



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



Universitat Autònoma de Barcelona

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIRUGÍA Y
CIENCIAS MORFOLÓGICAS**

SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO

EVA A. CORREA VÁZQUEZ

Directores:

Xavier Mir Bulló

Sergi Barrera Ochoa

Tutor:

Xavier Mir Bulló

Barcelona, Enero 2020

A Jaime

AGRADECIMIENTOS

Al Dr Xavier Mir, por ser mi maestro y apostar por mi cuando aún era una residente muy pequeña. Por saber guiarme, enseñarme y darme muchas oportunidades para convertirme en Cirujana de Mano.

Al Dr Sergi Barrera, por su amistad y apoyo constante en nuestro día a día como cirujanos. Por su generosidad a la hora de compartir sus genialidades y su pasión por la investigación y el avance de nuestra especialidad. Por ser el impulsor de esta tesis en la que siempre ha creído por encima de cualquier cosa.

Al Dr Enric Cáceres, por darme la oportunidad de entrar en el mundo de la Cirugía Ortopédica y Traumatología. Por formarme en su forma de hacer las cosas en la que el orden, el esfuerzo y el estudio conducen al éxito.

Al Dr. Francisco Játiva, que siempre ha creído en mi y me ha apoyado desde antes de saber qué quería ser como médico para desarrollarme en la Cirugía Ortopédica y Traumatología.

Al Dr. Ignacio Ginebreda, por enseñarme la elegancia de ser un excelente cirujano. Por empezar el proyecto juntos con el estudio de los Acondroplásicos y dejarme marchar cuando llegó el momento.

Al Dr. Jordi Font por enseñarme la Cirugía de la Mano a través de tus ojos y tus manos. Por la paciencia y la confianza de tantas horas juntos en consulta y en quirófano.

Al Dr. Antoni Dalmau, por creer en mi como Cirujana de Mano, por escucharme y confiar en mis propuestas aunque fueran controvertidas.

A las Dras. Sara Martínez y Teresa Marlet, mis compañeras de residencia y sobre todo mis amigas. Por ser como sois, por estar siempre y porque la residencia sin vosotras no habría sido la misma.

A Mercé Rubio, por ser un pilar de la Unidad de Mano, facilitándonos la vida con tu ayuda constante. Por aguantarnos y recordarnos que somos un equipo. Por escucharme y darme aliento cuando las cosas no eran fáciles, amiga.

A Carmen Piera, Mónica Trabalón y Laura De Vazeilles, que me han acompañado y ayudado día a día en quirófano compartiendo toda su experiencia y haciendo que trabajar sea un placer.

A la Dra. Ainhoa Arias por darme la mano en los grandes cambios y no dejar que me rindiera.

A los Drs. Sleiman Haddad, Irene Gallardo, David Campillo, Emilia Gil , Andrea Sallent y Francisco Soldado por su aportación en el desarrollo de la publicación de los artículos en los que se basa la tesis.

A Miguel Ángel Correa por ser mi ángel de la guardia informático y por tu cariño.

A mis amigos madrileños, Ana, Bea, Patri, Guada, Rocío, Javi, Gonzalo, Enrique, Dani, Charo, porque la distancia no puede con nosotros y siempre estáis a mi lado. Por los buenos ratos y sobre todo por los no tan buenos.

A Almu, por ser y por estar.

A mi madre la Dra. Vázquez que es la que sin saberlo encendió la llama de la vocación. A mamá y a papá por TODO, porque no se puede tener más suerte que yo por ser vuestra hija.

A Paloma por ser la pequeña hormiguita que siempre camina a mi lado.

A Alejandra por enseñarme lo que es ser una luchadora.

A Pedro, por tu apoyo y ayuda para que esto salga adelante. Por ser mi compañero y por darme lo que más quiero.

ÍNDICE

1.	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	12
2.	INTRODUCCIÓN.....	15
2.1.	HISTORIA	16
2.2.	EPIDEMIOLOGÍA	17
2.3.	ANATOMÍA	19
2.4.	FISIOPATOLOGÍA	21
2.5.	SINTOMATOLOGÍA	23
2.6.	DIAGNÓSTICO.....	24
2.7.	TRATAMIENTO.....	29
3.	HIPÓTESIS.....	33
4.	OBJETIVOS.....	36
5.	MATERIAL Y MÉTODOS	40
5.1.	DESCOMPRESIÓN QUIRÚRGICA DEL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO EN MOTORISTAS PROFESIONALES: RESULTADOS COMPARATIVOS A LARGO PLAZO ENTRE LA CIRUGÍA ABIERTA Y LA TÉCNICA MINI-OPEN.	41
5.1.1.	Pacientes	41
5.1.2.	Criterios de Inclusión.....	42
5.1.3.	Presión Intracompartimental	44
5.1.4.	Cirugía.....	45
5.1.5.	Evaluación	49
5.1.6.	Análisis Estadístico	50
5.2.	TREST COMO UNA NUEVA VARIABLE DIAGNÓSTICA PARA EL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO: ANÁLISIS PROSPECTIVO DE COHORTES DE 124 ATLETAS.....	51
5.2.1.	Pacientes	51
5.2.2.	Criterios de Inclusión.....	51
5.2.3.	Presión Intracompartimental	53
5.2.4.	Tratamiento.....	56
5.2.5.	Evaluación	59
5.2.6.	Análisis Estadístico	60

6.	RESULTADOS	62
6.1.	DESCOMPRESIÓN QUIRÚRGICA DEL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO EN MOTORISTAS PROFESIONALES: RESULTADOS COMPARATIVOS A LARGO PLAZO ENTRE LA CIRUGÍA ABIERTA Y LA TÉCNICA MINI-OPEN.	63
6.1.1.	Epidemiología.....	63
6.1.2.	Presiones Intracompartimentales.....	66
6.1.3.	Resultados Funcionales Postquirúrgicos.....	67
6.2.	TREST COMO UNA NUEVA VARIABLE DIAGNÓSTICA PARA EL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO: ANÁLISIS PROSPECTIVO DE COHORTES DE 124 ATLETAS.....	71
6.2.1.	Epidemiología.....	71
6.2.2.	Resultados Funcionales Postquirúrgicos.....	74
6.2.3.	Medidas de Presión Intracompartimental	76
7.	DISCUSIÓN.....	86
7.1.	DESCOMPRESIÓN QUIRÚRGICA DEL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO EN MOTORISTAS PROFESIONALES: RESULTADOS COMPARATIVOS A LARGO PLAZO ENTRE LA CIRUGÍA ABIERTA Y LA TÉCNICA MINI-OPEN.	87
7.2.	TREST COMO UNA NUEVA VARIABLE DIAGNÓSTICA PARA EL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO: ANÁLISIS PROSPECTIVO DE COHORTES DE 124 ATLETAS.....	90
8.	CONCLUSIONES	98
8.1.	HIPÓTESIS.....	100
8.2.	OBJETIVOS.....	102
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	103
10.	ANEXOS	103

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Síndrome Compartimental Crónico es una patología poco frecuente, pero con un potencial de desarrollo enorme. Según datos de PubMed, hemos pasado en los años 80 de una media de 2 publicaciones sobre el tema al año a una media de 19 publicaciones al año en la última década. Y está claro que si acotamos más nuestro ámbito de estudio y asociamos el síndrome a su localización en el Antebrazo el número de estudios realizados sobre el tema disminuye sustancialmente (52 publicaciones).

Esta entidad representa un reto para los especialistas y un amplio campo de estudio en múltiples aspectos. A nivel diagnóstico continúa considerándose el diagnóstico clínico como el Gold Standard para establecer posteriormente un tratamiento. Aunque existen diversas pruebas complementarias que se incorporan a los protocolos de estudio de la patología, solo la medición de presiones intracompartimentales ha demostrado una eficacia adecuada. Es por ello que es importante realizar investigaciones que nos permitan apoyar la sospecha clínica en datos objetivos y reproducibles para confirmar el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico. El campo de estudio es amplio y va desde el diagnóstico mediante nuevos métodos no invasivos hasta la mejoría en el actual método de medición de la Presión Intracompartimental.

En el ámbito del tratamiento, hay que conseguir avances en las técnicas quirúrgicas, intentando describir y demostrar métodos de tratamiento que tengan excelentes resultados y minimicen las complicaciones. Del mismo modo que

asociar el desarrollo de protocolos de entrenamiento y rehabilitación tanto prequirúrgicos como postquirúrgicos.

Nuestro grupo ha centrado el estudio en dos ámbitos específicos, el estudio comparativo de técnicas quirúrgicas y el desarrollo de una nueva variable diagnóstica de Presión Intracompartimental y la validación de la misma con los actuales criterios diagnósticos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. HISTORIA

El Síndrome Compartimental Crónico es una patología poco frecuente. No queda claro cuando fue la primera vez que se describió este tipo de afectación como Síndrome Compartimental Crónico. Algunos autores fechan en 1912 la primera vez apareció descrito el Síndrome Compartimental Crónico^(1,2). Otros refieren que fue Vogt el primero en su artículo describir “Acute ischaemia of the anterior tibial muscle and the long extensor muscles of the toes” en el Journal of bone and Joint Surgery⁽³⁾. Mientras que en otros trabajos se atribuye a Mavor ser el primero en describirlo y denominarlo como Síndrome del tibial anterior⁽⁴⁾.

En lo que parece haber más consenso, es en que la primera referencia bibliográfica sobre el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo apareció en 1983 de la mano de Rydholm et al^(5,6).

2.2. EPIDEMIOLOGÍA

El Síndrome Compartimental Crónico es una patología no tan frecuente en la práctica clínica general ya que suele afectar a una población muy específica. Debido a esto es una patología que encuentran aquellos especialistas de traumatología o medicina del deporte que trabajan en un ámbito deportivo o en algunos casos en el ámbito laboral.

Este síndrome afecta principalmente personas jóvenes incluso a un grupo específico como son los adolescentes (<50 años y de media en los diversos estudios no suelen superar los 30 años)^(3,5,7-10). Y más específicamente, a deportistas de alto nivel, militares y a algunos trabajadores manuales que llevan a cabo trabajos de esfuerzo y repetitivos. En la afectación de las



Imagen 1. Motociclista profesional

extremidades inferiores los pacientes suelen ser corredores, marchadores o militares principalmente^(4,8). Cuando nos referimos a la afectación del antebrazo, el grupo de pacientes que se ven afectados son principalmente motoristas^(6,11-14), remeros^(15,16) y escaladores⁽¹⁷⁾. Los pilotos de motociclismo o motocross no solo están sometidos a constantes esfuerzos repetitivos para mantener el equilibrio y ajustar la velocidad de un vehículo pesado, sino que además sufren una constante vibración del motor durante toda la carrera o entrenamiento⁽¹¹⁾. Dadas estas características es una patología que afecta principalmente a

pacientes de sexo masculino aunque entre los pacientes más jóvenes aumenta la incidencia sobre las mujeres^(9,18).

2.3. ANATOMÍA

En cuanto a la anatomía de los compartimentos del antebrazo encontramos también algo de controversia. Aunque existen algunos autores como Zypen et al.⁽¹⁹⁾ que llegan a describir hasta 10 compartimentos, en general se describen de 3 a 5 compartimentos en el antebrazo. Fröeber et al.⁽²⁰⁾ describe 5 compartimentos (compartimento extensor ulnar, compartimento extensor dorsal, compartimento radial, compartimento flexor superficial y compartimento flexor profundo).

Mientras que Goubier et al.⁽¹¹⁾ describe 3 compartimentos del antebrazo. Los compartimentos volar y dorsal se separan por el radio, el cúbito y la membrana interósea. La fascia antebraquial limita anteriormente el compartimento volar y posteriormente el compartimento dorsal. Y en el compartimento volar se establece un compartimento superficial y profundo separados por la aponeurosis del flexor digitorum profundus. Los nervios mediano y cubital por su parte se sitúan lateral y medial a la aponeurosis del flexor digitorum profundus.

La descripción que a nuestro criterio más se adecuaría a los hallazgos quirúrgicos sería la descripción de 4 compartimentos^(14,21):

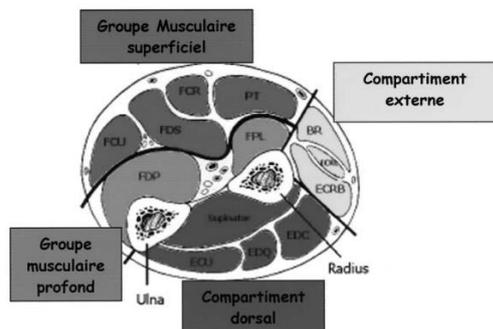
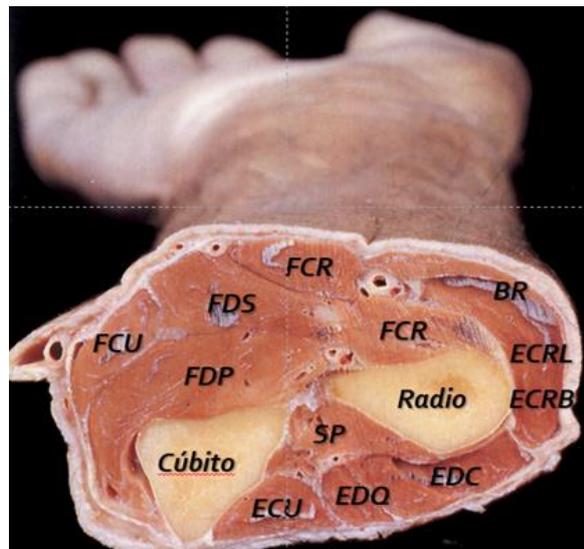


Imagen 2. Esquema anatómico en tercio medio del antebrazo con la descripción de los cuatro compartimentos.⁽¹⁴⁾ Corte anatómico del tercio medio del antebrazo (Dept. Anatomía Dr. Llusá)



El compartimento volar superficial formado por: Pronator teres, flexor carpi radialis, flexor digitorum superficialis y flexor carpi ulnaris.

El compartimento volar profundo con el flexor pollicis longus y el flexor digitorum profundus.

A nivel extensor el compartimento dorsal compuesto por extensor digitorum común, extensor digitorum quinti, extensor carpi ulnaris y supinator

Y por último el compartimento lateral formado por el braquiorradialis, extensor carpi radialis longus y extensor carpi radialis brevis.

2.4. FISIOPATOLOGÍA

La fisiopatología del Síndrome compartimental Crónico se explica mediante la combinación de tres teorías la mecánica, metabólica y hemodinámica⁽¹⁴⁾. Es una patología que se define por la aparición de sintomatología de forma progresiva en relación a la realización de un esfuerzo mantenido y que es reversible ya que al cesar la actividad que lo provoca, esta va desapareciendo. El ejercicio provoca un aumento progresivo de la presión dentro de los compartimentos musculares. Esto se debe a un problema de continente y contenido ya que los compartimentos musculares están englobados en un estuche formado por la fascia que es un tejido con una capacidad de distensión limitada. La actividad muscular mantenida provoca un aumento del aporte sanguíneo al músculo, hipertrofia de la masa muscular y por tanto aumento de volumen y consecuentemente un aumento de la presión dentro del



Imagen 3. Diagrama de la Fisiopatología

compartimento. El paciente suele referir sensación de inflamación, aumento de diámetro y endurecimiento de la extremidad afecta^(1,2,10).

Este aumento de la presión dentro del compartimento dificulta la perfusión sanguínea normal a un músculo que, además, está en condiciones de alta demanda. Debido a esto comienzan a aparecer fenómenos de isquemia tisular, que se traducen en un aumento del lactato

y otros metabolitos y la consecuente aparición de edema local. Y es aquí cuando comienza un círculo vicioso, ya que todo esto contribuye a seguir aumentando la presión Intracompartimental dificultando tanto la entrada arterial de la sangre como dificultando el drenaje a través de un sistema venoso que está obstaculizado y actúa como otro factor causante del aumento de presión^(6,14,17,22-24).

La aparición de sintomatología es progresiva y en clara relación a la intensidad y duración del esfuerzo. Presenta habitualmente una afectación bilateral, pero con clara dominancia de uno de los lados. El aumento de presión provoca una isquemia tisular local que es la causa principal del síntoma más frecuente del Síndrome Compartimental Crónico del antebrazo, el dolor. Toda la sintomatología neurológica que aparece en esta fase, es debida a que los paquetes neurovasculares están en íntima relación con los compartimentos de la extremidad y también los nervios están sometidos a un aumento de presión. La compresión de los mismos explica las parestesias, disestesias y la pérdida de fuerza ^(14,25).

2.5. SINTOMATOLOGÍA

La sintomatología típica del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo aparece en relación a la realización de una actividad, no de forma espontánea ni en reposo ni en relación a un antecedente traumático. El paciente describe una sensación de inflamación o aumento de volumen del antebrazo. El dolor es el principal síntoma, este va aumentando mientras se mantiene la actividad y tras el cese de la misma disminuye en unos minutos aunque puede tardar varias horas en desaparecer por completo^(2,26). Además aparece sintomatología de carácter neurológico como las parestesias, disestesias y pérdida de sensibilidad y fuerza. En el caso de los motoristas, ellos explican que dejan de poder manejar la moto y sienten que pierden el control, lo que puede conllevar un grave accidente dada la alta velocidad a la que corren⁽¹¹⁾.

2.6. DIAGNÓSTICO

En cuanto al diagnóstico es muy importante tener en cuenta la anamnesis en la que se relata ese dolor, calambres y pérdida de fuerza en relación a un esfuerzo mantenido y que pasado un tiempo desaparece. Es muy habitual que la exploración clínica en la consulta sea muy anodina, siendo incapaces de reproducir la sintomatología referida. El aspecto de ambos brazos es normal y aunque suelen ser pacientes musculados no se observa un aumento de volumen del antebrazo patológico. La exploración en cuanto a rango de movilidad es normal. Es importante realizar una exploración vascular tomando los pulsos periféricos y realizando el test Allen y otras maniobras para descartar patología vascular (trombosis, síndromes compresivos dinámicos...). En cuanto a la exploración neurológica, no suele ser habitual poder valorar la pérdida de fuerza que refieren ni reproducir las parestesias. Sería recomendable poder explorar al paciente en su ámbito de competición, entrenamiento habitual para poder hacer una correcta valoración clínica en el momento en el que la sintomatología aparece.⁽¹⁴⁾ En ese momento, sí que se objetiva un aumento de volumen acompañado de dolor generalizado en el antebrazo y una disminución de la fuerza comparativa con el estado basal de paciente.

Es importante realizar un correcto diagnóstico diferencial con patologías como tendinopatías, síndromes canaliculares (NIP, Cubital y Mediano), radiculopatías de origen en la columna cervical, síndromes canaliculares con afectación vascular proximal (síndrome del desfiladero torácico superior...) u otras alteraciones musculares (lesiones musculares agudas, miositis, fibromialgia...).

Entre las pruebas complementarias para descartar otras patologías se recomienda solicitar una RX simple de antebrazo AP y L para descartar patología ósea.

La Ecografía tiene utilidad en cuanto al diagnóstico diferencial de patología vascular principalmente pero no suele revelar ningún otro hallazgo patológico.

Es importante tener una electromiografía para descartar patología neurológica ya sea central o periférica (los síndromes canaliculares son la patología más frecuente que justifica la presencia de falta de fuerza y parestesias).

La gammagrafía ósea con tecnecio o talio se utilizan para descartar la presencia de periostitis o fracturas de stress, más comunes en la extremidad inferior, y la hipocaptación muscular por disminución de la microcirculación^(8,14).

La resonancia magnética es una prueba que aparte de ofrecernos imágenes útiles para el diagnóstico diferencial con otras patologías, actualmente se encuentra en estudio para evaluar su utilidad en el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo. Se recomienda realizar una RMN del antebrazo en estado basal y una postesfuerzo para evaluar posibles diferencias que dependen principalmente de la presencia de edema en el periodo postesfuerzo⁽²⁷⁾.

Tominaga et al.⁽²⁸⁾ describen cambios en la captación de la musculatura afectada por el Síndrome Compartimental Crónico a nivel de la imagen en T2 comparando la RMN pre y post esfuerzo y la RMN post-tratamiento quirúrgico.

El estudio más completo para evaluar la eficacia de la RMN en el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico es el de Ringler et al.⁽²⁹⁾ Tras evaluar 76 pacientes determinaron que la imagen en T2 de la RMN tiene una Sensibilidad

del 96%, Especificidad del 87%. Por lo que lo plantean como un test no invasivo fiable y reproducible para el confirmar el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico.

Aunque el Gold Standard del diagnóstico es la sospecha clínica, la prueba complementaria más objetiva es la medición de la presión intracompartimental^(1,14,22,26,30,31).

El registro de la PIC es una prueba invasiva en la que se introduce una aguja o catéter conectados a un aparato de registro de la presión que ejerce el compartimento a la inyección de un fluido. Varios estudios recomiendan la utilización del Stryker ICP monitor (Stryker Instruments, Kalamazoo, Michigan) ya que es el más fiable y preciso^(30,32-34). Estas presiones se han de ir registrando en un monitor para poder recoger el valor de las mismas en reposo, en el momento de máximo esfuerzo y los valores durante la recuperación postesfuerzo. El Gold Standard del diagnóstico es la sospecha clínica, pero la prueba complementaria más objetiva es la medición de la presión intracompartimental (PIC)^(1,14,22,26,30,31).



Imagen 4. Stryker ICP monitor

El registro de la PIC es una prueba invasiva en la que se introduce una aguja o catéter conectados a un aparato de registro de la presión que ejerce el compartimento a la inyección de un fluido. Varios estudios recomiendan la utilización del Stryker ICP monitor (Stryker Instruments, Kalamazoo, Michigan)

ya que es el más fiable y preciso.^(30,32-34). Estas presiones se han de ir registrando en un monitor para poder recoger el valor de las mismas en reposo, en el momento de máximo esfuerzo y los valores durante la recuperación postesfuerzo. En cuanto al elemento punzante, se pueden utilizar agujas romas, agujas con punta oblicua o catéteres, pero se recomienda el uso de estos dos últimos por ser más precisos⁽³²⁾.

Las variables de la PIC de interés diagnóstico son:

- 1) P_{Rest}: La media de la presión de base antes de iniciar el ejercicio (en reposo).
- 2) P_{Max}: El pico de presión máximo en el momento en el que se interrumpe el ejercicio (ya sea por dolor o agotamiento).
- 3) P_{1 min}: La presión registrada 1 minuto después de detener el ejercicio.
- 4) P_{5 min}: La presión registrada 5 minutos después de detener el ejercicio.

Aunque parece que la curva decreciente de los valores de la monitorización de la PIC después del cese del esfuerzo puede ser el criterio diagnóstico de mayor utilidad^(5,22,31).

Los criterios más ampliamente aceptados son los establecidos por Pedowitz para la extremidad inferior en 1990⁽²⁶⁾.

1. PIC pre-ejercicio ≥ 15 mm de Hg
2. PIC 1 minuto postejercicio (tras haber detenido el ejercicio por aparición de sintomatología o agotamiento) ≥ 30 mm de Hg

3. PIC 5 minuto postejercicio (tras haber detenido el ejercicio por aparición de sintomatología o agotamiento) ≥ 20 mm de Hg

Posteriormente algunos autores describieron unos valores distintos para el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo que sitúan el punto de corte del valor patológico de la PIC en reposo en >10 mm de Hg y de la PIC 5 minutos post-esfuerzo en 20 mm de Hg^(13,35-37).

En el antebrazo Ardolino et al.⁽³⁸⁾ describieron las presiones intracompartimentales normales en reposo y post-esfuerzo para los distintos compartimentos, flexor y extensor. Siendo en reposo para el compartimento extensor (2–27 mm Hg; CI 18.8–25.2 mm Hg), y post-esfuerzo (2–24 mm Hg; CI 16.8–22.8 mm Hg) y para el compartimento flexor en reposo (1–19 mm Hg; CI 13.3–17.4 mm Hg), y post-esfuerzo (0–19 mm Hg; CI 16–21.4 mm Hg). Pero no hay estudios que utilicen criterios diagnósticos diferentes para los compartimentos flexores y extensores del antebrazo.

El estudio de la Sensibilidad y Especificidad de la PIC para el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo se ha llevado a cabo en las extremidades inferiores pero no así en el antebrazo⁽²²⁾.

2.7. TRATAMIENTO

El tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico va desde medidas conservadoras a tratamiento quirúrgico. La indicación del tratamiento se establece en base a la sintomatología y tras haber realizado un correcto diagnóstico de exclusión de otras causas, aunque se apoya en los resultados de la presión intracompartimental.

