribucions teòriques de la llei de normalitat. Si els valors obtinguts són de $p \leq 0.05$ es considera significatiu i, com a conseqüència, es vulnera el supòsit de normalitat.

Un cop aplicada aquesta prova a les variables d'ADM de flexió, extensió, posició intermèdia percebuda, rang d'ADM i errades de reposicionament absoluta i relativa, s'ha constatat que no s'acomplia una distribució normal en la majoria dels casos (veure annex 10).

S'ha optat per aplicar les proves paramètriques i no paramètriques i afegir els graus de significació d'ambdues atès que els resultats obtinguts són concordants.



• Prova T de Student

La prova T es fa servir per avaluar si dos grups presenten diferències de les mitjanes d'una variable entre sí de manera significativa, quan la distribució aconsegueix la normalitat. En aquesta cas s'ha utilitzat per calcular el grau de diferència entre les variables d'ADM de flexió, extensió, posició intermèdia percebuda, rang d'ADM i errades absolutes i relatives, de cada grup d'entrenament, abans i després de ser administrat el període d'entrenament.

• Test de rangs amb signe de Wilcoxon

A la llum dels resultats de la prova de normalitat, s'ha aplicat la prova no paramètrica de Wilcoxon. El test de rangs amb signe de Wilcoxon, compara l'augment o disminució de les mitjanes de les variables dependents per grups d'entrenament segons les mitjanes de la mostra completa, facilitant el grau de significació bilateral del canvi.

S'ha establert l'interval de confiança per a la diferència en el 95% i es considera que les diferències són significatives quan $p \leq 0.05$.

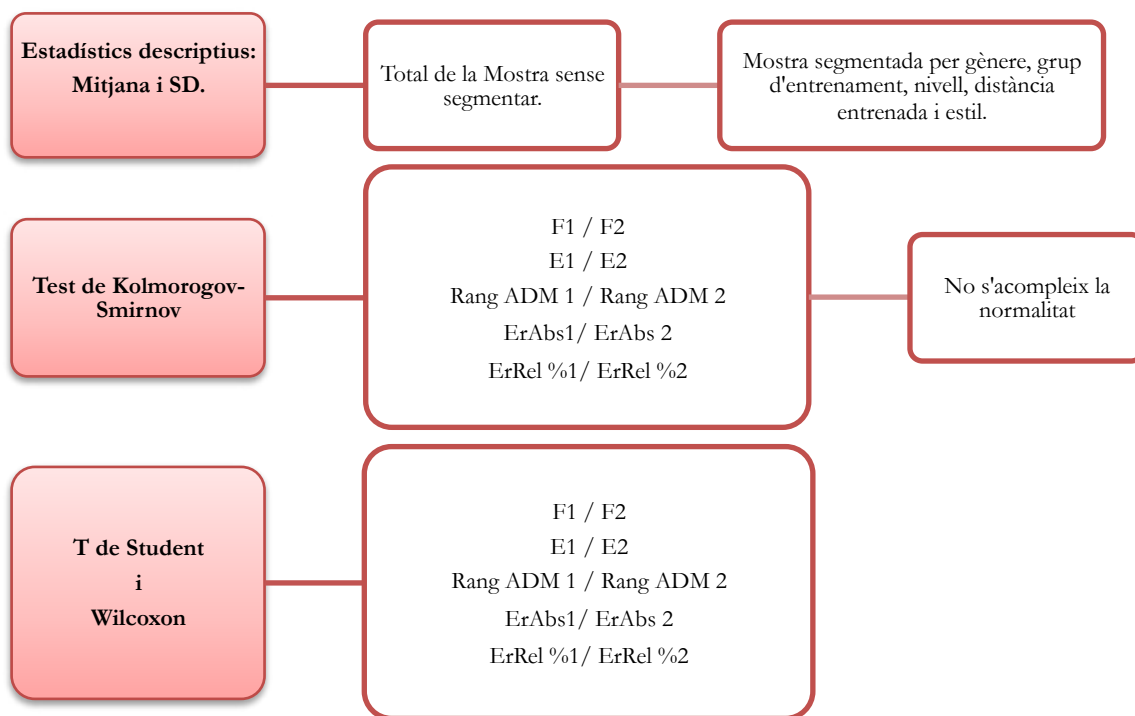


Fig 71. Proves estadístiques aplicades

9. Resultats

9.1 Introducció

A continuació es mostren els resultats de les proves estadístiques aplicades. El criteri que s'ha seguit per a la presentació de les dades és el mateix que s'ha exposat a les hipòtesis plantejades a l'apartat 7.2.

S'ha cregut oportú realitzar una descripció de de les mitjanes i desviacions típiques en dos moments, abans i després del període d'entrenament. És a dir, es mostrarà el següent ordre:

Primer

Anàlisi de les característiques de les variables dependents de la mostra abans de ser sotmesos al període d'entrenament (apartat 9.2).

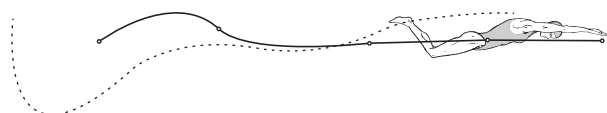
Es mostra les característiques de l'amplitud de moviment dels moviments de flexió, extensió, posició intermèdia percebuda i rang d'ADM lumbar abans de ser sotmesos al període d'entrenament.

En primer lloc es descriuen les mitjanes i desviacions típiques del rang d'ADM, de flexió i extensió de tot el grup sense segmentar i, a continuació, es procedeix a descriure les característiques inicials segons el gènere, grup d'intervenció, nivell competitiu dels subjectes, segons les distàncies de competició i, finalment, segons l'estil dels integrants de la mostra.

Després es descriuen els resultats dels **valors màxims i mínims de les variables de flexió i extensió** respecte de les variables independents.

Finalment es descriu la situació inicial de l'ADM de la posició intermèdia percebuda segons les diferents variables independents.

Aquests resultats es presenten en l'apartat 9.2.1.



Segon

Se segueix el mateix ordre explicatiu, per a les variables independents, a l'hora de descriure les característiques de les errades de reposicionament absoluta i relativa inicials, que es detallen als apartats 9.2.2 i 9.2.3.

Tercer

Es mostren les dades de l'anàlisi estadística aplicada per a observar els efectes de l'entrenament proposat sobre les variables d'ADM, d'errada de reposicionament absoluta i relativa. Es comparen les mitjanes i les desviacions típiques de les tres variables d'abans i després de ser administrat l'entrenament per grups d'intervenció, variable per variable.

Amb la finalitat de mostrar la significació dels canvis, s'afegeixen les dades del grau de significació bilateral de les proves T i de Wilcoxon a totes les taules que mostren les mitjanes i desviacions típiques. (apartat 9.3).

En primer lloc s'expliquen les característiques de les mitjanes i desviacions típiques dels canvis en les variables d'ADM en l'apartat 9.3.1. Es descriuen, per ordre: les diferències del rang d'ADM (a l'apartat 9.3.1.1) i les diferències de les ADM de flexió i extensió lumbar (a l'apartat 9.3.1.2).

En segon lloc s'expliquen les mitjanes i desviacions típiques de les errades absolutes a l'apartat 9.3.2.

Finalment, es descriuen els estadístics descriptius de les errades de reposicionament relatiu al punt 9.3.3.

9.2 Anàlisi de les dades de l'avaluació inicial

9.2.1 Amplitud de moviment inicial

El rang d'ADM inicial correspon als graus totals entre la posició de màxima flexió inicial (F1) i la de màxima extensió inicial (E1).

La mitjana i la desviació típica del rang d'ADM del total de la mostra ha estat de $33.8 \pm 12.1^\circ$. Com es pot veure, el valor de la desviació típica indica una diferència important entre les dades individuals dels subjectes estudiats, particularitat que es repeteix quan es comparen els rangs de moviment de la CV lumbar segons diferents variables del grup estudiat.

Si s'analitza el rang segons el gènere es pot veure que els valors mitjans de la màxima flexió i la màxima extensió lumbar són lleugerament més elevats a les dones que als homes, pel que es pot veure mitjanes de rang de moviment de $36.1 \pm 13.1^\circ$ en les dones, respecte dels $32.3 \pm 11.3^\circ$ en els homes (taula 19).

Taula 19. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 del total de la mostra i segons gènere

	N	F1 (graus)	E1(graus)	Rang ADM
Tota la mostra	57	23.5±7.5	-10.2±13.5	33.8±12.1
Homes	34	22.4±8.1	-9.9±12.6	32.3±11.3
Dones	23	25.1±6.3	-10.8±15.0	36±13.1

Quan s'observen els resultats de l'ADM lumbar segons els diferents grups d'intervenció, es poden veure valors mitjans lleugerament menors al grup experimental 1 ($32.4 \pm 12.9^\circ$) que els valors del grup experimental 2 i el grup control ($34.4 \pm 12^\circ$ i $34.7 \pm 11.9^\circ$, respectivament) (taula 20).

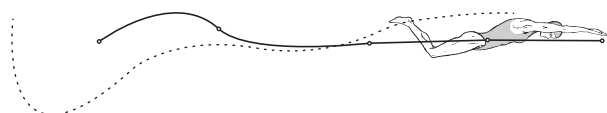
Taula 20. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons grup d'entrenament

	N	F1 (graus)	E1(graus)	Rang ADM
Grup 1	20	22.8±8.6	-9.6±14.2	32.4±12.9
Grup 2	21	24.1±6.4	-10.2±14.2	34.4±12
Grup Control	16	23.5±7.8	-11.2±12.4	34.7±11.9

Pel que fa a les diferències de l'ADM dels integrants de la mostra segons el nivell de competició, es pot veure un lleuger augment de l'ADM entre el grup de nivell català, que presenta valors mitjans de $35.6 \pm 13.0^\circ$, respecte de les mitjanes del nivell nacional i nivell de club, que presenten mitjanes de $33.1 \pm 12.1^\circ$ i $33.9 \pm 11.9^\circ$ graus, respectivament (taula 21).

Taula 21. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons nivell

	N	F1 (graus)	E1(graus)	Rang ADM
Nivell Nacional	35	26.1±5.6	-7±11.8	33.1±12.14
Nivell Català	12	21.8±7.3	-13.7±14.7	35.6±13.0
Nivell Club	10	16.4±9	-17.5±15.3	33.9±11.9



Si s'analitzen les dades segons les distàncies de competició, es pot veure un augment del la mitjana de rang d'ADM lumbar en el grup de fondistes, que presenta valors de $37.3 \pm 12.6^\circ$. Mentre que tant les mitjanes dels velocistes com la dels migfondistes han resultat ser similars, amb valors de $33.8 \pm 12.6^\circ$ i de $33.1 \pm 11.9^\circ$, respectivament (taula 22).

Taula 22. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons distàncies de competició

	N	F1 (graus)	E1(graus)	Rang ADM
Velocistes	20	24.1 ± 6.5	-9.6 ± 15.2	33.8 ± 12.6
Migfondistes	31	22.4 ± 8.2	-10.6 ± 13.2	33.1 ± 11.9
Fondistes	6	27 ± 6.2	-10.3 ± 10.4	37.3 ± 12.6

Quant al rang d'ADM segons l'estil predominant, es destaca l'ADM dels papallonistes amb valors mitjans de $37.6 \pm 9.5^\circ$ com a valors màxims i la dels esquenistes amb $29.6 \pm 9.5^\circ$ com a valors mitjans mínims. D'altra banda els crolistes i estilistes presenten valors similars en quant a les mitjanes d'ADM ($34.6 \pm 12.3^\circ$ i $34.4 \pm 16.9^\circ$) i es diferencien en les desviacions típiques més elevades en els estilistes que combinen l'entrenament dels quatre estils (taula 23).

Taula 23. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons estils

	N	F1 (graus)	E1(graus)	Rang ADM
Crolistes	18	25.1 ± 6.5	-9.5 ± 10.4	34.6 ± 12.3
Esquenistes	8	20.5 ± 10.9	-9.1 ± 13.4	29.6 ± 9.5
Papallonistes	9	24.9 ± 5.8	-12.7 ± 12.8	37.6 ± 9.5
Bracistes	14	24.6 ± 7.1	-7.7 ± 15.1	32.3 ± 12.1
Estilistes	8	19.4 ± 7.3	-14.9 ± 18.9	34.4 ± 16.9

Quan analitzem les dades dels valors màxims i mínims de les variables d'ADM de flexió i extensió, es pot observar que els valors màxims s'han enregistrat en les dones, que han arribat a valors de 35.6° de flexió i a -45.6° . Els valors mínims de flexió s'han trobat en els homes, amb valors de 1.8° i els valors mínims d'extensió s'han enregistrat, sorprenentment, a les dones amb un valor positiu de 23.1° (taula 24).

Taula 24. Valors màxims i mínims de les ADM de flexió i extensió lumbar

		N	F màxima	F mínima	E màxima	E mínima
	Total	57	35.6°	1.8°	-45.6°	23.1°
Gènere	♂	34	35.4°	1.8°	-31.9	14.4
	♀	23	35.6°	13.0°	-45.6°	23.1°
Grup d'intervenció	Grup 1	20	32.6°	1.8°	-45.6°	14.4°
	Grup 2	21	34.0°	10.6°	-31.9°	23.1°
	Grup Control	16	35.6°	11.5°	-40.8°	2.4°
Nivell de competició	Nivell Nacional	35	35.6°	13.3°	-28.3°	23.1°
	Nivell Català	12	32.1°	11.5°	-45.6°	12.2°
	Nivell Club	10	31.1°	1.8°	-40.8°	12.2°
Distàncies de competició	Velocistes	20	35.4°	11.5°	-40.8°	23.1°
	Migfondistes	31	34.0°	1.8°	-45.6°	14.4°
	Fondistes	6	35.6°	16.6°	-26.9°	1.2°
	Crolistes	18	35.6°	13.1°	-26.9°	12.2°
Estil de la prova principal	Esquenistes	8	35.4°	1.8°	-31.9°	8.3°
	Papallonistes	9	32.6°	13.0°	-40.8°	-0.7°
	Bracistes	14	31.7°	10.6°	-28.4°	23.1°
	Estilistes	8	31.1	6.4°	-45.6°	12.2°

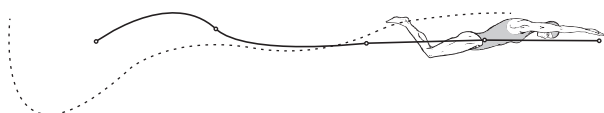
Els graus de màxima flexió es troben en els subgrups de dones, del grup control, de nivell nacional, fondistes i que naden estil lliure.

Els graus de mínima flexió es troben dins dels homes, dels grup experimental 1, amb nivell de club, migfondistes que naden estil esquena.

Els graus de màxima extensió es troben dins del grup de dones, del grup experimental 1, de nivell català, migfondistes i que naden estils.

Els graus de mínima extensió es troben també a les dones, del grup experimental 2, de nivell nacional, velocistes i que naden braça.

Si observem les dades dels graus en els que els membres de la mostra localitzen la posició intermèdia percebuda, es pot veure que tots els integrants del grup general i dels subgrups creuen que la posició intermèdia es troba dins de les posicions de flexió, i cap la



ubica en la posició d'extensió. El total de la mostra busca la posició intermèdia en la posició mitjana de $8.9 \pm 9.9^\circ$ (taula 21).

El valor mitjà màxim de posició intermèdia es troba al grup dels bracistes i es localitza a una mitjana de $12.6 \pm 7.7^\circ$ i el mínim el trobem al grup d'estilistes amb mitjanes de $1.9 \pm 13.8^\circ$ de flexió lumbar (taula 25).

Taula 25. Mitjanes i desviacions típiques de les posicions intermèdies percebudes inicials

		N	Posició $\frac{1}{2}$ percebuda
	Total	57	$8.9 \pm 9.9^\circ$
Gènere	♂	34	$8.0 \pm 9.9^\circ$
	♀	23	$10.3 \pm 9.9^\circ$
Grup d'intervenció	Grup 1	20	$8.9 \pm 9.8^\circ$
	Grup 2	21	$6.7 \pm 10.9^\circ$
	Grup Control	16	$11.8 \pm 8.3^\circ$
Nivell de competició	Nivell Nacional	35	$11.4 \pm 9.1^\circ$
	Nivell Català	12	$7.2 \pm 7.3^\circ$
	Nivell Club	10	$2.2 \pm 12.4^\circ$
Distàncies de competició	Velocistes	20	$11.0 \pm 10.2^\circ$
	Migfondistes	31	$8.0 \pm 9.8^\circ$
	Fondistes	6	$6.5 \pm 9.6^\circ$
Estil de la prova principal	Crolistes	18	$9.2 \pm 8.4^\circ$
	Esquenistes	8	$7.2 \pm 10.5^\circ$
	Papallonistes	9	$10.5 \pm 9.8^\circ$
	Bracistes	14	$12.6 \pm 7.7^{**}$
	Estilistes	8	$1.9 \pm 13.8^{**}$

9.2.2 Errada de reposicionament absoluta inicial.

L'errada absoluta de reposicionament inicial està expressada en graus i correspon a la diferència, en valor absolut, entre l'ADM de la posició intermèdia real i la percebuda. Es tracta, com s'ha explicat, d'un indicador relacionat amb la propiocepció conscient de la CV lumbar en el pla sagital.

Analitzant el total de la mostra s'observen mitjanes d'errades absolutes de $5.7 \pm 4.8^\circ$. Igual que en el cas de l'amplitud de moviment, les desviacions típiques de les errades són molt grans i, en ocasions, més elevades que la pròpia mitjana (com en el cas dels velocistes).

Si analitzem l'errada absoluta segons el gènere, podem veure que els homes presenten errades lleugerament més elevades que les dones amb valors de $6.6 \pm 5.2^\circ$ vers $4.5 \pm 4.1^\circ$ (taula 26).

Taula 26. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta de tota la mostra i segons gènere

Total de la mostra i variable gènere	N	ErAbs (graus)
Tota la mostra	57	5.7 ± 4.8
Homes	34	6.6 ± 5.2
Dones	23	4.5 ± 4.1

Respecte del grup d'entrenament, el grup 1 és el que a priori presenta errades de reposicionament absolut més elevades amb valors mitjans de $7.1 \pm 4^\circ$, el segueix el grup control amb errades mitjanes de $6.9 \pm 6.6^\circ$ i el que presenta menors errades inicials és el grup 2, amb valors mitjans inicials de $3.5 \pm 3^\circ$ (taula 27).

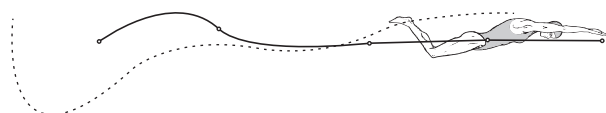
Taula 27. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons grup d'entrenament

Variable Grup	N	ErAbs (graus)
Grup 1	20	7.1 ± 4
Grup 2	21	3.5 ± 3
Grup Control	16	6.9 ± 6.6

Quan observem les errades absolutes per nivells, es veuen resultats molt semblants. Les mitjanes de les errades dels integrants de l'equip nacional són de $5.6 \pm 5.1^\circ$, les de la selecció catalana de $5.9 \pm 5.6^\circ$ i les dels integrants del Club Esportiu Mediterrani de $5.8 \pm 2.9^\circ$ (taula 28).

Taula 28. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons nivell

Variable Nivell	N	ErAbs (graus)
Nivell Nacional	35	5.6 ± 5.1
Nivell Català	12	5.9 ± 5.6
Nivell Club	10	5.8 ± 2.9



Segons les distàncies de competició s'observa que, tot i tenir el major rang d'ADM, els fondistes són els que presenten errades menors amb valors mitjans de $4.1 \pm 2.3^\circ$. Els segueixen els velocistes amb errades mitjanes de $5.8 \pm 6.2^\circ$ i, per últim els migfondistes amb valors de $6 \pm 4.2^\circ$ graus d'errada (taula 29).