Entre las medidas no invasivas a adoptar en el tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico del antebrazo está la detección del estímulo desencadenante de los síntomas y la actuación sobre él^(14,39). El reposo deportivo

o cese de la actividad causante de los síntomas, suele hacer disminuir o desaparecer los episodios de dolor o pérdida de fuerza, pero es evidente que no es una solución válida en deportistas profesionales o trabajadores manuales. Es importante realizar una



Imagen 5. Manillar de moto de competición

adaptación de la técnica de carrera e incluso modificar ciertas partes de la moto para mejorar la dinámica del ejercicio (por ejemplo adaptar el manillar a un grip menos cerrado)⁽¹⁴⁾. Es fundamental realizar un programa de entrenamiento basado en ejercicios de estiramiento y fortalecimiento de la potencia pero mediante ejercicios que no provoquen una marcada hipertrofia muscular. En el

caso de la patología en extremidades inferiores hay múltiples protocolos de reeducación de la marcha y la carrera pero en el caso del antebrazo no conocemos la existencia de protocolos específicos⁽⁴⁰⁾.

El Gold Standard del tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico es la descompresión quirúrgica. Este presenta una tasa de éxito cercana al 100% y una tasa de complicaciones pequeñas^(14,21,22,41,42).

En general se establece como tratamiento de elección la fasciotomía de los compartimentos afectados^(9,14,22,43). La fasciotomía volar del antebrazo es una técnica quirúrgica descrita por primera vez por Bardenheuer en 1911 y empleada para el tratamiento de distintas patologías⁽⁴⁴⁾. En la cara volar del antebrazo hay que descomprimir los compartimentos superficial y profundo ya sea a través de Cirugía Abierta, mini-open o endoscópica. Se define una línea desde el tubérculo del escafoides o desde la intersección del palmaris longus con el pliegue proximal de flexión de la muñeca hasta el epicóndilo medial^(14,21). Sobre ella se realiza o bien una incisión longitudinal o una o dos mini-incisiones a través de las cuales de forma directa o endoscópicamente se descomprimen los compartimentos^(14,21,45,46).

En la cara dorsal del antebrazo se abordan los compartimentos extensor y lateral. La línea sobre la que diseñar las posteriores incisiones se dibuja entre el tubérculo de Lister y el epicóndilo lateral^(14,21,44).

La resección de la fascia (fasciectomía) parcial o total, también es empleada como técnica quirúrgica para el tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico. Y algunos cirujanos afirman que una fasciectomía parcial asociada a la fasciotomía disminuye la tasa de recurrencias y la formación de cicatrices. Pero

a falta de estudios comparativos no pueden concluir que la asociación de fasciectomía parcial a la fasciotomía, sea la técnica de elección en cirugía primaria de Síndrome Compartimental Crónico^(47,48). De hecho la indicación más ampliamente aceptada de esta técnica es para el tratamiento de la recidiva tras la cirugía primaria⁽³⁹⁾. Dado que no se han demostrado evidencia científica de que una de las dos técnicas sea superior a la otra (fasciotomía vs fasciectomía) se recomienda optar por la técnica menos agresiva (fasciotomía)^(22,48).

Los resultados de la técnica clásica mediante cirugía abierta son muy buenos, con tasas de éxito de aproximadamente el 100% y un pequeño índice de aparición de complicaciones^(7,31,41,49,50). Pero también es cierto que las técnicas miniinvasivas presentan unos excelentes resultados similares a los descritos en la técnica de Cirugía Abierta^(22,42,46,51,52). Aunque las técnicas mini-invasivas parecen aportar múltiples ventajas (menor cicatriz y lesión de estructuras vasculonerviosas superficiales, beneficio estético...) actualmente no existen estudios comparativos que demuestren que sean mejores que la Cirugía Abierta^(2,51,52).

En el protocolo postoperatorio parece haber un amplio consenso en el hecho de que el inicio de la movilización precoz es importante para evitar la recidiva^(22,53).

3. HIPÓTESIS

La técnica de descompresión quirúrgica mediante mini-open tiene unos resultados y complicaciones similares a los de la técnica abierta en el tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo en motoristas.

La determinación del T_{Rest} es más precisa que los límites de los valores actuales de la presión intracompartimental en el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, teniendo en cuenta la sensibilidad, especificidad, VPP y VPN.

4. OBJETIVOS

1. Analizar y comparar los resultados y complicaciones a largo plazo del tratamiento quirúrgico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo en motoristas profesionales mediante técnica abierta y técnica mini-open.
2. Estimar la precisión, gracias a la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN), de una nueva variable diagnóstica de la Presión Intracompartimental (PIC) dinámica para el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo. Esta variable es la T_{Rest} , que se calcula como el intervalo de tiempo entre la PIC del pico de esfuerzo (P_{Max}), que se registra en el momento en el que el esfuerzo se detiene) y el retorno al nivel de presión basal o de reposo (P_{Rest}).
3. Medir la precisión de las variables de diagnósticas intracompartimentales (PIC) utilizadas actualmente para el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.
4. Identificar límites diagnósticos óptimos para cada una de estas mediciones.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. DESCOMPRESIÓN QUIRÚRGICA DEL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO EN MOTORISTAS PROFESIONALES: RESULTADOS COMPARATIVOS A LARGO PLAZO ENTRE LA CIRUGÍA ABIERTA Y LA TÉCNICA MINI-OPEN.

5.1.1. Pacientes

Este estudio fue aprobado por el comité de ética y no se recibió ninguna financiación externa para su realización.

Los pacientes con Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo fueron seleccionados de la base de datos clínicos de un único cirujano con más de 20 años de experiencia en patología asociada a motoristas profesionales. Se recogieron 96 pacientes operados de la extremidad superior por Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo. Se recogieron de forma retrospectiva datos prequirúrgicos y postquirúrgicos.





Imagen 6. Pilotos de moto en competición (motociclismo y motocross)

5.1.2. Criterios de Inclusión

Criterios de Inclusión:

1. Pilotos de motociclismo y motocross profesionales o de alta intensidad (>10 horas a la semana de entrenamiento)
2. Sintomatología compatible con el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo de más de 6 meses de duración.

Esta sintomatología incluye:

- Sensación de opresión, endurecimiento o de aumento de volumen en el antebrazo.
 - Calambres.
 - Inflamación del antebrazo
 - Parestesias distales, principalmente en los dedos de la mano.
 - Debilidad.
 - Sensación de pérdida de control de la mano.
3. Registros de Presión Intracompartimental que cumplan los siguientes criterios diagnósticos de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo^(13,17,22,26,35,54).
- PIC en reposo superior a 15 mm Hg.
 - PIC igual o superior a 30 mm Hg después de 1 minuto de ejercicio.
 - PIC igual o superior a 20 mm Hg 5 minutos después del ejercicio.
4. Tratamiento quirúrgico mediante fasciotomía de los compartimentos del antebrazo.
5. Seguimiento mínimo de 3 años de evolución.

Se excluyeron aquellos pacientes con otras posibles causas asociadas al Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo como fracturas, quemaduras o con cirugías previas en la extremidad a estudio. También se desestimaron aquellos pacientes con datos incompletos.

5.1.3. Presión Intracompartimental

El diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo se realizaba mediante anamnesis y exploración física, pero se confirmaba mediante la medición de la presión intracompartimental (PIC). Las mediciones de la PIC del antebrazo fueron realizadas por un médico especialista con amplia experiencia para minimizar el sesgo de interobservador.

Tras la aplicación de anestesia local superficial se introducía una aguja conectada mediante un catéter al Stryker ICP monitor (Stryker Instruments, Kalamazoo, Michigan) en los compartimentos flexores superficiales y profundos. Los valores obtenidos se registraron en un monitor de presiones (pressure monitor 783547; Hewlett-Packard, Palo Alto, California).

La prueba de esfuerzo consistía en realizar flexo-extensión digital, con una herramienta específica (Handgrip; Iron-Mind, Ann Arbor, Michigan) de forma bilateral hasta el agotamiento o hasta la aparición de sintomatología que impidiera continuar realizando el ejercicio, principalmente dolor.

El protocolo de registro de PIC incluye:

- 1) P_{Rest} : La media de la presión de base antes de iniciar el ejercicio.
- 2) P_{Pain} o P_{Max} : El pico de presión máximo en el momento en el que se interrumpe el ejercicio (ya sea por dolor o agotamiento).
- 3) P_{1min} : La presión registrada 1 minuto después de detener el ejercicio.
- 4) P_{5min} : La presión registrada 5 minutos después de detener el ejercicio.
- 5) T_{Rest} : El intervalo de tiempo transcurrido entre la P_{Max} y el regreso a la P_{Rest} (tiempo medido en segundos)

5.1.4. Cirugía

Ante la presencia de una sintomatología compatible con el diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, los pacientes eran informados de las distintas opciones de tratamiento que incluían medidas conservadoras y tratamiento quirúrgico.

Todos los pacientes dieron su consentimiento para realizar el tratamiento quirúrgico tanto de forma oral como por escrito en el documento de Consentimiento Informado.

Fue un único cirujano el que llevó a cabo todas las intervenciones quirúrgicas y en todos los casos se procedió a realizar la fasciotomía de los compartimentos del antebrazo (compartimentos superficial y profundo volares y compartimento dorsal).

La decisión de hacer técnica abierta o por mini-open fue tomada por el cirujano. Esta decisión se basaba principalmente en el tiempo de recuperación. La técnica mini-open era la de elección en aquellos casos que necesitaban una rápida incorporación a la competición debido a los calendarios de las carreras. No se hizo ninguna randomización de los grupos ya que este estudio es retrospectivo.

En los casos operados mediante técnica abierta se siguió la descripción hecha por Allen y Barnes de la fasciotomía abierta volar del antebrazo⁽⁴⁵⁾. (Imagen 7)

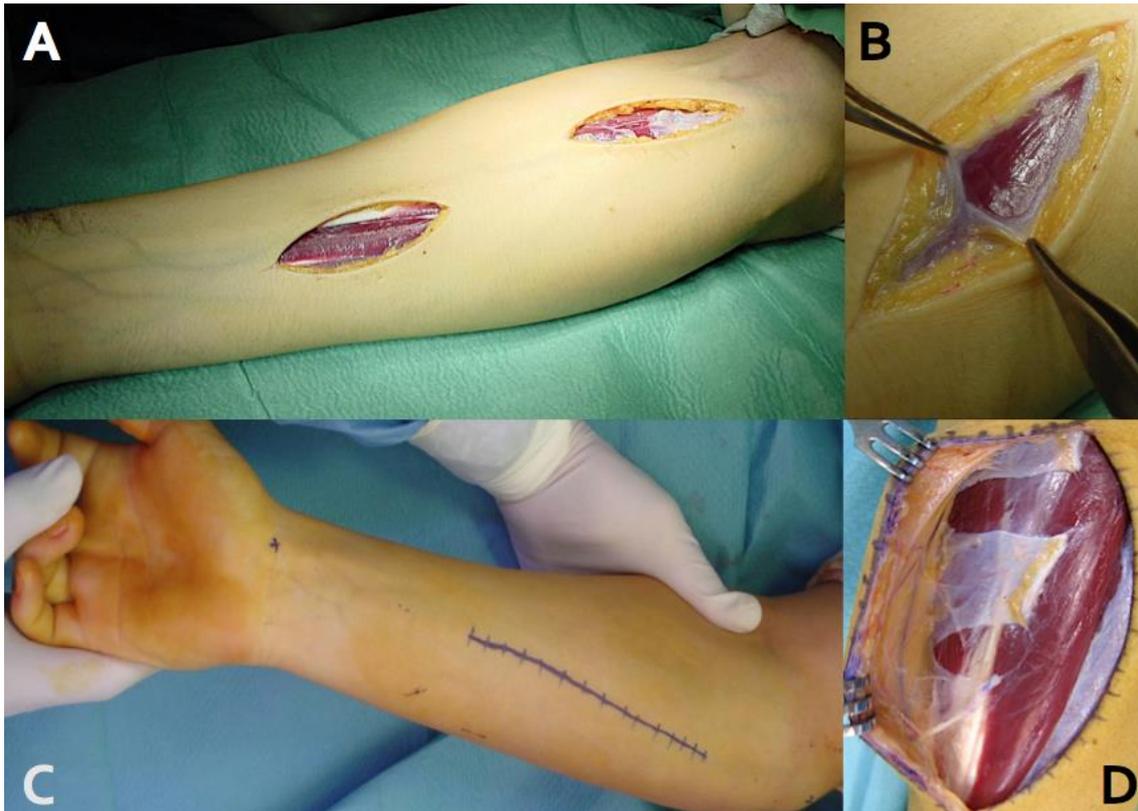


Imagen 7: A) Abordaje anterior entre el escafoides y el cóndilo medial humeral. B) Fasciotomía del compartimento volar superficial. C) Fasciotomías trasversas de descarga

El compartimento extensor se descomprimió mediante una incisión longitudinal a lo largo de la cara dorsal (extensor) del antebrazo que comienza unos 7cm distal al epicóndilo lateral del húmero. En ningún caso se llevó a cabo la exéresis de parte de la fascia (fasciectomía).

La técnica de mini-open consiste en realizar dos mini-incisiones: volar para los compartimentos superficial y profundos y dorsal para los compartimentos dorsal y lateral^(21,44). Las referencias para el abordaje volar son la línea que discurre entre el epicóndilo medial y la intersección del palmaris longus con el pliegue proximal de flexión de la muñeca⁽¹⁴⁾. A lo largo de esta línea se realizan dos pequeñas incisiones, de aproximadamente 3cm cada una. La

más proximal a unos 7cm aproximadamente del epicóndilo medial y la otra 7cm distal a la primera incisión. Luego se realiza la incisión sobre la fascia y disección roma por encima y por debajo de la línea, tal y como describen Due y Nordstrand⁽⁵⁵⁾. La técnica de mini-open consiste en realizar dos mini-incisiones: volar para los compartimentos superficial y profundos y dorsal para los compartimentos dorsal y lateral^(21,44). Las referencias para el abordaje volar son la línea que discurre entre el epicóndilo medial y la intersección del palmaris longus con el pliegue proximal de flexión de la muñeca^(14,21). A lo largo de esta línea se realizan dos pequeñas incisiones, de aproximadamente 3cm cada una. La más proximal a unos 7cm aproximadamente del epicóndilo medial y la otra 7cm distal a la primera incisión. Luego se realiza la incisión sobre la fascia y disección roma por encima y por debajo de la línea, tal y como describen Due y Nordstrand⁽⁵⁵⁾.

Posteriormente para conseguir descomprimir el compartimento profundo, se profundiza la disección a través de las dos incisiones entre el flexor carpi ulnaris y el flexor digitorum superficiales, buscando la fascia que recubre el flexor digitorum profundus. Una vez localizada se realiza la sección longitudinal de la fascia del compartimento profundo.

En el compartimento dorsal la referencia se establece por la línea entre el epicóndilo lateral y el tubérculo de Lister. Del mismo modo se realizan 2 pequeñas incisiones de aproximadamente 3cm cada una. La más proximal a 7cm del epicóndilo lateral y la otra 7cm distal a la primera. (Imagen 8) A través de estas incisiones se puede distinguir la fascia entre los compartimentos dorsal y lateral y llevar a cabo la liberación de ambos mediante fasciectomía.



Imagen 8: A Imagen intraoperatoria de fasciotomía por técnica mini-open volar. B Abordaje dorsal mini-open.

En el postoperatorio se realiza un vendaje compresivo durante 2-3 días, cura de las heridas que son cerradas con grapas que se retiran a los 10-15 días. Al paciente se le insiste en que realice movimiento de las articulaciones adyacentes y ejercicios con carga de peso de forma inmediata tras la cirugía para evitar adherencias y cicatrices. Los dos grupos de pacientes siguen los mismos cuidados postoperatorios

5.1.5. Evaluación

Se recogieron los siguientes datos de los pacientes: Edad, altura, peso, Índice de Masa Corporal (IMC), dominancia y profesión. Así mismo se evaluó el dolor mediante una Escala Analógica Visual de 100 puntos (EVA-escala de 100 puntos) y los resultados funcionales mediante el cuestionario Quick-DASH. Estos dos registros se llevaron a cabo preoperatoriamente, a los 3 meses de la cirugía y en intervalos regulares durante las visitas clínicas de control.

El EVA se agrupaba en tres grupos: Dolor severo (EVA >70 puntos), dolor moderado (31-70 puntos), dolor suave (10-30 puntos) y sin dolor (<10 puntos).

El Quick DASH es un cuestionario de 11 preguntas con dos apartados especiales (uno para trabajadores y otro para músicos o atletas de élite). El resultado se expresa en porcentaje y a mayor porcentaje, mayor es el grado de incapacidad.

Las complicaciones quirúrgicas fueron clasificadas como complicaciones graves (lesión neurovascular o recurrencia de los síntomas) o complicaciones leves (hematoma, problemas en la piel, infección superficial o hernia muscular).

El nivel de satisfacción con el resultado se evaluó a través de una escala de 5 puntos. Además, se registraron los tiempos de incorporación a una actividad completa tras la cirugía.

5.1.6. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el SPSS Statistics, Windows version 17.0.1 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). El EVA y el Quick-DASH fueron analizados mediante el coeficiente de asimetría y curtosis, y comparados su mediana pre y postoperatoria mediante el test no paramétrico de Wilcoxon. Para comparar la disminución de los valores del EVA y el Quick-DASH en las dos técnicas quirúrgicas se empleó el test U de Mann-Whitney. Mediante el coeficiente de Pearson se contrastaron las correlaciones entre las distintas variables. Los datos se expresaron como media \pm Desviación Standard si seguían una distribución normal y como mediana y rango si no lo hacían. $P < 0,05$ es fue considerado significativo para todos los tests.

5.2. TREST COMO UNA NUEVA VARIABLE DIAGNÓSTICA PARA EL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO: ANÁLISIS PROSPECTIVO DE COHORTES DE 124 ATLETAS.

5.2.1. Pacientes

Se han recogido los datos demográficos y clínicos de pacientes con hallazgos clínicos compatibles con el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo desde Enero 1990 hasta Mayo 2014 pertenecientes a dos centros colaboradores. El Departamento de Medicina del Deporte – ICATME, Hospital Quirón-Dexeus, Barcelona y Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Vall d’Hebron, Barcelona. Previamente se obtuvo la aprobación del comité de investigación de los centros. Con esto se ha elaborado una base de datos de carácter prospectivo.

5.2.2. Criterios de Inclusión

Criterios de Inclusión:

- 1) Atleta profesional o de alta intensidad (entrenamiento de al menos 10 horas a la semana).
- 2) Síntomas compatibles con el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo de más de 6 meses de evolución.

Esta sintomatología incluye:

- Sensación de opresión, endurecimiento o de aumento de volumen en el antebrazo.
- Calambres.
- Inflamación del antebrazo.
- Parestesias distales, principalmente en los dedos de la mano.
- Debilidad.
- Sensación de pérdida de control de la mano.

3) PIC mediante medición dinámica que cumplan al menos uno de los siguientes criterios⁽³⁵⁻³⁷⁾.

- PIC en reposo superior a 10 mm Hg.
- PIC igual o superior a 20 mm Hg después de 1 minuto de ejercicio.
- PIC igual o superior a 20 mm Hg 5 minutos después del ejercicio.

4) Seguimiento clínico cada 3 meses durante el primer año después del diagnóstico inicial y posteriormente cada 6 meses durante al menos 18 meses en total.

Fueron excluidos pacientes con otras etiologías que pudieran causar Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo como fracturas, quemaduras o cirugías previas en el antebrazo con sintomatología patológica. Otros criterios de

exclusión fueron: Linfedema, discrasias sanguíneas o uso de anticoagulantes. Así mismo los pacientes con datos incompletos o no recogidos también fueron excluidos.

Con estos criterios se elaboró una base de datos con 147 pacientes de los que finalmente fueron seleccionados 124 para participar en el estudio.

5.2.3. Presión Intracompartimental

Se ha empleado el Stryker ICP monitor (Stryker Instruments, Kalamazoo, Michigan) para medir la PIC dinámica en todos los compartimentos del antebrazo relevantes antes del tratamiento inicial en aquellos pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico. El aparato de medición de Stryker es manual, funciona con baterías y monitoriza digitalmente la presión que se ejerce en el compartimento al fluido inyectado. Se utilizó un catéter flexible (no una aguja recta) tal y como recomiendan distintos estudios.^(32,54) Los valores obtenidos se registraron en un monitor de presiones (pressure monitor 783547; Hewlett-Packard, Palo Alto, California). Varios estudios describen el Stryker ICP monitor como un instrumento fiable y preciso para la determinación de la PIC^(30,32-34).

Las pruebas para medir la PIC fueron llevadas a cabo por un investigador independiente, especialista en Medicina del Deporte y con una amplia experiencia en esta técnica.

La presión intracompartimental se mide en milímetros de mercurio (mm Hg).

Inicialmente se procedió a realizar una detallada anamnesis a cada paciente para identificar los compartimentos que requerían llevar a cabo el registro de la PIC. Dado que es un procedimiento invasivo, el proceso de monitorización de la PIC dinámica se explicaba detalladamente a cada paciente, así como los riesgos asociados y estos firmaban un documento de consentimiento informado.

La toma de presiones intracompartimentales se llevaba a cabo bajo medidas de asepsia. La colocación del paciente es la siguiente en el caso de registro del compartimento extensor: El brazo se apoya en la mesa del examinador en posición de pronación y con una flexión de codo de 90°. Cuando se registran la PIC en el compartimento flexor el paciente apoya el brazo en la mesa en supinación y con el codo extendido. No se requiere el uso de cinchas o soportes y es el propio paciente el que mantiene la posición adecuada.

La medición de la presión del compartimento flexor se realizó según descripción de McCarthy et al.(56) y la del compartimento extensor según la descripción de Gelberman et al.(57).

Primero se medía la PIC en reposo. Entonces cada paciente realizaba el ejercicio para provocar los síntomas una herramienta de ejercicios de flexión-extensión (Handgrip; Ironmind, Ann Arbor, Michigan) hasta agotamiento físico o dolor en los músculos del antebrazo. Los valores dinámicos de la PIC se registraban antes, durante y después del ejercicio.

Las variables de la PIC medidas fueron (Gráfico 4):

1. $P_{Rest} > 10$ mm de Hg
2. $P_{1min} > 20$ mm de Hg
3. $P_{5min} > 20$ mm de Hg

5.2.4. Tratamiento

Cuando la sintomatología resultaba compatible con el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo durante al menos 6 meses, incluso con PIC no patológicas. Se informaba a los pacientes de las opciones terapéuticas:

- Medidas conservadoras (reposo deportivo, rehabilitación y medidas físicas y químicas para disminuir la inflamación, el dolor y limitar el daño tisular que la patología comporta)
- Tratamiento quirúrgico.

Los pacientes debían dar consentimiento por escrito (consentimiento informado) si decidían optar por el tratamiento quirúrgico.

Todas las cirugías han sido realizadas por el mismo cirujano y el procedimiento ha sido en todos los casos la fasciotomía de los compartimentos del antebrazo. Procediéndose a la técnica de fasciotomía por mini-open o fasciotomía abierta a criterio del cirujano. La técnica quirúrgica es descrita por Barrera et al.⁽⁵³⁾(Imagen 7)

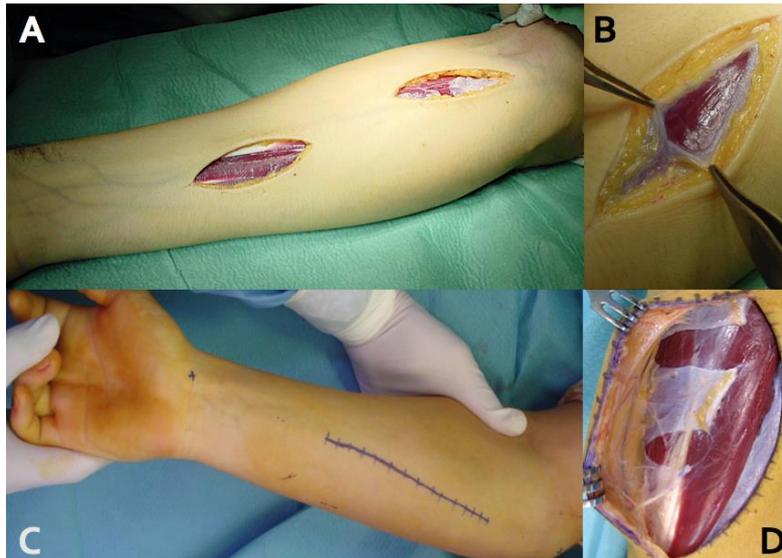


Imagen 7: A) Abordaje anterior entre el escafoides y el cóndilo medial humeral. B) Fasciotomía del compartimento volar superficial. C) Fasciotomías trasversas de descarga. D) Fasciotomía profunda del compartimento volar.

Los pacientes han sido clasificados en 4 grupos (Imagen 9).

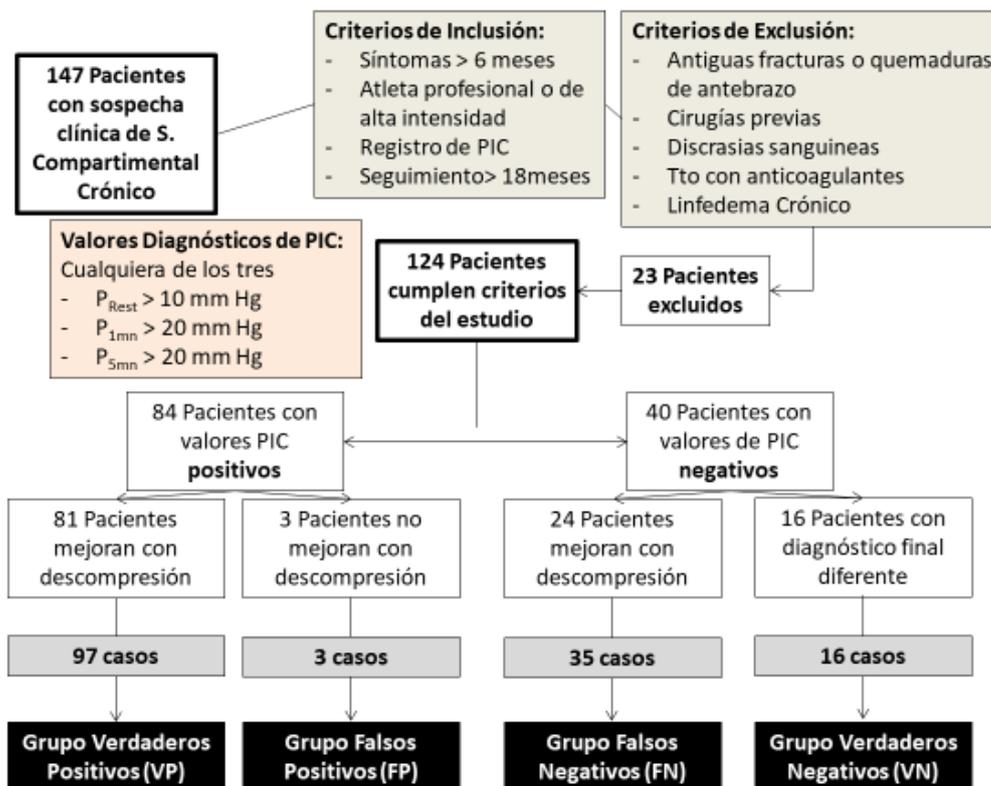


Imagen 9. Diagrama de flujo de diseño del estudio

De los 147 pacientes inicialmente registrados en la base de datos se seleccionaron 124 pacientes que cumplían todos los criterios de inclusión.

81 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que cumplían con al menos uno de los criterios diagnóstico de PIC y que tras el tratamiento quirúrgico presentaban mejoría clínica fueron clasificados como Verdadero Positivo (VP)

3 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que cumplían al menos un criterio diagnóstico de PIC y fueron tratados quirúrgicamente, pero sin lograr mejoría de su sintomatología. Estos pacientes formaban el grupo de Falsos Positivos (FP). Este grupo de pacientes fueron reevaluados y diagnosticados de otras patologías para las cuales se estableció un tratamiento satisfactorio.

24 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que no cumplían criterios diagnósticos de PIC pero que tras el tratamiento quirúrgico mejoraron fueron incluidos en el grupo de los Falsos Negativos (FN)

Todos los pacientes de los grupos de VP, FN y FP se trataron quirúrgicamente.

16 pacientes con una baja sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo que no cumplían ningún criterio diagnóstico de PIC y que habían mejorado con otros tratamientos se agruparon en el grupo de Verdaderos Negativos (VN). Estos pacientes fueron diagnosticados de entesopatías del codo (8 pacientes), Tendinopatías del antebrazo (4 pacientes), tenosinovitis de

muñeca (2 pacientes) y Síndrome Canalicular del Nervio Interóseo Posterior (2 pacientes).

5.2.5. Evaluación

Se recogieron los siguientes datos epidemiológicos de los pacientes: Edad, sexo, altura, peso, Índice de Masa Corporal (IMC), mano dominante y profesión o deporte (incluyendo el registro del número de horas por semana de entrenamiento)

Así mismo en la visita inicial y en las siguientes visitas de control se recogían otros datos clínicos:

- El paciente debía situar su dolor en una escala visual analógica (EVA) de 0 a 100 siendo 0 la inexistencia de dolor y 100 el nivel máximo de dolor.

- También completaban el cuestionario validado en español sobre función de la extremidad Superior (shortened version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Questionnaire – Quick-DASH)

Las visitas de seguimiento se realizaban cada 3 meses durante el primer año tras el diagnóstico inicial y cada 6 meses a partir de entonces hasta tener un seguimiento mínimo de 18 meses.

Para considerar el resultado final del tratamiento como satisfactorio o no, se tenía en cuenta que la sintomatología hubiera desaparecido o mejorado francamente y que los valores del Quick-DASH mejoraran.

También fueron recogidos otros estudios complementarios realizados al paciente, el diagnóstico final, resultados de cualquier tratamiento adicional recibido por el paciente.

Todos los datos fueron recogidos por un especialista en Cirugía Ortopédica y Traumatología con experiencia.

5.2.6. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo usando el SPSS Statistics, Mac version 23.1.1 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). Todos los datos numéricos fueron expresados como media \pm SD si tenían una distribución normal, o como mediana y rangos si no seguían una distribución normal.

El EVA y el Quick-DASH fueron analizados mediante el coeficiente de asimetría y curtosis y para comparar las medias pre y postoperatorias se usaron t test pareados independientes (t de Student). Las variables categóricas fueron comparadas mediante análisis χ^2 de Pearson.

Los diferentes criterios de PIC fueron analizados creando una curva ROC (curva de característica operativa del recepto) y calculando el área bajo la curva (AUC) para identificar los valores óptimos de Sensibilidad y Especificidad y los correspondientes valores umbral para las medidas de PIC.

Para todos los test se consideró $p < 0,005$ como estadísticamente significativa.

6. RESULTADOS

6.1. DESCOMPRESIÓN QUIRÚRGICA DEL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO EN MOTORISTAS PROFESIONALES: RESULTADOS COMPARATIVOS A LARGO PLAZO ENTRE LA CIRUGÍA ABIERTA Y LA TÉCNICA MINI-OPEN.

6.1.1. Epidemiología

De acuerdo con los criterios de inclusión se seleccionaron 34 corredores con Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo operados desde el 1 de Enero de 2000 al 31 de Diciembre de 2009. Hubo dos pacientes que no se pudieron incluir en el estudio por falta de datos.

En este período fueron tratados 16 casos (47%) mediante cirugía abierta y 18 casos (53%) mediante técnica mini-open.

Se recogieron datos epidemiológicos y clínicos (Tabla 1)

Tabla 1. Características de los Pacientes Operados de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo			
	Total	Grupo Cirugía Abierta	Grupo Mini-open
Sexo, hombre/mujer, n pacientes	34/0	16/0	18/0
Seguimiento, media +/- desviación standard, m	45 +/- 8	46 +/- 8	43 +/- 5
Edad, media +/- desviación standard, años	24 +/- 6	24 +/- 6	23 +/- 6
Altura, media +/- desviación standard, cm	168 +/- 9	170 +/- 9	167 +/- 9
Peso, media +/- desviación standard, kg	55 +/- 8	56 +/- 7	55 +/- 8
IMC, media +/- desviación standard	20 +/- 2	20 +/- 2	20 +/- 2
Nivel de competición, n pacientes	34	16	18
Corredor de velocidad Int	11	3	6
Corredor de velocidad Nac	15	6	7
Motocross Int	8	3	4
Motocross Nac	12	4	1
Compartimento afectado, n casos	56	24	32
Volar	18	6	12
Dorsal	0	0	0
Volar + Dorsal	38	18	20

Todos los pacientes del estudio fueron hombres con una edad media de 24 ± 6 años y en el grupo de Cirugía Abierta (CA) de 24 ± 6 años y en el de mini-open (MO) de 23 ± 6 años.

El periodo de seguimiento medio fue de 45 ± 8 meses y en el grupo de Cirugía Abierta (CA) de 46 ± 8 meses y en el de mini-open (MO) de 43 ± 5 meses.

El peso medio de la muestra fue 55 ± 8 kg y la talla media 168 ± 9 cm. EN el grupo de Cirugía Abierta (CA) de 56 ± 7 kg y la talla de 170 ± 9 cm y en el de mini-open (MO) el peso medio fue de 55 ± 8 kg y la talla media de 167 ± 9 cm.

El IMC medio fue de 20 ± 2 tanto en el grupo total como en los subgrupos.

Al agrupar a los pacientes según su práctica deportiva y nivel obtuvimos un grupo de pilotos de motociclismo en competición internacional (11 pacientes) o nacional (15 pacientes) y un grupo de competidores de motocross a nivel nacional (12 pacientes) o internacional (8 pacientes).

22 pacientes presentaban afectación bilateral y 12 unilateral, sumando un total de 56 antebrazos tratados quirúrgicamente. Aquellos pacientes que presentaban afectación bilateral fueron tratados en ambos brazos mediante la misma técnica quirúrgica. De los 56, 24 casos fueron tratados mediante Cirugía Abierta (16 pacientes en total de los cuales 9 tenían afectación bilateral) y 32 mediante mini-open (18 pacientes de los cuales 13 tenían afectación bilateral)

El síntoma principal que describían los pacientes era la aparición de dolor. El tiempo de evolución medio de la sintomatología fue de $10,3 \pm 4,4$ meses (6-24 meses). El dolor empezaba después de $6,8 \pm 3,1$ minutos (2-13 minutos) de media en el entrenamiento o competición de motociclismo.

6.1.2. Presiones Intracompartimentales

El registro de la media de las presiones intracompartimentales de los 34 pacientes fue (Gráfico 1):

1. P_{Rest} (La media de la presión de base antes de iniciar el ejercicio) fue de $7,10 \pm 3,98$ mm de Hg (rango, 1-14 mm de Hg). Ninguno de los 34 motoristas cumplía el criterio de Pedowitz ⁽²⁶⁾ de P_{Rest} (Presión en reposo > 15 mm Hg) (Sensibilidad = 0%).
2. P_{Pain} o P_{Max} (El pico de presión máximo en el momento en el que se interrumpe el ejercicio). El ejercicio provocaba un aumento en más de cuatro veces con respecto a la presión de base del paciente, alcanzando $32,35 \pm 3,79$ mm de Hg (rango, 25-41 mm de Hg). Todos los pacientes cumplieron este criterio.
3. P_{1min} (La presión registrada 1 minuto después de detener el ejercicio), disminuyó a $27,15 \pm 3,25$ mm de Hg (rango, 22-33 mm de Hg). Solo 2 pacientes cumplieron el criterio de Pedowitz de “30 mm de Hg tras 1 minuto del cese del ejercicio” (sensibilidad de 5.9%).
4. P_{5min} (La presión registrada 5 minutos después de detener el ejercicio), disminuyó hasta $21,35 \pm 3,58$ mm de Hg (rango, 18-24 mm de Hg). 33 pacientes cumplieron el criterio de Pedowitz de “20 mm de Hg a los 5 minutos tras el ejercicio” (sensibilidad de 97%).
5. T_{Rest} (El intervalo de tiempo transcurrido entre la P_{Max} y el regreso a la P_{Rest}) fue de $19,77 \pm 3.06$ minutos (rango, 16-26 minutos).

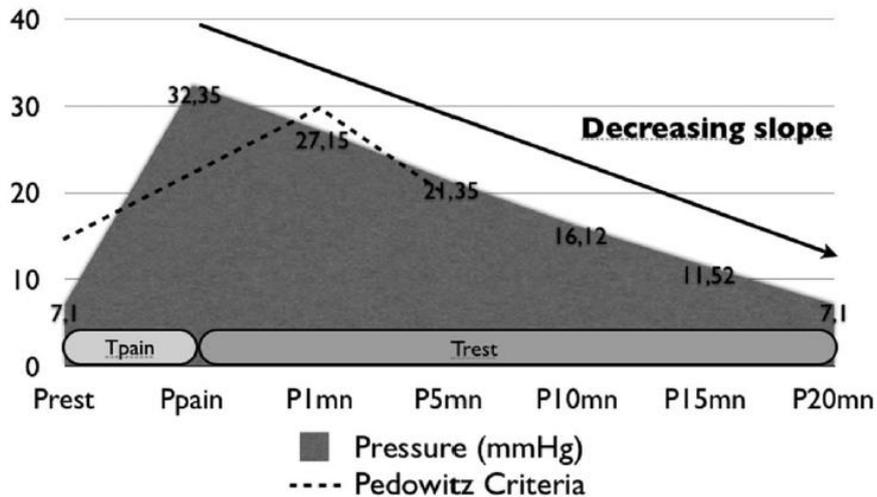


Gráfico 1. Medias de las Presiones Intracompartimentales de los pacientes operados de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.

6.1.3. Resultados Funcionales Postquirúrgicos

El tiempo medio de retorno a la competición en plenitud de facultades fue de $2,7 \pm 1$ semanas (rango 0-4 semanas). En el grupo de Cirugía Abierta fue de $2,7 \pm 0,86$ semanas (rango 1-4 semanas) y en el de mini-open de $2,8 \pm 0,80$ (rango 1-4 semanas). No presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,544$).

La escala de dolor se registró mediante el EVA (Gráfico 2). En los pacientes el EVA presentó una disminución desde 79 puntos (rango 45-100) preoperatorio a 16 puntos (rango 3-40) postoperatorio ($p<0,001$). En el grupo de Cirugía Abierta la media de mejoría fue de los 78 puntos (rango 50-100) preoperatorio a 15 puntos (rango 3-35) en el postoperatorio ($p=0,001$). En el grupo de mini-open la media del EVA preoperatorio fue de 78 puntos (rango 45-97) y la del EVA postoperatorio de 17 puntos (rango 5-40) ($p=0,028$).

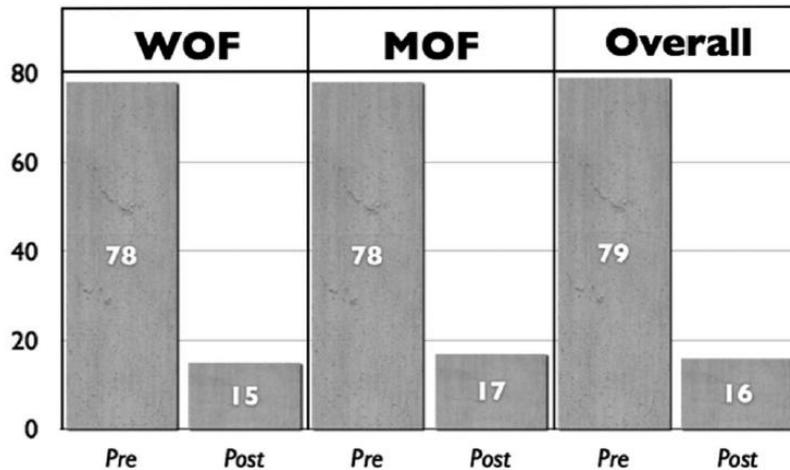


Gráfico 2. EVA pre y postquirúrgico (WOF: Cirugía Abierta, MOF: mini-open, Overall: Global)

En el caso del Quick-DASH, en los pacientes el resultado preoperatorio fue de 85 % (rango 70-100) y el postoperatorio de 12% (rango 0-25) ($p < 0,001$). EN el grupo de pacientes tratados mediante Cirugía Abierta el Quick-DASH preoperatorio fue de media de 84 % (71-100) y la media postoperatoria 15% (rango de 0-25) ($p = 0,001$). Y en el grupo de mini-open fue de 86% (rango 69-100) preoperatorio y de 12% (rango 0-20) postoperatorio ($p = 0,001$).

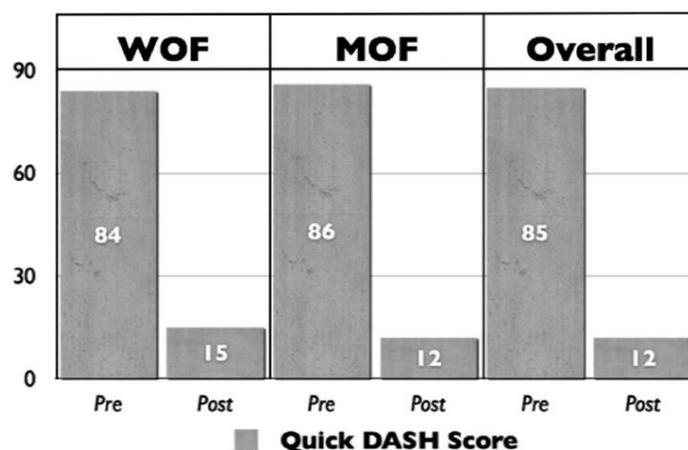


Gráfico 3. Quick-DASH pre y postquirúrgico (WOF: Cirugía Abierta, MOF: mini-open, Overall: Global)

En cuanto a las complicaciones, ningún paciente en el grupo de Cirugía Abierta presentó complicaciones graves y 1 paciente del grupo mini-open presentó recurrencia de la sintomatología. En cuanto a las complicaciones menores: 4 pacientes (25%) del grupo de Cirugía Abierta presentaron este tipo de complicaciones (2 hematomas, 1 complicación cutánea, 1 infección superficial y 0 hernias musculares). En el grupo de mini-open fueron 7 pacientes (38,9%) los que presentaron complicaciones leves (4 hematomas, 1 problema cutáneo, 2 infecciones superficiales y 0 hernias musculares).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de Cirugía Abierta y mini-open en cuanto al tiempo de retorno a la competición en plenitud de facultades ($p=0,54$), EVA y Quick-DASH preoperatorios ($p=0,83$ y $p=0,91$), EVA y Quick-DASH postoperatorios ($p=0,10$ y $p=0,67$), disminución del EVA y el Quick-DASH ($p=0,94$ y $p=0,83$) y aparición de complicaciones (graves o leves) ($p=0,66$ y $p=0,10$).

El 94% de los pacientes (32/34) valoraron los resultados como muy satisfactorios con ambas técnicas, el 0,06% (2/34) bastante satisfactorio (1 paciente de Cirugía Abierta y 1 paciente de mini-open) en el seguimiento a los tres años de la cirugía. Hubo un paciente que presentó recurrencia de los síntomas a los dos meses de la cirugía y fue tratado mediante Cirugía Abierta sin ser incluido en el grupo de Cirugía Abierta del estudio.

6.2. TREST COMO UNA NUEVA VARIABLE DIAGNÓSTICA PARA EL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO: ANÁLISIS PROSPECTIVO DE COHORTES DE 124 ATLETAS.

6.2.1. Epidemiología

La n de pacientes incluidos en el estudio es de 124. Este grupo de pacientes son los que aquellos con sospecha diagnóstica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo tratados entre el 1 de Enero 1994 y el 3 de Mayo del 2014 y que cumplían tanto los criterios de inclusión como los de exclusión previamente expuestos.

Todos los pacientes fueron hombres (Hombres=124, Mujeres=0).

Teniendo en cuenta su actividad deportiva el grupo presentaba:

- 47 pilotos de motociclismo
- 24 pilotos de motocross
- 22 escaladores de montaña
- 19 levantadores de peso (halterofilia)
- 8 esquiadores acuáticos
- 4 jugadores de tenis

En cuanto a la dominancia; 110 eran diestros, 12 zurdos y 2 ambidiestros.

La aparición de la patología en 27 de los pacientes fue bilateral, por lo que los miembros afectados fueron 151 en total.

Tras la medición de la PIC se obtuvieron 2 grupos en función de si se consideraban valores de PIC diagnósticos de Síndrome compartimental Crónico del Antebrazo

1. $P_{rest} > 10$ mm de Hg
2. $P_{1min} > 20$ mm de Hg
3. $P_{5min} > 20$ mm de Hg

El grupo con PIC positiva estaba formado por 84 pacientes y el grupo de PIC negativa estaba formado por 40 pacientes.

Cada paciente era asignado a uno de los siguientes 4 subgrupos:

- Verdadero Positivo (VP): 81 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que cumplían con al menos uno de los criterios diagnóstico de PIC y que tras el tratamiento quirúrgico presentaban mejoría clínica.
- Falsos Positivos (FP): 3 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que cumplían al menos un criterio diagnóstico de PIC y fueron tratados quirúrgicamente, pero sin lograr mejoría de su sintomatología. Este grupo de pacientes fueron reevaluados y diagnosticados de otras patologías para las cuales se estableció un tratamiento satisfactorio.
- Falsos Negativos (FN): 24 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que no cumplían criterios diagnósticos de PIC pero que tras el tratamiento quirúrgico mejoraron.
- Verdaderos Negativos (VN): 16 pacientes con una baja sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo que no cumplían

ningún criterio diagnóstico de PIC y que habían mejorado con otros tratamientos.

Los factores epidemiológicos de los cuatro grupos son los siguientes y al ser comparados no presentaron ninguna diferencia estadísticamente significativa. (Tabla 2)

La media del periodo de seguimiento fue de 45 ± 8 meses. En el grupo de VP fue de 46 ± 8 meses, en el FN 43 ± 5 meses, en el VN 44 ± 5 meses y en el FP 40 ± 4 meses.

La edad media de los pacientes fue de 25 ± 6 años, Por grupos la edad media fue: En el VP 25 ± 6 años, en el FN 24 ± 6 años, en el VP 26 ± 4 años y en el FP 24 ± 4 años.

La altura media de los pacientes fue 174 ± 9 cm. Por grupos la talla media fue: En el VP 172 ± 9 cm, en el FN 175 ± 9 cm, en el VN 170 ± 7 cm y en el FP 176 ± 7 cm.

El peso medio de los pacientes fue 62 ± 8 kg y el IMC 20 ± 2 . Por grupo el peso medio y el IMC fueron: En el VP 60 ± 7 kg y 20 ± 2 , en el FN 64 ± 8 kg y 20 ± 2 , en el VN 66 ± 47 kg y 21 ± 2 y en el FP 65 ± 5 kg y 21 ± 2 .

Tabla 2 . Epidemiología y datos clínicos de los pacientes

	Total	VP	FN	VN	FP

Sexo, hombres/mujeres, n pacientes	97/0	81/0	24/0	16/0	3/0
Compartimentos afectados, n casos	151	97	35	16	3
Afectación Bilateral, n pacientes	27	16	11	0	0
Seguimiento, media +/- DS, meses	45 +/- 8	46 +/- 8	43 +/- 5	44 +/- 5	40 +/- 4
Edad, media +/- DS, años	25 +/- 6	25 +/- 6	24 +/- 6	26 +/- 4	24 +/- 4
Altura, media +/- DS, cm	174 +/- 9	172 +/- 9	175 +/- 9	170 +/- 7	176 +/- 7
Pesos, media +/- DS, kg	62 +/- 8	60 +/- 7	64 +/- 8	66 +/- 47	65 +/- 5
Indice de Masa Corporal, media +/- DS	20 +/- 2	20 +/- 2	20 +/- 2	21 +/- 2	21 +/- 2

6.2.2. Resultados Funcionales Postquirúrgicos

Los pacientes que presentan Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo bilateral fueron tratados mediante el mismo tipo de tratamiento al mismo tiempo. 72 antebrazos fueron operados mediante cirugía abierta (67 pacientes en total incluyendo 5 pacientes con afectación bilateral). Los demás 63 antebrazos (42 pacientes, 18 con afectación bilateral) fueron tratados por técnica mini-open.

97 antebrazos tratados quirúrgicamente formaban parte del grupo de los Verdaderos Positivos (VP), 52 tratados por cirugía abierta y 45 por mini-open. El grupo de Falsos Negativos (FN) fue de 35 antebrazos tratados quirúrgicamente, 18 por cirugía abierta y 17 por mini-open. Todos estos antebrazos tuvieron un resultado del tratamiento satisfactorio ya fuera por la resolución de los síntomas o por una significativa mejoría en el dolor (EVA) y Quick-DASH function scores

de 63 mm y 73 puntos respectivamente ($p < 0,001$) sin diferencias significativas entre ambas técnicas quirúrgicas ($p=0,51$).