Taula 29. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons nivell

Variable distància de competició	N	ErAbs (graus)
Velocistes	20	5.8 ± 6.2
Migfondistes	31	6 ± 4.2
Fondistes	6	4.1 ± 2.3

Respecte a les diferències respecte de l'estil, els que presenten errades absolutes més elevades són els bracistes, amb valors mitjans de $8 \pm 5.9^\circ$. Les errades menors les presenten els papallonistes amb valors mitjans de $4.5 \pm 3.5^\circ$ i els crolistes amb valors de $4.7 \pm 4.7^\circ$. Els esquenistes mostren errades mitjanes de $5.3 \pm 5.8^\circ$ i els estilistes de $5.8 \pm 2.6^\circ$ (taula 30).

Taula 30. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons distància de competició

Variable estil de competició	N	ErAbs (graus)
Crolistes	18	4.7 ± 4.7
Esquenistes	8	5.3 ± 5.8
Papallonistes	9	4.5 ± 3.5
Bracistes	14	8 ± 5.9
Estilistes	8	5.8 ± 2.6

9.2.3 Errada de reposicionament relativa inicial

L'errada de reposicionament relativa s'expressa en tant per cent i correspon al % que l'errada absoluta representa respecte del rang d'ADM total en el pla sagital. És a dir, quan les errades de reposicionament absolutes són petites i el rang és més elevat, l'errada relativa és més petita, i viceversa.

En el còmput total de la mostra, es presenten errades relatives mitjanes del $19.4 \pm 18.8\%$. Segons el gènere podem veure com les dones presenten errades relatives menors a la dels homes, amb valors de $13.4 \pm 12.4\%$ respecte dels 23.5 ± 21.3 (taula 31).

Taula 31. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials de tota la mostra i segons gènere

	N	ErRel (%)
Tota la mostra	57	19.4±18.8
Homes	34	23.5±21.3
Dones	23	13.4±12.4

També són menors les errades absolutes del grup d'intervenció 2, amb valors mitjans de 13.1±14.4%, respecte del 25.6±21% del grup 1 i el 20±19.5% del grup control (taula 32).

Taula 32. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons grup d'entrenament

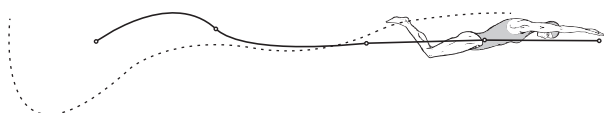
	N	ErRel (%)
Grup 1	20	25.6±21
Grup 2	21	13.1±14.4
Grup Control	16	20±19.5

Si observem les errades relatives segons el nivell, es pot veure una mitjana de 19.2±20.4% d'errada en els integrants de l'equip nacional, 18.7±17.7% dels subjectes de la selecció catalana i un valor lleugerament més elevat, de 21.2±15.6%, en els membres del Club Esportiu Mediterrani (taula 33).

Taula 33. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons nivell

	N	ErRel (%)
Nivell Nacional	35	19.2±20.4
Nivell Català	12	18.7±17.7
Nivell Club	10	21.2±15.6

Pel que fa a les característiques de les errades en relació a les distàncies de competició s'observa que els fondistes són els que tenen errades relatives mitjanes menors amb valors de 10.6±4.8%, a diferència dels 22±21% dels migfondistes i els 18.2±17.4% dels velocistes (taula 34).



Taula 34. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons distància de competició

	N	ErRel (%)
Velocistes	20	18.2±17.4
Migfondistes	31	22±21
Fondistes	6	10.6±4.8

Respecte de l'estil, de nou els papallonistes presenten les errades menors amb valors mitjans de 12.9±11.1%. Els segueixen els crolistes amb errades del 14.4±14.3%, els estilistes amb 21±15.5%, els esquenistes amb errades relatives mitjanes de 22.4±26.2% i finalment, els que presenten errades relatives més elevades són els bracistes, amb valors del 27.5±23.3% (taula 35).

Taula 35. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons estil de competició

	N	ErRel (%)
Crolistes	18	14.4±14.3
Esquenistes	8	22.4±26.2
Papallonistes	9	12.9±11.1
Bracistes	14	27.5±23.3
Estilistes	8	21±15.5

9.3 Anàlisi dels resultats després del període d'entrenament

9.3.1 Amplitud de moviment abans i després

9.3.1.1 Variació del rang d'ADM total

En aquest apartat s'analitzen les variacions del rang d'ADM lumbar després del període d'entrenament dels grups experimentals 1 i 2 i del grup control, per observar els efectes que la realització o no realització dels exercicis ha provocat sobre l'amplitud de moviment inicial.

Com es pot observar, el rang de moviment de la CV lumbar en el pla sagital ha augmentat en els dos grups experimentals després del període d'entrenament (taula 36 i Fig. 72).

El grup 1 ha passat de tenir un rang d'ADM de 32.4±12.9° a tenir-ne 38±9.4° i el grup 2 passa de 34.4±12.9° a 44.7±14.3° (taula 36).

Taula 36. Mitjanes de les ADM inicial i final i grau de significació bilateral de la prova T i la prova de Wilcoxon

	N	ErRel (%)
Crolistes	18	14.4±14.3
Esquenistes	8	22.4±26.2
Papallonistes	9	12.9±11.1
Bracistes	14	27.5±23.3
Estilistes	8	21±15.5

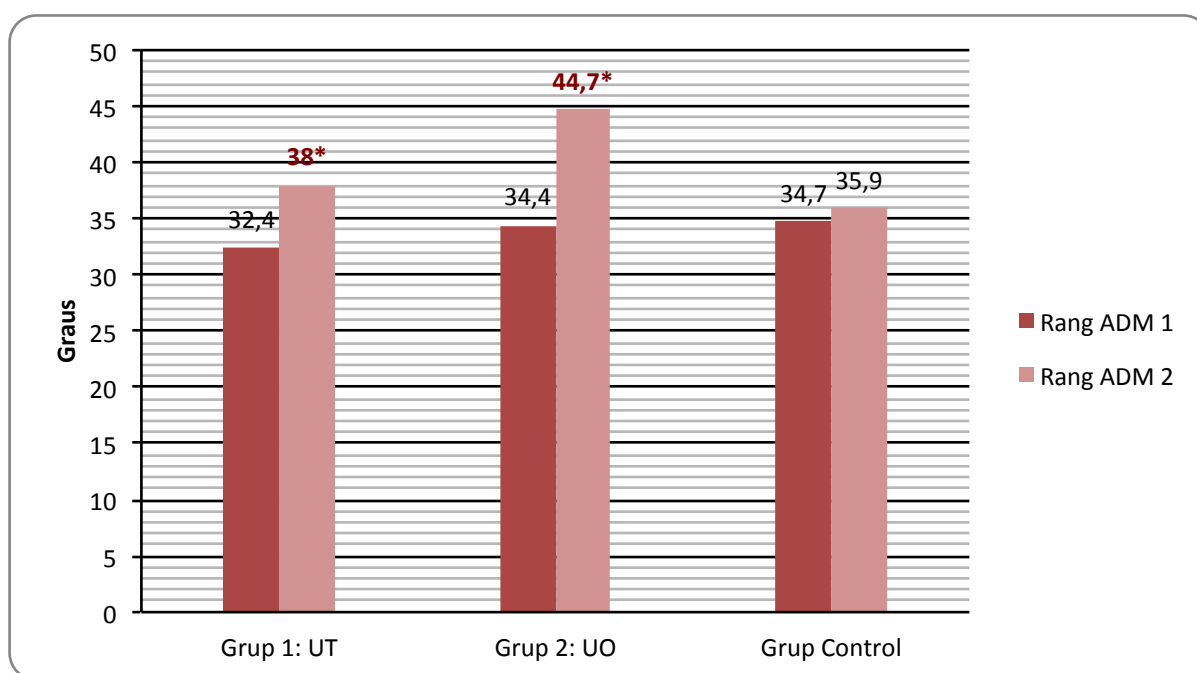
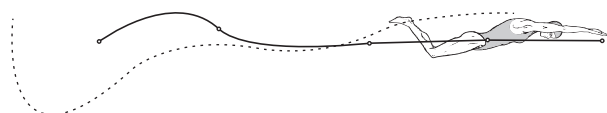


Fig 72. Mitjanes dels graus de Rang d'ADM abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb *

El grau de significació bilateral aplicant la prova paramètrica T és de $p=0.033$ per al grup 1, que realitza els exercicis amb els ulls tancats, i de $p=0.000$ pel grup 2, que ha realitzat els exercicis amb els ulls oberts.

Els resultats són similars aplicant la prova no paramètrica de Wilcoxon, a on s'han donat graus de significació bilateral de $p=0.028$ pel grup 1 i de $p=0.000$ pel grup 2. En ambdues proves $p<0.05$, pel que es pot dir que els dos grups experimentals han manifestat diferències significatives de l'ADM després de realitzar els exercicis (taula 36).

Pel que fa al grup control, tot i patir un petit canvi en l'ADM lumbar, que inicialment



és de $34.7 \pm 11.9^\circ$ i al finalitzar el període d'entrenament és de $35.9 \pm 12.5^\circ$, la diferència no és estadísticament significativa en cap de les proves aplicades, essent $p=0.227$ en la prova T i de $p=0.224$ en la prova de Wilcoxon (taula 36).

9.3.1.2 Variació del 'ADM de flexió i extensió lumbar

Si s'analitzen els canvis de les posicions de flexió màxima dels tres grups, es pot veure com, tot i haver un petit canvi entre les amplituds inicials i finals dels dos tres grups, només en el cas d'aplicar la prova T, les diferències del grup d'intervenció 2 prenen valors significatius de $p=0.04$ (taula 37 i Fig.73).

Taula 37. Mitjanes i SD de l'ADM de flexió abans i després de l'entrenament i grau de significació bilateral

Grup	N	F1	F2	Prova T	Wilcoxon
Grup 1	20	22.8±8.6	23.5±5.6	p=0.65	p=0.94
Grup 2	21	24.1±6.4	26.4±6.1	p=0.04*	p=0.07
GC	16	23.5±7.8	24±7.6	p=0.14	p=0.13

* $p < 0.05$

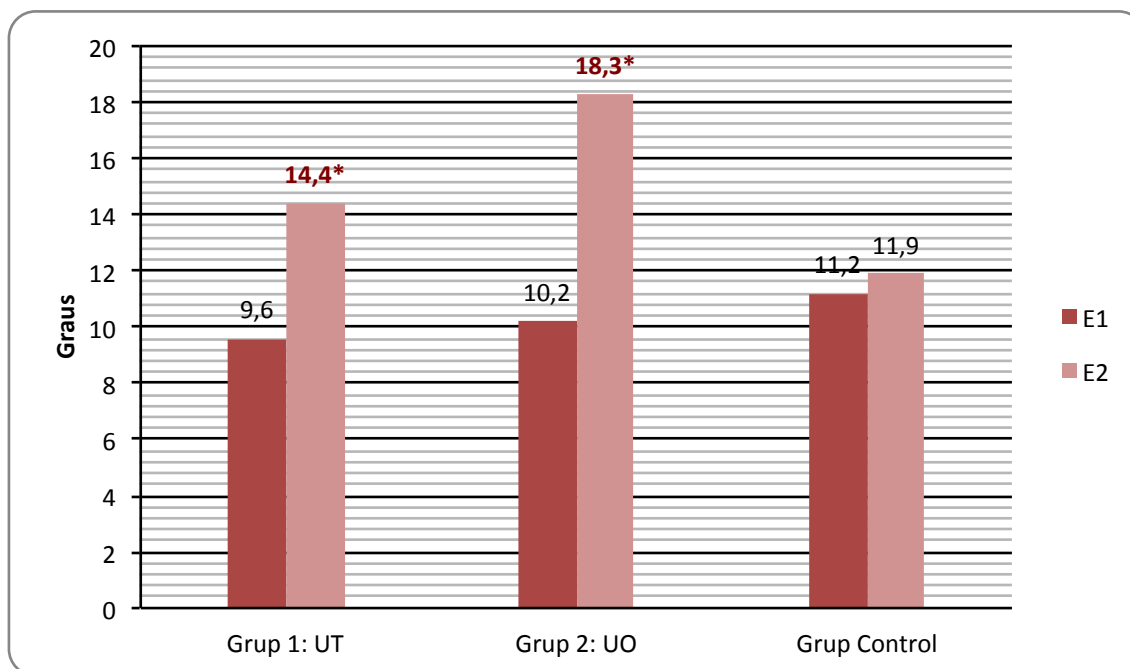


Fig 73. Mitjanes dels graus de flexió abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb *

Quant als valors de les mitjanes, el grup d'entrenament 1 passa de tenir una amplitud de flexió de $22.8 \pm 8.6^\circ$ a $23.5 \pm 5.6^\circ$. El grup d'entrenament 2 tenia una amplitud en flexió de $24.1 \pm 6.4^\circ$ i després de realitzar els exercicis augmenta a $26.4 \pm 6.1^\circ$. Pel que fa al grup control, abans de començar el període d'entrenament tenien valors de flexió de $23.5 \pm 7.8^\circ$ i passen a $24 \pm 7.6^\circ$ (taula 37).

Quan analitzem les dades de les posicions d'extensió màxima, es pot veure que els dos grups experimentals han manifestat canvis significatius entre els dos moments d'avaluació (taula 38 i Fig. 74).

Taula 38. Mitjanes i SD de l'ADM d'extensió abans i després de l'entrenament i grau de significació bilateral

Grup	N	E1	E2	Prova T	Wilcoxon
Grup 1	20	-9.6 ± 14.2	-14.5 ± 10.5	$p=0.05$	$p=0.04^*$
Grup 2	21	-10.2 ± 14.2	-18.3 ± 15.1	$p=0.001^*$	$p=0.03^*$
GC	16	-11.2 ± 12.4	-11.9 ± 13.1	$p=0.52$	$p=0.85$

* $p < 0.05$

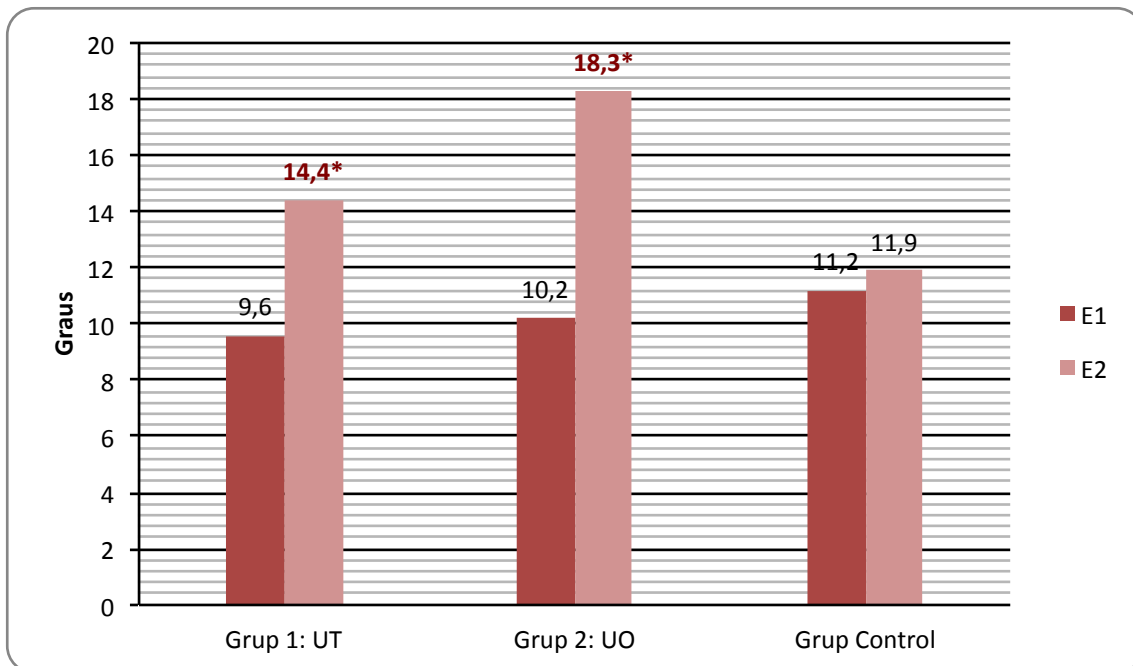
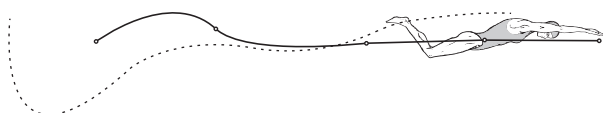


Fig 74. Mitjanes dels graus d'extensió abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb *



El grup d'intervenció 1 passa de tenir una mitjana d'extensió de $-9.6 \pm 14.4^\circ$ a tenir-ne un de $-14.5 \pm 10.5^\circ$, essent $p=0.05$ aplicant la prova T i $p=0.04$ aplicant la de Wilcoxon. El grup 2 passa de $-10.2 \pm 14.2^\circ$ a $-18.3 \pm 15.1^\circ$, amb un grau de significació de $p=0.001$ amb la prova T i de $p=0.03$ amb la de Wilcoxon.

Respecte del grup control, l'extensió passa de $-11.2 \pm 12.4^\circ$ a $-11.9 \pm 13.1^\circ$, però la diferència no és significativa, presentant $p > 0.05$ (taula 38).

9.3.2 Errada de reposicionament absoluta abans i després de l'entrenament

A continuació es mostren les errades de reposicionament absolutes (ErAbs). Es tracta d'un indicador de la capacitat que tenen els membres de la mostra per precisar en la col·locació de la CV lumbar en la posició intermèdia entre la màxima flexió i la màxima extensió, vinculada directament amb la propiocepció (taula 39).

La mitjana d'ErAbs dels integrants del grup d'intervenció 1, que han fet els exercicis amb els ulls tancats, ha experimentat una variació significativa, passant d'ésser de $7.1 \pm 4^\circ$ a reduir-se fins a $3.5 \pm 3.6^\circ$, essent $p=0.000$ tant en el càlcul estadístic amb proves paramètriques com amb la no paramètrica de Wilcoxon (taula 39 i Fig. 75).

En el cas del grup d'intervenció 2, que han fet els exercicis amb els ulls oberts, també hi ha hagut una variació significativa des de l'avaluació inicial a la final. La diferència rau en que en lloc de millorar, a empitjorat significativament, passant de $3.5 \pm 3^\circ$ a tenir una ErAbs de $8 \pm 5.1^\circ$ a l'avaluació final, amb un valor de $p=0.000$ en les dues proves estadístiques (taula 39 i Fig. 75).

El grup control, que no ha realitzat els exercicis, també ha experimentat un lleuger empitjorament de l'ErAbs, passant d'una errada de $6.9 \pm 6.6^\circ$ a una errada de $8.3 \pm 7.3^\circ$ a l'avaluació final. Malgrat el canvi, no han experimentat cap variació estadísticament significativa, essent $p=0.226$ aplicant la prova T i de $p=0.959$ aplicant la prova de Wilcoxon (taula 39).