Los tres pacientes del grupo de Falso positivo (FP) fueron tratados quirúrgicamente 2 con cirugía abierta y otro mediante mini-open. Los tres tuvieron un resultado no satisfactorio ya que no hubo desaparición de los síntomas ni mejoría significativa en el dolor o el Quick-DASH (Mejoría de 5mm del EVA y 11 puntos el Quick-DASH). Posteriormente estos tres pacientes fueron diagnosticados de Síndrome del Interóseo Posterior, tratados quirúrgicamente mediante neulolisis y obtuvieron buenos resultados.

Los 16 pacientes del grupo de Verdaderos Negativos no fueron tratados quirúrgicamente como los demás grupos del estudio. Estos pacientes fueron diagnosticados de entesopatías del codo (8 pacientes), Tendinopatías del antebrazo (4 pacientes), tenosinovitis de muñeca (2 pacientes) y Síndrome Canalicular del Nervio Interóseo Posterior (2 pacientes). Todos mejoraron con otros tratamientos presentando desaparición de los síntomas o mejoría en las escalas EVA (mejoría de 42mm) o Quick-DASH (mejoría de 38 puntos) ($p < 0,005$).

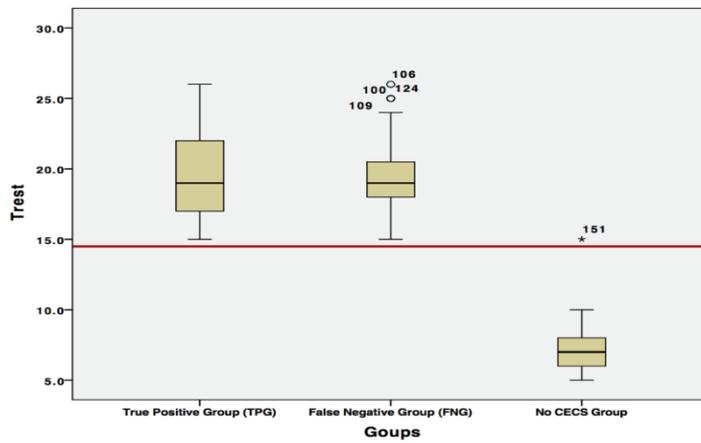
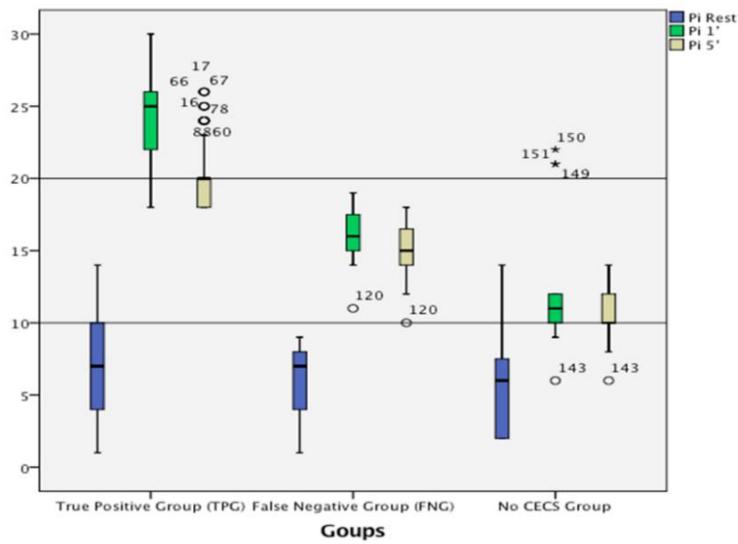
No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los Verdaderos Positivos (VP) y los Falsos Negativos (FN) en cuanto a los resultados del EVA o Quick-DASH preoperatorios ($p=0,81$ y $p= 0,90$ respectivamente), EVA y Quick-DASH postoperatorio ($p=0,18$ y $p=0,61$ respectivamente) o en la disminución de los valores de ambas escalas comparando el pre y el postoperatorio ($p=0,94$ y $p=0,83$ respectivamente). Por lo tanto, los pacientes en los grupos Falsos Negativos (FN) y Verdaderos Positivos (VP) presentaron una

mejoría clínica tras la cirugía similar, pero los primeros (FN) no cumplieron con los actuales criterios diagnósticos de Síndrome Compartimental del Antebrazo.

6.2.3. Medidas de Presión Intracompartimental

Los valores estudiados para cada grupo (VP, FN, VN y FP) de PIC han sido los valores de corte de P_{rest} , P_{max} , P_{1min} , P_{5min} y T_{Rest} y de estos se han calculado la media, el rango y la desviación estándar. (Tabla 3 y Gráficos 5 y 6)

Table 3. Media, rango y desviación standard de los actuales valores de corte de la PIC para el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo						
		P_{Rest} mm Hg	P_{Max} mm Hg	P_{1mn} mm Hg	P_{5mn} mm Hg	T_{Rest} minutos
Grupo	<i>Media</i>	6.99	32.29	23.9	20.13	19.69
Verdaderos Positivos	<i>Rango</i>	1-14	25-41	18-30	18-26	15-26
VP	<i>Desviación Standard</i>	+/- 4.1	+/- 3.7	+/- 2.8	+/- 2.3	+/- 3.0
Grupo	<i>Media</i>	6.74	17.60	15.97	15.77	19.85
Falsos Negativos	<i>Rango</i>	1-14	12-22	11-19	10-18	15-26
FN	<i>Desviación Standard</i>	+/- 3.4	+/- 3.9	+/- 3	+/- 4.2	+/- 2.8
Grupo	<i>Media</i>	5	14.31	10.5	10.25	7
Verdaderos Negativos	<i>Rango</i>	2-9	10-18	6-12	6-12	5-10
VN	<i>Desviación Standard</i>	+/- 3.1	+/- 3.4	+/- 3.1	+/- 2.7	+/- 2.5
Grupo	<i>Media</i>	10.66	26.33	21.33	13.33	9
Falsos Positivos	<i>Rango</i>	7-14	22-32	21-22	12-14	5-15
FP	<i>Desviación Standard</i>	+/- 3.1	+/- 4	+/- 3.4	+/- 2.9	+/- 2.4



Para el grupo de los Verdaderos Positivos (VP); (81 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que cumplían con al menos uno de los criterios diagnóstico de PIC y que tras el tratamiento quirúrgico presentaban mejoría clínica):

- P_{Rest} Media=6,99, Rango= 1-14, SD \pm 4,1 (mm de Hg)
- P_{Max} Media=32,29 Rango= 25-41, SD \pm 3,7 (mm de Hg)
- P_{1min} Media=23,9, Rango= 18-30, SD \pm 2,8 (mm de Hg)
- P_{5min} Media=20,13, Rango= 18-26, SD \pm 2,3 (mm de Hg)
- T_{Rest} Media=19,69, Rango= 15-26, SD \pm 3,0 (min)

Para el grupo de los Falsos Negativos (FN); (24 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que no cumplían criterios diagnósticos de PIC pero que tras el tratamiento quirúrgico mejoraron):

- P_{Rest} Media=6,74, Rango= 1-14, SD \pm 3,4 (mm de Hg)
- P_{Max} Media=17,60, Rango= 12-22, SD \pm 3,9 (mm de Hg)
- P_{1min} Media=15,97, Rango= 11-19, SD \pm 3 (mm de Hg)
- P_{5min} Media=15,77, Rango= 10-18, SD \pm 4,2 (mm de Hg)
- T_{Rest} Media=19,85, Rango= 15-26, SD \pm 2,8 (min)

Para el grupo de los Verdaderos Negativos (VN); (6 pacientes con una baja sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo que no cumplían ningún criterio diagnóstico de PIC y que habían mejorado con otros tratamientos):

- P_{Rest} Media=5, Rango= 2-9, SD \pm 3,1 (mm de Hg)
- P_{Max} Media=14,31, Rango= 10-18, SD \pm 3,4 (mm de Hg)
- P_{1min} Media=10,5, Rango= 6-12, SD \pm 3,1 (mm de Hg)

- P_{5min} Media=10,25, Rango= 6-12, SD \pm 2,7 (mm de Hg)
- T_{Rest} Media=7, Rango= 5-10, SD \pm 2,5 (min)

Para el grupo de los Falsos Positivos (FP): 3 pacientes con sospecha clínica de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, que cumplían al menos un criterio diagnóstico de PIC y fueron tratados quirúrgicamente, pero sin lograr mejoría de su sintomatología.

- P_{Rest} Media=10,66, Rango= 7-14, SD \pm 3,1 (mm de Hg)
- P_{Max} Media=26,33, Rango= 22-32, SD \pm 4 (mm de Hg)
- P_{1min} Media=21,33, Rango= 21-22, SD \pm 3,4 (mm de Hg)
- P_{5min} Media=13,33, Rango= 12-14, SD \pm 2,9 (mm de Hg)
- T_{Rest} Media=9, Rango= 5-15, SD \pm 2,4 (min)

Así mismo los resultados de la Sensibilidad, Especificidad, VPP y VPN de los actuales valores de corte de la PIC para el diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo son los siguientes (Tabla 4):

- $P_{Rest} > 10$ mm de Hg: S=18,2%; E=89,5%; VPP=92,3%; VPN=13,6%.
- $P_{1min} > 20$ mm de Hg: S=60,6%; E=84,2%; VPP=96,4%; VPN=24%
- $P_{5min} > 20$ mm de Hg: S=15,9%; E=100%; VPP=100%; VPN=14,6%
- $P_{Rest} \pm P_{1min} \pm P_{5min}$: S=73,5%; E=84,2%; VPP=97%; VPN=31,4%
- $T_{Rest} > 15$ min: S=93,9%; E=100%; VPP=100%; VPN=70,4%

Table 4. Sensibilidad, Especificidad, VPP y VPN de los actuales valores de corte de la PIC para el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.					
	$P_{Rest} > 10 \text{ mm Hg}$	$P_{1mn} > 20 \text{ mm Hg}$	$P_{5mn} > 20 \text{ mm Hg}$	$P_{Rest} \pm P_{1mn} \pm P_{5mn}$	$T_{Rest} > 15 \text{ minutos}$
Sensibilidad	18.2%	60.6%	15.9%	73.5%	93.9%
Especificidad	89.5%	84.2%	100%	84.2%	100%
VPP	92.3%	96.4%	100%	97%	100%
VPN	13.6%	24%	14.6%	31.4%	70.4%
Valores de corte óptimos	$> 1.5 \text{ mm Hg}$	$> 13 \text{ mm Hg}$	$> 12.5 \text{ mm Hg}$	-	$> 14.5 \text{ minutos}$

Para los tres criterios actuales del diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo ($P_{rest} > 10 \text{ mm de Hg}$, $P_{1min} > 20\text{mm de Hg}$, $P_{5min} > 20\text{mm de Hg}$), la Sensibilidad varía de baja (15.9% y 18.2%) a alta (60,6%) siendo la $P_{1min} > 20\text{mm de Hg}$ el criterio más sensible de los tres. Si tomamos 1 cualquiera de las 3 medidas estándares como positivas para el diagnóstico la Sensibilidad se ve aumentada hasta un 73,5%. Sin embargo, la Sensibilidad del nuevo valor propuesto, el T_{Rest} (El intervalo de tiempo transcurrido entre la P_{Max} y el regreso a la P_{rest}) es la más alta de todas; $S=93,5\%$.

La Especificidad y el VPP son relativamente altos en los cinco valores, yendo desde 84.2% a 100% y desde 92.3% a 100% respectivamente. En el caso de la T_{Rest} ambos valores son del 100%.

Para el VPN también encontramos un amplio rango de resultados que van de 13,6% a 24% para las tres medidas estándares actuales ($P_{rest} > 10 \text{ mm de Hg}$, $P_{1min} > 20\text{mm de Hg}$, $P_{5min} > 20\text{mm de Hg}$), 31,4% tomando 1 cualquiera de las 3 medidas estándar y 70,4% para la T_{Rest} .

Se calcula el área bajo la curva (AUC) para cada una de las curvas de ROC (curva de característica operativa del receptor) para identificar los valores óptimos de Sensibilidad y Especificidad y los correspondientes valores umbral para las medidas de PIC. (Gráfico 7)

Con esto se establecen valores umbrales óptimos para P_{rest} , P_{1min} y P_{5min} , que cambian de los actuales a 1,5 mm de Hg, 13 mm de Hg y 12,5 mm de Hg respectivamente. En el caso del valor umbral óptimo de T_{Rest} cambia solo ligeramente de 15 a 14,5 minutos.

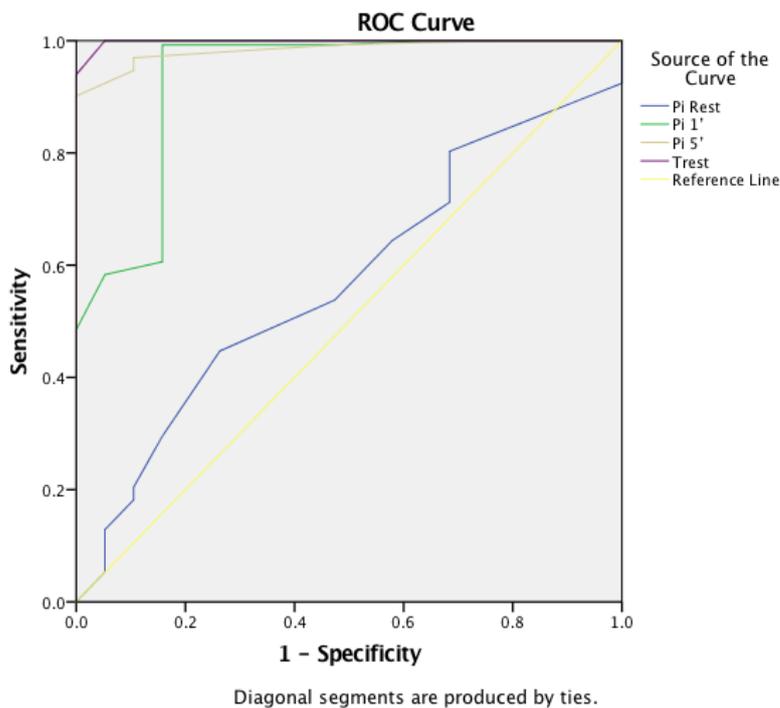


Gráfico 7. AUC de las curvas ROC para identificar los valores óptimos de Sensibilidad y Especificidad y los correspondientes valores umbral para las medidas de PIC.

Con los nuevos valores umbrales o de corte de la PIC para el diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo se calculan la Sensibilidad, Especificidad, VPP y VPN. (Tabla 5):

- $P_{Rest} > 1,5$ mm de Hg: S=92,4%; E=0%; VPP=86,5%; VPN=0%.
- $P_{1min} > 13$ mm de Hg: S=99,2%; E=84,2%; VPP=97,8%; VPN=94,12%
- $P_{5min} > 12,5$ mm de Hg: S=97%; E=89,5%; VPP=98,4%; VPN=81%
- $P_{Rest} \pm P_{1min} \pm P_{5min}$: S=100%; E=35,29%; VPP=87,4%; VPN=100%
- $T_{Rest} > 14,5$ min: S=100%; E=94,7%; VPP=99,3%; VPN=100%

Table 5. Sensibilidad, Especificidad, VPP y VPN de los valores de corte óptimos de la PIC para el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.					
	$P_{Rest} > 1.5$ mm Hg	$P_{1mn} > 13$ mm Hg	$P_{5mn} > 12.5$ mm Hg	$P_{Rest} +/- P_{1mn} +/- P_{5mn}$	$T_{Rest} > 14.5$ min
Sensibilidad	92.4%	99.2%	97%	100%	100%
Especificidad	0%	84.2%	89.5%	35.29%	94.7%
VPP	86.5%	97.8%	98.4%	87.4%	99.3%
VPN	0%	94.12%	81%	100%	100%

Con estos nuevos valores de corte, la Sensibilidad para los tres criterios estándar (P_{rest} , P_{1min} y P_{5min}) y para 1 cualquiera de las 3 medidas estándares mejora de forma importante, 92,4%,99,2% y 97% respectivamente, usando de forma aislada alguno de los tres criterios y del 100% cuando cualquiera de los tres criterios se considera como positivo para el screening de la patología. La Sensibilidad para la T_{Rest} También se ve incrementada hasta el 100%.

En el caso de la Especificidad, aunque en la PIC tras 1minuto y tras 5 minutos son ambas aceptables (84,2% y 89,5%) en el caso de la P_{Rest} la Especificidad baja a 0% y en caso de tomar uno d ellos tres criterios baja a una

Especificidad de 35,29% (siendo en ambos casos muy poco específicas). En el caso de la T_{Rest} la Especificidad es muy superior a todas ellas (94,7%).

La T_{Rest} también supera a las otras cuatro medidas para el VPP y el VPN.

7. DISCUSIÓN

7.1. DESCOMPRESIÓN QUIRÚRGICA DEL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO EN MOTORISTAS PROFESIONALES: RESULTADOS COMPARATIVOS A LARGO PLAZO ENTRE LA CIRUGÍA ABIERTA Y LA TÉCNICA MINI-OPEN.

Para realizar el tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo se han diseñado varias técnicas quirúrgicas. El actual Gold Standard según la opinión de los expertos y estudios con series pequeñas, es la Cirugía Abierta, con unas tasas de éxito cercanas al 100% y unas tasas de complicaciones pequeñas^(14,21,22,41,42).

Algunos autores asocian la resección de la fascia (fasciectomía) a la técnica abierta para disminuir la tasa de recurrencias y la formación de cicatrices^(47,48). Esto podría inclinar la balanza hacia la Cirugía Abierta en contraposición a la técnica mini-open ya que la realización de fasciectomía mediante mini-open está mucho más limitada por el pequeño acceso del campo quirúrgico. Hay pocos estudios que comparen la fasciectomía con la Cirugía Abierta, pero en los que existen, Winkes et al., no se han demostrado diferencias estadísticamente significativas entre la realización de fasciotomía o fasciectomía por lo que abogan por realizar la técnica menos agresiva (fasciotomía)^(22,47). En el estudio realizado en Reino Unido por Tzortziou et al. ⁽³⁹⁾ la realización de la fasciectomía como técnica de primera elección en la cirugía primaria sigue siendo objeto de controversia, mientras que en el caso de indicarse para el tratamiento de la recidiva tras la cirugía tiene un mayor respaldo entre los cirujanos británicos. La indicación de fasciectomía como cirugía primaria asociada a la fasciotomía parece presentar buenos resultados pero a falta de estudios comparativos no quedaría probado su superioridad⁽⁴⁷⁾.

Hay estudios que aunque reflejan las ventajas que tienen las técnicas mini-invasivas (mini-open o técnicas de descompresión endoscópica) no pueden presentar de forma estadísticamente significativa que sean superiores a la Cirugía Abierta ya que no hay estudios comparativos^(2,14,52).

Hemos encontrado al menos diez estudios (60 pacientes) realizados sobre una población similar a la nuestra (pilotos de moto o de motocross)^(11,14,21,22,35,45,58-61). Cuarenta y uno de estos pacientes fueron tratados por técnicas mini-invasivas^(14,21,22) con una tasa media de éxito del 82% y doce con cirugía abierta con una tasa de éxito del 95%. En algunos de los casos tratados con mini-open se añadieron fasciectomía según criterio de su cirujano, esto dificulta hacer la comparación entre mini-open y cirugía abierta ya que la realización de la fasciectomía adicional puede enmascarar los verdaderos resultados de la técnica. No encontramos resultados comparables y reproducibles entre ambas técnicas.

Hasta donde sabemos, este estudio es la mayor cohorte de pacientes con Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo debido a la práctica de motociclismo o motocross y además es la única serie de casos que compara dos técnicas distintas de fasciotomía. Los resultados indican que la Cirugía Abierta es tan eficaz en el tratamiento del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo en motoristas como la técnica mini-open, aunque esta última presenta una mayor tasa de complicaciones leves, sin diferencias estadísticamente significativas. Nuestros resultados son similares a los anteriormente citados y sin necesidad de realizar fasciectomías adicionales. Por lo que podemos afirmar que no es necesario realizar fasciectomía y limitarse a realizar una técnica menos agresiva (fasciotomía). Además, ninguno de nuestros pacientes, presentó

hernias musculares, que es una complicación típica de las fasciectomías. Esto hace que nuestra comparación entre Cirugía Abierta y mini-open sea más válida y reproducible, confirmando la utilidad de la técnica mini-invasiva⁽²²⁾.

Del 2000 al 2009, aquellos casos en los que el paciente necesitaba una recuperación más rápida debido a la competición, fueron tratados por mini-open. Pero lo cierto es que los resultados demuestran que el tiempo de recuperación, estar en plenas facultades para pilotar, en ambos grupos fue similar. Actualmente sigue en discusión la técnica quirúrgica óptima para el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo. Dado que ambos grupos presentan resultados similares y bajas tasas de complicaciones, uno se inclinaría a realizar la técnica menos invasiva. Pero para poder afirmar esto tenemos que confirmarlo mediante un estudio prospectivo comparativo.

Este estudio al ser un análisis retrospectivo presenta las limitaciones inherentes al mismo, la más importante de todas es la no aleatorización de los dos grupos a estudio. La elección del procedimiento quirúrgico basada en la decisión del cirujano tras evaluar al paciente es una limitación en la comparación de la eficacia de ambas técnicas. De todas formas, los dos grupos presentaban unas características muy similares que facilitaban la comparación. El poder realizar un estudio prospectivo aleatorizado comparativo permitiría compensar las limitaciones de nuestro estudio.

7.2. TREST COMO UNA NUEVA VARIABLE DIAGNÓSTICA PARA EL SÍNDROME COMPARTIMENTAL CRÓNICO DEL ANTEBRAZO: ANÁLISIS PROSPECTIVO DE COHORTES DE 124 ATLETAS.

El diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo es principalmente clínico aunque suele acompañarse de la medición de las presiones intracompartimentales^(22,26,30,35). Esto es debido a que hay algunos pacientes que aunque presentan los síntomas típicos, sensación de opresión, endurecimiento o de aumento de volumen en el antebrazo, calambres, parestesias distales, debilidad...) pero valores de PIC negativo y responden positivamente al tratamiento quirúrgico mediante fasciotomía. En los casos en los que la sospecha clínica va acompañada de unos registros de PIC elevados, el diagnóstico es sencillo^(22,30,35). Si por el contrario los síntomas del paciente son atípicos, el diagnóstico resulta más complejo. Y es en estos casos en los que realmente es útil tener en cuenta los criterios diagnósticos mediante la medición de PIC.

El registro dinámico de la PIC nos permite realizar un seguimiento objetivo de la variación de la misma antes, durante y después del test de stress^(17,36,37,56).

Actualmente el registro de la PIC es el método diagnóstico más objetivo utilizado en el estudio del Síndrome Compartimental Crónico^(22,26,30,31). Aunque aún no hay un claro consenso sobre cómo considerar una PIC elevada como criterio diagnóstico en el Síndrome Compartimental Crónico.

En los años 90 Pedowitz ⁽²⁶⁾ estableció para la extremidad inferior que la aparición de sintomatología acompañada de $P_{Rest} \geq 15$ mm de Hg, $P_{1min} \geq 30$

mm de Hg o $P_{5\text{min}} \geq 20\text{mm de Hg}$ eran criterios diagnósticos. Posteriormente se demostró que un límite superior de PIC normal de 35 mm de Hg mostraban una Sensibilidad del 77% y una Especificidad del 83% en el diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico en la pierna^(36,62,63). Desafortunadamente para el antebrazo no se presentan estos datos⁽²²⁾. Algunos autores sugieren como valores de corte de la PIC para el estudio de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo $\text{PIC} > 10\text{mm de Hg}$ en reposo y $\text{PIC} > 20\text{ mm de Hg}$ en los minutos 1 y 5 del test de stress, aunque hay bastantes variaciones sobre todo en los resultados de las presiones postesfuerzo^(13,35-37).