Taula 39. Errada absoluta inicial i final i grau de significació bilateral segons la prova T i la prova de Wilcoxon

Grup	N	ErAbs1	ErAbs2	Prova T	Wilcoxon
Grup 1	20	$7.1 \pm 4^\circ$	$3.5 \pm 3.6^\circ$	$p= 0.000*$	$p=0.000*$
Grup 2	21	$3.5 \pm 3^\circ$	$8 \pm 5.1^\circ$	$p= 0.000*$	$p= 0.000*$
Control	16	$6.9 \pm 6.6^\circ$	$8.3 \pm 7.3^\circ$	$p= 0.226$	$p= 0.959$
* $p < 0.05$					

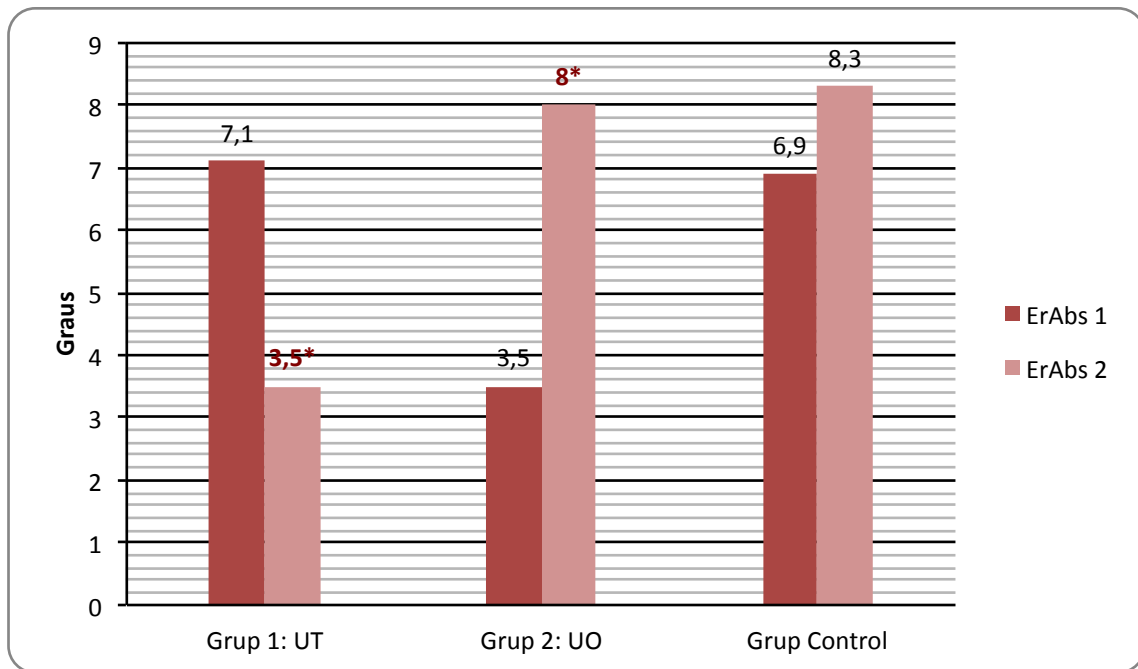


Fig 75. Mitjanes dels graus d' ErAbs abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb *

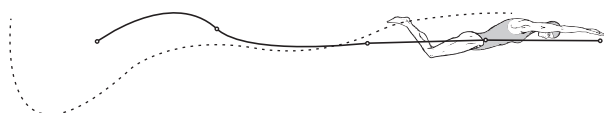
En tots els casos s'observen les elevades desviacions estàndard que caracteritzen la heterogeneïtat de la mostra en la recerca de la posició intermèdia percebuda, diferent a cada persona i molt variable entre tots els subjectes estudiats.

9.3.3 Errada de reposicionament relativa abans i després de l'entrenament

A continuació es descriuen les diferències entre els resultats de les errades relatives (ErRel) de l'avaluació inicial i la final (taula 40 i Fig. 76).

Es pot veure com el grup d'intervenció 1 a passat de tenir una errada relativa del $25.6 \pm 21\%$ a tenir-ne una del $10.3 \pm 11\%$, esdevenint una variació estadísticament significativa de $p=0.000$ segons la prova de Wilcoxon i de $p=0.001$ segons la T de Student (taula 40 i Fig. 76).

El grup 2 també ha experimentat canvis significatius amb $p=0.018$ en la prova T i de $p=0.025$ en la prova de Wilcoxon. Ara bé, aquest han estat a pitjor, passant d'una errada relativa del $13.1 \pm 14.4\%$ a una del $18.9 \pm 12.4\%$ (taula 40 i Fig. 76).



Taula 40. Mitjana i SD de l'errada relativa inicial i final i grau de significació bilateral

Grup	N	ErR1 (%)	ErR2 (%)	Prova T	Wilcoxon
Grup 1	20	25.6±21	10.3±11	p= 0.001*	p= 0.000*
Grup 2	21	13.1±14.4	18.9±12.4	p= 0.018*	p= 0.025*
GC	16	20±19.5	22.3±19.1	p= 0.259	p= 0.756

* p<0.05

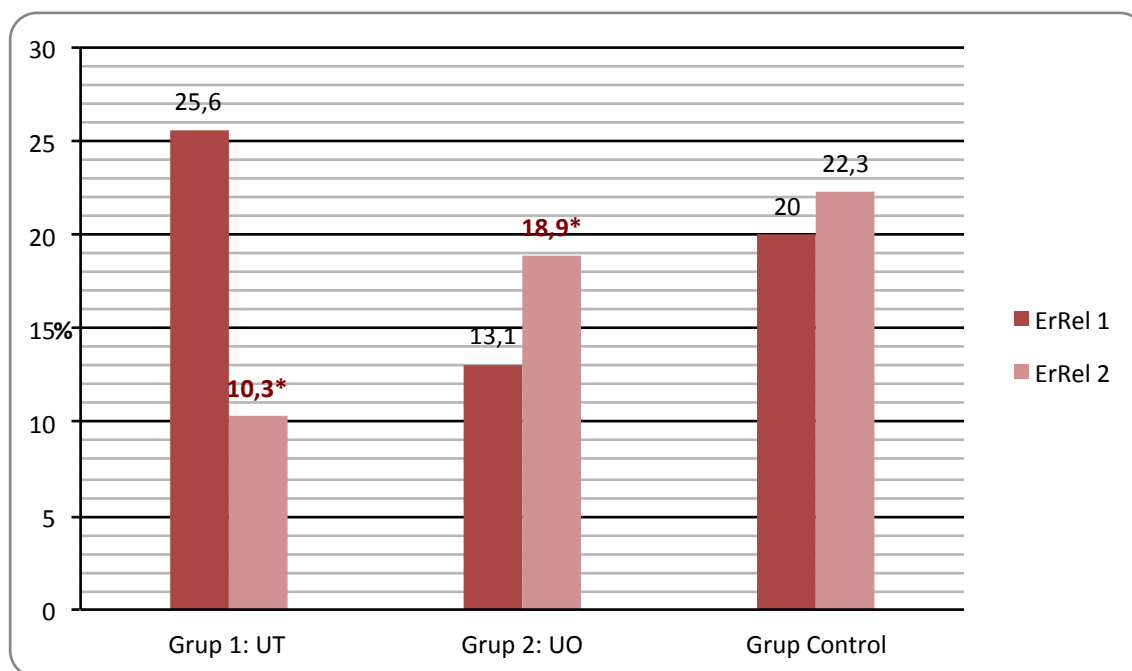


Fig 76. Mitjanes dels % d'ErRel abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb *

El grup control ha patit una petita modificació en augment de l'errada de reposicionament relativa del $20 \pm 19.5\%$ al $22.3 \pm 19.1\%$, però la variació no és estadísticament significativa amb valors de $p=0.25$ a la prova T i de $p=0.75$ a la prova de Wilcoxon (taula 40 i Fig. 76).

Igual que succeïa en les desviacions típiques de les errades absolutes, les variacions de les errades relatives també expressen la heterogeneïtat de la mostra. Tot i això, sembla que no només es produeix un canvi en les mitjanes de les errades sinó que a l'avaluació final les desviacions típiques disminueixen lleugerament en tots els casos, i de forma significativa al grup d'entrenament 1 (taula 40).

10. Discussió

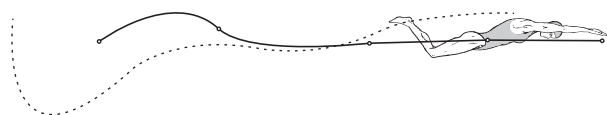
Com s'ha presentat als resultats, l'administració dels exercicis ha provocat canvis significatius en la majoria de les variables dependents estudiades, tenint en compte l'absència de canvis en el grup control.

En trets generals, l'entrenament proposat ha millorat l'amplitud de moviment lumbar dels dos grups experimentals de forma significativa i ha disminuït les errades de reposicionament només en el grup 1, que ha realitzat els exercicis sota unes condicions de anul·lació de l'estímul visual i centrant l'atenció sobre la zona lumbar durant l'execució. El resultat més rellevant ha estat que només amb aquest tipus d'intervenció s'han obtingut canvis positius en les variables directament relacionades amb la propiocepció i que el grup experimental que ha realitzat els exercicis de forma mecànica, sense pensar en res més que en la tècnica plantejada, ha empitjorat significativament respecte del grup control.

A continuació s'exposen les implicacions de la investigació realitzada, així com la seva relació amb els fonaments teòrics desenvolupats a la primera part de la tesi.

10.1 Respecte de l'avaluació i l'entrenament de l'ADM lumbar

A la llum dels resultats, sembla que la tècnica d'execució proposada, que accentua l'extensió lumbar, no només millora els graus específics d'aquesta posició sinó que també provoca augments del rang de moviment de la CV lumbar en el pla sagital (taula 36 i 38). Tot i que s'observen millores en l'amplitud de flexió, aquestes no són significatives i, de fet, cap dels exercicis porta al límit a aquest moviment ni es tenia una intenció d'augmentar-lo (taula 37). Es podria explicar pel fet que cap dels exercicis que avui en dia es plantegen als programes de propiocepció de la CV lumbar sol lliciten una posició inicial que busqui l'extensió, més aviat al contrari, és habitual que els exercicis que impliquen la zona lumbar mirin d'evitar els arquejos excessius de la zona lumbar per por a provocar molèsties de la musculatura lumbar no adaptada a aquest tipus de moviment (Giorgi i Davie, 2008; Cuartero et al., 2009; Salo i Riewald, 2010; McLeod, 2010).



Aquest resultat revela que la pràctica controlada del moviment d'una articulació, portada als extrems de la seva amplitud, pot ser un mètode actiu i dinàmic per augmentar l'amplitud de moviment, lluny del clàssic exercici d'estirament passiu relaxat o forçat que, actualment es considera dels més aconsellats per millorar la flexibilitat.

Les dades presentades sobre l'ADM màxima lumbar dels membres de la mostra revelen una característica dels nedadors i les nedadores que no els diferencia de les poblacions de subjectes asimptomàtics, descrits a altres estudis, a on s'ha utilitzat el mateix instrument de mesura (Pearcy, 1986; Pearcy i Hindle, 1989; Pearcy, 1989; Van Herb et al., 2000).

Ara bé, s'ha de tenir en compte que els estudis previs han avaluat els subjectes de la mostra des de la bipedestació, fet que augmenta les possibilitats d'amplitud de moviment de flexió i redueix els d'extensió lumbar.

El present estudi no dona dades vàlides per a l'avaluació de les amplituds absolutes de flexió i extensió lumbar, ja que la posició zero d'avaluació no correspon a la posició neutre de referència, sinó que es parteix d'una posició de flexió lumbar provocada per la sedestació, que col·loca la pelvis en posició de retroversió, i la disposició del sacre empenya a la CV lumbar cap endavant, situant-la en una posició inicial de lleugera flexió en la majoria dels casos. Eren pocs els membres de la mostra que partien d'una posició de sedestació isquiàtica o de secretaria, i la majoria mantenien una sedestació isquiosacre (Kapandji, 2001).

En canvi, la sedestació sobre la pilota suïssa ha permès la llibertat de moviment de la pelvis per facilitar la realització dels moviments lumbar en el pla sagital sota les mínimes condicions de resistència. A l'hora d'avaluar el rang total d'ADM lumbar, des de la màxima flexió a la màxima extensió, els resultats indiquen que la goniometria digital, tal com s'ha aplicat en el present estudi, facilita dades d'ADM total lumbar semblants a les d'altres mètodes d'avaluació més sofisticats o invasius (Pearcy et al., 1985; Pearcy i Hindle, 1990; Russell et al., 1992; Van Herp et al., 2000) (taula 41).

Comparant els resultats de l'avaluació inicial de la mostra en funció del gènere, es pot veure que el sumatori entre la màxima flexió i extensió enregistrades en els homes de la mostra és igual al resultat dels registres obtinguts amb raigs-X a l'estudi de Pearcy et al. (1985). Com es pot observar, tots els estudis presentats són amb població masculina, que presenta amplituds de moviment màximes generalment més baixes que els de la població femenina. A més la col·locació dels braços del goniòmetre en els altres estudis s'ha localitzat a la superfície lateral del cos, sobre el tòrax a nivell de T12 i sobre la cresta ilíaca, nivell que anomenen pelvis. Aquest fet pot explicar les diferències entre les dades elevades dels homes

Taula 41. ADM màximes de flexió i extensió de diferents estudis

	Present estudi (avaluació inicial ♂)	Present estudi (avaluació inicial ♀)	Van Herp et al. (2000)	Pearcy et al. (1985)	Pearcy i Hindle (1989)	Hindle et al. (1990)	Russell et al. (1992)
N	34 ♂	23 ♀	10 ♂	11 ♂	10 ♂	10 ♂	20 ♂
Mètode	Goniometria	Goniometria	Goniometria	Raigs- X	Goniometria	Goniometria	Goniometria
Segment	T12-S1	T12-S1	T12-Pelvis	L1-pelvis	T12-pelvis	T12-pelvis	T12-pelvis
Flexió	35.4°	35.6°	56.4°	51°	75.6°	74.6°	75.1°
Extensió	31.9°	45.6°	22.5°	16°	23.0°	26.8°	25.8°
Σ	67.3°	81.2°	78.9°	67°	98.6°	101.4°	100.9°

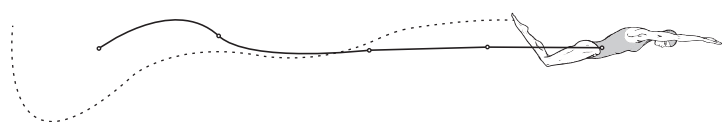
de la resta d'estudis amb les dels homes i dones del present estudi, donat que la ubicació del braç inferior del goniòmetre sobre la cresta ilíaca mesura els graus d'amplitud de moviment de les articulacions sacroilíaqües i les suma a la de les lumbar.

Tot i la coincidència en els resultats, que poden donar una idea de la validesa de la goniometria digital en l'avaluació no invasiva de l'ADM lumbar, caldrien més estudis que avaluïn l'ADM de la CV lumbar en sedestació i amb el goniòmetre col·locat sobre la superfície dorsal del cos per poder establir les possibles relacions amb els resultats que es presenten.

Quan s'observen les dades de les mitjanes del total de la mostra, es posa de manifest la mancança d'ADM en el pla sagital dels nedadors i de les nedadores participants a l'estudi. Les mitjanes dels rangs de moviment avaluats del global de la mostra ($33.8 \pm 12.1^\circ$) s'allunyen molt de les amplituds màximes fisiològiques del segment lumbar que, com s'ha vist, haurien d'apropar-se a 67° - 70° , present només en alguns integrants dels subjectes avaluats (Pearcy et al., 1985).

Les deficiències es palesen més a les amplituds d'extensió, probablement perquè la morfologia dels nedadors els empenya a mantenir més habitualment posicions de flexió lumbar que d'extensió, fora del medi aquàtic i en repòs (Ramírez, 2010).

En trets generals, l'observació per grups del resultat de l'avaluació inicial dona una idea de que el nivell dels integrants de la mostra no afecta al rang d'ADM. En canvi, a l'anàlisi per distàncies de competició es veu que els fondistes (que competeixen en distàncies de 800 i 1500m) presenten la mitjana del rang d'ADM lumbar més elevat, mentre que velocistes i



migfondistes tenen valors mitjans similars. Segons els resultats en relació als estils, s'observa que els esquenistes són els que presenten amplituds de moviment lumbar en el pla sagital més petites i els papallonistes les més elevades.

Aquestes dades permeten intuir que l'ús del moviment de la CV lumbar en el pla sagital condiciona la seva amplitud. L'estil d'esquena no necessita gaire mobilització lumbar en el pla sagital, a excepció de l'arqueig en extensió per la sortida. En canvi, el papallonistes estan contínuament movent la seva columna vertebral en flexo-extensió. Igualment es podrien explicar les diferències dels fondistes pel gran nombre de viratges als que estan sotmesos, en els quals les lumbar passen de la màxima flexió durant l'agrupament del cos, a la posició neutre de l'estil de crol. Tot i això, el nombre de fondistes de la mostra, només 6, no és suficient com per acceptar que aquestes diferències no han estat fortuïtes i caldrien més estudis per contrastar la informació amb més precisió.

10.2 Respecte l'ADM lumbar i les implicacions a la natació

La implicació a la natació subaquàtica és determinant, donat que es coneix que l'ADM controlada de la CV lumbar pot ser un factor que millori la propulsió en el MOS, facilitant l'inici del moviment ondulatori i fent-lo amb la suficient rigidesa com per a no generar un excés de turbulències.

Tenint en compte la importància de la recuperació activa de la posició d'extensió per passar de la posició inicial de la fase descendent (Fig. 55a) a la posició final (Fig. 55b), és important garantir l'amplitud màxima d'extensió lumbar incloent aquest moviment als exercicis que pretenguin millorar la tècnica del MOS. La llibertat de moviment controlat de la zona lumbar facilita l'ondulació que s'inicia al tronc i es transmet al maluc i a les extremitats. Si aquesta ondulació s'acompanya d'un augment de la rigidesa del tronc, per augment del to de la musculatura que envolta la CV lumbar, es podria arribar a generar un vòrtex tant o més propulsor que el que es coneix que generen les EEII, acostant-nos a la qualitat propulsora del cos dels peixos (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Silva et al., 2005; Elipot et al., 2010; McLeod, 2010; Salo i Riewald, 2010; Ungerechts i Arellano, 2011).

L'augment de l'ADM dinàmica activa de la CV lumbar en el pla sagital, proposada

en els presents exercicis, s'acompanya d'un augment del temps de treball de la musculatura responsable d'aquest moviment. Aquest està relacionat amb l'augment del to muscular, especialment dels músculs que hagin de suportar una resistència més elevada per facilitar el gest.

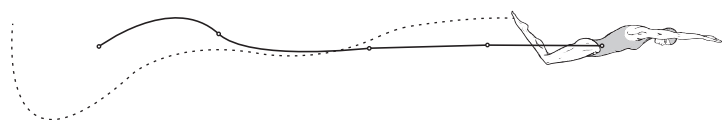
En el cas del MOS, l'augment del temps de treball de la musculatura abdominal, no només millora el seu to, sinó que també esdevé un aspecte que pot ajudar a augmentar la rigidesa de la paret abdominal i a disminuir les deformacions que pateix l'abdomen durant el desplaçament subaquàtic. D'aquesta manera es redueixen les turbulències que es generen al voltant del tronc, per reducció de la corba lumbar i per reducció de les deformacions de la zona abdominal. Podria aconseguir-se una disminució de les resistències hidrodinàmiques actives i passives, ja que es conegut que la forma i la composició de la superfície del cos del nedador condiciona altament el seu desplaçament dins l'aigua, condicionant-lo a tendir a un règim de desplaçament més turbulent que laminar, més pròpia dels peixos (Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Gavilán, 2002; Cervantes, 2004; Silva et al., 2005; McLeod, 2010; Salo i Riewald, 2010; Ungerechts i Arellano, 2011).

La millora del to muscular de la musculatura que envolta la CV lumbar, controlada de forma conscient pels nedadors, no només reduiria les resistències hidrodinàmiques sinó que, en conseqüència, milloraria el temps de lliscament, el temps de propulsió subaquàtica i el temps d'emersió, que són 3 dels 5 temps més importants que condicionen el temps total de sortida (Fig. 50) (Arellano, 1999; Sánchez i Arellano, 2002).

Les relacions dels presents resultats amb els aquests factors de rendiment s'haurien d'estudiar en el futures recerques.

10.3 Respecte la tècnica dels exercicis i salut lumbar

Tot i que és sabut que els moviments intervertebrals lumbar en extensió no són prou agressius com per generar lesions per sobre sol·licitació del disc intervertebral i dels lligaments que travessen les vèrtebres lumbar, encara es té una por generalitzada a realitzar extensions lumbar per sobre de l'amplitud de la lordosi fisiològica. S'ha de tenir en compte que l'alteració del sistema d'estabilització passiu es pot donar per sobre de les amplituds lumbar descrites com a zona neutre (taula 10), cap a la flexió lumbar (Panjabi 1992 a i b; Gay



et al., 2006; Yue et al., 2007).

Si bé és cert que la realització d'aquests exercicis no és recomanable per les persones sense to a la musculatura lumbar, perquè els provocaria dolor per fatiga local, no ha de ser cap problema per les persones amb una musculatura lumbar entrenada, com l'haurien de tenir els nedadors i nedadores que competeixen (Panjabi 1992 a i b; Kapandji, 2001; Verkhoshansky, 2002; Gay et al., 2006; Yue et al., 2007; McLeod, 2010).

10.4 Respecte a l'avaluació de l'ErAbs de reposicionament lumbar

Com s'ha explicat, l'errada de reposicionament és un indicador de la propiocepció, especialment relacionat amb l'estatèsia, però també vinculat a la capacitat dels receptors propioceptius per a detectar els canvis de posició d'una determinada part del cos.

La majoria d'estudis que avaluen la propiocepció de la CV lumbar ho fan segons el protocol d'anul·lació de l'estímul visual i respectant l'homogeneïtat dels estímuls auditius i tàctils, com s'ha realitzat en el present estudi, amb l'objectiu d'evitar la distorsió dels resultats per causa de les informacions rebudes d'altres modalitats sensorials. Normalment es sol·licita la recol·locació d'una o més articulacions en una posició experimentada pels subjectes, amb l'ajut del feedback de l'avaluador en un intent de prova. La diferència principal de l'avaluació proposada en aquest estudi és que es sol·licita el reposicionament en una posició desconeguda, mancada de feedback, com és la posició intermèdia percebuda, tal com s'indica a l'apartat de mètode. És possible que aquest sigui el factor que provoqui que les errades absolutes dels nedadors i nedadores estudiats siguin lleugerament més elevades que les dels estudis publicats, tant en la CV lumbar com a d'altres articulacions (taula 42).

10.5 Respecte a la incorporació del concepte d'ErRel

Taula 42. Errades de reposicionament absolutes del present estudi respecte d'altres estudis.

	Present estudi	Newcomer et al., 2000 a	Newcomer et al., 2000 b	Beynon et al., 2000	Dover i Powers, 2003	González et al., 2005
N	34 ♂ 23 ♀	18 ♂ 22 ♀	15 ♂ i 25 ♀	11 (♂ i ♀)	31 (♂ i ♀)	32(♂ i ♀)
Rang d'edat	16-31	27-55	27-50	20-30	20-25	15-40
Articulació	CV lumbar	CV lumbar	CV lumbar	Genoll	Glenohumeral	Glenohumeral
Síntoma	Absent	Absent/LBP	Absent/LBP	Absent	Absent	Absent
ErAbs	De 3.5±3 a 8.3±7.3	De 2.8±1° a 5.2±2.2°	De 1.9±1.8° a 2.5±2.3°	De 3.1±0.9° a 5.8±2.5°	De 3.9±3.4° a 6.7±5.9°	De 3.06±2.4° a 3.1±1.9°

Normalment només es fa referència a les errades absolutes sense fer cap esment a l'amplitud total de l'articulació o segment estudiat. S'ha de tenir en compte que tenir una errada absoluta elevada respecte d'un rang d'amplitud molt gran no és el mateix que respecte d'un rang menor. Per exemple, 4° d'ErAbs dins d'un rang d'ADM total de 20° suposa una desviació major que si l'ADM fos de 30°, donat que 4° suposen una ErRel del 20% respecte els graus totals i, en canvi suposa una del 13.3% si el rang d'ADM és de 30°.

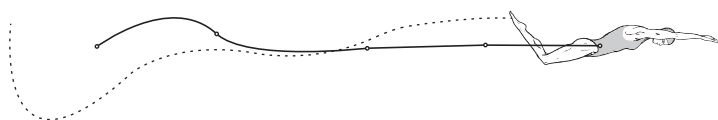
La consideració de l'errada relativa permet establir un criteri per a avaluar la propiocepció des d'un punt de vista més individualitzat i acord amb l'ADM dels subjectes estudiats, i vincular l'errada i l'ADM als requeriments tècnics de l'esport en el qual es pretén millorar ambdós aspectes.

Si trobem una ErRel elevada hem de pensar que el subjecte estudiat no només té problemes de percepció de la posició articular, sinó que també els pot tenir en el moment de controlar de forma conscient la seva amplitud de moviment. Tot i que es coneix que gaudir d'una amplitud de moviment elevada pot augmentar l'arc propulsor, aquesta ha de manifestar-se sota el control del gest. En el cas contrari l'únic que es provocaria seria un augment dels moviments innecessaris, una pèrdua d'eficiència general i un augment de les resistències hidrodinàmiques i, en resum, una disminució en les possibilitats del rendiment de l'esportista (Arellano, 1999; Verkhoshansky, 2002; Salo i Riewald, 2010; McLeod, 2010; Roig, 2010; Ungerechts i Arellano, 2011).

10.6 Respecte del mètode d'entrenament

Anular l'estímul visual i sol·licitar l'atenció sobre la zona lumbar, durant la realització dels exercicis, ha millorat significativament els registres del grup d'intervenció 1. Els resultats evidencien que els exercicis han provocat un canvi significatiu de les variables relacionades directament amb la propiocepció, respecte del grup control i respecte del grup d'intervenció 2.

És revelador que la simple realització de l'exercici, respectant les característiques dels moviments i posicions sol·licitats, sense mantenir l'atenció sobre la CV lumbar i amb els ulls oberts, ha provocat millores en l'ADM però ha fet empitjorar significativament les variables relacionades amb la propiocepció. De fet, altres estudis recolzen aquests resultats, com el



d'Ashton-Miller et al. (2000) que afirmaven que només es pot aconseguir millorar alguns aspectes relacionats amb la propiocepció, com el llindar de precisió en el reposicionament, focalitzant l'atenció sobre el gest que es vol millorar. També s'ha considerat cabdal mantenir l'atenció o la consciència sobre la tasca en les fases de la preparació tècnica, a on es destaca el paper de l'atenció per facilitar la propiocepció i la consciència del moviment, especialment en la formació de la execució perfecta de l'acció motriu i en la fase d'assoliment de la tècnica en les condicions de competició (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002).

L'anul·lació de l'estímul visual en la proposta d'exercicis del grup experimental 1 ha demostrat que els protocols que miren de progressar en la dificultat de l'exercici tancant els ulls estan aconseguint que la recepció propioceptiva millori, lluny de suposar un estímul epicrític per al seu entrenament. Era d'esperar que els registres dels subjectes del grup 1 milloressin les variables vinculades a la propiocepció, donat algunes de les publicacions referenciades afirmen que l'anul·lació de l'estímul visual pot ajudar a controlar el grau d'enregistrament conscient d'un estímul i millora les propietats neurofisiològiques envers l'atenció conscient de les tasques (Koch, 2005; Ansorge et al., 2007).

Fins i tot els defensors del corrent de les gimnàstiques dolces feien afirmacions, no comprovades empíricament, que recolzen els resultats d'aquesta tesi. En els seus exercicis ja proposaven mantenir la màxima atenció per fer conscient a la persona dels petits canvis de posició de les articulacions i afirmaven que la simple realització d'un moviment no significa tenir-ne coneixement ni consciència (Mezières, 1984; Feldenkrais, 1997).

Aquests resultats ens duen a pensar que, si no es vol empitjorar la capacitat de control conscient del gest esportiu, és preferible no fer exercicis que fer-los de forma mecànica sense mantenir l'atenció sobre el segment que es vol controlar. Donada la manca de recerques al voltant de les característiques que han de tenir les indicacions dels exercicis per millorar la propiocepció conscient, són necessaris més estudis que recolzin aquests resultats.

10.7 Respecte del disseny d'aplicació i la teoria de l'entrenament

Com s'ha explicat, tot el procediment d'administració dels exercicis ha mirat de respectar la majoria dels principis de l'entrenament i es projecta la seva aplicació futura en les progressions del treball propioceptiu proposades a la metodologia.

No és fortuït que un plantejament que ha vetllat per respectar les indicacions científiques de la teoria de l'entrenament hagi provocat un efecte positiu en el rendiment propioceptiu d'un dels grups d'intervenció i de la flexibilitat dels dos grups experimentals.

Ara bé, seria interessant conèixer els efectes dels exercicis sobre el rendiment de la tècnica de natació subaquàtica dels mateixos subjectes, per reforçar la multilateralitat i pluridisciplinarietat que ha de caracteritzar un mètode d'entrenament que pretengui aportar millores en el rendiment dels esportistes (Verkhoshansky, 2002).

Caldria disposar de més estudis que ajudin a ordenar els factors condicionants de la propiocepció conscient per augmentar el rendiment propioceptiu de la forma més eficient possible. En aquest sentit, encara es desconeix la manera com altres modalitats sensibles afecten l'entrada dels estímuls propioceptius i com jugar amb elles per a progressar en l'administració de la càrrega propioceptiva.

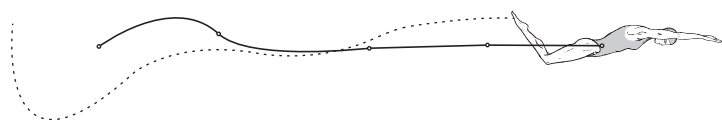
10.8 Respecte del disseny dels exercicis

Com s'ha explicat, la tècnica dels exercicis ha facilitat la millora de l'ADM.

Ara bé, també cal tenir en compte que la freqüència i el període d'administració, el nombre de repeticions, el ritme d'execució seguint la respiració lenta i controlada i les pauses en apnea espiratòria han facilitat també els resultats vinculats a la propiocepció conscient lumbar.

Els exercicis, a més d'orientar-se tècnicament a l'ADM de la natació subaquàtica, han compromès els mateixos moviments lumbar avaluats i sota unes resistències i temps de contracció més elevades de les que el nedador troba al mitjà aquàtic, convertint els exercicis en una possibilitat de treball en la preparació física en sec als inicis de la temporada.

Alguns autors afirmen que amb moviments lents i sistematitzats es pot arribar a millorar la propiocepció, però que el procés pot durar de mesos a anys (Ashton-Miller et al., 2003). Altres que la possibilitat de realitzar una pausa, entre la creació de la pauta de pensament de l'acció i la seva execució, esdevé la base física de la consciència (Feldenkrais, 1997). Els neurofisiòlegs afirmen que la repetició sistemàtica i periòdica de determinats moviments articulars, sota el control conscient del gest, o els moviments sobre els que mantenim atenció i realitzem de forma voluntària, es poden arribar a emmagatzemar en forma de seqüències ordenades conegudes de moviment, i a llarg termini, augmentar la representativitat neuronal de les escorces somatosensitiva primària i motora primària corresponen a la zona treballada (Kandel et al., 2001).



Efectivament, en la present proposta s'han aconseguit millores al cap de 2-3 mesos, però caldria una avaluació del SNC amb ressonància magnètica funcional per comprovar que les millores també s'han manifestat a l'escorça somatosensitiva primària corresponent a la CV lumbar.

10.9 Respecte l'entrenament de la propiocepció i la seva avaluació

Els resultats d'aquest estudi posen en evidència els criteris de progressió en la carrega que actualment s'utilitzen en programes d'exercicis propioceptius. Com s'ha pogut observar, l'anul·lació de l'estímul visual no dificulta la propiocepció, sinó que la facilita. Per aquest motiu no té sentit que es proposi tancar els ulls per augmentar la dificultat de la propiocepció, ja que l'únic que es posa en compromís és l'exterocepció. És normal que si s'apliquen exercicis d'equilibri, a on la recepció visual és una de les fonts d'informació més importants, l'absència de la visió dificulti l'execució, però no perdem de vista que aquests tipus d'exercici no estimulen la millora de la propiocepció.

D'altra banda, com es recolza a la bibliografia, és inútil voler prevenir lesions que es provoquen sota tensions d'elongació crítiques, amb estímuls impredecibles, en unes condicions d'elongació que no agreeixen de cap manera a les parts toves i que, a més, es donen sota condicions predictibles.

S'ha demostrat que la prevenció de lesions amb el treball propioceptiu es dona amb lesions per sobrecàrrega o repetició, i no funciona en les lesions traumàtiques sobtades, ja que les neurones implicades en l'arc reflex propioceptiu no pateixen cap canvi significatiu en el seu funcionament quan se les sotmet a exercicis de desequilibris (Ashton-Miller, 2000).

Els exercicis que posen en compromís l'equilibri estimulen tots els receptors del sistema sensoriomotriu, en la tasca de identificar la ubicació de les masses corporals i d'alinear-les sobre la base de sustentació, de la manera més eficient possible (Cabedo, 2005). Tot i que la propiocepció forma part del conjunt de qualitats necessàries per a que l'equilibri es manifesti, la estimulació de l'equilibri no aconsegueix millorar la propiocepció. Cal tenir present que es tracta d'una qualitat nodrida d'informacions dels receptors propioceptius, i que són aquestes aferències, i no d'altres, les que faciliten o dificulten la seva manifestació.

L'avaluació de la propiocepció és igualment important per determinar el grau de millora o empitjorament de les propostes d'entrenament. El mètode de mesura no només ha

de ser fiable sinó vàlid. És a dir, que mesuri el que es vol mesurar (Hernández et al., 2010). No és vàlid mesurar la propiocepció amb mètodes que avaluen l'equilibri, ja que el resultat està condicionat per altres factors aliens a la propiocepció. És sabut que els estabilòmetres són instruments vàlids per l'avaluació de l'equilibri (Lephart i Fu, 2000; Cabedo, 2005; Fort et al., 2009), però de cap manera quantifiquen els graus de precisió en la detecció de la posició o el moviment articular.

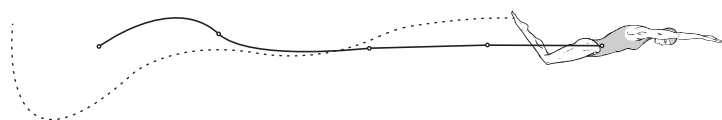
Per a mesurar la propiocepció cal dotar-se d'instruments que puguin facilitar aquestes dades o, millor encara, dades sobre el nivell d'estimulació cortical de la escorça sensitiva primària, a on arriben les informacions propioceptives (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

Aquest podria ser un repte per futures recerques, atès que l'avaluació de la resposta motora, amb goniometria o localitzadors electromagnètics, també està contaminada per altres informacions sensibles, com el tacte, i no es dissocia el grau de participació del tacte o la pressió en la resposta de precisió del reposicionament. Dins dels mètodes d'avaluació de l'activitat del SNC el que sembla més adequat per a avaluar la propiocepció és la ressonància magnètica funcional, malgrat aquest instrument està lluny de ser assequible per a la recerca del SNC a l'esport (Kandel et al., 2001; Purves et al., 2008).

10.10 Respecte a les neurones mirall, la visió i la millora de la tècnica

Es podria creure que l'anul·lació de l'estímul visual dificulta o evita el treball de les neurones mirall en la tasca de reproducció del gest, i permetre que participi ho facilita. La bibliografia consultada destaca la importància en el descobriment d'aquestes neurones per a entendre, en molts casos, la inclusió de la informació visual en l'aprenentatge de la tècnica esportiva (Verkhoshansky, 2002; Chollet, 2003).

També es coneix que malgrat els receptors visuals i vestibulars participen en la regulació de la postura requerida en la tècnica, no poden subministrar la sensibilitat que aquesta necessita. Per aquest motiu, el paper fonamental de la regulació de la postura tècnica el desenvolupa la propiocepció (Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002).



Tot i que les neurones mirall, activades amb l'observació del gest, poden ajudar a preveure o a preparar les accions motores per a realitzar el moviment observat, la imitació del gest no garanteix l'aprenentatge dels mateixos ni la construcció d'un patró motor estable. Per a que això passi, és necessari que l'observador hagi realitzat el moviment amb anterioritat i quanta major sigui la seva experiència, major serà la capacitat de reproduir-lo amb precisió, sense necessitat d'imitar (Montero, 2006). Aquest fet fa imprescindible el paper dels propioceptors en l'acumulació d'experiències motrius articulars, que doten de precisió al gest recordat sense necessitat de mirar-lo i, per tant, sense la participació de les neurones mirall (Gallese et al., 1996; Montero, 2006; Rizzolatti et al., 2007).

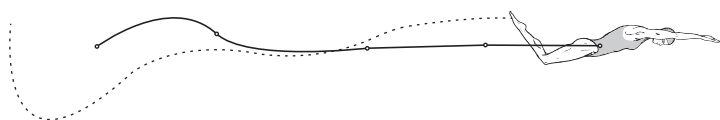
S'explica que l'anul·lació de l'estímul visual a un grup de nedadors no va modificar l'amplitud i la freqüència de la seva braçada, i només va alterar la direcció del desplaçament. Es va considerar que la mostra estudiada tenia un patró motor molt estructurat de forma conscient i la retirada de l'estímul visual no el va alterar (Brito et al., 2010; Invernizzi et al., 2010; Shimojo et al., 2010).

A l'esport d'alt rendiment, el suport del vídeo per a la millora de la tècnica ha estat present des de la fabricació de càmeres subaquàtiques. Els nedadors i nedadores són enregistrats realitzant alguna acció tècnica, que després se'ls mostra per a corregir possibles errades. S'observa com l'errada millora quan el nedador ho torna a intentar, especialment quan el feedback és immediat i insitu (De la Fuente i Arellano, 2010; Roig, 2010). Ara bé, es desconeix en quina mesura intervé l'efecte imitador de les neurones mirall. És possible que la visualització d'un vídeo, amb un patró tècnic erroni, faci que els nedadors reproduïxin el mateix patró. Encara no es coneix quin efecte té sobre la millora tècnica la visualització del vídeo fora del lloc d'entrenament i allunyat en el temps de l'experiència motriu que es vol millorar.

S'ha vist que la utilització del vídeo per reproduir imatges de models tècnics és molt important en l'assoliment de la primera imatge sobre l'acció motriu i per a la formació de l'orientació de l'aprenentatge tècnic (Grosser et al., 1989; Platonov, 2001; Verkhoshansky, 2002; Bompa, 2007). Caldria estudiar quina aplicació té a la resta de fases per a la millora de la tècnica.

S'ha de tenir molt present què es vol aconseguir per combinar adequadament la intervenció dels estímuls sensorials, i no es pot perdre de vista que si el que es vol és millorar la consciència de la posició o el moviment articular, s'ha de prioritzar l'entrada d'estímuls que activin els receptors propioceptius i limitar l'entrada dels que els interfereixin, com la visió. Cal que els biomecànics i els entrenadors, que són els que més treballen en contacte amb els nedadors per millorar la tècnica, tinguin en compte que veure un vídeo no fa que el nedador senti com està col·locada la seva articulació, tampoc són suficient les indicacions verbals, ja que la propiocepció conscient no es pot explicar en tercera persona. És necessari col·locar l'articulació del nedador en la posició desitjada, aturat al cantell de la piscina, i fer-li fer el procés de que tanqui els ulls i es faci conscient de que aquella és la posició que s'espera que faci.

Els resultats del present estudi són un exemple de que l'anul·lació de l'estímul visual durant l'execució dels exercicis millora el rendiment propioceptiu i de que permetre l'entrada de la visió l'empitjora.



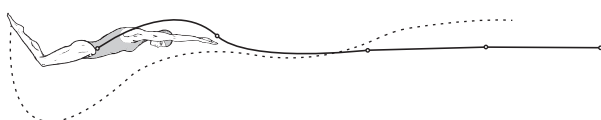
11. Conclusions

La present investigació ha volgut assolir una sèrie d'objectius teòrics i empírics per a reafirmar el concepte original de la propiocepció, completat amb estudis des de diferents perspectives.

A partir dels objectius plantejats, de la metodologia aplicada per assolir-los i dels resultats obtinguts s'extreuen les següents conclusions:

11.1 Conclusions de la part teòrica

- La propiocepció és una qualitat que es nodreix d'estímuls aferents propis.
- Els factors que la condicionen ho fan a partir d'interferències en el procés des de que es rep l'estímul, a nivell dels propioceptors, fins a que arriba a l'escorça sensitiva primària, per a ser considerat dins dels estímuls que provocaran una resposta motora.
- La manifestació conscient de la propiocepció és entrenable i pot ajudar a prevenir lesions per sobrecàrrega o microtraumatisme, i a millorar altres qualitats que depenen del sistema nerviós.
- La manifestació eferent causada per la propiocepció es pot mesurar avaluant la capacitat per detectar una amplitud articular determinada, expressada en graus d'errada entre la posició esperada i la realitzada.
- L'avaluació de l'aferència propioceptiva es pot mesurar amb la quantificació de l'àrea de l'escorça sensitiva primària activada durant la sol·licitació d'una posició articular determinada, amb ressonància magnètica funcional.
- La quantitat de receptors propioceptius a la CV lumbar és menor que en altres articulacions i la manca de mobilitat lumbar provoca el seu mal funcionament per desús.