Hasta donde sabemos, este trabajo es el que presenta la mayor serie en el estudio del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo que afecta a atletas de alto nivel. Todos nuestros pacientes presentaban sintomatología compatible con el Síndrome Compartimental del Antebrazo, por lo que se realizaron el test de stress y los registros de la PIC. Hubo 35 casos (extremidades) que aunque presentaron unos registros de PIC que no cumplían con los criterios diagnósticos fueron intervenidos quirúrgicamente y mejoraron. Este grupo supone un 23% de nuestros pacientes (Falsos Negativos) que en el caso de haber seguido de forma estricta los criterios diagnósticos actuales basados en la PIC ($P_{\text{rest}} > 10\text{ mm de Hg}$, $P_{1\text{min}} > 20\text{mm de Hg}$, $P_{5\text{min}} > 20\text{mm de Hg}$) se habrían perdido⁽³⁵⁻³⁷⁾. Por lo tanto establecemos la premisa de que el 23% de los pacientes realmente tenían Síndrome Compartimental Crónico y mediante los test de medición de PIC no eran diagnosticados como tal, ya que los 35 antebrazos (FN) mejoraban tras la descompresión quirúrgica, Si nos basamos en los hallazgos del estudio, y teniendo en cuenta que el Gold standard del diagnóstico del Síndrome

Compartimental Crónico son los hallazgos clínicos^(3,35,64), hemos realizado los cálculos para establecer la exactitud de los actuales valores límite de la PIC (Sensibilidad, Especificidad, VPP, VPN). Por ejemplo, la $P_{rest} > 10$ mm de Hg, es un criterio diagnóstico, que usado de forma aislada, es pobre a la hora de detectar la patología. Teniendo en cuenta estos hallazgos y que en nuestro grupo poblacional la P_{rest} presentaba una amplia variabilidad (1-14 mm de Hg), estamos de acuerdo con otros autores en cuestionar la validez y fiabilidad de estos criterios diagnósticos^(3,22,65,66).

Según Ardolino et al.⁽⁶⁷⁾ las presiones intracompartimentales en reposo de individuos sanos son en el compartimento extensor de 0 a 25,2 mm de Hg y en el compartimento flexor de 0 a 21,4 mm de Hg (existiendo algunas diferencias entre sexos). Estos rangos de normalidad también se han descrito en otros múltiples estudios^(22,35,36,68-70). Con estos datos y basándonos en los resultados obtenidos en nuestro estudio, el límite normal de la PIC en reposo (P_{Rest}) >10 mm de Hg no es suficiente como parámetro de confirmación diagnóstica o screening del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.

En cuanto al valor umbral diagnóstico de la $P_{1min} >20$ mm de Hg, usado como único criterio diagnóstico, es el mejor de los tres criterios ($P_{rest} > 10$ mm de Hg, $P_{1min} > 20$ mm de Hg, $P_{5min} > 20$ mm de Hg). Presenta un valor de VPN moderado-bajo (23%) pero un VPP alto (96%) y la mayor Sensibilidad (60,6%) de los tres.

En el caso de la P_{5min} , aunque el VPP es de 100% el VPN es muy pobre (14,6%) y su sensibilidad muy baja 15,9% siendo mucho peor que los valores obtenidos por la P_{1min} . Esto es contrario a lo encontrado en múltiples

publicaciones que indican que cuanto mayor es el intervalo de tiempo tras cesar la actividad, más exactos son los valores de la PIC para el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico^(11,17,22,36,71).

Si tomamos uno de los tres valores diagnósticos estándar de PIC (P_{Rest} o P_{1min} o P_{5min}) como criterio diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo mejora levemente la precisión del diagnóstico, con un VPN de 31,4% y VPP de 97%, en comparación con el uso aislado de P_{1min} .

Con el desarrollo de nuestras curvas ROC, encontramos que los valores umbrales actuales para el diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo son subóptimos, dificultando el diagnóstico mediante la medición de la PIC. Basándonos en nuestros resultados, recomendamos bajar los límites de la PIC a $P_{rest} > 1,5$ mm de Hg, $P_{1min} > 13$ mm de Hg y $P_{5min} > 12,5$ mm de Hg. Los nuevos valores umbrales mejoran el rendimiento de las tres medidas de PIC individuales y combinadas (tomando una de las tres) (con un VPN 100% y un VPP de 87,4%)

Teniendo en cuenta nuestros resultados estamos en la misma línea de otros autores que consideran la necesidad de llevar a cabo investigaciones clínicas para establecer nuevos métodos para confirmar el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico^(3,11,24,36,69,70). Varios autores^(11,17,22,36) han propuesto como el criterio diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo más exacto la pendiente decreciente de la curva de registro de la PIC con el transcurso del tiempo. Schoeffl et al.⁽¹⁷⁾ describen como aquellos pacientes con presiones intracompartimentales del antebrazo más elevadas tras el ejercicio (>30 mm de Hg) son los que necesitan más tiempo para recuperarse y concluyen que son los pacientes con más riesgo de presentar

Síndrome Compartimental crónico del Antebrazo. Aquellos con PIC entre 15-30mm de Hg están en riesgo de padecerlo y los que superan PIC de 30 mm de Hg casi es diagnóstico de Síndrome Compartimental del Antebrazo. Conforme a lo publicado en la literatura,(11,17,56) el periodo de monitorización de la PIC debe ser mayor de 5 minutos tras la detención del ejercicio.

En nuestro estudio hemos definido un nuevo criterio diagnóstico, el T_{Rest} , que es el intervalo de tiempo transcurrido entre la P_{Max} y el regreso a la P_{Rest} (tiempo medido en segundos). Con este parámetro se consigue que cada paciente tenga su propia presión intracompartimental (PIC) como valor de referencia, eliminando así la variabilidad interpersonal que conlleva la aparición de factores de confusión^(12,23,72). Además el T_{Rest} permitiría también medir la pendiente decreciente de la PIC.

Con el primer valor propuesto como nivel de corte del T_{Rest} de 15 minutos, se obtuvieron un alto VPP (100%) y un aceptable VPN (70,4%). Pero al reducir el T_{Rest} a 14,5 minutos, siguiendo el valor óptimo estimado en la curva ROC, estos valores mejoraron pasando a un VPP de 99% y un VPN del 100%. Con estos resultados y una Sensibilidad del 100% y una Especificidad del 94,7%, se puede afirmar que el T_{Rest} es una herramienta diagnóstica excelente en pacientes con sospecha de Síndrome Compartimental Crónico mejorando los actuales valores diagnósticos de PIC. Aunque el tiempo de registro aumenta porque a los 5 min aún no habían normalizado las presiones intracompartimentales, teniendo que estar con el catéter pinchado durante 15 minutos, ningún paciente presentó complicaciones locales como hematoma o infección.

Este estudio pese a ser prospectivo y tener una amplia muestra de pacientes a estudio presenta algunas limitaciones. La más importante es que no tenemos registros de individuos sanos como casos controles. Por lo tanto, no tenemos valores de referencia de la T_{Rest} en población sana adulta. En nuestro grupo de Falsos Positivos hay solo 3 pacientes por lo que la comparación intergrupala no tendría suficiente poder estadístico. Es importante recordar que el uso de cualquier variable de PIC, incluyendo el T_{Rest} , es una herramienta complementaria no sustitutoria de la anamnesis y el examen físico en el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico.

Este trabajo supone una valiosa contribución al conocimiento actual sobre la patología del Síndrome Compartimental Crónico. Puede resultar de utilidad clínica en la práctica clínica habitual de cirujanos ortopédicos y médicos del deporte que atienden a pacientes en riesgo de sufrir Síndrome Compartimental Crónico.

La actualización de los valores límite de PIC a los que proponemos en el estudio puede resultar de tremenda utilidad en el diagnóstico de Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo. Dados los altos valores de Sensibilidad y Especificidad pueden ayudar a diagnosticar a pacientes que de otra manera se perderían. En casos dudosos el T_{Rest} puede resultar de gran ayuda para los especialistas que busquen acertar el diagnóstico para aplicar un tratamiento adecuado que implica una cirugía. Sobre todo, habría que potenciar la realización de más estudios para poder establecer el uso del

T_{Rest} y de los nuevos valores límites diagnósticos y ampliarlos a otros campos como el Síndrome Compartimental Crónico en extremidades inferiores.

8. CONCLUSIONES

8.1. HIPÓTESIS.

La descompresión quirúrgica en el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo en motoristas, mediante las dos técnicas estudiadas, mini-open y cirugía abierta, tiene unos resultados y complicaciones similares.

La nueva variable presentada, el T_{Rest} es más precisa que los límites de los valores actuales de la presión intracompartimental en el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.

8.2. OBJETIVOS.

1. No existen diferencias en cuanto a resultados y complicaciones en el tratamiento quirúrgico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo en motoristas profesionales entre la técnica abierta y técnica mini-open.
2. La variable T_{Rest} es una medida precisa para el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo.
3. Tras evaluar la precisión de las variables diagnósticas de presiones intracompartimentales utilizadas actualmente para el Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo, se demuestra que aunque son bastante precisas pueden ser optimizadas estableciendo nuevos límites diagnósticos.
4. Los límites diagnósticos óptimos para cada una de estas variables de presión intracompartimental en el diagnóstico del Síndrome Compartimental Crónico del Antebrazo son:
 - $P_{Rest} > 1,5$ mm de Hg
 - $P_{1min} > 13$ mm de Hg
 - $P_{5min} > 12,5$ mm de Hg
 - $T_{Rest} > 14,5$ min

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Beck JJ. Chronic exertional compartment syndrome : current management strategies. 2019;71–9.
2. Vajapey S, Miller TL. Evaluation, diagnosis, and treatment of chronic exertional compartment syndrome: a review of current literature. *Physician and Sportsmedicine*. 2017.
3. Wasilewski SA, Asdourian PL. Bilateral chronic exertional compartment syndromes of forearm in an adolescent athlete. *Am J Sports Med*. 1991;
4. MAVOR GE. The anterior tibial syndrome. *J Bone Joint Surg Br*. 1956;
5. Rydholm U, Werner CO, Ohlin P. Intracompartmental forearm pressure during rest and exercise. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;No. 175:213–5.
6. Winkes MB, Tejjink JA, Scheltinga MR. Motorcycle racer with unilateral forearm flexor and extensor chronic exertional compartment syndrome. *BMJ Case Rep*. 2016;2016:2–5.
7. Turnipseed WD. Diagnosis and management of chronic compartment syndrome. *Surgery*. 2002;132(4):613–9.
8. Styf J. Diagnosis of exercise-induced pain in the anterior aspect of the lower leg. *Am J Sports Med*. 1988;16(2):165–9.
9. García-Mata S. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm in adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2013;
10. Fronck J, Mubarak SJ, Hargens AR, Lee YF, Gershuni DH, Garfin SR, et al. Management of chronic exertional anterior compartment syndrome of the lower extremity. *Clin Orthop Relat Res*. 1987;
11. Goubier JN, Saillant G. Chronic compartment syndrome of the forearm in competitive motor cyclists: A report of two cases. *Br J Sports Med*. 2003;37(5):452–3.
12. Sabeti-Aschraf M, Serek M, Pachtner T, Auner K, MacHinek M, Geisler M, et al. The Enduro motorcyclist's wrist and other overuse injuries in competitive Enduro motorcyclists: A prospective study. *Scand J Med Sci Sport*. 2008;
13. Pedowitz RA, Toutoungi FM. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm flexor muscles. *J Hand Surg Am*. 1988;
14. Fontes D, Clement R, Roure P. Endoscopic aponevrotomy for chronic exertional compartment syndrome of the forearm: A series of 41 cases. *Chir Main*. 2003;
15. Harrison JWK, Thomas P, Aster A, Wilkes G, Hayton MJ. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm in elite rowers: A technique for mini-open fasciotomy and a report of six cases. *Hand*. 2013;
16. Piasecki DP, Meyer D, Bach BR. Exertional compartment syndrome of the forearm in an elite flatwater sprint kayaker. *Am J Sports Med*. 2008;
17. Schoeffl V, Klee S, Strecker W. Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in

- sport climbers. *Br J Sports Med.* 2004;
18. Micheli LJ, Solomon R, Solomon J, Plasschaert VFP, Mitchell R. Surgical treatment for chronic lower-leg compartment syndrome in young female athletes. *Am J Sports Med.* 1999;
 19. Van Der Zypen E. DAS KOMPARTMENTSYNDROME. EINE ANATOMISCHE STUDIE. *Helv Chir Acta.* 1984;
 20. Fröber R, Linss W. Anatomic bases of the forearm compartment syndrome. *Surg Radiol Anat.* 1994;
 21. Croutzet P, Chassat R, Masméjean EH. Mini-invasive surgery for chronic exertional compartment syndrome of the forearm: A new technique. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2009;
 22. Winkes MB, Luiten EJT, Van Zoest WJF, Sala HA, Hoogeveen AR, Scheltinga MR. Long-term results of surgical decompression of chronic exertional compartment syndrome of the forearm in motocross racers. *Am J Sports Med.* 2012;40(2):452–8.
 23. Roberts A, Franklyn-Miller A. The validity of the diagnostic criteria used in chronic exertional compartment syndrome: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports.* 2012.
 24. Styf J, Forssblad P, Lundborg G. Chronic compartment syndrome in the first dorsal interosseous muscle. *J Hand Surg Am.* 1987;
 25. Detmer DE, Sharpe K, Sufit RL, Girdley FM. Chronic compartment syndrome: Diagnosis, management, and outcomes. *Am J Sports Med.* 1985;
 26. Pedowitz RA, Hargens AR, Mubarak SJ, Gershuni DH. Modified criteria for the objective diagnosis of chronic compartment syndrome of the leg. *Am J Sports Med.* 1990;18(1):35–40.
 27. Gielen JL, Peersman B, Peersman G, Roelant E, Van Dyck P, Vanhoenacker F, et al. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm in motocross racers: Findings on MRI. *Skeletal Radiol.* 2009;
 28. Tominaga A, Shimada K, Temporin K, Noguchi R. Post-Exertional MRI Is Useful as a Tool for Diagnosis and Treatment Evaluation for Chronic Exertional Compartment Syndrome of Forearms. *J hand Surg Asian-Pacific Vol.* 2019;
 29. Ringler MD, Litwiller D V., Felmlee JP, Shahid KR, Finnoff JT, Carter RE, et al. MRI accurately detects chronic exertional compartment syndrome: A validation study. *Skeletal Radiol.* 2013;
 30. Moed BR, Thorderson PK. Measurement of intracompartmental pressure: A comparison of the slit catheter, side-ported needle, and simple needle. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 1993;
 31. Winkes MB, Hoogeveen AR, Houterman S, Giesberts A, Wijn PF, Scheltinga MR. Compartment pressure curves predict surgical outcome in chronic deep posterior compartment syndrome. *Am J Sports Med.* 2012;

32. Barnes MR. Accuracy in the measurement of compartment pressures: A comparison of three commonly used devices [11]. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 2006;88(5):1165.
33. Wilder RP, Sethi S. Overuse injuries: Tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. *Clin Sports Med.* 2004;23(1):55–81.
34. Boody AR, Wongworawat MD. Accuracy in the measurement of compartment pressures: A comparison of three commonly used devices. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 2005;
35. Zandi H, Bell S. Results of compartment decompression in chronic forearm compartment syndrome: six case presentations. *Br J Sports Med.* 2005;39(9):4–8.
36. Rydholm U, Werner CO, Ohlin P. Intracompartmental forearm pressure during rest and exercise. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;
37. Berlemann U, Al-Momani Z, Hertel R. Exercise-induced compartment syndrome in the flexor-pronator muscle group: A case report and pressure measurements in volunteers. *Am J Sports Med.* 1998;
38. Ardolino A, Zeineh N, O'Connor D. Experimental study into forearm compartmental pressures. *Br J Sports Med.* 2011;
39. Tzortziou V, Maffulli N, Padhiar N. Diagnosis and management of chronic exertional compartment syndrome (CECS) in the United Kingdom. *Clinical Journal of Sport Medicine.* 2006.
40. Zimmermann WO, Hutchinson MR, Van Den Berg R, Hoencamp R, Backx FJG, Bakker EWP. Conservative treatment of anterior chronic exertional compartment syndrome in the military, with a mid-term follow-up. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2019;5(1).
41. Rorabeck CH, Fowler PJ, Nott L. The results of fasciotomy in the management of chronic exertional compartment syndrome. *Am J Sports Med.* 1988;
42. de Fijter WM, Scheltinga MR, Luiting MG. Minimally Invasive Fasciotomy in Chronic Exertional Compartment Syndrome and Fascial Hernias of the Anterior Lower Leg: Short- and Long-Term Results. *Mil Med.* 2006;
43. FJ L, PJ C, III SJG, JW X. Endoscopically assisted fasciotomy: description of technique and in vitro assessment of lower-leg compartment decompression. *Am J Sports Med.* 2002;
44. Gelberman RH, Zakaib GS, Mubarak SJ, Hargens AR, Akeson WH. Decompression of forearm compartment syndromes. *Clin Orthop Relat Res.* 1978;
45. Allen MJ, Barnes MR. Chronic compartment syndrome of the flexor muscles in the forearm: A case report. *J Hand Surg Am.* 1989;
46. Miller EA, Cobb AL, Cobb TK. Endoscopic Fascia Release for Forearm Chronic Exertional Compartment Syndrome: Case Report and Surgical

- Technique. Hand. 2017;
47. Slimmon D, Bennell K, Brukner P, Crossley K, Bell SN. Long-term outcome of fasciotomy with partial fasciectomy for chronic exertional compartment syndrome of the lower leg. *Am J Sports Med.* 2002;
 48. Bell S. Repeat compartment decompression with partial fasciectomy. *J Bone Jt Surg - Ser B.* 1986;
 49. Zandi H, Bell S. Results of compartment decompression in chronic forearm compartment syndrome: six case presentations. *Br J Sports Med.* 2005;39(9):4–7.
 50. García-Mata S. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm in adolescents. *J Pediatr Orthop.* 2013;33(8):832–7.
 51. Fontes D, Clement R, Roure P. Endoscopic aponevrotomy for chronic exertional compartmental syndrome of the forearm: A series of 41 cases. *Chir Main.* 2003;22(4):186–96.
 52. Leversedge FJ, Casey PJ, Seiler JG, Xerogeanes JW. Endoscopically assisted fasciotomy: Description of technique and in vitro assessment of lower-leg compartment decompression. *Am J Sports Med.* 2002;30(2):272–8.
 53. Barrera-Ochoa S, Haddad S, Correa-Vázquez E, Segura JF, Gil E, Lluch A, et al. Surgical decompression of exertional compartment syndrome of the forearm in professional motorcycling racers: Comparative long-term results of wide-open versus mini-open fasciotomy. *Clin J Sport Med.* 2016;26(2):108–14.
 54. Aweid O, Del Buono A, Malliaras P, Iqbal H, Morrissey D, Maffulli N, et al. Systematic review and recommendations for intracompartmental pressure monitoring in diagnosing chronic exertional compartment syndrome of the leg. *Clinical Journal of Sport Medicine.* 2012.
 55. Due J, Nordstrand K. A simple technique for subcutaneous fasciotomy. *Acta Chir Scand.* 1987;
 56. McCarthy DM, Sotereanos DG, Towers JD, Britton CA, Herndon JH. A cadaveric and radiologic assessment of catheter placement for the measurement of forearm compartment pressures. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;
 57. Gelberman RH, Garfin SR, Hergenroeder PT, Mubarak SJ, Menon J. Compartment syndromes of the forearm: Diagnosis and treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;
 58. García Mata S, Hidalgo Ovejero A, Martínez Grande M. Bilateral, chronic exertional compartment syndrome of the forearm in two brothers. *Clin J Sport Med.* 1999;
 59. Jeschke J, Baur EM, Piza-Katzer H. Chronic compartment syndrome of the flexor muscles in the forearm due to motocross. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir.* 2006;

60. Brown JS, Wheeler PC, Boyd KT, Barnes MR, Allen MJ. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm: A case series of 12 patients treated with fasciotomy. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011;
61. Kouvalchouk JF, Watin Augouard L, Dufour O, Coudert X, Paszkowski A. [Chronic stress-related compartment syndrome of the forearm]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1993;
62. N. Z, A. A, D. O. Specialised chronic compartment measurement clinic in a district general hospital: is it worthwhile? *Ann R Coll Surg Engl.* 2009;
63. Styf J. Diagnosis of exercise-induced pain in the anterior aspect of the lower leg. *Am J Sports Med.* 1988;
64. Zeineh N, Ardolino A, O'Connor D. Specialised chronic compartment measurement clinic in a district general hospital: Is it worthwhile? *Ann R Coll Surg Engl.* 2009;91(6):505–8.
65. Styf J, Korner L, Suurkula M. Intramuscular pressure and muscle blood flow during exercise in chronic compartment syndrome. *J Bone Jt Surg - Ser B.* 1987;
66. Mannarino F, Sexson S. The significance of intracompartmental pressures in the diagnosis of chronic exertional compartment syndrome. *Orthopedics.* 1989;
67. Ardolino A, Zeineh N, O'Connor D. Experimental study of forearm compartmental pressures. *J Hand Surg Am.* 2010;
68. Kutz JE, Singer R, Lindsay M. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm: A case report. *J Hand Surg Am [Internet].* 1985;10(2):302–4. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0363-5023\(85\)80130-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0363-5023(85)80130-1)
69. Jeschke J, Baur EM, Piza-Katzer H. Chronisches kompartmentsyndrom der unterarmbeuger beim motocrossfahren. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir.* 2006;38(2):122–5.
70. Steinmann SP, Bishop AT. Chronic anconeus compartment syndrome: A case report. *J Hand Surg Am.* 2000;25(5):959–61.
71. Barrera-Ochoa S, Haddad S, Correa-Vázquez E, Font Segura J, Gil E, Lluch A, et al. Surgical Decompression of Exertional Compartment Syndrome of the Forearm in Professional Motorcycling Racers. *Clin J Sport Med.* 2016;26(2):108–14.
72. Hider SL, Hilton RC, Hutchinson C. Chronic exertional compartment syndrome as a cause of bilateral forearm pain. *Arthritis Rheum.* 2002;

10. ANEXOS

Surgical Decompression of Exertional Compartment Syndrome of the Forearm in Professional Motorcycling Racers: Comparative Long-term Results of Wide-Open Versus Mini-Open Fasciotomy

Sergi Barrera-Ochoa, MD, PhD,*† Sleiman Haddad, MD,* Eva Correa-Vázquez, MD,†
Jordi Font Segura, MD,† Emilia Gil, MD,§ Alex Lluch, MD,*‡ Francisco Soldado, MD, PhD,¶
and Xavier Mir-Bullo, MD, PhD*†

Objective: To compare the long-term results of 2 surgical techniques for forearm chronic exertional compartment syndrome (CECS) in professional motorcycling racers and to study a new diagnostic variable for CECS, T_{rest} .

Design: Retrospective case series. Level of evidence: 4.

Setting: University Hospital.

Participants: Thirty-four patients identified from a surgical database who had been operated on for upper-limb CECS.

Interventions: The purpose of the study was to report and compare the long-term results of 2 surgical techniques using fasciotomies [wide-open fasciotomy (WOF) versus mini-open fasciotomy (MOF)] for forearm CECS in professional motorcycling racers.

Main Outcome Measures: Patient characteristics: Pain [visual analog scale (100-point scale)] and functional scores (Quick-DASH) at 3 months after surgery and at regular intervals during clinical visits. Surgical complications: Level of satisfaction with the outcome. Time to return to full activity after surgery.

Results: Thirty-four racers, 22 with bilateral involvement ($n = 56$), were diagnosed with CECS and were treated either with WOF ($n = 24$) or MOF ($n = 32$) depending on the surgeon's indication. Mini-open fasciotomy was usually selected in cases who need a faster recovery because of competition schedule. Visual analog scale and Quick-DASH improved 63 and 73 points, respectively ($P < 0.001$) with no significant difference between both surgical methods ($P = 0.512$). Both WOF and MOF were equally effective. Ninety-four percent of the patients were

satisfied after 45.35 ± 12 months of follow-up, with no significant difference between surgical groups ($P = 0.642$). The time to return to full activity was 2.7 ± 1 week, also with no significant difference ($P = 0.544$). The time between when the stress testing was halted for pain and the return to baseline pressure (T_{rest}) was superior to 15 minutes (defined as the mean minus 2 SDs) in 100% patients.

Conclusions: Surgical open or mini-invasive fasciotomy is equally successful in motorcycling racers with forearm CECS. Although the sensitivity of T_{rest} is quite high in our series, further studies are still needed to validate its diagnostic value.

Clinical Relevance: Surgical open or mini-invasive fasciotomy is equally successful in motorcycling racers with forearm CECS.

Key Words: chronic exertional compartment syndrome, fasciotomy, open fasciotomy, mini-invasive fasciotomy, forearm, motorcycling

(*Clin J Sport Med* 2015;0:1–7)

INTRODUCTION

Chronic exertional compartment syndrome (CECS) is a well-known entity in sports medicine. Chronic exertional compartment syndrome is a reversible form of abnormally increased intramuscular pressure, which occurs during exertion.

Clinically, CECS represents a specific entity with progressive pain during exercise, which often slowly worsens over a period of months. Intracompartmental hydrostatic pressure testing before and after exercise, as recorded by dynamic pressure measurements, is considered the gold standard for confirmation of CECS.¹ Nowadays, a consensus exists around the diagnostic variables defined by Pedowitz, which are resting pressure > 15 mm Hg and/or 30 mm Hg at 1 minute after exercise and/or 20 mm Hg 5 minutes after exercise. Some authors however defend the existence of a borderline subgroup of patients, with suggestive clinical features for CECS, who do not meet any of the Pedowitz diagnostic criteria and who benefit from surgical decompression. These can be classified as false negatives based on the Pedowitz criteria. In this subgroup, these authors have proposed to extend the measurement time above 5 minutes.^{2–5}

Chronic exertional compartment syndrome of the forearm has been identified in specific athletic population,

Submitted for publication August 18, 2013; accepted November 9, 2014.
From the *Orthopaedic and Trauma Department, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, Spain; †Hand and Upper Extremity Unit, ICATME—Hospital Universitari Quirón Dexeus, Barcelona, Spain; ‡Hand and Upper Extremity Unit, Institut Kaplan, Barcelona, Spain; §ICATME—Institut Català de Traumatologia i Medicina de l'Esport, Institut Universitari Dexeus, Barcelona, Spain; and ¶Orthopaedic Surgery Department, Pediatric Upper Extremity Surgery and Microsurgery, Hospital Sant Joan De Deu, Barcelona, Spain.

The authors report no conflicts of interest.
Corresponding Author: Sergi Barrera-Ochoa, MD, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Passeig Vall d'Hebron 119-129, 08035 Barcelona, Spain (Dr.Barreraochoa@gmail.com).

Copyright © 2015 Wolters Kluwer Health, Inc. All rights reserved.

namely, the motorcycling racers.^{5–11} If nonoperative treatment fails, open or mini-invasive fasciotomy or partial fasciectomy may prove successful.^{5,12–15} Nowadays, the choice of performing an open fasciectomy versus mini-invasive fasciectomy remains controversial. The advantage of open fasciectomy is the full visualization of the compartment, which allows full extirpation of fascia to decrease scarring and recurrence, leading to outstanding success rates, nearing 100%.^{5,16} Wide-open fasciotomy (WOF) is the gold standard in treating CECS. However, as this disorder affects a highly competitive professional athlete subgroup such as motorcycling racers, some authors defend lesser invasive techniques that would offer the added advantage of reducing the time off the racing tracks, without compromising the already excellent results. Nevertheless, mini-open fasciotomy (MOF), necessitating only 2 small incisions, has fomented the concerns about an increased complication rate and symptom recurrence in some series.^{12,14} Incomplete fascial release or extirpation has traditionally been incriminated in failed cases. Also, some series reported nerve injury and muscle hemiation associated with the mini-invasive technique.¹⁷ To date, the only comparative study for forearm CECS contrasts MOF to fasciectomy surgery.¹²

Objective

We aimed to analyze and compare both complications and long-term results of motorcycling racers with CECS undergoing MOF versus WOF.

Finally, we also introduced and studied a new diagnostic variable for CECS, T_{Rest} , calculated as the time between peak exertional intracompartmental pressure (P_{Max}) and return to baseline/resting pressure (P_{Rest}).

Hypothesis

It was hypothesized that MOF would be comparable to WOF in regard to successful surgical outcomes and associated complication occurrences for the treatment of CECS of the forearm in motorcycling racers.

MATERIALS AND METHODS

Patients

Local ethics committee approval was obtained. No external funding was received for this study. Patients with CECS were identified using the surgical database of a single hand surgeon with more than 20 years of experience in professional motorcycling racing pathological conditions. We could identify 96 patients operated for upper-limb CECS. Preoperative and postoperative details were obtained retrospectively from case notes.

Only patients meeting all of the following inclusion criteria were retained:

1. Professional or high-intensity motorcycling and motocross racers (>10 hours per week of training).
2. Clinical symptoms compatible of CECS for at least 6 months (pain, a feeling of tightness, hardness, or a “pumped up” sensation in the forearm, cramping, swelling, paresthesiae of the fingers, weakness, and a feeling of loss of control of the hand).

3. Documented positive compartment hydrostatic pressure measurement using the using the diagnosis criteria^{5,11,18,19}: a rest pressure of more than 15 mm Hg and/or 30 mm Hg at 1 minute after exercise and/or 20 mm Hg 5 minutes after exercise.
4. Surgery involving fasciotomy of all forearm compartments.
5. Minimum follow-up of 3 years.

We excluded patients with nonprimary etiologies that might cause CECS such as fractures, burns, or previous surgical interventions in the affected upper extremity. Patients with missing data were not included.

Intracompartmental Pressure Measuring

The diagnosis of compartment syndrome of the forearm muscles was confirmed by the measurement of the deep forearm flexor compartmental dynamic pressure by 1 experienced orthopedic surgeon in all cases, minimizing the interobserver bias. Under local anesthetic, a slit catheter needle (indwelling slit catheter set; Stryker Instruments, Kalamazoo, Michigan) was introduced into the superficial and deep compartments,²⁰ and connected to a pressure transducer. The compartmental pressure values were registered using a pressure monitor device (pressure monitor device 783547; Hewlett-Packard, Palo Alto, California). Stress testing was done using a finger flexion–extension exercise tool bilaterally until exhaustion or impeding pain (Handgrip; Iron-Mind, Ann Arbor, Michigan).

The protocol used to obtain compartmental dynamic pressure measurements (before and during the stress testing) was P_{Rest} (resting baseline mean pressure values before exercise), P_{Pain} (the peak pressure at which the exercise was halted for pain), P_{1min} (pressure recorded at 1 minute of stopping the exercise), P_{5min} (pressure recorded at 5 minutes of stopping the exercise), and T_{Rest} (time between the end point pressure measurement and the return to baseline pressure).

Surgery

If signs and symptoms were suggestive for the presence of CECS, patients were informed on therapeutic options including nonoperative measures and surgical treatment. They all consented orally and in writing to a surgical procedure. The same surgeon performed all interventions. All patients had fasciotomy of all forearm compartments (superficial and deep volar forearm compartment and dorsal forearm compartment). Depending on the surgeon's indication, our attending surgeon performed either a WOF or an MOF. The surgical procedure type was selected based on the recovery time. Mini-open fasciotomy was usually selected in cases who need a faster recovery because of competition schedule. No randomization has been done as this study was a retrospective analysis. He used the technique described by Henry and cited by Allen and Barnes for open volar forearm fasciotomy⁷ (Figure 1). The extensor compartment is decompressed by a longitudinal incision along the extensor aspect of the forearm, starting approximately 7 cm distal to the lateral epicondyle. We did not excise any part of fascia in neither surgical act. Mini-open fasciotomy procedure

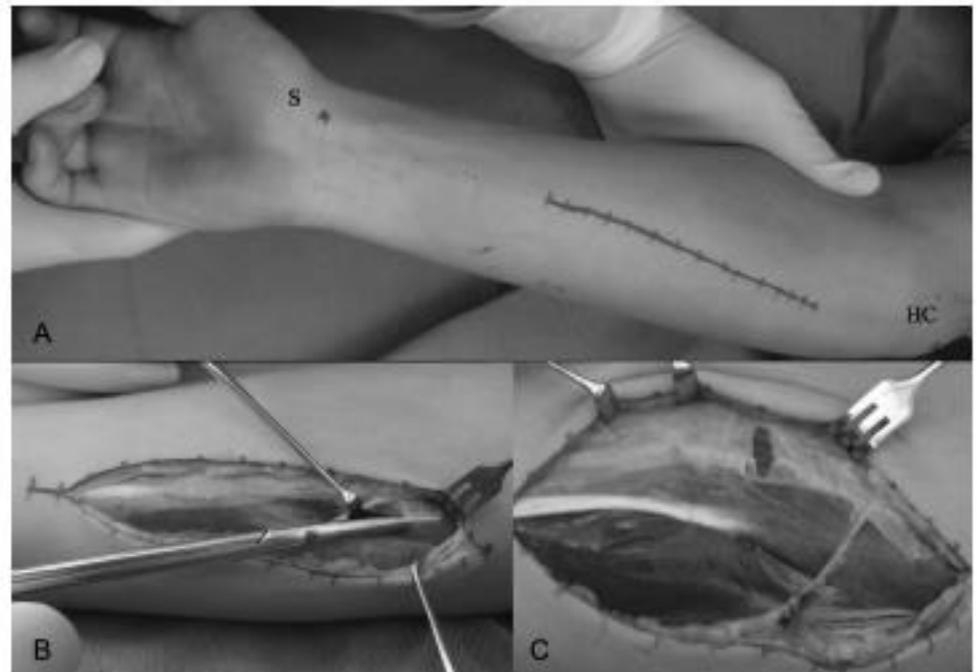


FIGURE 1. A, Anterior approach between the scaphoid and the medial humeral condyle. B, Fasciotomy of the superficial volar compartment. C, The unloading transverse fasciotomy lines.

consisted of an MOF with 2 approaches: volar for the superficial and deep compartments and dorsal for the dorsal and lateral compartments.^{14,20,21} The surface landmark for the volar approach was the line between the medial epicondyle and the intersection of the palmaris longus with the proximal flexion crease of the wrist.¹² Two skin incisions, 3 cm each, were performed along this line, one 7 cm distal to the epicondyle and the other 7 cm distal to the first incision. An incision was made in the fascia and blunt dissection was conducted above and below this line, as described by Due and Nordstrand.²² Then, to release the deep volar compartment, the dissection through these 2 skin incisions went deeper between the flexor carpi ulnaris and the flexor digitorum superficialis, aiming for the deep volar fascia overlying the flexor digitorum profundus. The deep volar fascia was incised with a regular knife in its full length. The surface landmark of the dorsal approach was the line between the lateral epicondyle and Lister's tuberosity. Two skin incisions, 3 cm each, were performed along this line, one 7 cm distal to the epicondyle and the other 7 cm distal to the first incision (Figure 2). We could easily identify the fascia between the dorsal and the lateral

compartments, and they were released sequentially with the same technique as the volar approach.

Postoperatively, a compressive dressing was applied for 2-3 days. Patients were encouraged to do range-of-motion and weight-bearing exercises immediately thereafter to prevent adhesions and scarring. Both groups (WOF and MOF) received the same postoperative care.

Variables

The following patients' characteristics were noted: age, sex, height, weight, body mass index, dominant hand, and profession. Visual analog scale (VAS) (100-point scale) and functional scores (Quick-DASH) were recorded before surgery, at 3 months after surgery, and at regular intervals during clinical visits. The VAS levels were categorized as severe (>70 points), moderate (31-70 points), mild (10-30), and no pain (<10 points). Surgical complications were classified as major (neurovascular or symptom recurrence) or minor complications (such as hematoma, skin problems, superficial infection, or muscle herniation). The level of satisfaction with



FIGURE 2. A, Intraoperative image of a fasciotomy through a minimally sized incision. B, Dorsal approach of MOF.

the outcome was evaluated through a 5-point scale. The time to return to full activity after surgery was also recorded.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using SPSS Statistics, Windows version 17.0.1 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). The VAS and Quick-DASH scores were analyzed for skewness and kurtosis, and a Wilcoxon signed-rank test was used to compare the median preoperative and postoperative scores. A Mann-Whitney *U* test was used to compare VAS and Quick-DASH reductions in both surgical procedures. Correlations between variables were contrasted using the Pearson coefficient. Data were expressed as mean \pm SD if normally distributed or as median and range. For all tests, $P < 0.05$ was considered significant.

RESULTS

According to the mentioned inclusion criteria, we finally selected 34 racers with CECS operated between 1 January, 2000, and 31 December, 2009. Two patients with missing data were not included. Between 2000 and 2009, 16 cases (47%) were treated by WOF and 18 cases (53%) were treated by MOF. Demographic and clinical data of these 34 are listed in Table. Patients were all men participating in motocross/speed competitions of various levels. A total of 25 patients were right handed, 7 were left handed, and 2 were ambidextrous.

Twenty-two patients had bilateral arm involvement and 12 did not, accounting for a total of 56 surgically intervened CECS. Patients suffering from bilateral CECS had the same type of surgery performed bilaterally during the same surgical act. We had 24 cases of WOF (16 patients in total of which 9 had bilateral involvement). The remaining 32 cases were treated with MOF (18 patients of which 13 had bilateral involvement).

The history of patients was characterized by pain as the principal presenting symptom. The symptoms lasted for

TABLE. Characteristics of Patients Operated for Forearm CECS

	Total	WOF Group	MOF Group
Sex, male/female, n	34/0	16/0	18/0
Follow-up, mean \pm SD, mo	45 \pm 8	46 \pm 8	43 \pm 5
Age, mean \pm SD, yrs	24 \pm 6	24 \pm 6	23 \pm 6
Height, mean \pm SD, cm	168 \pm 9	170 \pm 9	167 \pm 9
Weight, mean \pm SD, kg	55 \pm 8	56 \pm 7	55 \pm 8
Body mass index, mean \pm SD	20 \pm 2	20 \pm 2	20 \pm 2
Level of motocross, n	34	16	18
Speed Racer Int	11	3	6
Speed Racer Nat	15	6	7
Motocross Int	8	3	4
Motocross Nat	12	4	1
Compartment affected, n	56	24	32
Volar	18	6	12
Dorsal	0	0	0
Volar + dorsal	38	18	20

a mean of 10.3 ± 4.4 months (6-24 months). Pain began after a mean of 6.8 ± 3.1 minutes (range, 2-13 minutes) of motor-cycle training or competition time.

Compartmental Pressures

Intracompartmental pressure measurements were performed in all 34 patients (Figure 3).

1. P_{Rest} (resting baseline mean pressure values before exercise) were 7.10 ± 3.98 mm Hg (range, 1-14 mm Hg). None of the 34 riders fit the Pedowitz diagnostic criteria of resting pressure (resting pressure of more than 15 mm Hg) (sensitivity of 0%).
2. P_{Pain} (peak pressure during the exercise test provocation). The exercise provocation resulted in a more than 4-fold rise in the baseline pressure, up to 32.35 ± 3.79 mm Hg (range, 25-41 mm Hg). All patients demonstrated this increase.
3. P_{1mn} (pressure recorded at 1 minute of stopping the exercise) declined to 27.15 ± 3.25 mm Hg (range, 22-33 mm Hg). Only 2 patients met the Pedowitz criteria of "30 mm Hg at 1 minute after exercise" (sensitivity of 5.9%).
4. P_{5mn} (pressure recorded at 5 minutes of stopping the exercise). At the 5-minute time interval, the pressures declined to 21.35 ± 3.58 mm Hg (range, 18-24 mm Hg). Thirty-three patients met the Pedowitz criteria of "20 mm Hg at 5 minutes after exercise" (sensitivity of 97%).
5. T_{Res} (time between the end point pressure measurement and the return to baseline pressure) was 19.77 ± 3.06 minutes (range, 16-26 minutes).

Functional Results After Surgery

The average time to return full riding capacities was 2.7 ± 1 week (range, 0-4 weeks): WOF 2.7 ± 0.86 (range, 0-4 weeks) versus MOF 2.8 ± 0.80 (range, 1-4 weeks) (Figure 4). No significant difference was found between MOF and WOF in this respect ($P = 0.544$).

Pain scores are reported in Figure 4. Overall, mean VAS scores decreased from 79 (range, 45-100) to 16 (range, 3-40) ($P < 0.001$). In the WOF group, mean scores improved from 78 (range, 50-100) to 15 (range, 3-35) ($P = 0.001$) and in

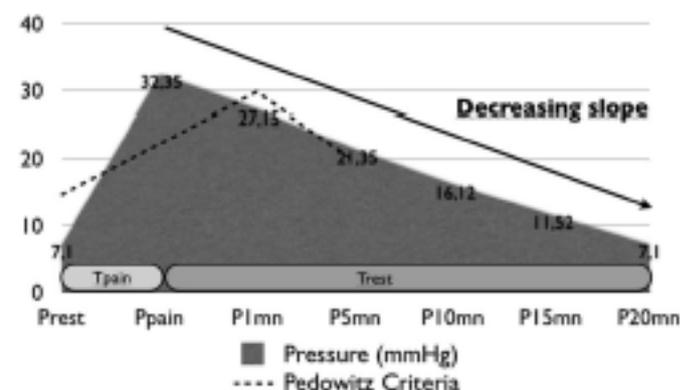


FIGURE 3. Intracompartmental pressure measure means of patients operated for forearm chronic exertional compartment syndrome.

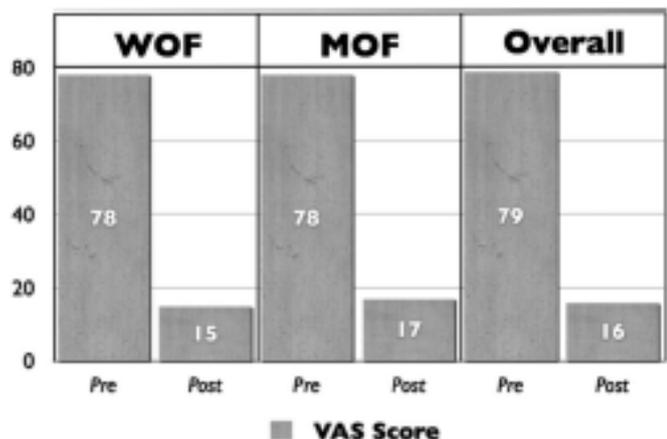


FIGURE 4. VAS score before and after surgery (WOF, MOF, and overall).

the MOF group from 78 (range, 45-97) to 17 (range, 5-40) (n = 18; *P* = 0.028).

Overall mean Quick-DASH scores decreased from 85 (range, 70-100) to 12 (range, 0-25) (*P* < 0.001) (Figure 5). In the WOF group, mean scores improved from 84 (range, 71-100) to 15 (range, 0-25) (*P* = 0.001) and in the MOF group from 86 (range, 69-100) to 12 (range, 0-20) (n = 18; *P* = 0.001).

Neither patient in the WOF group suffered major complications. One patient in the MOF had a recurrence of his symptoms. Four patients (25%) in the WOF group presented minor complications (2 hematoma, 1 cutaneous problem, 1 superficial infection, and 0 muscle hemiation). Seven patients (38.9%) in the MOF group presented minor complications (4 hematoma, 1 skin problem, 2 superficial infections, and 0 muscle hemiation).

There was no significant difference between MOF and WOF in terms of time to return to full riding capacities (*P* = 0.54), preoperative VAS and Quick-DASH (*P* = 0.83 and 0.91), postoperative VAS and Quick-DASH (*P* = 0.10 and 0.67), reduction in VAS and Quick-DASH (*P* = 0.94

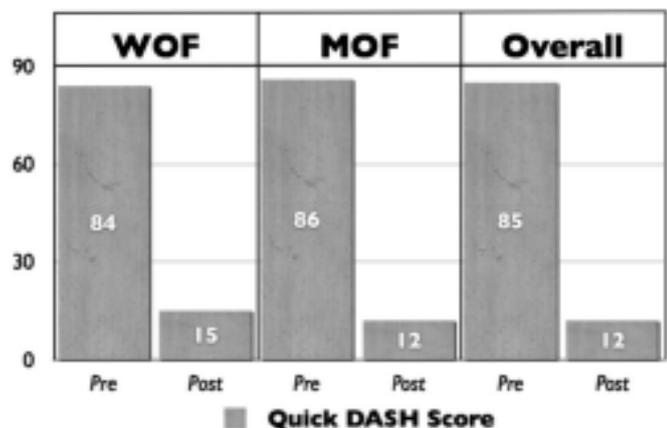


FIGURE 5. Quick-DASH score before and after surgery (WOF, MOF, and overall).

and 0.83), and clinical minor or major complications (*P* = 0.66 and 0.10).

Ninety-four percent (32/34) of the patients were very satisfied with the outcome with both techniques, whereas 2 were fairly satisfied (MOF, n = 1; WOF, n = 1) after the 3-year follow-up. One rider did not benefit from surgery (MOF) with symptoms recurring 2 months after surgery. He was successfully treated with WOF and was not included in the WOF group.

DISCUSSION

Different surgical techniques have been devised to treat CECS. The current gold standard according to experts' opinion and small series is WOF, with success rate neighboring 100% and a very low index of complications.^{5,12-15} Some authors have associated facial extirpation to the open fasciotomy technique as to decrease recurrence rates and scar formation.^{23,24} This could be boosting the real results of WOF and could give an edge to this technique when compared with the MOF where fasciectomy is very much limited by the small surgical field. Direct comparison between fasciectomy procedures and WOF is poorly justified. The choice of performing an additional partial fasciectomy as a first-line procedure also remains controversial.²⁵ Although a pilot study suggests that this technique may be effective,²³ not a single study has comprehensively evaluated the effectiveness of this technique or compared its success in different forearm compartments. Other authors, such as Winkes et al,⁵ indicate that partial fasciectomy and pure fasciotomy are both equally successful on the long term. Overall, ten studies (with 60 patients overall) reported results in the motorcycling/motocross racers population.^{5,7-12,14,16,26} Forty-one of these patients were treated using MOF^{5,12,14} with a mean success rate of 83% and 12 with WOF with a success rate of 95%. However, some of the MOF patients had additional fasciectomies to the standard MOF, as per the surgeon's preference.¹¹ This would make any direct comparison between MOF and WOF difficult, as the added fasciectomy can be enhancing WOF results. Therefore, comparable and reproducible results between both techniques could not be found.

To our knowledge, this study is the largest cohort of patients with forearm CECS secondary to motorcycling/motocross riding. Also, it is the sole series comparing 2 pure fasciotomy techniques. Our results indicate that WOF or MOF of the forearm flexor compartment is equally successful for the treatment of forearm CECS in motorcycling racers, although MOF had a higher rate of minor complications, with no statistical significance whatsoever. Our results were comparable to those previously reported and that without the added fasciectomy. Attending to these results, we can affirm that there is no need to perform any fasciectomy. Furthermore, in our series, none of the operated patients suffered from muscle hemiation, a typical complication often associated with fasciectomies. This would render our comparison between MOF and WOF even more reproducible and valid, confirming usefulness of the mini-invasive procedure.⁵ From 2000 to 2009, the cases who need a faster recovery because of competition schedule were treated by MOF.

However, our results show that WOF or MOF have the same average time to return full riding capacities. Nowadays, the optimal surgical procedure for forearm CECS is still under debate. As both groups reported similar success rates, with a low index of complications, one may lean to perform the least invasive technique. Still, the results of our study should be confirmed through a prospective study design.

Chronic exertional compartment syndrome is a challenging entity to objectively prove and should be included in the differential diagnosis of any athlete patient presenting forearm pain. During our revision, we found 16 excluded patients (22 cases) presenting symptoms compatible with CECS and that would have been missed if strictly following the Pedowitz diagnostic criteria. They can be classified as false negatives based on the Pedowitz criteria. They were proposed surgery based on the clinical findings and were largely benefited from the decompression. Based on the findings of our patients' population (56 cases were true positives and 22 cases were false negatives), we could say that the diagnostic variables proposed by Pedowitz have low sensitivity in confirming CECS in the forearm [sensitivity of the $P_{BI} = 0\%$ (0/78), sensitivity of $P_{1min} = 1.3\%$ (1/78), sensitivity of $P_{5min} = 56.4\%$ (44/78)]. This led us to join other authors in questioning the Pedowitz criteria's sensitivity, especially that these were highly variable as seen in our population. In false-negative subgroup, some authors have proposed to extend the measurement time above 5 minutes.²⁻⁵ Our observations, along with other reports, stress the need to find a new and more sensitive single variable to diagnose CECS. Instead, clinical history and examination are paramount in the diagnosis of CECS with the highest sensitivity, and it is the best predictor for successful surgical outcome.^{11,18}

Our proposed $T_{R_{out}}$ eliminates the interpersonal variability in baseline pressure (the least reliable diagnostic variable), using the person's own baseline pressure as his own reference line. Also, and as seen, the longer the time interval after ceasing the activity, the more reliable the pressure reading is at diagnosing CECS (P_{5min} is more sensitive than P_{1min}). This has pushed some authors^{9,19,27} to consider that the most important criterion for diagnostic forearm CECS may be the slope of decreasing pressures over time. This slope however might prove challenging to calculate. We consider that the dynamic and continuous pressure measurement during and after the stress test provided us with a potentially more reliable and more readily available variable: Time between end point pressure and return to baseline pressure ($T_{R_{out}}$). We could as such measure the slope of decreasing pressures over time. Mean values of this variable in this study population were 19.77 ± 3.06 minutes (range, 15-26 minutes). If we consider the lower cutoff limit of $T_{R_{out}}$ being 2 SDs below the mean value, the sensitivity of $T_{R_{out}} > 15$ minutes is 95%. Although the procedure to obtain the variable $T_{R_{out}}$ increased the time using a slit catheter, we did not have any complications such as hematoma and infection. Nevertheless, should be noted as limitations to recommend the use of the $T_{R_{out}}$ variable that nowadays the highest diagnostic sensitivity in determining a successful surgical outcome is still a well-defined clinical presentation.