- La manca d'activitat propioceptiva lumbar limita les possibilitats per detectar quan la CV lumbar està sotmesa a una agressió física o per controlar el moviment lumbar de forma conscient, cabdal en el rendiment de molts esports, a on es depèn del desplaçament del cdg.
- El control conscient de la CV lumbar en la natació competitiva millora la posició hidrodinàmica i la propulsió durant el MOS.
- Els protocols d'administració d'exercicis propioceptius actuals segueixen aplicant els criteris d'execució que estimulen el sistema sensoriomotriu i no tant la propiocepció.
- Els protocols d'administració d'exercicis per a la millora de la propiocepció estan mancats de criteris de progressió en la càrrega d'acord amb la teoria de l'entrenament esportiu.
- Molts dels mètodes actuals d'avaluació de l'entrenament de la propiocepció no són vàlids, donat que no avaluen les variables relacionades amb la propiocepció.
- Els mètodes per a la millora de la tècnica en natació no es corresponen amb la teoria de l'entrenament ni amb les bases neurofisiològiques de l'aprenentatge motriu.

11.2 Conclusions de la part empírica

A continuació es presenten les conclusions que es poden extreure respecte del plantejament de les hipòtesis que s'han posat a prova, aplicables a la població estudiada.

S'accepta la hipòtesi 1:

H1: "L'amplitud de moviment lumbar en el pla sagital experimentarà un increment després de la realització d'exercicis que comprometin els extrems del moviment lumbar en el mateix pla".

Els únics membres de la mostra que han millorat l'ADM lumbar en el pla sagital són els integrants dels dos grups experimentals. El grup control, que ha seguit amb el mateix pla d'entrenament de natació que la resta d'integrants del grup experimentals, sense la intervenció específica de l'estudi, no han manifestat diferències entre l'avaluació inicial i la final.

Es rebutja la hipòtesi 2:

H2: “L’errada de reposicionament lumbar en el pla sagital serà menor després de la realització dels mètodes d’entrenament 1 i 2, que repeteixen un patró de moviment lumbar en tota la seva amplitud dins el pla sagital, respecte de no realitzar cap mena d’intervenció d’aquest tipus”.

Com s’ha pogut veure, la repetició mecànica dels patrons de moviment de la CV lumbar en el pla sagital no ha augmentat la precisió de reposicionament en els dos grups experimentals. Lluny de fer-ho, un dels grups ha empitjorat els seus registres respecte de l’avaluació inicial.

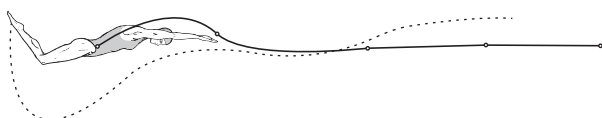
Semblava que la simple realització dels exercicis havia de provocar millores en la propiocepció respecte de no fer-los, donat que la bibliografia recolza la idea de que els receptors propioceptius s’estimulen més amb amplituds de moviment més grans.

Tot i que el grup control no ha experimentat cap canvi significatiu en la seva capacitat de reposicionament, el grup experimental que ha realitzat els exercicis amb els ulls oberts respectant només la tècnica d’execució proposada, ha disminuït el seu rendiment propioceptiu respecte del grup control, que no els ha realitzat.

S’accepta la hipòtesi 3:

H3: “L’errada de reposicionament lumbar serà menor aplicant el mètode d’entrenament amb els ulls tancats, centrant l’atenció sobre la zona lumbar, que realitzant-lo amb els ulls oberts sense cap limitació sensorial”.

Efectivament, el grup experimental que ha realitzat els exercicis amb els ulls tancats, centrant l’atenció sobre la zona lumbar ha millorat significativament la seva capacitat de reposicionament absoluta i relativa respecte del grup experimental que no ha realitzat els exercicis sota aquestes condicions i respecte del grup control que no els ha dut a terme.

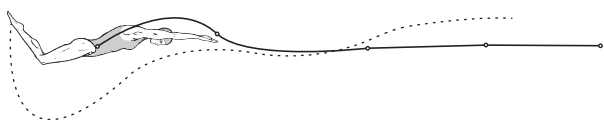


12. Limitacions

Aquesta tesi presenta una sèrie de limitacions que cal tenir en compte:

La prova d'avaluació ha passat la prova de fiabilitat i sembla, per la comparació dels resultats amb altres estudis, que pot ser vàlida per l'avaluació de la propiocepció, però, com la resta d'instruments que actualment s'utilitzen per a l'avaluació de la propiocepció, segueix donant una dada eferent contaminada d'informacions que no es poden discriminar. Es plantegen amb aquests mètodes: fins a quin punt la informació tàctil ajuda a la precisió del reposicionament sol·licitada? Fins a quin punt el soroll ambiental pot alterar l'atenció dels participants en l'estudi durant el test?

Hi ha variables contaminants que no s'han pogut controlar, com l'estat emocional i de descans físic i psíquic dels nedadors durant els dies d'entrenament, que pot haver alterat la seva capacitat atencional sobre la tasca. Es podria haver proposat als integrants dels grups experimentals la realització d'un diari a on reunissin aquests aspectes, per a poder-los tenir en compte si els resultats no eren els esperats.



13. Futures línies de recerca

13.1 Futures línies de recerca en el camp de la neurofisiologia

Seria important poder realitzar la validació dels mètodes que actualment avaluen la propiocepció amb dades eferents de l'avaluació de l'aferència de l'escorça sensitiva primària, especialment a les àrees 3 i 1 de Broca., per exemple amb ressonància magnètica funcional.

Es podria comparar els resultats de la resposta eferent avaluada en l'actualitat amb la resposta de l'estimulació de l'escorça amb potencials evocats somatosensorials o amb EMG.

13.2 Futures línies de recerca en el camp de la biomecànica

Caldria establir correlacions entre les variables relacionades amb la propiocepció i les variables de rendiment de la natació subaquàtica.

Es podria estudiar l'efecte de diferents tipus de feedback en la millora de la tècnica de lliscament o de MOS. Per exemple diferències entre el feedback del vídeo i el verbal, entre el vídeo i la informació propioceptiva facilitada, etc.

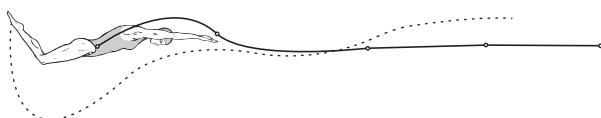
13.3 Futures línies de recerca en el camp de l'entrenament

En el camp de l'entrenament de la propiocepció i d'altres qualitats que depenen del sistema nerviós, es plantegen els següents reptes:

Calen més estudis del mateix tipus per a confirmar els resultats que d'aquesta tesi se'n desprenen, donat que es tracta del primer estudi que posa a prova les variables presentades i els mètodes d'avaluació també suposen una innovació en la mesura de la propiocepció que cal reforçar i repetir.

Comparar els resultats dels test d'equilibri (estabilòmetres o test d'equilibri estàtic) amb els resultats del test d'avaluació de la propiocepció proposat al present estudi.

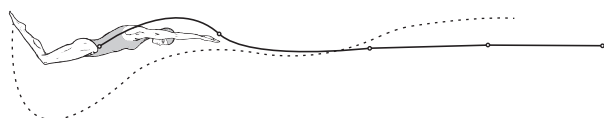
Estudiar les diferències entre les errades de reposicionament lumbar, utilitzant el present test, per a comparar diferents esports o per a comparar els resultats entre subjectes entrenats i sedentaris, o entre subjectes entrenats sense patologia lumbar i amb patologia lumbar dins del mateix esport o de diferents esports.



Referències

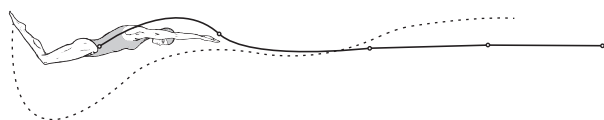
A

- Acebedo, E. & Ekkekakis, P.(2006). Psychobiology of physical activity. USA: Human Kinetics.
- Achour, A. (2006). Exercícios de alongamento. Anatomia e fisiologia (2ª ed.). Brasil: Manole.
- Adamo, D., Martin, B. & Brown, S. (2007). Age-related differences in upper limb proprioceptive acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 104, 1297-1309.
- Adamo, D., Alexander, N. & Brown, S. (2009). The influence of age and physical activity on upper limb proprioceptive ability. *Journal of Aging and Physical Activity*, 17(3), 272-294.
- Adams, M. A., Dolan, P., Hutton, W. C. & Porter, R. W. (1990). Diurnal changes in spinal mechanics and their clinical significance. *Journal of Bone Joint Surgery Br* , 72(2), 266-70.
- Ageberg, E., Roberts, D., Holmström, E. & Fridén, T. (2005). Balance in single-limb stance in patients with anterior cruciate ligament injury: relation to knee laxity, proprioception, muscle strength and subjective function. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(10), 1527-1535.
- Aguado, J.E (2010). El quinto estilo. 7º Congreso Argentino de Piletas y Afines.
- Alexander, G. (1979). La eutonía: Un camino hacia la experiencia total del cuerpo. Buenos Aires: Paidós.
- Alexander,M.J.L (1985). Biomechanical aspects of lumbar spine injuries in athletes: A review. *Canadian Journal Applied Sport Science*, 10(1), 1-20.
- Alter, M.(1998). Science of Stretching. Illinois-USA: Human Kinetics Books.
- Alter, M. (2006). Estiramientos deportivos. (6ª ed). Madrid:Tutor.
- Ansorge, U., Francis, G. ,Herzog, M.H. & Ögmen, H. (2007). Visual masking and the dynamics of human perception, cognition and consciosness. A century of progress, a contemporary synthesis and future directions. *Advances in Cognitive Psychology*, 3 (1-2), 1-8.



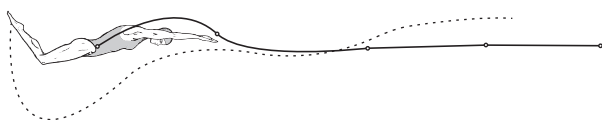
- Arellano, R. & Oña, A. (1987). La atención selectiva de la eficacia motora. Efecto diferencial de la intervención sobre las expectativas atencionales en la salida de natación. *Motricidad*, 1(0), 9-15.
- Arellano, R. (1999). Votrices and propulsión. Sanders, R. & Listen, J. (Eds.), *Applied proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sport: Swimming*. (pp. 53-65). Perth, Australia: Schol of Biomedical and Sports Science. Universitat Edith Cowan.
- Arellano, R., Gavilán, A. & García, F. (1999). A comparison of the underwater undulatory swimming technique in two different body conditions. In K. L. Keskinen, P. V. Komi & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (1 ed., pp. 269-275). Jyvaskyla (Finland): Department of Biology of Physical Activity of the University of Jyvaskyla.
- B**
- Baddeley, A. (1989). *La psicología de la memoria*. Madrid: Debate.
- Baechle, T. & Earle, R. (2007). *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*. (2ª ed.). Madrid: Panamericana.
- Arellano, R., Pardillo, S. & Gavilán, A. (2002). Underwater Undulatory Swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. Paper presented at the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports - Applied Program - Swimming, Cáceres (Spain).
- Arias, O. (2007). Estimulación magnética transcranial. Recuperat el 2 de juny de 2008 a http://www.bp1.blogger.com/.../1_yUIz9aDxg/s400/EMT.jpg
- Ashton-Miller (2000). Proprioception Thresholds at the ankle: implications for prevention of ligament injury. A Lephart, S., Fu, F. (2000). *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. USA: Human Kinetics.
- Ashton-Miller, J.A, Wojtys, E., Huston, L. & Fry-Welch, D. (2001). Can proprioception really be improved by exercises?. *Sports Traumatology, Arthroscopy*. 9, 128-136.
- Barbany, J.R. (1986). *Fisiología del esfuerzo*. (pp. 227-276). Barcelona: INEFC Generalitat de Catalunya.
- Barlow, W. (1991). *El principio de Matthias Alexander. El saber del cuerpo*. (2ª ed.). Barcelona: Paidós.

- Barrey, C., Jund, J., Nosedá, O. & Roussouly, P. (2007). Sagittal balance of pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *European Spine journal*. 16(9), 1469-1470.
- Bawa, P. (2002). Neural control of motor output: Can training change it?. *Exercises and Sport Sciences Reviews*. 30(2), 59-63.
- Beraldo, S. (2004). Posizioni, esercizi e carichi vertebrali. *Revista Il Discóbolo*. Recuperat el 4 de maig de 2008 de http://www.discobolo.it/rivista/allenamento/carichi_vertebrali_prima_parte.htm
- Bertherat, T. (1987). *El cuerpo tiene sus razones. Autocura y antigimnasia*. Barcelona: Paidós.
- Beynon, B., Renström, M.D., Konradsen, M.D., Elmqvist, M.D., Gottlieb, D. & Dirks, M.D. (2000). Validation of techniques to measure knee proprioception. A Lephart, S. i Fu, F. (Eds.). *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability* (pp. 127-138). USA: Human Kinetics.
- Bogduk, N. & Twomey, L. T. (1991). *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine*. Melbourne: Churchill Livingstone.
- Bompa, T. (2007). *Periodización. Teoría y metodología del entrenamiento* (2ª ed.). Barcelona: Hispano europea.
- Bosco, G. & Poppele, R.E. (2001). Proprioception from a spinocerebellar perspective. *Physiological Reviews*, 81(2), 539-568.
- Brito, C.A, Belvis, W.C, Oliveira, M. (2010). The effect of restricting the visual perceptual task in the temporal organization of crawl swimming: Surface characteristics. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 317-318). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Brodal, A. (1980). *Neurological anatomy in relation to clinical medicine* (3ª ed.). USA: Oxford Medicine Publications.
- Brumagne, S., Lysens, R. & Spaepen, A. (1999). Lumbosacral position sense during tilting in men and women without low back pain: test development and reliability assessment. *J Orthop Sports Phys Ther*, 29(6), 345-351.
- Brumagne, S., Cordo, P., Lysens, R., Verchueren, S. & Swinnen, S. (2000). The role of paraspinal muscle spindles in lumbosacral position sense in individuals with and without low back pain. *Spine*, 25(8), 989-994.
- Buchalter, D., Parnianpour, M., Viola, K., Nordin, M. & Kahanovitz, N. (1988). Three-dimensional spinal motion measurements. Part 1: A technique for examining posture and functional spinal motion. *Journal of Spinal Disorders*, 1(4), 279-83.



- Burgess, R. (2005). Relevant trunk functional anatomy .Recuperat el 2 de març de 2008 de www.efeld.com
- Busquet, L. (1997a). Las cadenas musculares. Lordosis- cifosis- escoliosis y deformaciones torácicas (2ª ed.) . Tomo II. Barcelona: Paidotribo.
- Busquet, L. (1997b). Las cadenas musculares. Tronco y columna cervical (2ª ed.). Tomo I. Barcelona: Paidotribo.
- ## C
- Cabedo, J. (2005). L'evolució de l'equilibri durant el cicle vital. Tesis doctoral no publicada, Universitat de Barcelona, Institut nacional d'educació física de Catalunya, centre de Barcelona.
- Cancela, J.M., Pariente, S., Camiña, F. & Lorenzo, R. (2008). Tratado de natación. Del perfeccionamiento al alto rendimiento. Barcelona: Paidotribo.
- Carriere, B. (1998). The Swiss Ball: Theory, Basic Exercises and Clinical Application. Berlin: Springer-Verlag.
- Cervantes, J. (2004). El desplazamiento ondulatorio de los peces: analogía con el pando de columnas sólidas y fluidas. Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo, 5, 151-158.
- Clarke, D. & Smith, G. (2000). Somatisation: What is it?. Australian family physician, 29(2), 109-113.
- Cometti, G. (2007). Los métodos modernos de musculación (4ª ed.). Barcelona: Paidotribo.
- Comitè de bioètica de Catalunya (2003). Guia de recomanacions sobre el consentiment informat. Barcelona: Direcció general de recursos sanitaris de la Generalitat de Catalunya.
- Cordo, P., Carlton, L., Bevan, L., Carlton, M. & Kerr, G. K. (1994). Proprioceptive coordination of movement sequences: role of velocity and position information. Journal of Neurophysiology , 71, 1848-1861
- Cordo, P., Flores-Vieira, C., Verschueren, S., Inglis, J.T. & Gurfinkel, V. (2002). Position sensitivity of human muscle spindles: single afferent and population representations. Neurophysiology, 87, 1186-1195.

- Coronado, R., Pérez, R., Diez, M.P., RenanLeón, S., Saavedra, P. & Chávez, D. (2006). Estudio pronóstico de caídas en mujeres menores de 65 años con osteoporosis a través de la propiocepción. *Acta ortopedica mejicana*, 20 (5), 196-200.
- Cossor, J. & Mason, B. (2001). Swim start performances at Sydney 2000 Olympic Games. XIX International Symposium on Biomechanics in Sports.
- Cotman, C. & Engesser, C. (2002). Exercise enhances and protects brain function. *Exercises and Sport Sciences Reviews*, 30 (2), 75-79.
- Cuartero, M., Del Castillo, J., Torrallardona, X. & Murio, J. (2010). Entrenamiento de las especialidades de natación. Madrid: Cultiva libros.
- D**
- Dauids, K., Bennet, S. & Newell, K. (2006). *Movement System Variability*. USA: Human Kinetics.
- Daza, J. (2007). *Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano*. Colombia: Panamericana.
- De la Fuente, B., Arellano, R. (2010). Effect of Start Time Feedback on Swimming Start Performance. A Kjøndlie, P.L., Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 249-251). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Chek, P. (2007). Back to the basis of the new year. Recuperat el 4 de maig de 2008 de <http://www.chekinstitute.com/articles.cfm?select=73>
- Cholewicki, J., Polzhofer, G.K. & Radebold, A. (2000). Postural control of trunk during unstable sitting. *Journal of Biomechanics*, 30(12), 1733-1737.
- Chollet, D. (2003). *Natación deportiva. Enfoque científico. Bases Biomecánicas, técnicas y psicológicas. Aprendizaje, evaluación y corrección de las técnicas de natación*. Barcelona: Inde.
- Delmas, A. (1992). *Vías y centros nerviosos (7ª ed.)*. Barcelona: Masson.
- Demosthenes (2005). *Therapeutic physiotherapy-physiotherapy treatment*[en línia]. Accessible a www.demosthenes.cz/foto/fyzioterapie_4_m.jpg (Consulta 20-05-2008).
- Descarreaux, M., Blouin, JS. & Teasdale, N. (2005). Repositioning accuracy and movement parameters in low back pain subjects and healthy control subjects. *Eur Spine Journal*, 14(2), 185-191.



- Diccionari enciclopèdic Salvat (1981). Propriocepción. Proprioceptor. (15ª ed.) volum 17, pag.75. 15ª edició Barcelona: Salvat Editors.
- Doctorgen (2007). Estimulación magnética transcranial[en línea]. Accessible a www.sciencedaily.com/.../10/051019003056.jpg (Consulta 2-06-2008).
- Dolan, P. & Adams, M. A. (1993). Influence of lumbar and hip mobility on the bending stresses on the lumbar spine. *Clinical Biomechanics* 8,185-192.
- Dover, G. & Powers, M.E., (2003). Reliability of joint position sense and force-reproduction measures during internal and external rotation of the shoulder. *Journal of Athletic Training*, 38 (4), 304-310.
- Dumitru, D. (1995). *Electrodiagnostic medicine*. Philadelphia: Hanley i Belfus.

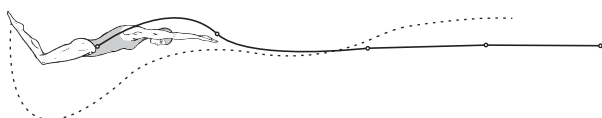
E

- Elipot, M., Houel, N., Hellard, P., Dietrich, G. (2010). Motor coordination during the underwater undulatori swimming phase of the start for high level swimmers. A Kjendlie, P.L., Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 72- 73). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Enoka, R. (1994). *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. USA: Ed.Human Kinetics.
- Escera, C. (2002). Evaluación de disfunciones neurocognitivas con potenciales evocados. *Revista de Psiquiatria de la facultad de medicina de Barcelona*. 29(6), 362-373.
- Elliot, H (1969). *Textbook of Neuroanatomy*. Philadelphia: Lippincatt Co.

F

- Fairbank, J.C., Couper, J., Davies, J.B. & O'Brien, J.P. (1980). The Oswestry Low back pain Disability Questionnaire. *Physiotherapy*, 66, 271-273.
- Fairbank, J.C. & Pynsent, P.B. (2000). The Oswestry Disability Index. *Spine*, 25 (22), 2940-2953.

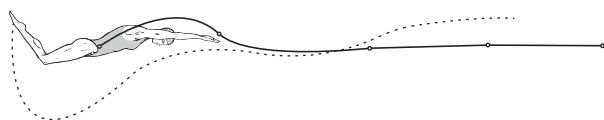
- Feldenkrais, M.(1997). Autoconsciència por el movimiento. Ejercicios fáciles para mejorar tu postura, visión, imaginación y desarrollo personal. El libro básico del método Feldenkrais. (4ª reimpresió). Barcelona: Paidós.
- Ferguson, S.A., Marras, W.S., Burr, D., Davis, K., Gupta, P. (2004). Differences in motor recruitment and resulting kinematics between low back pain patients and asymptomatic participants during lifting exertions. *Clinical biomechanics*, 19 (19), 992-999.
- Ferguson, S.A., Marras, W.S., Burr, D. (2005). Differences among outcome measures in occupational low back pain. *Journal of occupational rehabilitation*, 15 (3), 329-341.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, 593-609.
- Gandevila, S., Smith, J., Crawford, M., Proske, U. & Taylor, J. L. (2006). Motor comands contribute to human position sense. *The Journal of Physiology*. 571 (3), 703-710.
- Gavilán, A., García, F., Pardillo, S. & Arellano, R. (2001). Análisis de los factores del movimiento ondulatorio subacuático. A R. Arellano & A. Ferro (Eds.), Análisis biomecánico de la técnica en natación: Programa de control del deportista de alto nivel (pp. 87-130). Madrid: Consejo Superior de Deportes - Ministerio de Educación y Ciencia.
- Fort, A., De Antolín, P., Costa, L., Massó, N., Rueda, L. & Lloret, M. (2009). Efectos de un entrenamiento propioceptivo (TRAL) de tres meses sobre el control postural en jóvenes deportistas. *Apunts Educación Física y Deportes*, 95, 49-56.
- Fourkas, A. D., Ionta, S. & Aglioti, S. M. (2006). Influence of imagined posture and imagery modality on corticospinal excitability. *Behavioural Brain Research*, 168(2), 190-196.
- Fritz, J. & Irrgang, J. (2001). A comparison of a Modified Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire and Quebec Back Pain Disability Scale. *Physical Therapy*.81(2),776-788.
- Gavilán, A. (2002). Análisis de las variables que inciden en la técnica del movimiento ondulatorio subacuático y valoración de su entrenabilidad (Tesis Doctoral, Director: Raúl Arellano). Programa de Doctorado: Nuevas perspectivas en la investigación de las ciencias del deporte, Granada.



- Gavilán, A., Arellano, R. & Sanders, R. (2006). Underwater undulatory swimming: Study of frequency, amplitude and phase characteristics of the 'body wave'. Portuguese Journal of Sport Science - Suppl. Biomechanics and Medicine in Swimming X, 6 (Supl.2), 35-37.
- Gay, R., Ilharreborde, B., Berglund, L., Zhao, K. & An, K. (2006). The neutral zone in human lumbar spine sagittal plane motion: A comparison of in vitro quasistatic and dynamic force displacement curves. Clinical Biomechanics. 21(9), 914-919.
- Gill, K. P. & Callaghan, M. J. (1998). The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low back pain. Spine. 23 (3), 371-377.
- Giorgi, A., Davie, M. (2008). Strength and conditioning unit. Queensland academy of sport. Queensland goverment: Australia.
- Goble, D., Lewis, C., Hurvitz, E. & Brown, S. (2005). Development of upper limb proprioceptive accuracy in children and adolescents. Human Movement Science. 24, 155-170.
- Gollhofer, A. (2008). Proprioceptive training: Considerations for strength and power production. A Komi, P.V (Ed). Streght and power in sport (2ª ed) (pp 331-342) COI, UK: Blackwell Science Ltd.
- González, R., Coronado, R., Diez, M. P., Chávez, D., Granados, R., Saavedra, P. & Pérez, R. (2005). Evaluación cuantitativa de propiocepción en hombro: sentido de posición, umbral y repetición de velocidad de movimiento. Revista Mexicana de medicina física y rehabilitación. 17 (3), 77- 83.
- Goodale, M. (1998). Vision for perception and vision for action in primate brain. Sensory guidance of movement. Novartis Foundation Symposium 218. 21-39.
- Graziano, M. (1999). Where is my arm? The relative role of vision and proprioception in the neuronal representation of limb position. Neurobiology. 96, 10418-10421.
- Grosser, Brüggerman & Zintl (1989). Alto rendimiento deportivo. Planificación y desarrollo. Barcelona: Martínez Roca.
- Gutiérrez, M. (2010). Biomecánica deportiva. Madrid: Síntesis.

H

- Heckman, C. J. (2002). Active conductances in motoneuron dendrites enhance movement capabilities. *Exercises and Sport Sciences Reviews*, 31 (2), 96-101.
- Hemsey, V. (1991). *Aproximación a la eutonia. Conversaciones con Gerda Alexander*. Barcelona: Paidós.
- Heppelmann, B., Messlinger, K., Neiss, W. & Schmidt, R. (1990). Ultrastructural three-dimensional reconstruction of group III and group IV sensory nerve endings ("free nerve endings") in the knee joint capsule of cat: Evidence for multiple receptive sites. *Journal Comp Neurology*, 292, 103-116.
- Herbrandson (2005). Learning the nervous system [en línia]. Accessible a http://academic.kellogg.cc.mi.us/herbrandsonc/bio201_McKinley/Nervous%20System.htm (consulta 3-03-2008).
- Hernández, S., Fernández, C. & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5^a ed.). Mèxic: McGraw-Hill.
- Higgins, M. J. & Perrin, D. H (1997). Comparison of weight-bearing and nonweight-bearing condition on knee joint position sense. *Journal of Sport Rehabilitation*, 6, 327-334.
- Hindle, R., Pearcy, M., Cross, A. & Miller, D. (1990). Three-dimensional kinematics of the human back. *Clinical Biomechanics*, 5, 218-228.
- Hjortskov, N., Hye-knudsen, C. & Fallentin, N. (2005). Lumbar position sense acuity during an electrical shock stressor. *Musculoskeletal Disorders* [en línia]. Accessible a <http://www.biomedcentral.com/1471-2474/6/37> (consulta 4-04-2008).
- Hodges, P. (1999). Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pèlvic stability?. *Manual Therapy*, 4(2), 74-86.
- Hodges, P. (2003). *Neuromechanical control of the spine*. Stockholm: Department of Neuroscience Karolinska Medico Chirurgiska Institutet.
- Houel, N., Elipot, M., Andrée, F. & Hellard, H. (2010). Kinematics analysis of undulatori underwater swimming during a grab start of national level swimmers. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 97-99). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.



I

- Invernizzi, P.L., Longo, S., Tadini, F. & Scurati, R. (2010). Swimming in eyesight derivation: Relationships with sensory-perception, coordination and laterality. A Kjendlie, P.L., Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 326-328). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Ishihara, A., Roy, R., Ohira, Y. & Edgerton, V. (2002). Motoneuron and sensory neuron plasticity to varying neuromuscular activity levels. *Exercises and Sport Sciences Reviews*, 30(4), 152-158.

J

- Jensen, E. (1998). *Cerebro y aprendizaje*. Madrid: Narcea.

K

- Kaminski, T.W & Perrin, D.H. (1996). Effect of prophylactic knee bracing on balance and joint position sense. *Journal of Athletic Training*, 31, 131-136.
- Kaminski, T., Buckley, B., Powers, M., Hubbard, T. & Ortiz, C. (2003). Effect of strength and proprioception training on eversion to inversion strength ratios in subjects with unilateral functional ankle instability. *British Journal Sports Medicine*, 37, 410-415.
- Kandel, E., Schwartz, J. & Jessel, T. (2001). *Principios de Neurociencia* (4ª ed.). Madrid: McGraw-Hill-interamericana.
- Kapandji, A. (2001). *Cuadernos de fisiología articular. Tronco y raquis* (5ª ed.) Barcelona: Panamericana.
- Keeley, J., Mayer, T. G., Cox, R., Gatchel, R. J., Smith, J. & Mooney, V. (1986). Quantification of lumbar function. Part 5: Reliability of range-of-motion measures in the sagittal plane and an in vivo torso rotation measurement technique. *Spine*, 11(1), 31-5.
- Kjendlie, L., Keig Stallman, R. & Cabri, J. (Eds). (2010). *Biomechanics and medicine in swimming XI*. Oslo: Norwegian school of sport science.
- Koch, C. (2005). *La consciencia. Una aproximación neurobiológica*. Barcelona: Ariel.

Kottke, F. & Lehmann, J. (1993). KRUSEN. Medicina física y rehabilitación (4ª ed.). Madrid: Panamericana.

L

Lam, S., Jull, G. & Treleavan, J. (1999). Lumbar Spine Kinesthesia in Patients with Low Back Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 29(5), 294-299.

Laskowski, E. R., Newcomer-Aney, K. & Smith, J. (1997). Refining rehabilitation with proprioception training: Expediting return to play. *Physician and sportsmedicine*, 25(10), 89-102

Laskowski, E. R., Newcomer-Aney, K. & Smith, J. (2000). Scientific principles of sports rehabilitation: Proprioception. *Physical medicine and rehabilitation clinics of north america*. Mayo Sports Medicine, 11(2), 323-340.

Lee, R. (2002). Measurement of movement of the lumbar spine. *Physiotherapy Theory and Practice*, 18, 159-164.

Lehman, G., Gordon, T., Langley, J., Pemrose, P. & Tregaskis, S. (2005). Replacing a swiss ball for an exercise bench causes variable changes

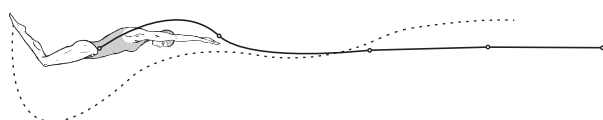
Koumantakis, G.A., Winstanley, J. & Oldham, J.A. (2002). Thoracolumbar proprioception in individuals with and without low back pain: intratester reliability, clinical applicability, and validity. *J Orthop Sports Phys Ther*, 32(7), 327-335.

in trunk muscle activity during upper limb strength exercises. *BioMed Central Dynamic Medicine* [en línia]. Accessible a <http://www.dynamic-med.com/content/4/1/6> (consulta 3-03-2008).

Leinonen, V., Kankaanpää, M., Luukkonen, M., Kansanen, M., Hänninen, O., Airaksinen, O. & Taimela, S. (2003). Lumbar paraspinal muscle function, perception of lumbar position, and postural control in disc herniation-related back pain. *Spine*, 28(8), 842-848.

Lephart (1997). Restablecimiento de la propiocepción, la cinestesia, el sentido de la posición de las articulaciones y el control neuromuscular en la rehabilitación. En Prentice, W. (1997). *Técnicas de Rehabilitación en medicina deportiva*: (p. 138-145). Barcelona: Paidotribo.

Lephart, S. & Fu, F. (2000). *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. USA: Human Kinetics.



Liao, K., Chen, J., Lai, K., Liu, C., Lin, Y., Yu, B. & Wu, Z. (2008). Effect of sacral-root stimulation on the motor cortex in patients with idiopathic overactive bladder syndrome. *Clinical Neurophysiology*, 38, 39-43.

Loebl, W. Y (1967). Measurement of spinal posture and range of spinal movement. *Annals of Physical Medicine*, 9, 103-110.

LL

Lloyd, M. (2000). Proprioception and Neuromuscular control related to the female athlete. A Lephart, S. & Fu, F. (2000). *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. USA: Human Kinetics.

M

Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Mantripragada, N., Vilas-Boas, J. P., Rouard, A. H., Mantha, V. R., Rouboa, A. I. & Silva, A. J. (2010). The gliding phase in swimming: The effect of water depth. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 122-123). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.

Marras, W., Davis, K. & Jorgensen, M. (2002). Spine loading as function of gender. *Spine*, 27 (22), 2514-2520.

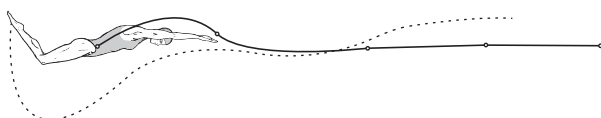
Lowery, W. D., Horn, T. J., Boden, S. D. & Wiesel, S. W. (1992). Impairment evaluation based on spinal range of motion in normal subjects. *Journal of Spinal Disorders*, 5(4), 398-402.

Matlin, M. & Foley, H.(1996). *Introducció i Metodologies Perceptuales*. En *Sensació y Percepció* . (3ª ed.) (p.1-48). Mexic: Prentice Hall Hispanoamericana.

Mattacola, C. & Wills, J. (1997). Effects of 6-week strenght and proprioception training program on measures of dynamic balance: A single case design. *Journal of Athletic Training*, 32 (2), 127-135.

May, S., Littlewood, C. & Bishop, A.(2006). Reliability of procedures used in physical examination of non-specific low back pain: A systematic review. *Australian Journal of physiotherapy*, 52, 91-102.

- Mayer, T. G., Kondraske, G., Beals, S. B. & Gatchel, R. J. (1997). Spinal range of motion. Accuracy and sources of error with inclinometric measurement. *Spine*, 22(17), 1976-84.
- McGibbon, C. (2003). Toward a better understanding of gait changes with age and disablement: Neuromuscular adaptation. *Exercises and Sport Sciences Reviews*, 31(2), 102-108.
- McLain, R. F. & Pickar, J. G. (1998). Mechanoreceptor endings in human thoracic and lumbar facet joint. *Spine*, 23(2), 168-173.
- McLeod, I. (2010). *Anatomía del nadador*. Madrid: Tutor.
- Melrose, J., Roberts, S., Smith, S., Menage, J. & Ghosh, P. (2002). Increased nerve and blood vessel ingrowth associated with proteoglycan depletion in an ovine anular lesion model of experimental disc degeneration. *Spine*, 27(12), 1278-1285.
- Mercier, C., Aballea, A., Vargas, C.D., Paillard, J. & Sirigu, A. (2008). Vision without proprioception modulates corticospinal excitability during motor imagery. *Cerebral Cortex*, 18 (2), 272-277.
- Merritt, C. & Merritt, L. (2007). The gym ball as a chair for the back pain patient: A two case report. *Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 51(1), 50-55.
- Mézières, F. (1984). *Originalité e la méthode Mézières*. France: Maloine.
- Middelton, P. & Pollard, H. (2005). Are chronic low back pain outcomes improved with co-management of concurrent depression?. *Review. Chiropractic&Osteopathy*, 13(8) [en línia]. Accesible a <http://www.chiroandosteo.com/content/13/1/8> (consulta 2-04-2008).
- Montero, B. (2006). Proprioception as an Aesthetic Sense. *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 64:2, 31-242.
- Mori, A. (2004). Electromyographic activity of selected trunk muscles during stabilization exercises using a gym ball. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 44(1), 57-64.
- Morris, T., Spittle, M. & Watt, A. (2005). *Imagery in sport*. USA: Human Kinetics.
- Muglioni, J. (1996). Augusto Comte. *Perspectivas. Revista trimestral de educación comparada* . 26, 225-237.
- Myers, J., Guskiewicz, K., Schneider, R. & Prentice, W. (1999). Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue. *Journal of athletic training*, 34(4), 362 - 367.



N

- Navarro, F., Rivas, A. (2001). Planificación y control del entrenamiento de natación. Madrid: Gymnos.
- Nelson, J. M., Walmsley, R. P. & Stevenson, J. M. (1995). Relative lumbar and pelvic motion during loaded spinal flexion/extension. *Spine*, 20(2), 199-204.
- Netter, F.H. (2007). Atlas de anatomia humana. Barcelona: Masson.
- Newcomer, K., Laskowski, M. D., Yu, B., Johnson, J. & Kai-Nan, A. (2000a). Differences in repositioning error among patients with low back pain compared with control subjects. *Spine*, 25(19), 2488-2493.
- Newcomer, K., Laskowski, MD., Yu, B. & Larson, D. (2000b). Repositioning error in low back pain. Comparing trunk repositioning error in subjects with chronic low back pain and control subjects. *Spine*, 25(2), 245-250.
- Newcomer, K., Laskowski, E. R, Yu, B., Johnson, J. & An, K. N. (2001). The effects of a lumbar support on repositioning error in subjects with low back pain. *Archives of Physical medicine rehabilitation*, 82 , 906-10.

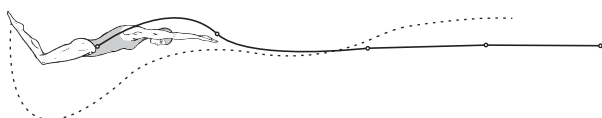
O

- O'Sullivan, P.B., Burnett, A., Floyd, A.N., Gadsdon, K., Longiudice, J., Miller, D. & Quirke, H. (2003). Lumbar repositioning deficit in a specific low back pain population. *Spine*, 28(10), 1074-1079.
- Ordway, N. R., Seymour, R., Donelson, R. G., Hojnowski, L., Lee, E. I. & Edwards, W. T. (1997). Cervical sagittal range of motion analysis using three methods: cervical range motion device, 3Space Track and radiography. *Spine*, 22, 501-508.

P

- Pai, C., Petersen, C., Brekke, A., Bulow, M. E. & Ewers, E. (2005). Spinal proprioception methods and related systems. United States Patent 6969360 [en línia]. Accessible a <http://www.patentstorm.us/patents/6969360-description.html> (consulta 2-4-2008).
- Pai, Y-C. (2003). Movement termination and stability in standing. *Exercises and Sport Sciences Reviews*, 31(1), 19-25.

- Paillard, T., Bizid, R. & Dupui, P. (2007). Do sensorial manipulations affect subjects differently depending on their postural abilities?. *British Journal Sports Medicine*, 41, 435-438.
- Palmgren, T., Gröbbland, M., Virri, J., Kääpä, E. & Karaharju, E. (1999). An immunochemical study of nerve structures in anulus fibrosus of human normal lumbar intervertebral disc. *Spine*, 24(20), 2075-2079.
- Panjabi, M. (1992a). The stabilizing system of the spine. Part I. *Journal of spinal disorders*, 5, 383-389.
- Panjabi, M. (1992b). The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *Journal of spinal disorders*, 5, 390-397.
- Panjabi, M. (2003). Clinical spinal instability and low back pain. *Journal of Electromyographic kinesiology*. 13, 371-379.
- Panjabi, M. (2006). A Hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction. *Europe spine journal*, 15, 668-676.
- Panjabi, M., Abumi, K., Duranceu, J. & Oxland, T. (1989). Spinal stability and intersegmental muscle forces. A biomechanical model. *Spine*, 14, 194-200.
- Paterno, M., Myer, G., Ford, K. & Hewett, T. (2004). Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 34, 305-316.
- Paulev, P.E. (2000). *Textbook in Medical Physiology And Pathophysiology*. Accesible a <http://www.mfi.ku.dk/ppaulev/content.htm> (consulta 1-03-2008).
- Pearcy, M. J. (1986). Measurement of back and spinal mobility. *Clinical Biomechanics*, 1, 44-51.
- Pearcy, M. J. (1993). Twisting mobility of the human back in flexed postures. *Spine*, 18(1), 114-9.
- Pearcy, M. J. & Hindle, R. J. (1989). New method for the non-invasive three-dimensional measurement of human back movement. *Clinical Biomechanics*, 4, 73-79.
- Peng, B. G., Wu, W. W., Hou, S. X., Zhang, C. L., Yang, Y., Wang, X. H. & Fu, X. B. (2004). The pathogenesis of discogenic low back pain. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, 42(12), 720-724.
- Peng, B. G., Hao, J., Hou, S., Wu, W., Jiang, D., Fu, X. & Yang, Y. (2006). Possible pathogenesis of painful intervertebral disc degeneration. *Spine*, 31(5), 560-566.