This article being a retrospective analysis of a surgical database suffers from inherent limitations, the most important of which is that no randomization has been done between the 2 surgical populations. Also, the choice of type of surgery to be performed depended on the surgeon's preference after consulting with the patient; therefore, this is a limitation in making procedure efficacy comparison. Nevertheless, both MOF and WOF groups were comparable in terms of patients' characteristics.

REFERENCES

- van den Brand JG, Nelson T, Verleisdonk EJ, et al. The diagnostic value of intracompartmental pressure measurement, magnetic resonance imaging, and near-infrared spectroscopy in chronic exertional compartment syndrome: a prospective study in 50 patients. *Am J Sports Med*. 2005;33:699-704.
- Wasilewski SA, Asdourian PL. Bilateral chronic exertional compartment syndromes of forearm in an adolescent athlete. Case report and review of literature. *Am J Sports Med*. 1991;19:665-667.
- Mannarino F, Sexson S. The significance of intracompartmental pressures in the diagnosis of chronic exertional compartment syndrome. *Orthopedics*. 1989;12:1415-1418.
- Styf J, Forsblad P, Lundborg G. Chronic compartment syndrome in the first dorsal interosseous muscle. *J Hand Surg Am*. 1987;12:757-762.
- Winkles MB, Luiten EJ, van Zoest WJ, et al. Long-term results of surgical decompression of chronic exertional compartment syndrome of the forearm in motocross racers. *Am J Sports Med*. 2012;40:452-458.
- Detmer DE, Sharpe K, Sufit RL, et al. Chronic compartment syndrome: diagnosis, management, and outcomes. *Am J Sports Med*. 1985;13:162-170.
- Allen MJ, Barnes MR. Chronic compartment syndrome of the flexor muscles in the forearm: a case report. *J Hand Surg Br*. 1989;14:47-48.
- Garcia Mata S, Hidalgo Ovejero A, Martinez Grande M. Bilateral, chronic exertional compartment syndrome of the forearm in two brothers. *Clin J Sport Med*. 1999;9:91-99.
- Goubier JN, Saillant G. Chronic compartment syndrome of the forearm in competitive motor cyclists: a report of two cases. *Br J Sports Med*. 2003;37:452-453.
- Jeschke J, Baur EM, Piza-Katzer H. Chronic compartment syndrome of the flexor muscles in the forearm due to motocross. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2006;38:122-125.
- Zandi H, Bell S. Results of compartment decompression in chronic forearm compartment syndrome: six case presentations. *Br J Sports Med*. 2005;39:35.
- Fontes D, Clement R, Rouze P. Endoscopic aponeurotomy for chronic exertional compartmental syndrome of the forearm: report of 41 cases. *Chir main*. 2003;22:186-196.
- Rorabeck CH, Fowler PJ, Nott L. The results of fasciotomy in the management of chronic exertional compartment syndrome. *Am J Sports Med*. 1988;16:224-227.
- Crouzet P, Chassat R, Mamejean EH. Mini-invasive surgery for chronic exertional compartment syndrome of the forearm: a new technique. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2009;13:137-140.
- de Fijter WM, Scheltinga MR, Laiting MG. Minimally invasive fasciotomy in chronic exertional compartment syndrome and fascial hernias of the anterior lower leg: short- and long-term results. *Mil Med*. 2006;171:399-403.
- Brown JS, Wheeler PC, Boyd KT, et al. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm: a case series of 12 patients treated with fasciotomy. *J Hand Surg Eur Vol*. 2011;36:413-419.
- Liversidge PJ, Casey PJ, Seiler JG III, et al. Endoscopically assisted fasciotomy: description of technique and in vitro assessment of lower-leg compartment decompression. *Am J Sports Med*. 2002;30:272-278.
- Pedowitz RA, Hargens AR, Mubank SJ, et al. Modified criteria for the objective diagnosis of chronic compartment syndrome of the leg. *Am J Sports Med*. 1990;18:35-40.
- Schoeffl V, Klee S, Streckler W. Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in sport climbers. *Br J Sports Med*. 2004;38:422-425.

Copyright © 2015 Wolters Kluwer Health, Inc. All rights reserved.

20. Gelberman RH, Garfin SR, Hergenroeder PT, et al. Compartment syndromes of the forearm: diagnosis and treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;161:252-261.
21. Rowland S. Fasciotomy, treatment of compartment syndrome. In: Green DP, ed. *Operative Hand Surgery*. 3rd sub ed. New York, NY: Churchill Livingstone; 1993:661-694.
22. Due J Jr, Nordstrand K. A simple technique for subcutaneous fasciotomy. *Acta Chir Scand.* 1987;153:521-522.
23. Slimmon D, Bennell K, Brukner P, et al. Long-term outcome of fasciotomy with partial fasciectomy for chronic exertional compartment syndrome of the lower leg. *Am J Sports Med.* 2002;30:581-588.
24. Bell S. Repeat compartment decompression with partial fasciectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1986;68:815-817.
25. Tzortziou V, Maffulli N, Padhiar N. Diagnosis and management of chronic exertional compartment syndrome (CECS) in the United Kingdom. *Clin J Sport Med.* 2006;16:209-213.
26. Kouvalchouk JF, Watin Augouard I, Dufour O, et al. Chronic stress-related compartment syndrome of the forearm [in French]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1993;79:351-356.
27. Rydholm U, Weimer CO, Ohlin P. Intracompartmental forearm pressure during rest and exercise. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;175:213-215.

T_{Rest} as a New Diagnostic Variable for Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Forearm: A Prospective Cohort Analysis of 124 Athletes

Sergi Barrera-Ochoa, MD, PhD,*†‡ Eva Correa-Vazquez, MD,†‡ Irene Gallardo-Calero, MD,†§ Seiman Haddad, MD,† Andrea Sallent, MD,†§ Francisco Soldado, MD, PhD,*† David Campillo-Febio, MD,† and Xavier Mir-Bullo, MD, PhD*††

Abstract

Objectives: To measure the accuracy of currently used intracompartmental pressure (ICP) diagnostic variables for forearm chronic exertional compartment syndrome (CECS) and a new ICP diagnostic variable, T_{Rest} , the recovery time between the maximum ICP and return to resting pressure. **Design:** Retrospective cohort. Level evidence IV. **Setting:** University-affiliated tertiary hospital. **Participants:** Patients with suspected forearm CECS, 1990 to 2014. **Interventions:** All patients underwent physical examination and exertional stress test, preceded and followed by measuring ICP in all suspicious CECS. Surgery was proposed when indicated. Minimum follow-up was 18 months. Final diagnosis was established at the final follow-up. **Main Outcome Measures:** Intracompartmental pressure measurements: P_{Rest} (baseline/pre-exercise pressure), $P_{1 \text{ min}}$ (pressure 1 minute after exercise), $P_{5 \text{ min}}$ (pressure 5 minutes after exercise), and T_{Rest} . Patients rated their pain and completed Quick-DASH in all follow-ups. Patients ultimately were classified into 4 groups (true positives, true negatives, false positives, and false negatives) for each ICP measurement relative to the final diagnosis. Sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) were calculated. **Results:** A total of 124 male athletes were diagnosed with CECS, 27 bilateral. Accuracy with standard ICP diagnostic variables was lower (sensitivity 73.5%, specificity 84.2%, positive predictive value 97%, and negative predictive value 31.4%) than with T_{Rest} (SN 100%, SP 94.7%, PPV 99.3%, and NPV 100%); 23% of patients would have been missed following the standard ICP diagnostic criteria. **Conclusions:** Diagnostic thresholds for current standard ICP measurements should be lowered. T_{Rest} , a new measure, might be more accurate. **Key Words:** chronic exertional compartment syndrome, diagnostic, intracompartmental pressure, T_{Rest} , forearm, sports

(*Clin J Sport Med* 2017;0:1–8)

INTRODUCTION

Chronic exertional compartment syndrome (CECS) is an overuse condition that commonly affects athletes actively participating in sports involving repetitive stress to the muscular compartments. The hallmark of CECS is increased intracompartmental pressure (ICP) due to some inadequacy of muscle compartment fascial volume or compliance.^{1–3}

It is known that the diagnosis of CECS is primarily clinical, subsequently supported by ICP measurements.^{4–8} Although CECS is well recognized,^{1–3,9–11} properly establishing the diagnosis of forearm CECS may sometimes prove difficult.^{7,8,12–14} Dynamic ICP measurements allow for objective monitoring of pressure, both during the stress test and throughout the recovery time.^{8,12,15–17} As such, it is considered the gold standard for confirming CECS,^{1,7,8,15,18,19} especially

because a positive pretreatment test is a strong predictor of successful surgical outcomes.²⁰

Various diagnostic thresholds for ICP have been used for CECS of the leg.⁹ However, certain authors currently suggest that forearm threshold ICP values should be set at >10 mm Hg at rest and >20 mm Hg 1 and 5 minutes after provocation to enhance the accuracy of these measurements.^{6,12,16} Conversely, the sensitivity and specificity of current threshold ICP values for diagnosing forearm CECS remain undocumented. Current ICP cutoff criteria also miss^{10,18} nearly 30% of patients with CECS.²¹ This false negative group (FNG), despite having the clinical features of CECS and benefiting from surgical decompression, fails to meet any of the diagnostic ICP criteria. Increased efforts are currently ongoing to find a new, more accurate way to diagnose CECS.

Abnormal and persistently elevated ICP recorded by dynamic pressure measurements after the cessation of strenuous exercise is widely recognized as the most objective diagnostic measure of forearm CECS.^{8,12,17,20} As such, some authors have proposed extending the measurement time up to 15 minutes,^{8,21–24} because they believe that the most important ICP criterion for diagnostic CECS may be the slope of decreasing pressures over time.^{8,12,13,17,21} However, calculating this slope is challenging and has also not yet been validated.

OBJECTIVES

The primary purposes of this study were (1) to estimate the accuracy—indicated by the sensitivity, specificity, positive

Submitted for publication October 6, 2016; accepted May 26, 2017.

From the *Orthopedic Surgery Department, Pediatric Upper Extremity Surgery and Microsurgery, Hospital Sant Joan De Déu, Barcelona, Spain; †Hand and Upper Extremity Unit, CATME—Institut Català de Traumatologia i Medicina de l'Esport, Institut Universitari Dexeus, Barcelona, Spain; ‡Universitat Autònoma Barcelona, Barcelona, Spain; and §Orthopedic and Trauma Department, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Barcelona, Spain.

The authors report no conflicts of interest.

Corresponding Author: Sergi Barrera-Ochoa, MD, PhD, Hospital Sant Joan De Déu Passeig de Sant Joan de Déu, 2, 08950, Esplugues de Llobregat, Barcelona, Spain (Dr.Barreraochoa@gmail.com).

Copyright © 2017 Wolters Kluwer Health, Inc. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1097/JSM.0000000000000482

Clinical Relevance

Our data suggest that the diagnostic thresholds for current standard ICP measurements warrant adjusting. Measuring time to return to pre-exercise/resting ICP may be more accurate.

predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV)—of a new, dynamic diagnostic ICP variable for forearm CECS, called T_{Rest} , calculated as the length of time between the peak exertion ICP (P_{Max} , which is evident at the very instance that exertion stops) and a return to baseline/resting pressure (P_{Rest}); (2) to similarly measure the accuracy of currently used standard intracompartmental (ICP) diagnostic variables for forearm CECS; and (3) to identify optimized diagnostic thresholds for each of these measurements.

Hypothesis

It was hypothesized that T_{Rest} is superior to current threshold ICP values, regarding sensitivity, specificity, PPV, and NPV for the diagnosis of CECS in the forearm.

MATERIALS AND METHODS**Patients**

Since January 1990, after we had obtained institutional review board approval, all demographic and clinical data on patients with clinical features compatible with forearm CECS referred to either one of the 2 collaborating institutions (Department of Sports Medicine of ICATME, Quirón-Dexeus Hospital, Barcelona, Spain, and Department of Orthopaedics of Vall d'Hebrón Hospital, Barcelona, Spain) were prospectively entered into a single database. For the purposes of the current study, 147 patients were extracted from the database, among whom 124 were deemed eligible for the current study, having met all the following inclusion criteria:

1. Professional or high-intensity athlete (> 10 hours per week of training).
2. Clinical symptoms compatible with CECS lasting no less than 6 months; these symptoms include forearm pain; a feeling of tightness, hardness, or a "pumped up" sensation in the forearm; cramping; swelling; paresthesia in the fingers; weakness; and/or a feeling of lost hand control.
3. Recorded ICP by dynamic pressure measurements meeting at least 1 of the following diagnostic criteria^{6,12,16}: a resting pressure above 10 mm Hg; and/or above 20 mm Hg 1 minute after exercise; and/or above 20 mm Hg 5 minutes after exercise.
4. Follow-up with regular clinic appointments every 3 months over the first year after the initial diagnosis, and regularly every 6 months after the first year of follow-up, with a minimum of 18 months of overall follow-up.

We excluded patients with nonprimary etiologies that might cause CECS, such as fractures or burns, or previous surgical interventions in the affected upper extremity. Other exclusion criteria included lymphedema, a bleeding diathesis, or the use of anticoagulants including aspirin or clopidogrel. Patients with missing data were not included.

Intracompartmental Pressure Measurements

A Stryker ICP monitor (Stryker Instruments, Kalamazoo, Michigan) was used to measure dynamic ICP in all relevant forearm compartments before initial treatment in patients with clinically suspected CECS. Values were registered using a pressure monitoring device (pressure monitor 783547; Hewlett-Packard, Palo Alto, California). Several studies have documented this device to be a relatively reliable and accurate method of measuring compartmental pressures.^{2,7,18} One investigator with abundant experience in this technique, a sports medicine physician independent of the study, performed all the measurements. Pressure was measured in millimeters of mercury (mmHg). A careful clinical history had been taken previously from each patient to identify which compartments required monitoring. The procedure of dynamic ICP monitoring, along with its associated risks, was detailed to the patient, and signed informed consent obtained.

The pressures in the flexor compartment were measured using an aseptic technique. To measure the extensor ICP, the arm was positioned on the examination table in pronation, with the elbow flexed to 90°. To measure flexor compartment pressures, we supinated the arm, with the elbow fully extended onto the table. These positions were held constant for each participant. The flexor compartment pressure was measured as described by McCarthy et al.¹⁵ The extensor compartment pressure was measured as described by Gelbeman et al.²⁴ The ICP was recorded at rest. Each participant then exercised to provoke symptoms, using a finger flexion-extension exercise tool (Handgrip; Ironmind, Ann Arbor, Michigan) until physical exhaustion or pain in the forearm flexor muscles occurred. Dynamic ICP values were registered before, during, and after the exercise.

The ICP variables measured are as shown in Figure 1 and listed below:

1. P_{Rest} as the baseline mean pressure, immediately before exercise.
2. P_{Max} as the peak pressure, measured at the exact moment when the exercise was discontinued (due to either pain or exhaustion).
3. $P_{1\ min}$ as the pressure recorded 1 minute after the exercise was discontinued.
4. $P_{5\ min}$ as the pressure recorded 5 minutes after the exercise was discontinued.
5. T_{Rest} as the time between P_{Max} and the return to P_{Rest} . Time was measured in seconds.

Treatment

If signs and symptoms were suggestive of the presence of forearm CECS lasting at least 6 months (even with negative ICP measurements), patients were informed of therapeutic options, including nonoperative measures (physical therapy, rest from sports, and modalities geared toward decreasing inflammation, pain, and limiting any chronic tissue damage within the fascia compartment involved) and surgical treatment. All patients provided oral and written consent to undergo a surgical procedure. The same surgeon performed all surgeries. All patients who underwent surgery had a fasciotomy in all forearm compartments. Depending on the surgeon's decision, either a wide-open fasciotomy (WOF) or a mini-open fasciotomy (MOF) was performed, as described by Barrera et al.²¹ (Figure 2).

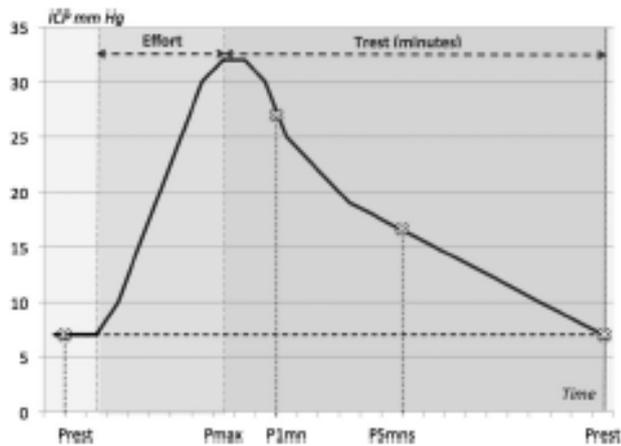


Figure 1. Diagram of dynamic ICP measurements, before, during, and after the provocative test.

Patients were classified into 4 groups (Figure 3). Of the 147 patients who were extracted initially from the database, a total of 124 patients were deemed eligible for the study, meeting all the inclusion criteria. Eighty-one patients with clinical suspicion of CECS, who met at least 1 of the ICP diagnostic criteria and improved after surgery, were allocated to the true positive group (TPG). Three patients with clinically suspected CECS, who also met the ICP diagnostic criteria and underwent surgery, but did not improve their symptoms, were re-evaluated, diagnosed with other pathologies and successfully treated; they were allocated to the false positive group (FPG). Twenty-four patients with clinically suspected CECS who failed to meet any ICP diagnostic criterion, but improved with surgery, were assigned to the false negative group (FNG). All patients in the TPG, FNG, and FPG groups were treated surgically. Sixteen patients with a low clinical suspicion of CECS, all of whom failed to meet any ICP diagnostic criterion and ultimately improved with other treatment, were assigned to the true negative group (TNG). These patients were

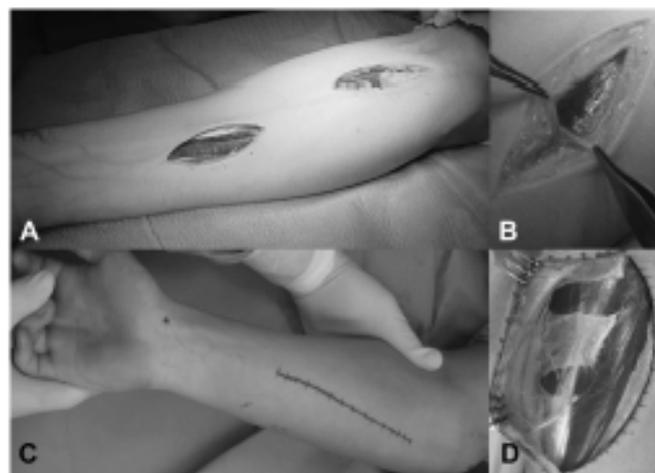


Figure 2. A, Intraoperative image of an anterior fasciotomy through a minimally sized incision. B, Dorsal approach for an MDF. C, Wide-open fasciotomy of the superficial volar compartment. D, The unloading transverse fasciotomy lines.

diagnosed with elbow enthesopathy (8 patients), forearm tendinopathy (4 patients), wrist tenosynovitis (2 patients), and posterior interosseous nerve syndrome (2 patients).

Assessment

The following patient demographics and baseline clinical characteristics were recorded: age, sex, height, weight, body mass index, dominant hand, and profession or sport (including hours per week of training). At baseline and every follow-up visit, patients were asked to rate their pain using a 100-mm visual analog scale (VAS) (100-point scale). They also were asked about upper extremity function, by having them complete the shortened version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) questionnaire, called the Quick-DASH. Follow-up appointments were scheduled for every 3 months throughout the first year after the initial diagnosis, and every 6 months thereafter, up to a minimum follow-up period of 18 months. The final clinical outcome was categorized as either successful or unsuccessful, depending on whether or not symptoms had resolved or improved dramatically and Quick-DASH scores improved. Additional investigations and a final diagnosis, along with outcomes associated with any additional treatment received, were also recorded. A single, experienced orthopedic surgeon performed all measurements.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using SPSS Statistics, Mac version 23.1.1 (SPSS Inc, Chicago, Illinois). All numerical data were summarized as mean \pm SDs if normally distributed; if not, as medians and ranges. The VAS and Quick-DASH scores were analyzed for skewness and kurtosis, and independent paired *t* tests were used to compare the mean preoperative and postoperative scores. Categorical variables were compared by Pearson χ^2 analysis. The different ICP criteria were analyzed by creating receiver operating characteristic (ROC) curves and calculating areas under the curve (AUC) to identify optimal sensitivity and specificity values and corresponding ICP measurement thresholds. For all tests, $P < 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS

Demographic and Clinical Data

A total of 124 patients with suspected forearm CECS treated between January 1, 1994, and May 31, 2014 satisfied the previously stated inclusion and exclusion criteria and were selected for further study. All the patients were men. Forty-seven were motorcycle racers, and there were 24 motocross racers, 22 mountain climbers, 19 weightlifters, 8 water skiers, and 4 tennis players. A total of 110 patients were right handed, 12 were left handed, and 2 were ambidextrous. Twenty-seven patients had bilateral arm involvement, resulting in a total of 151 affected limbs. Each limb was assigned to 1 of 4 groups, as described earlier and depicted in Figure 3. Demographic and baseline clinical data were collected and are summarized in Table 1. Comparing demographic and baseline clinical data between the 4 groups, we identified no statistically significant differences.

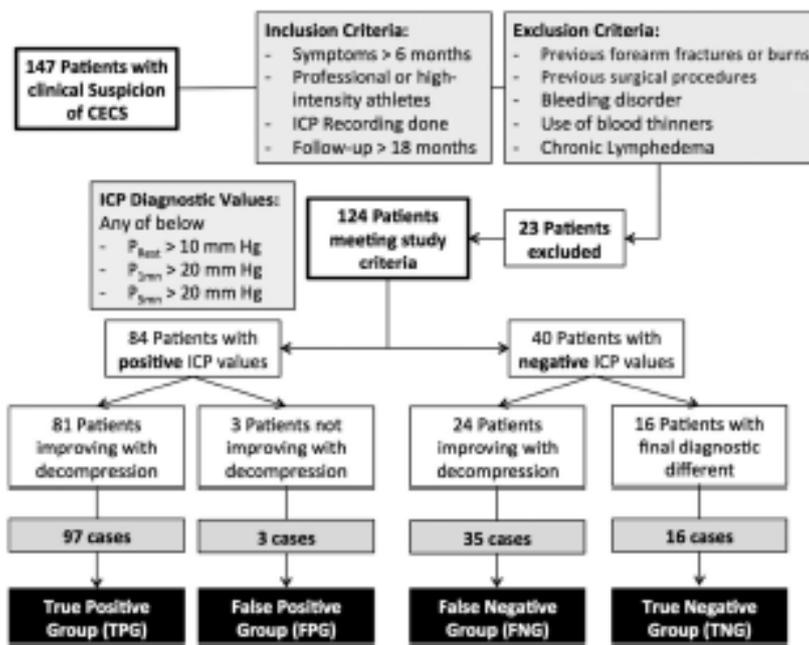


Figure 3. Study flow chart.

Treatment

Patients suffering from bilateral CECS had the same type of treatment performed bilaterally at the same time. Seventy-two limbs underwent a WOF (67 patients in total, including 5 with bilateral involvement). The remaining 63 limbs (42 patients, 18 with bilateral involvement) were treated with an MOF.

Ninety-seven of the limbs allocated to the TPG were treated surgically, 52 with WOF, and the remaining 45 with MOF. Thirty-five limbs in the false negative group were treated surgically, 18 with WOF, 17 with MOF. All these limbs were ultimately categorized as having a successful outcome because of either symptom resolution or significant improvements in the pain VAS and Quick-DASH function scores, by 63 mm and 73 points, respectively ($P < 0.001$) with no significant difference between the 2 surgical methods ($P = 0.51$).