- Perea, V. & Ladera, V. (2008). Talamo: aspectos neurofuncionales. II Congreso Internacional de neuropsicología en internet [en línea]. Accesible a <http://www.serviciodc.com/congreso/congress/pass/conferences/Perea-Ladera.html> (consulta 1-03-2008).
- Platonov, V. N. (2001). Teoría general del entrenamiento deportivo olímpico. Barcelona: Paidotribo.
- Popper, K. (1962). La lógica de la investigación científica. Madrid: Tecnos.
- Portek, I., Percy, M. J., Reader, G. P. & Mowat, A. G. (1983). Correlation between radiographic and clinical measurement of lumbar spine movement. *British Journal of Rheumatology*, 22, 197-205.
- Porter, J. L. & Wilkinson, A. (1997). Lumbar-hip flexion motion. A comparative study between asymptomatic and chronic low back pain in 18- to 36-year-old men. *Spine*, 22(13), 1508-1514.
- Potenciales evocados visuales y auditivos (2008) [en línea]. Accesible a www.depeca.uah.es/.../Potenciales_evocados.htm (consulta 2-06-2008).
- Purves, D., Augustine, G., Fitzpatrick, D., Hall, W., Lamantia, A. S., Mcnamara, J. & Williams, M. (2008). *Neurociencia* (3ª ed. 1ª reimpressió). Madrid: Panamericana.
- Pynt, J., Higgs, J. & Mackey, M. (2001). Seeking the optimal posture of the seated lumbar spine. *Physiotherapy Theory and Practice*, 17, 5-21.

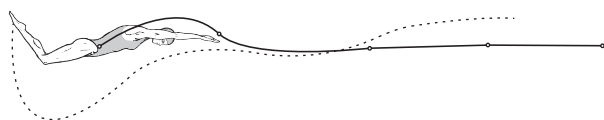
R

- Reeves, N. P., Cholewicki, J. & Milner, T.E. (2005). Muscle reflex classification of low-back pain. *Journal of electromyography and Kinesiology*, 15, 53-60.
- Riemann, B. & Lephart, S. (2002). The Sensorimotor System, part I: The physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37, 71-79.
- Rizzolatti, G. (1994). Nonconscious motor images. *Behavioral and brain sciences*, 17, 220.
- Rizzolatti, G. (2005). The mirror neuron system and its function in humans. *Anat Embryology*, 210, 419-421.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3, 131-141.

- Rizzolatti, G., Fogassi, L. & Gallese, V. (2007). Neuronas espejo. *Investigación y ciencia*, 364, 14-21.
- Roberts, S., Eisenstein, S. M., Menage, J., Evans, E.H. & Ashton, I. K. (1995). Mechanoreceptors in intervertebral discs. Morphology, distribution and neuropeptides. *Spine*, 20(24), 2645-2651.
- Roig, A. (2010). Evaluation of the gliding capacity of a swimmer. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 163-165). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Rosales, M. R. (2003). Resonancia magnética funcional: Una nueva herramienta para explorar la actividad cerebral y obtener un mapa de su corteza. *Revista Chilena de Radiología*, 9 (2), 86-91.
- Ruiz, J. (2008). Fisiología del Sistema Vestibular [en línea]. Accessible a www.otorrinoweb.com/.../sistema_vestibular_5.htm (consulta 10-4-2008).
- Russell, P., Weld, A., Percy, M. J., Hogg, R. & Unsworth, A. (1992). Variation in lumbar spine mobility measured over a 24-hour period. *British Journal of Rheumatology*, 31, 329-332.

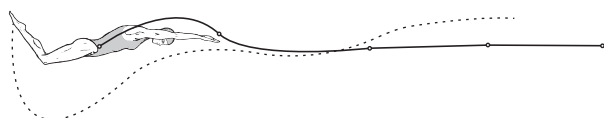
S

- Saavedra, P., Coronado, R., Chávez, D., Díez, M., León, S., Granados, R., Pérez, R., González, R. & Escudero, M. (2003). Relación entre fuerza muscular y propiocepción de rodilla en sujetos asintomáticos. *Revista Mexicana de Medicina Física Y Rehabilitación*, 15, 17-23.
- Salinas, F.A. (2007). Dolor lumbar: enfoque basado en la evidencia. *Iatreia*, 20(2), 144-159.
- Salo, D. & Riewald, S. (2010). Preparación física completa para la natación. Madrid: Tutor.
- Sánchez, J. A & Arellano (2001). El análisis de la competición en natación: Estudio de la situación actual, variables y metodología. A R. Arellano & A. Ferro (Eds.), *Análisis biomecánico de la técnica en natación: Programa de control del deportista de alto nivel* (pp. 10-50). Madrid: Consejo Superior de Deportes - Ministerio de Educación y Ciencia.



- Sanders, R. (2008). New analysis procedures for giving feedback to swimming coaches and swimmers. Articles from Scientific Conferences. Recuperat el 10 de març de 2011 a <http://www.coachesinfo.com>
- Scheidt, R., Condit, M., Secco, E. & Mussa-Ivaldi, F. (2005). Interaction of visual and proprioceptive feedback during adaptation of human reaching movements. *Journal of Neurophysiology*, 93, 3200-3213.
- Schiffman, H. R. (1997). *La percepción sensorial*. Mexic: Limusa.
- Schmidt, A. C., Underechts, B. E., Buss, W. & Shack, T. (2010). The effect of cognition-based technique training on stroke length in age-group swimmers. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 283-285). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Scurati, R., Michielon, G., Longo, S. & Invernizzi, P. L. (2010). Imagery training in young swimmers: effects on the flow state and performance. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 336-338). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Sherrington, C. S (1906). *The integrative action of nervous system*. New Haven, Conn.: Yale Univertisy Press.
- Shimojo, H., Ichikawa, H., Tsubakimoto, S. & Takagi, H. (2010). The effect of a target sound made by a model swimmer's dolphin kick movement on another swimmer's dolphin kick performance. A Kjendlie, P.L, Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 341-343). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.
- Shum, G. L., Crosbie, J. & Lee, R. Y. (2005a). Symptomatic and asymptomatic movement coordination of the lumbar spine and hip during an everyday activity. *Spine*, 30(23), 697-702.
- Shum, G.L., Crosbie, J. & Lee, R. Y (2005b). Effect of low back pain on the kinematics and joint coordination of the lumbar spine and hip during sit-to-stand and stand-to-sit. *Spine*, 30(17), 1998-2004.
- Shum, G. L., Crosbie, J. & Lee, R. Y. (2007a). Movement coordination of the lumbar spine and hip during a picking up activity in low back pain subjects. *Eur SpineJournal*, 16(6), 749-758.
- Shum, G. L., Crosbie, J. & Lee, R. Y. (2007b). Three-dimensional kinetics of the lumbar spine and hips in low back pain patients during sit-to-stand and stand-to-sit. *Spine*, 32(7), 211-219.

- Silva, A., Persyn, U., Colman, V. & Alves, F. (2005). Los principios biomecánicos de las técnicas simétricas en natación deportiva. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 13, 37-53.
- Sinaki, M., Brey, R., Hughes, C., Larson, D. & Kaufman, K. (2005). Significant reduction in risk of falls and back pain in osteoporotic-kyphotic women through a spinal proprioceptive extension exercise dynamis (SPEED) program. *Mayo clinic proc*, 80 (7), 849-855.
- Sloan, T. (2003). *Potenciales evocados en anestesia y neurocirugía* (p.183-200). Madrid: Elsevier.
- Souchard, P. E (1992). *Méthode Mézières*. France: Maloine
- Stefan, K., Cohen, L., Duque, J., Mazzocchio, R., Celnik, P., Sawaki, L., Ungerleider, L. & Classen, J. (2005). Formation of a motor memory by action observation. *The Journal of Neuroscience*, 25(41), 9339-9346.
- Stinear, C. M. & Byblow, W. D. (2003). Motor imagery of phasic thumb abduction temporally and spatially modulates corticospinal excitability. *Clinical Neurophysiology*, 114(5), 909-914.
- Sullivan, S., Donegan, L. & Riddle, D. (2000). The relationship of lumbar flexions to disability in patients with low back pain. *Physical Therapy*, 80 (3), 240-250.
- Swinkels, A. & Dolan, P. (1998). Regional Assessment of Joint Position Sense in the Spine. *Diagnostics. Spine*, 23(5), 590-597.
- Swinkels, A. & Dolan, P. (2000). Spinal Position Sense Is Independent of the Magnitude of Movement. *Spine*, 25(1), 98-105.
- Szczerba, J. E., Bernier, J. N., Perrin, D. H. & Gansneder, B. M. (1995). Intertester reliability of active and passive ankle joint position sense testing. *Journal of Sport and Rehabilitation*, 6, 30-37.
- Taimela, S., Kankaanpää, M. & Luoto, S. (1999). The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine*, 24(13), 1322-1327.
- Tarantino, F. (2009). Ejercicios de propiocepción para la mejora de la estabilidad de la rodilla. Recuperat el 10 de març de 2011 a <http://www.efisioterapia.net/articulos>



- Tendencias tecnológicas (2008). Estimulación magnética transcranial [en línia]. Accessible a www.tendencias21.net/photo/337405-416494.jpg (consulta 2-06-2008).
- Thompson, C. & Floyd, R. T. (1996). Manual de Kinesiología estructural. Barcelona: Paidotribo.
- Tsai, Y-S. (2005). Biomechanics and physical characteristics of trunk and hip in golfers with and without low back pain. USA: University of Pittsburgh.
- Turner, A. (2011). The science and practice of periodization: a brief review. National Strength and Conditioning Association, 33 (1), 34-46.

U

- Ungerechts, B. & Arellano, R. (2011). Hydrodynamics in swimming. A Seifert, L., Chollet, D. & Mújica, I. (Eds.), World book of swimming: From science to performance (pp. 21-41). USA: Nova Science Publishers.
- University of Western Sydney (2006). Oswestry Disability Questionnaire summary prepared by the Occupational Therapy Program [en línia]. Accesible a www.maa.nsw.gov.au (consulta 2-04-2008).

V

- Van Emmerik, R. E. A & Van Wegen, E. H (2002). On the functional aspects of variability in postural control. Exercise and Sport Sciences Reviews, 30 (4), 177-183.
- Van Herp, G., Rowe, P., Salter, P. & Paul, J.P. (2000). Three-dimensional lumbar spinal kinematics : a study of range of movement in 100 healthy subjects aged 20 to 60+ years. Rheumatology, 39, 1337-1340.
- VanDaele, U., Huyvaert, S., Hagman, F., Duquet, W., VanGheluwe, B. & Vaes, P. (2007). Reproducibility of postural control measurement during unstable sitting in low back pain patients. Bio Med Central Musculoskeletal Disorders. [en línia]. Accessible a <http://www.biomedcentral.com/1471-2474/8/44> (consulta 3-03-2008).

Verhagen, E., van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R. & van Mechelen, W. (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(6), 1385-1393.

W

Wada, T., Sato, T., Ohishi, K., Tago, T., Izumi, T., Matsumoto, T., Yamamoto, N., Isaka, T. & Shimoyama, Y. (2010). An analysis of the underwater gliding motion in collegiate competitive swimmers. A Kjendlie, P.L., Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 185-187). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.

Waddell, G., Somerville, D., Henderson, I. & Newton, M. (1992). Objective clinical evaluation of physical impairment in chronic low back pain. *Spine*, 17(6), 617-28.

X

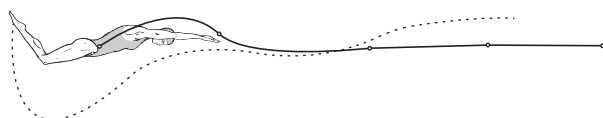
Xu, D., Hong, Y. & Chan (2004). Effect of tai chi exercise on proprioception of ankle and knee joints in old people. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 50-54.

Verkhoshansky, Y. (2002). *Teoría y metodología del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Paidotribo.

Wassinger, C., Myers, J., Gatti, J., Conley, K. & Lephart, S. (2007). Proprioception and throwing accuracy in the dominant shoulder after cryotherapy. *Journal of athletic training*, 42(1), 84-89.

Willems, T., Witvrouw, E., Verstuyft, J., Vaes, P. & De Clercq, D. (2002). Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 487-493.

Wong, T. K. & Lee, R. Y. (2004). Effects of low back pain on the relationship between the movements of the lumbar spine and hip. *Human Movement Science*, 23(1), 21-34.



Y

Yue, J., Timm, J., Panjabi, M. & Jaramillo de la Torre, J. (2007). Clinical application of the Panjabi neutral zone hypothesis: the Stabilimax NZ posterior lumbar dynamic stabilization system. *Neurosurgery Focus*, 22(1), 1-3.

Z

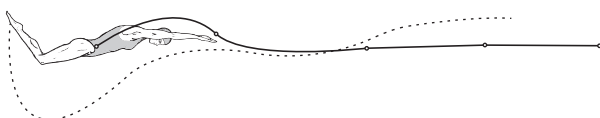
Zatón, K. (2010). The role of verbal information about sensory experience from movement apparatus in the process of swimming economization. A Kjendlie, P.L., Keig, R., Cabri, J. (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI* (pp. 283-285). Oslo, Noruega: Norwegian School of Sport Science.

Zazulak, B., Hewett, T., Reeves, P., Goldberg, B. & Cholewicki, J. (2007). The effects of core proprioception on knee injury. A prospective Biomechanical-epidemiological study. *The American Journal of Sports Medicine*, 35, 368-373.

Annexos

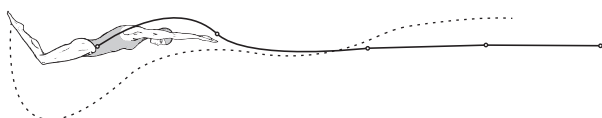
(format digital: CD adjunt)

- Annex 1: Informe de la prova.
- Annex 2: Full de consentiment informat.
- Annex 3: Document de cessió d'imatge.
- Annex 4: Abstract 14è congrés del ECSS
- Annex 5: Vídeo de les indicacions de la prova d'avaluació.
- Annex 6: Calendari de la temporada 2009-2010 de la RFEN.
- Annex 7: Document de guia explicativa dels exercicis.
- Annex 8: Full de registre de seguiment de l'entrenament.
- Annex 9: Base de dades.
- Annex 10: Resultats del programa SPSS V19.



Glossari

- ADM:** Amplitud de moviment.
- cdg:** Centre de gravetat.
- CV:** Columna vertebral.
- D11:** 11^a vèrtebra dorsal.
- D12 ó T12:** 12^a vèrtebra dorsal.
- E1:** Mitjana de l'extensió a l'avaluació inicial.
- E2:** Mitjana de l'extensió a l'avaluació final.
- EEII:** Extremitats inferiors.
- EESS:** Extremitats superiors.
- EI ó ES:** Extremitat inferior ó superior.
- ErAbs1 i 2:** Errada de re posicionament absoluta a l'avaluació inicial i final.
- ErRel 1 i 2:** Errada de re posicionament relativa a l'avaluació inicial i final.
- Ext.:** Extensió.
- F1 i F2:** Mitjana de la flexió a l'avaluació inicial i final.
- Flex:** Flexió.
- Hz:** Hertz.
- IMC:** Índex de massa corporal.
- L1:** 1^a vèrtebra lumbar.
- L2:** 2^a vèrtebra lumbar.
- L3:** 3^a vèrtebra lumbar.
- L4:** 4^a vèrtebra lumbar.
- L5:** 5^a vèrtebra lumbar.
- m/s:** metres per segon.
- MOS:** Moviment Ondulatori Subaquàtic.
- °/s:** graus per segon.
- P1:** Mitjana de la posició intermèdia percebuda a l'avaluació inicial.
- P2:** Mitjana de la posició intermèdia percebuda a l'avaluació final.
- s:** Segons.
- SD:** Desviació estàndard o típica.
- SN:** Sistema nerviós.
- SNC:** Sistema Nerviós Central.
- SNP:** Sistema nerviós perifèric.
- UO:** Ulls oberts.
- UT:** Ulls tancats.



Continguts

Pròleg 13

Introducció 15

Primera part: Fonaments teòrics

1. La propiocepció 23

1.1 Concepte de propiocepció 23

1.2 Anatomia i neurofisiologia de la propiocepció 25

1.2.1 Recepció de la informació propioceptiva 27

1.2.1.1 Els fusos musculars 28

1.2.1.2 Els òrgans tendinosos de Golgi 30

1.2.1.3 Els receptors articulars 31

1.2.2 Altres receptors relacionats amb la propiocepció: L'aparell vestibular 33

1.2.3 Conducció aferent: Vies conscients i inconscients de la propiocepció 36

1.2.4 Integració de la informació propioceptiva al SNC 38

1.2.4.1 Integració de la propiocepció al cerebel 38

1.2.4.2 Integració de la propiocepció al tàlem 40

1.2.4.3 Integració de la informació propioceptiva a l'escorça cerebral 43

1.2.5 Elaboració de la resposta: Centres reguladors i motors 47

1.2.5.1 Circuit d'elaboració de la resposta de la medulla espinal 47

1.2.5.2 Circuit de regulació del tronc de l'encèfal 48

1.2.5.3 Circuit de l'escorça premotora i motora 50

1.2.5.4 Intervenció del cerebel en la resposta motora 54

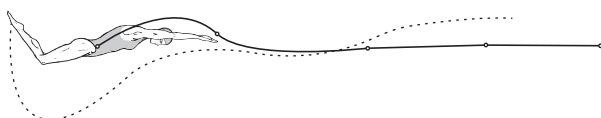
1.2.5.5 Circuit del tàlem i els ganglis basals 54

1.2.6 Conducció eferent de la resposta 55

1.2.7 Centres efectors 56

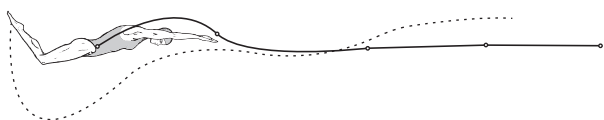
1.3 Propiocepció i sistema sensoriomotriu 60

1.3.1 Informació visual i propiocepció 62



1.4	Tipus de propiocepció	65
1.4.1	Classificació cinesiològica	66
1.4.2	Classificació neurofisiològica	66
1.5	Factors condicionants de la propiocepció	70
1.5.1	Propiocepció i edat	73
1.5.2	Propiocepció i gènere	74
1.5.3	Propiocepció i lesió	75
1.5.4	Propiocepció i dolor	76
1.5.5	Propiocepció i fatiga	77
1.5.6	Propiocepció i nivell atencional	78
1.5.7	Propiocepció, Ca 2+ i Acetilcolina	79
1.5.8	Propiocepció i experiència motriu	79
1.6	Alteració de la propiocepció conscient	81
1.6.1	Alteració dels processos cel·lulars del SNC	81
1.6.2	Alteració dels receptors propioceptius	81
1.6.3	Alteració del tàlem	82
1.6.4	Alteració de les escorces d'associació	83
1.6.5	Alteració dels ganglis basals o dels centres del tronc de l'encèfal	83
1.7	Mètodes d'avaluació de la propiocepció conscient	84
1.7.1	Mètodes qualitatiu	86
1.7.2	Mètodes quantitatiu	87
1.7.2.1	Electroencefalograma (EEG)	87
1.7.2.2	Potencials evocats	88
1.7.2.3	Estimulació Magnètica Transcranial: Conducció motora central	89
1.7.2.4	Tècniques d'imatge funcionals	91
1.7.3	Mètodes d'avaluació quantitativa de la resposta eferent als estímuls propioceptius	92
1.7.3.1	Dinamòmetre isocinètic	93
1.7.3.2	Electromiografia	95
1.7.3.3	Goniòmetre digital i flexòmetre	96

2.	La columna vertebral lumbar	101
2.1	Descripció anatòmica de la columna vertebral	101
2.1.1	Característiques morfològiques de les vèrtebres lumbars	103
2.1.2	Articulacions lumbars	104
2.1.3	Sistema lligamentós del raquis lumbar	106
2.2	Fisiologia articular i amplitud de moviment de la CV lumbar	107
2.2.1	Fisiologia articular de la CV lumbar	107
2.2.2	Amplitud de moviment de la CV lumbar	109
2.3	Musculatura de la CV lumbar	111
2.3.1	Músculs estabilitzadors de la CV lumbar	112
2.3.2	Músculs motors de la CV lumbar	113
2.3.2.1	Musculatura posterior del tronc: Extensors lumbars	113
2.3.2.2	Musculatura anterolateral de la CV lumbar: Inclinator lateral i rotadors de la CV	114
2.3.2.3	Musculatura anterior de la CV lumbar	115
2.4	Factors de l'estabilitat lumbar	118
2.4.1	Control neural obert de la columna vertebral: Davant situacions predictibles	120
2.4.2	Control neural tancat de la CV: Davant situacions impredecibles	121
2.5	Etiopatogènia mecànica de la CV lumbar	123
2.5.1	Alteracions del sistema passiu	124
2.5.2	Alteracions del sistema neural	130
2.6	Mètodes d'avaluació de l'amplitud de moviment lumbar	132
2.6.1	Localitzadors electromagnètics.	133
2.6.2	Goniòmetre digital i Inclinòmetre	134
2.6.3	Radiografies simples i tridimensionals	135
2.6.4	Mètodes optoelectrònics	136
2.6.5	Lumbar Motion Monitor (LMM)	136

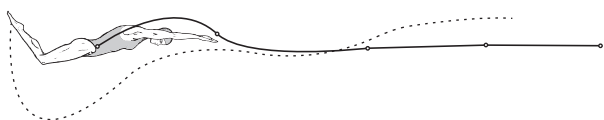


3.	Propiocepció conscient de la columna vertebral	141
3.1	Receptors propioceptius lumbar	141
3.2	Àrea de l'escorça sensitiva corresponent a la CV lumbar	142
3.3	Àrea de l'escorça motora destinada a l'activació lumbar	142
3.4	Alteració de la propiocepció conscient de la CV lumbar	143
3.5	Avaluació de la propiocepció conscient de la CV lumbar	145
3.5.1	Avaluació clínica funcional visual amb el suport de vídeo	145
3.5.2	Avaluació amb l'aparell validat per Taimela et al. (1999)	146
3.5.3	Avaluació amb l'aparell patentat per Pai et al. (2005)	146
3.5.4	Avaluació amb dinamòmetres isocinètics	147
3.5.5	Electrogoniòmetre i flexòmetres	148
3.5.6	Electromiografia	148
3.5.7	Anàlisi tridimensional computeritzada	149
4.	Entrenament de la propiocepció	155
4.1	Concepte d'entrenament	155
4.2	Teoria i principis de l'entrenament	159
4.2.1	Principi de participació activa i conscient de l'entrenament	161
4.2.2	Principi del desenvolupament multilateral	161
4.2.3	Principi d'especialització	162
4.2.4	Principi d'individualització	162
4.2.5	Principi de varietat o versatilitat de la càrrega	163
4.2.6	Principi de modulació del procés d'entrenament	163
4.2.7	Principi de progressió de la càrrega i de sobrecàrrega	163
4.2.8	Principi d'especificitat	165
4.2.9	Principi d'entrenament a llarg termini	165
4.2.10	Principi d'acció inversa	166
4.2.11	Principi de continuïtat	166
4.2.12	Principi d'adaptació	167
4.2.13	Principi de periodització	168

4.3	Teoria i metodologia dels exercicis per a millorar la tècnica	172
4.3.1	La tècnica i propiocepció	172
4.3.2	Principis de l'aprenentatge tècnic	173
4.3.3	Fases de la preparació tècnica	174
4.4	Protocols d'entrenament de la propiocepció.	176
4.4.1	Antecedents.	176
4.4.2	Propostes d'entrenament propioceptiu a l'actualitat.	176
5.	Entrenament de la propiocepció a la natació competitiva	183
5.1	Antecedents	183
5.2	Necessitats de l'entrenament de la propiocepció a la natació	185
5.2.1	El "cinquè estil": El Moviment Ondulatori Subaquàtic.	185
5.2.2	Biomecànica de la natació subaquàtica	188
5.2.3	La tècnica de la natació subaquàtica	190
5.2.4	Musculatura implicada en la natació subaquàtica	195
5.2.5	Mètodes d'entrenament de la tècnica de natació subaquàtica	198
5.2.5.1	Consideracions prèvies a l'entrenament tècnic	198
5.2.5.2	Mètodes contemporanis	199
5.2.6	Exercicis per l'entrenament de la tècnica de natació subaquàtica	201

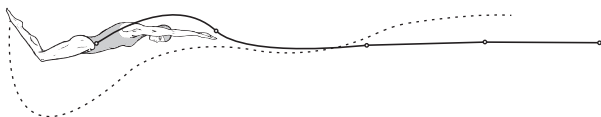
Segona part: Aplicació empírica

6.	Introducció i plantejament del problema	207
7.	Objectius i hipòtesis	209
7.1	Objectius	209
7.2	Hipòtesis	210



8.	Mètode	211
8.1	La Mostra	211
8.2	Disseny de la investigació	214
8.3	Materials, instruments i instal·lacions per l'avaluació	216
8.4	Procediment	219
8.4.1	Procediment d'avaluació	219
8.4.2	Procediment d'intervenció	223
8.4.2.1	Justificació i disseny dels exercicis	223
8.4.2.2	Descripció dels exercicis	228
8.4.2.3	Proposta d'aplicació dels exercicis	232
8.5	Anàlisi estadística	235
8.5.1	Recollida i tractament de les dades	235
8.5.2	Proves estadístiques aplicades	237
9.	Resultats	239
9.1	Introducció	239
9.2	Anàlisi de les dades de l'avaluació inicial	240
9.2.1	Amplitud de moviment inicial	240
9.2.2	Errada de reposicionament absoluta inicial.	244
9.2.3	Errada de reposicionament relativa inicial	246
9.3	Anàlisi dels resultats després del període d'entrenament	248
9.3.1	Amplitud de moviment abans i després	248
9.3.1.1	Variació del rang d'ADM total	248
9.3.1.2	Variació del 'ADM de flexió i extensió lumbar	250
9.3.2	Errada de reposicionament absoluta abans i després de l'entrenament	252
9.3.3	Errada de reposicionament relativa abans i després de l'entrenament	253

10.	Discussió	255	
10.1	Respecte de l'avaluació i l'entrenament de l'ADM lumbar		255
10.2	Respecte l'ADM lumbar i les implicacions a la natació	258	
10.3	Respecte la tècnica dels exercicis i salut lumbar	259	
10.4	Respecte a l'avaluació de l'ErAbs de reposicionament lumbar		260
10.5	Respecte a la incorporació del concepte d'ErRel	261	
10.6	Respecte del mètode d'entrenament	261	
10.7	Respecte del disseny d'aplicació i la teoria de l'entrenament		262
10.8	Respecte del disseny dels exercicis	263	
10.9	Respecte l'entrenament de la propiocepció i la seva avaluació		264
10.10	Respecte a les neurones mirall, la visió i la millora de la tècnica		265
11.	Conclusions	269	
11.1	Conclusions de la part teòrica	269	
11.2	Conclusions de la part empírica	270	
12.	Limitacions	273	
13.	Futures línies de recerca	274	
13.1	Futures línies de recerca en el camp de la neurofisiologia		274
13.2	Futures línies de recerca en el camp de la biomecànica	274	
13.3	Futures línies de recerca en el camp de l'entrenament		275
	Referències	277	
	Annexos	299	
	Glossari	301	



Figures

- Fig 1. Parts del sistema nerviós (Anatomia del sistema nerviós, 2008) **26**
- Fig 2. Fus muscular (Adaptat de Netter, 2007) **29**
- Fig 3. Òrgan tendinós de Golgi (Adaptat de Purves et al., 2008) **30**
- Fig 4. Receptor de Pacini (Adaptat de Paulev, 2000) **32**
- Fig 5. Receptor de Ruffini (Adaptat de Kandel et al., 2001) **32**
- Fig 6. Oïda interna amb còclea i aparell vestibular (Adaptat de Herbrandson, 2005; Ruiz, 2008) **35**
- Fig 7. Medulla espinal: Vies nervioses aferents i característiques anatòmiques (Adaptat de Netter, 2007) **37**
- Fig 8. Vies propioceptives conscients i inconscients (Adaptat de Daza, 2007) **39**
- Fig 9. Àrees de Brodmann (Adaptat de Herbrandson, 2005) **44**
- Fig 10. Escorces d'associació del SNC **46**
- Fig 11. Reflex d'estirament o miotàtic (Adaptat de Purves et al., 2008) **48**
- Fig 12. Àrees de l'escorça cerebral vinculades a la informació i integració propioceptiva (Adaptat de Kandel et al., 2001 i Purves et al., 2008) **51**
- Fig 13. Entrades sensorials del sistema sensoriomotriu **61**
- Fig 14. Tipus de propiocepció **65**
- Fig 15. Factors condicionants de la propiocepció **71**
- Fig 16. Paradigma de la etiopatogènia de la lesió articular i com afecta a la propiocepció **77**
- Fig 17. Interdependència entre la propiocepció i altres qualitats i habilitats **85**
- Fig 18. Prova lleugera de la posició articular (Adaptació de Daza, 2007) **86**
- Fig 19. EEG (Adaptat de Purves et al., 2008) **87**
- Fig 20. Potencials evocats integrats al Biopac (Fotografia editada per Pablo Coello) **89**
- Fig 21. Estimulació magnètica transcranial (Fotografia editada per Pablo Coello) **90**

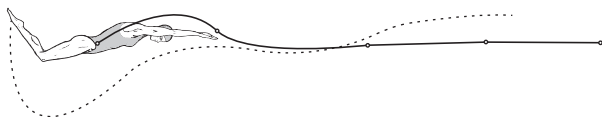


Fig 22. Ressonància Magnètica Funcional (Rosales, 2003) **92**

Fig 23. Goniometria digital en cadena cinètica tancada (Adaptat de Lephart i Fu, 2000) **96**

Fig 24. Visió sagital de la columna vertebral i les seves parts **102**

Fig 25. Morfologia i parts de les vèrtebres tipus cervical (a), dorsal (b) i lumbar (c). Apòfisis transverses (1), Apòfisis articulars (2), arc (3), apòfisis espinoses (4), canal raquidi (5) i cos vertebral (6) (Adaptat de Hesselberg, 2004) **104**

Fig 26. Sistema lligamentós de la CV (Adaptat de Netter, 2007) **106**

Fig 27. Amplitud de moviment dels segments vertebrals en els 3 plans de l'espai **107**

Fig 28. Flexió (a) i extensió (b) d'un espai intervertebral lumbar (Adaptat de Kapandji, 2001) **108**

Fig 29. Inclinació lateral (a) i rotació (b) d'un espai intervertebral lumbar (Adaptat de Kapandji, 2001) **109**

Fig 30. Multífids i transvers abdominal **112**

Fig 31. Quadrat lumbar, músculs profunds posteriors de la CV lumbar i acció sobre el raquis **113**

Fig 32. Psoes Ilíac esquerre i quadrat lumbar esquerre **114**

Fig 33. Recte abdominal i oblic major **115**

Fig 34. Oblic menor i recte abdominal i acció sobre el tronc **115**

Fig 35. CV en diferents posicions de sedestació. D'esquerra a dreta: cifòtica, isquiosacre i isquiàtica (Adaptat de Kapandji, 2001) **126**

Fig 36. Compressió que rep L3 en un subjecte de 70kg en diferents situacions (Adaptat de Beraldo, 2004) **128**

Fig 37. Grau de recuperació o pèrdua del líquid del disc vertebral en funció de les càrregues de compressió en diferents posicions (Adaptat de Beraldo, 2004) **128**

Fig 38. Imatge zenital del disc vertebral sà (a), d'una protrusió discal (b) i de dos tipus d'hèrnies posterolaterals (c i d) **129**

Fig 39. Dermatomes corresponents a les arrels lumbar (Adaptat de Netter, 2007) **131**

Fig 40. Lumbar Motion Monitoring (Fotografia editada per Pablo Coello) **137**

Fig 41. Representació corporal a l'escorça sensitiva vers l'escorça motora primària de Penfield **143**

Fig 42. Aparell patentat per a la mesura de la propiocepció de la CV (Adaptat de Pai et al., 2005) **146**

Fig 43. Sistema d'avaluació de l'activitat reflexa (Adaptat de Reeves et al., 2005) **148**

Fig 44. Posició per a l'avaluació de la propiocepció de la CV lumbar (Adaptat de Newcomer et al., 2000 a i b, 2001) **150**

Fig 45. Posicions i moviment sol·licitats al test d'avaluació de la propiocepció sobre plat de Freeman (Adaptat de VanDaele et al., 2007) **151**

Fig 46. Llei del procés del perfeccionament esportiu (E), Potencial motriu (P), Aprofitament del potencial (A) i rendiment esportiu (R) (Verkhoshansky, 2002) **157**

Fig 47. Factors que l'entrenador ha de conèixer (Adaptat de Verkhoshansky, 2002) **158**

Fig 48. Objectius generals de l'entrenament Objectius generals de l'entrenament **159**

Fig 49. Estructura de la programació o periodització de l'entrenament **169**

Fig 50. Paràmetres que determinen el temps total de la prova (Adaptat de Sánchez i Arellano, 2002) **186**

Fig 51. Forces externes al nedador durant el MOS (Adaptat de Gavilán et al., 2002) **188**

Fig 52. Composició de la resistència hidrodinàmica **189**

Fig 53. Posició de mínimes resistències (Adaptat de Roig, 2010) **191**

Fig 54. Trajectòries del peu i del centre de gravetat durant un cicle del MOS (Basat en Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2006) **193**

Fig 55. Fases del MOS i comparativa amb el MOS dels peixos (Basat en Arellano et al., 2002; Gavilán et al., 2002; Cervantes, 2004 i Ungerechts i Arellano, 2011) **194**

Fig 56. Desviació del cos durant el lliscament subaquàtic (Basat en Roig, 2010) **196**

Fig 57. Forces d'estabilització de la posició hidrodinàmica durant el lliscament. **196**

Fig 58. Situació de la musculatura abdominal a la fase final de la batuda descendent. **197**

Fig 59. Cadenes cinètiques del tronc (part superior) i les EEII (part inferior) que participen al MOS. **198**

Fig 60. Alguns exercicis proposats (Giorgi i Davie, 2008; Salo i Riewald, 2010) **202**

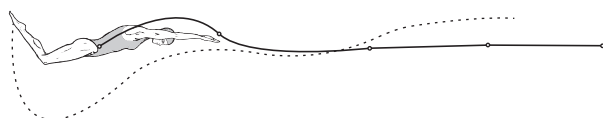


Fig 61. Nombre d'integrants dels grups d'intervenció segons nivell **213**

Fig 62. Esquema disseny experimental **214**

Fig 63. Exemple d'encreuament de variables plantejat a les hipòtesis **216**

Fig 64. Imatge dels materials i mètode del test (Fotografia editada per Pablo Coello) **218**

Fig 65. Ubicació del goniòmetre **220**

Fig 66. Moviments sol·licitats al test, d'esquerre a dreta: Flexió, extensió i posició intermèdia percebuda **221**

Fig 67. Cicle, temps de manteniment de les posicions i descansos del test **221**

Fig 68. Exercici 1: posició inicial (a) i final (b) (Fotografia editada per Pablo Coello) **229**

Fig 69. Exercici 2: posició inicial (a) i final (b) amb detall lumbar (Fotografia editada per Pablo Coello) **230**

Fig 70. Exercici 3: Posició inicial (a), posició final 1 (b) i posició final 2 (c) (Fotografia editada per Pablo Coello) **231**

Fig 71. Proves estadístiques aplicades **238**

Fig 72. Mitjanes dels graus de Rang d'ADM abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb * **249**

Fig 73. Mitjanes dels graus de flexió abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb * **250**

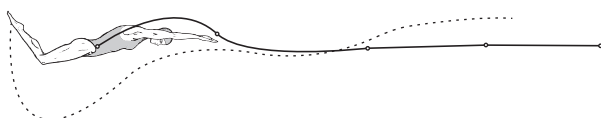
Fig 74. Mitjanes dels graus d'extensió abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb * **251**

Fig 75. Mitjanes dels graus d'ErAbs abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb * **253**

Fig 76. Mitjanes dels % d'ErRel abans i després de l'entrenament per grups. Canvis significatius amb * **254**

Taules

- Taula 1. Nomenclatura i classificació de les fibres nervioses aferents (Kandel et al., 2001) **27**
- Taula 2. Característiques dels receptors propioceptius (Adaptat de Kandel et al., 2001 i Purves et al., 2008) **34**
- Taula 3. Nuclis talàmics i les seves funcions. **41**
- Taula 4. Característiques principals de les fibres musculars (Adaptat de Verkhoshansky, 2002 i Baechle i Earle, 2007) **58**
- Taula 5. Musculatura tònica i fàsica (Adaptat de Busquet, 1997a i b; Chek, 2007) **59**
- Taula 6. ADM i SD lumbopèlvica segons gènere i diferents grups d'edat (Van Herp et al., 2000) **110**
- Taula 7. ADM de flexió i extensió lumbo-pèlvica de subjectes entre 20 i 30 anys (Van Herp et al., 2000) **110**
- Taula 8. Cadenes musculars rectes anterior i posterior (Busquet, 1997 a i b) **116**
- Taula 9. Cadenes musculars creuades anterior i posterior (Busquet, 1997 a i b) **117**
- Taula 10. Amplitud de moviment (ADM) i zones neutres dels segments intervertebrals lumbar (Gay et al., 2006). **124**
- Taula 11. Mesocicles de càrregues concentrades ATR (Navarro i Rivas, 2001; Ramírez, 2010) **171**
- Taula 12. Característiques descriptives de la mostra **211**
- Taula 13. Característiques descriptives dels grups experimentals i del grup control **212**
- Taula 14. Variables **215**
- Taula 15. Característiques de l'administració dels exercicis segons els grups d'entrenament. **233**
- Taula 16. Esquema de la ubicació de l'entrenament dins de la temporada 2009-2010 de natació. **234**
- Taula 17. Columnes de variables exportades al SPSS V19. **236**
- Taula 18. Categorització de variables. **236**
- Taula 19. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 del total de la mostra i segons gènere **241**
- Taula 20. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons grup d'entrenament **241**



Taula 21. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons nivell **241**

Taula 22. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons distàncies de competició **242**

Taula 23. Mitjanes i desviacions típiques de les ADM de F1, E1 i Rang d'ADM 1 segons estils **242**

Taula 24. Valors màxims i mínims de les ADM de flexió i extensió lumbar **243**

Taula 25. Mitjanes i desviacions típiques de les posicions intermèdies percebudes inicials **244**

Taula 26. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta de tota la mostra i segons gènere **245**

Taula 27. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons grup d'entrenament **245**

Taula 28. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons nivell **245**

Taula 29. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons nivell **246**

Taula 30. Mitjanes i desviacions típiques de l'errada absoluta segons distància de competició **246**

Taula 31. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials de tota la mostra i segons gènere **247**

Taula 32. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons grup d'entrenament **247**

Taula 33. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons nivell **247**

Taula 34. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons distància de competició **248**

Taula 35. Mitjanes i desviacions típiques de les errades relatives inicials segons estil de competició **248**

Taula 36. Mitjanes de les ADM inicial i final i grau de significació bilateral de la prova T i la prova de Wilcoxon **249**

Taula 37. Mitjanes i SD de l'ADM de flexió abans i després de l'entrenament i grau de significació bilateral **250**

Taula 38. Mitjanes i SD de l'ADM d'extensió abans i després de l'entrenament i grau de significació bilateral **251**

Taula 39. Errada absoluta inicial i final i grau de significació bilateral segons la prova T i la prova de Wilcoxon **252**

Taula 40. Mitjana i SD de l'errada relativa inicial i final i grau de significació bilateral **254**

Taula 41. ADM màximes de flexió i
extensió de diferents estudis **257**

Taula 42. Errades de reposiciona-
ment absolutes del present estudi re-
specte d'altres estudis. **260**



Universitat Ramon Llull

Aquesta Tesi Doctoral ha estat defensada el dia ____ d _____ de 2011
al Centre _____

de la Universitat Ramon Llull

davant el Tribunal format pels Doctors sotasignants, havent obtingut la qualificació:

President/a

Vocal

Secretari/ària

Doctorand/a