The 3 patients in the FPG were treated surgically, 2 with WOF, and the remaining with MOF. All 3 were categorized as having experienced an unsuccessful result because of either symptom recurrence or nonsignificant improvements in pain and the Quick-DASH of mean 5 mm and 11 points,

respectively. Ultimately, these 3 patients were diagnosed with posterior interosseous nerve syndrome and were successfully treated with surgical decompression. Sixteen limbs were assigned to the TNG and did not undergo surgery. Among these 16, symptoms in 8 limbs were attributed to elbow enthesopathy, 4 to forearm tendinopathy, and 2 each to wrist tenosynovitis and posterior interosseous nerve syndrome. All 16 were ultimately considered to have experienced a successful result because of symptom disappearance and significant improvements in their VAS pain rating and Quick-DASH score of 42 mm and 38 points, respectively ($P < 0.05$).

There was no significant difference between the TPG and FNG, in terms of preoperative VAS_{pain} or Quick-DASH score ($P = 0.81$ and 0.90 , respectively), postoperative VAS_{pain} or Quick-DASH score ($P = 0.18$ and 0.61), or pre-post reduction in VAS_{pain} or Quick-DASH score ($P = 0.94$ and 0.83). In other words, patients in the false negative and TPGs experienced similar postoperative clinical improvement, although the former failed to satisfy current ICP diagnostic criteria for forearm CECS.

TABLE 1. Demographic and Clinical Data of Patients

	Total	TPG	FNG	TNG	FPG
Sex, male/female, n patients	97/0	81/0	24/0	16/0	3/0
Compartment affected, n cases	151	97	35	16	3
Bilateral arm involvement, n patients	27	16	11	0	0
Follow-up, mean \pm SD, mo	45 \pm 8	46 \pm 8	43 \pm 5	44 \pm 5	40 \pm 4
Age, mean \pm SD, yr	25 \pm 6	25 \pm 6	24 \pm 6	26 \pm 4	24 \pm 4
Height, mean \pm SD, cm	174 \pm 9	172 \pm 9	175 \pm 9	170 \pm 7	176 \pm 7
Weight, mean \pm SD, kg	62 \pm 8	60 \pm 7	64 \pm 8	66 \pm 47	65 \pm 5
Body mass index, mean \pm SD	20 \pm 2	20 \pm 2	20 \pm 2	21 \pm 2	21 \pm 2
<i>N</i> , number.					

TABLE 2. Mean, Range, and SD of Cutoff ICP Values for Forearm CECS

	P_{Rest} , mm Hg	P_{Max} , mm Hg	$P_{1\ min}$, mm Hg	$P_{5\ min}$, mm Hg	T_{Rest} , min
TPG					
Mean	6.99	32.29	23.9	20.13	19.69
Range	1-14	25-41	18-30	18-26	15-26
SD	± 4.1	± 3.7	± 2.8	± 2.3	± 3.0
FNG					
Mean	6.74	17.60	15.97	15.77	19.85
Range	1-14	12-22	11-19	10-18	15-26
SD	± 3.4	± 3.9	± 3	± 4.2	± 2.8
TNG					
Mean	5	14.31	10.5	10.25	7
Range	2-9	10-18	6-12	6-12	5-10
SD	± 3.1	± 3.4	± 3.1	± 2.7	± 2.5
FPG					
Mean	10.66	26.33	21.33	13.33	9
Range	7-14	22-32	21-22	12-14	5-15
SD	± 3.1	± 4	± 3.4	± 2.9	± 2.4

Intracompartmental Pressure Measurements

The mean, ranges, and SDs of ICP were collected and are reproduced both in Table 2 and in Figures 4 and 5. Calculations for the sensitivity, specificity, PPV, and NPV of the current thresholds for standard diagnostic ICP values for forearm CECS and for T_{Rest} are listed in Table 3. For the 3 current standard criteria for CECS (resting/pre-exercise ICP > 10 mm Hg, and ICP > 20 at 1 minute and 5 minutes after exercise), sensitivity ranged from low (15.9% and 18.2%) to high (60.6%), with an ICP > 20 mm Hg at 1 minute, the most sensitive criterion of the 3. Accepting any 1 of the 3 standard measurements as a positive screen was somewhat more sensitive, at 73.5%; however, sensitivity of the new measure,

time to return from peak to resting pressure (T_{Rest}), was most sensitive of all, at 93.5%. Specificity and the PPV were reasonably high for all 5 measurements, ranging from 84.2% to 100% and 92.3% to 100%, respectively, with T_{Rest} at 100% for both specificity and PPV. There again was a broad range of estimates for NPV, however, ranging from 13.6% to 24% for the 3 standard measurements, 31.4% for any 1 of the 3, and 70.4% for T_{Rest} .

When AUC were calculated for each of the ROC curves (Figure 6), optimized thresholds for resting/pre-exercise ICP, and ICP > 20 at 1 minute and 5 minutes after exercise changed considerably, to 1.5, 13, and 12.5 mm Hg, respectively; meanwhile, the optimum screening threshold for T_{Rest} changed only slightly, from 15 to 14.5 minutes. At these new thresholds, sensitivity for the 3 standard criteria and for

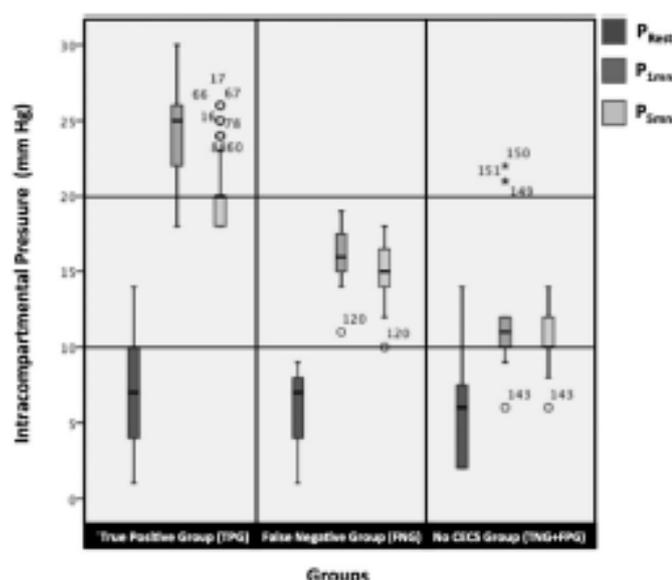


Figure 4. Mean, range, and SD for ICP measurements currently used to diagnose CECS in the forearm. *Indicates the outliers patients of the cohort.

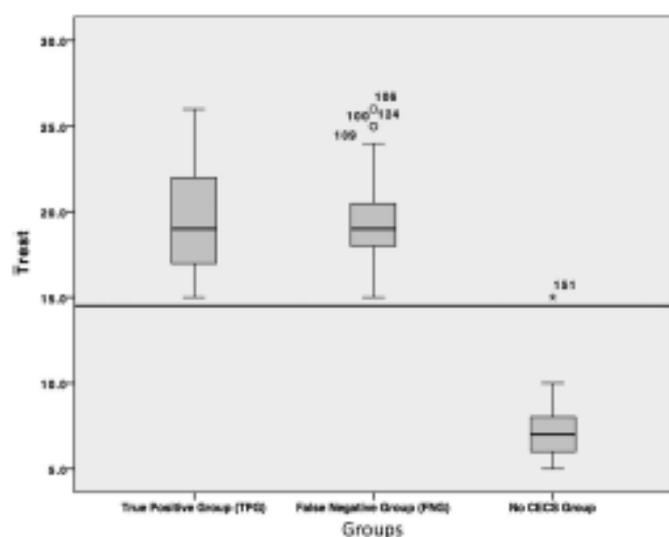


Figure 5. Mean, range, SD, and optimal threshold (grayline) values for the time to return from peak to resting ICP, T_{Rest} .

TABLE 3. Sensitivity, Specificity, PPV, and NPV of Current Cutoff ICP Values for Forearm CECS

	$P_{Rest} > 10$, mm Hg	$P_{1\ min} > 20$, mm Hg	$P_{5\ min} > 20$, mm Hg	$P_{Rest} \pm P_{1\ min} \pm P_{5\ min}$	$T_{Rest} > 15$, min
Sensitivity	18.2%	60.6%	15.9%	73.5%	93.9%
Specificity	89.5%	84.2%	100%	84.2%	100%
PPV	92.3%	96.4%	100%	97%	100%
NPV	13.6%	24%	14.6%	31.4%	70.4%
Optimal cutoff	>1.5 mm Hg	>13 mm Hg	>12.5 mm Hg	—	>14.5 min

any 1 of the 3 improved markedly, ranging from 92.4% to 99.2% for the 3 criteria used alone, and 100% when any of the 3 was considered a positive screen (Table 4). Sensitivity for T_{Rest} also increased to 100%. For specificity, although ICP at 1 minute and 5 minutes after exercise were both acceptably specific, the pre-exercise resting pressure had a specificity of zero, and the criterion accepting any 1 of the 3 positive was also very nonspecific at 35%. These estimates all were much lower than for T_{Rest} , for which specificity was 94.7%. T_{Rest} also outperformed all 4 remaining measures for both PPV and NPV.

DISCUSSION

The diagnosis of CECS is generally considered to be a primarily clinical one, although it is supported by ICP measurements.⁶⁻⁸ This is because some patients with classic symptoms but nonelevated ICP respond dramatically to fasciotomy. In cases with typical symptoms and raised pressures, the diagnosis is straightforward.⁶⁻⁸ If symptoms are atypical, however, the diagnosis is more difficult to make. In such cases, physicians typically rely on established ICP thresholds.

Dynamic ICP measurements allow for continuous, objective follow-up during the stress test and posttest recovery time.^{12,15-17} To date, ICP measurements remain the most

objective individual measure for diagnosing CECS.^{7,8,19} Nevertheless, any true consensus is still far from being reached with respect to how high ICP must be considered for diagnosis of CECS. Measurements of ICP in the leg are 77% sensitive and 83% specific, when 35 mm Hg is adopted as the upper limit of normal.²⁰ Unfortunately, such data are lacking for the forearm.⁸ Some authors have suggested that the cutoff ICP values for forearm compartments should be set at > 10 mm Hg at rest and >20 mm Hg 1 minute and 5 minutes after provocation.^{6,12,16}

To our knowledge, this study is the largest that has ever been conducted assessing forearm CECS secondary to high-level athletics. All our patients had clinical symptoms compatible with CECS, so stress testing and measurement of ICP were performed. Although 35 limbs failed to meet standard diagnostic ICP criteria, they still were surgically decompressed and improved after surgery. In our study, 23% of the patients (considered false negatives) would have been missed had we strictly followed the current diagnostic ICP criteria.^{6,12,16} Based on our findings in this patient population and considering that the clinical symptoms of CECS are the gold standard for establishing a diagnosis,^{6,20,22} we performed 4 calculations that reflect the accuracy of the current threshold ICP values (sensitivity, specificity, PPV, and NPV). The premise that this 23% of patients all truly had CECS and had erroneously tested negative was confirmed, as all 35 of our false negative patients improved dramatically post-surgical decompression. P_{Rest} (>10 mm Hg) used as a single diagnostic criterion ultimately exhibited a very low impact on the detection of forearm CECS. These findings, as well as the high level of variability of these measures in our patient population (1-14 mm Hg), led us to join other authors in questioning the validity and reliability of these ICP criteria.^{8,22,23,25}

According to Ardolino et al,²⁶ resting forearm pressures in healthy individuals range from 0 to 21.4 mm Hg, with some sex differences. These "normal" ranges have also been documented in other studies.^{6,8,9,11-14,16,20,22-24,27-32} As such, and based on the results we obtained, we believe that an upper limit of normal for resting ICP (P_{Rest}) of > 10 mm Hg is inadequate for both confirmatory diagnosis and screening. In our series, the 1-minute postexercise score ($P_{1\ min}$) threshold of >20 mm Hg, used as a stand-alone diagnostic criteria, was the best of the 3 standard measurements used individually, with a moderate-to-low NPV (24%) but high PPV (96.4%). The same threshold for the 5-minute ICP measurement ($P_{5\ min}$) used as a single diagnostic criterion performed less well (NPV 14.6%, 100% PPV) than $P_{1\ min}$, which is inconsistent with several previously published reports, the results of which suggest that the longer the time interval is after ceasing the activity, the more accurate the ICP reading is at diagnosing CECS.^{8,12,13,17,21} Accepting any 1 of the 3 standard ICP

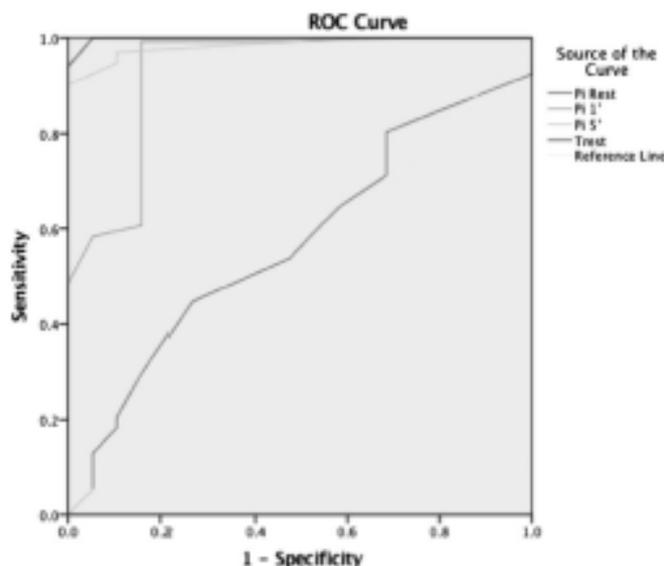


Figure 6. Receiver operating characteristic curves depicting the sensitivity and specificity of each ICP measurement; for each of these curves, the AUC was calculated.

TABLE 4. Sensitivity, Specificity, PPV, and NPV of Optimal Cutoff ICP Values for Forearm CECS

	$P_{R_{\text{rest}}} > 1.5$, mm Hg	$P_{1 \text{ min}} > 13$, mm Hg	$P_{5 \text{ min}} > 12.5$, mm Hg	$P_{R_{\text{rest}}} \pm P_{1 \text{ min}} \pm P_{5 \text{ min}}$	$T_{R_{\text{rest}}} > 14.5$, min
Sensitivity	92.4%	99.2%	97%	100%	100%
Specificity	0%	84.2%	89.5%	35.29%	94.7%
PPV	86.5%	97.8%	98.4%	87.4%	99.3%
NPV	0%	94.12%	81%	100%	100%

measurements ($P_{R_{\text{rest}}}$, $P_{1 \text{ min}}$, and $P_{5 \text{ min}}$) as positive evidence for CECS improves diagnostic performance only slightly, in our series to an NPV of 31.4% and PPV of 97%, relative to $P_{1 \text{ min}}$ used alone. When we created ROC curves, we found additionally that the current thresholds are suboptimal, hindering the diagnostic performance of ICP measurements. Based on our results, we recommend lowering the ICP thresholds to $P_{R_{\text{rest}}} > 1.5$ mm Hg, $P_{1 \text{ min}} > 13$ mm Hg, and $P_{5 \text{ min}} > 12.5$ mm Hg. These new thresholds not only enhance the performances of these 3 measurements individually, but when combined (to NPV 100%, PPV 87.4%).

Our observations, along with those of other investigators, emphasize the need for research-focussed clinicians to identify some new way to confirm CECS.^{10–14,22} A number of authors^{8,12,13,17} have proposed that the most accurate diagnostic criterion for forearm CECS might be the slope of decreasing pressures over time. Calculating this slope might prove challenging to some, however. Meanwhile, Shoefl et al¹⁷ discovered that patients with higher-pressure levels after exercise required a longer time to recover, and concluded that these patients could be classified as borderline or at high risk for CECS. As proposed in the literature,^{13,15–17} they recommend extending the monitoring period beyond 5 minutes after the patient stops the exercise.

We have introduced a new single diagnostic ICP criterion for CECS, called $T_{R_{\text{rest}}}$,²¹ which is the time that elapses between the peak exertional ICP (P_{Max}) and the return to baseline pressure ($P_{R_{\text{rest}}}$). $T_{R_{\text{rest}}}$ uses the patient's own ICP as a reference line, eliminating interpersonal variability that might result from a variety of potentially confounding factors.^{27,33,34} Moreover, $T_{R_{\text{rest}}}$ allows clinicians to measure the slope of decreasing ICP, if so desired.

When we used the initially proposed cutoff for $T_{R_{\text{rest}}}$ of 15 minutes,²¹ we observed a very high PPV of 100%, as well as a highly acceptable NPV of 70.4%. However, when we lowered $T_{R_{\text{rest}}}$ to 14.5 minutes, the time threshold considered optimum by ROC curve analysis, we obtained even higher ratings for both PPV (99%) and NPV (100%). Such values suggest that this test might be an outstanding screening tool among patients with possible CECS, one that outperforms previously used diagnostic ICP measurements. And, although the time required to measure the variable $T_{R_{\text{rest}}}$ increased, because measurements persisted well beyond 5 minutes to as long as 15 minutes, meaning additional time exposing the patient to a slit catheter, we experienced no local complications such as hematoma or infection.

The current paper, despite being prospective and having a very ample sample size, suffers from certain inherent limitations. The major limitation to our findings is the absence of healthy individuals as controls. Thus, we have no reference value for $T_{R_{\text{rest}}}$ in the healthy adult population. We also had only 3 patients in our FPG, meaning that intergroup comparisons involving false positive limbs were likely underpowered. We further caution readers to remember

that the use of any of these ICP variables, including $T_{R_{\text{rest}}}$ remains complementary to, rather than a replacement for the clinical history and examination as the means to diagnose CECS.

We nonetheless believe that this study is a valuable contribution to the current knowledge. It should be of particular interest to orthopedic surgeons and sports physicians who routinely see patients at risk for CECS. The updated “optimal threshold” values for ICP measurements that we identified in this study could be valuable when monitoring compartment pressure for CECS in the forearm. In equivocal cases, $T_{R_{\text{rest}}}$ might prove to be a strong ally of clinicians seeking the right diagnosis and appropriate decisions regarding surgery. We acknowledge fully that further studies are still needed to validate our findings. Nonetheless, pending such studies, we would encourage others to at least consider using $T_{R_{\text{rest}}}$ in their practice. Based on the extremely high sensitivity and specificity we detected, it could help diagnose patients who would otherwise be missed if standard ICP criteria alone are used.

CONCLUSIONS

Current thresholds for diagnostic ICP measurements are not optimizing the measurements' use, so updating positive threshold values through empirical studies is necessary. Similarly, despite the extremely high level of accuracy demonstrated by the novel ICP measurement $T_{R_{\text{rest}}}$ in our series of 124 patients, further studies are still needed to validate its diagnostic value.

References

1. Van Den Brand JGH, Nelson T, Verleisdonk JMM, et al. The diagnostic value of intracompartmental pressure measurement, magnetic resonance imaging, and near-infrared spectroscopy in chronic exertional compartment syndrome. A prospective study in 50 patients. *Am J Sports Med*. 2005;33:699–704.
2. Wilder RP, Sethi S. Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome and shin splints. *Clin Sports Med*. 2004;23:55–81.
3. Turnipseed WD. Diagnosis and management of chronic compartment syndrome. *Surgery*. 2002;132:617–619.
4. Kalyani BS, Fisher BE, Roberts CS, et al. Compartment syndrome of the forearm: a systematic review. *J Hand Surg Am*. 2011;36:535–543.
5. Fraenk J, Mubarak SJ, Hargens AR, et al. Management of chronic exertional anterior compartment syndrome of the lower extremity. *Clin Orthop Relat Res*. 1987;220:217–227.
6. Zandi H, Bell S. Results of compartment decompression in chronic forearm compartment syndrome: six case presentations. *Br J Sports Med*. 2005;39:35.
7. Moed BR, Thorderson PK. Measurement of intracompartmental pressure: a comparison of the slit-catheter, side-potted needle, and simple needle. *J Bone Joint Surg*. 1993;75:231–235.
8. Winkes MB, Luiten EJ, van Zoest WJ, et al. Long-term results of surgical decompression of chronic exertional compartment syndrome of the forearm in motocross racers. *Am J Sports Med*. 2012;40:452–458.
9. Kurtz JE, Singer R, Lindsay M. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm: a case report. *J Hand Surg Am*. 1985;10:302–304.

10. Styf J, Forssblad P, Lundborg G. Chronic compartment syndrome in the first dorsal interosseous muscle. *J Hand Surg Am.* 1987;12:757-762.
11. Jeschke J, Baur EM, Piza-Katzer H. Chronic compartment syndrome of the flexor muscles in the forearm due to motocross. *Handchir Mikroschir Plast Chir.* 2006;38:122-125.
12. Rydholm U, Werner CO, Ohlin P. Intracompartmental forearm pressure during rest and exercise. *Clin Orthop.* 1983;175:213-215.
13. Goubier JN, Saillant G. Chronic compartment syndrome of the forearm in competitive motorcyclists: a report of two cases. *Br J Sports Med.* 2003;37:452-453.
14. Steinmann SP, Bishop AT. Chronic anconeus compartment syndrome: a case report. *J Hand Surg Am.* 2000;25:959-961.
15. McCarthy DM, Soterianos DG, Towers JD, et al. A cadaveric and radiologic assessment of catheter placement for the measurement of forearm compartment pressures. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;312:266-270.
16. Berlemann U, al-Momani Z, Hertel R. Exercise-induced compartment syndrome in the flexor-pronator muscle group. A case report and pressure measurements in volunteers. *Am J Sports Med.* 1998;26:439-441.
17. Schoeffl V, Klee S, Strecker W. Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in sport climbers. *Br J Sports Med.* 2004;38:422-425.
18. Boody AR, Wongworawat MD. Accuracy in the measurement of compartment pressures: a comparison of 3 commonly used devices. *J Bone Joint Surg.* 2005;87:2415-2422.
19. Pedowitz RA, Hargens AR, Mubarak SJ, et al. Modified criteria for the objective diagnosis of chronic compartment syndrome of the leg. *Am J Sports Med.* 1990;18:35-40.
20. Zeineh N, Ardolino A, O'Connor D. Specialised chronic compartment measurement clinic in a district general hospital: is it worthwhile?. *Ann R Coll Surg Engl.* 2009;91:505-508.
21. Barrera-Ochoa S, Haddad S, Correa-Vázquez E, et al. Surgical decompression of exertional compartment syndrome of the forearm in professional motorcycling racers: comparative long-term results of wide-open versus mini-open fasciotomy. *Clin J Sport Med.* 2016;26:108-114.
22. Wasilewski SA, Asdourian PL. Bilateral chronic exertional compartment syndromes of forearm in an adolescent athlete. *Am J Sports Med.* 1991;19:665-667.
23. Styf RJ, Korner LM, Surkul M. Intramuscular pressure and muscle blood flow during exercise in chronic compartment syndrome. *J Bone Joint Surg.* 1987;69:301-305.
24. Gelberman RH, Garfin SR, Hergenroeder PT, et al. Compartment syndromes of the forearm: diagnosis and treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 1981;161:252-261.
25. Mannarino F, Sexson S. The significance of intracompartmental pressures in the diagnosis of chronic exertional compartment syndrome. *Orthopedics.* 1989;12:1415-1418.
26. Ardolino A, Zeineh N, O'Connor D. Experimental study of forearm compartmental pressures. *J Hand Surg Am.* 2010;35:1620-1625.
27. Hider SL, Hilton RC, Hutchinson C. Chronic exertional compartment syndrome as a cause of bilateral forearm pain. *Arthritis Rheum.* 2002;46:2245-2246.
28. Jawed S, Jawad ASM, Padhiar N, et al. Chronic exertional compartment syndrome of the forearms secondary to weight training. *Rheumatology.* 2001;40:344-345.
29. Kumar PR, Jenkins JPR, Hodgson SP. Bilateral chronic exertional compartment syndrome of the dorsal part of the forearm: the role of magnetic resonance imaging in diagnosis: a case report. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85:1557-1559.
30. Pedowitz RA, Toutoungi FM. Chronic exertional compartment syndrome of the forearm flexor muscles. *J Hand Surg Am.* 1988;13:694-696.
31. Piasecki DP, Meyer D, Bach BR Jr. Exertional compartment syndrome of the forearm in an elite flatwater sprint kayaker. *Am J Sports Med.* 2008;36:2222-2225.
32. Soderberg TA. Bilateral chronic compartment syndrome in the forearm and the hand. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78:780-782.
33. Roberts A, Franklyn-Miller A. The validity of the diagnostic criteria used in chronic exertional compartment syndrome: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports.* 2012;22:585-595.
34. Saberi-Aschraf M, Serek M, Pachtner T, et al. The Enduro motorcyclist's wrist and other overuse injuries in competitive Enduro motorcyclists: a prospective study. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18:582-590.

