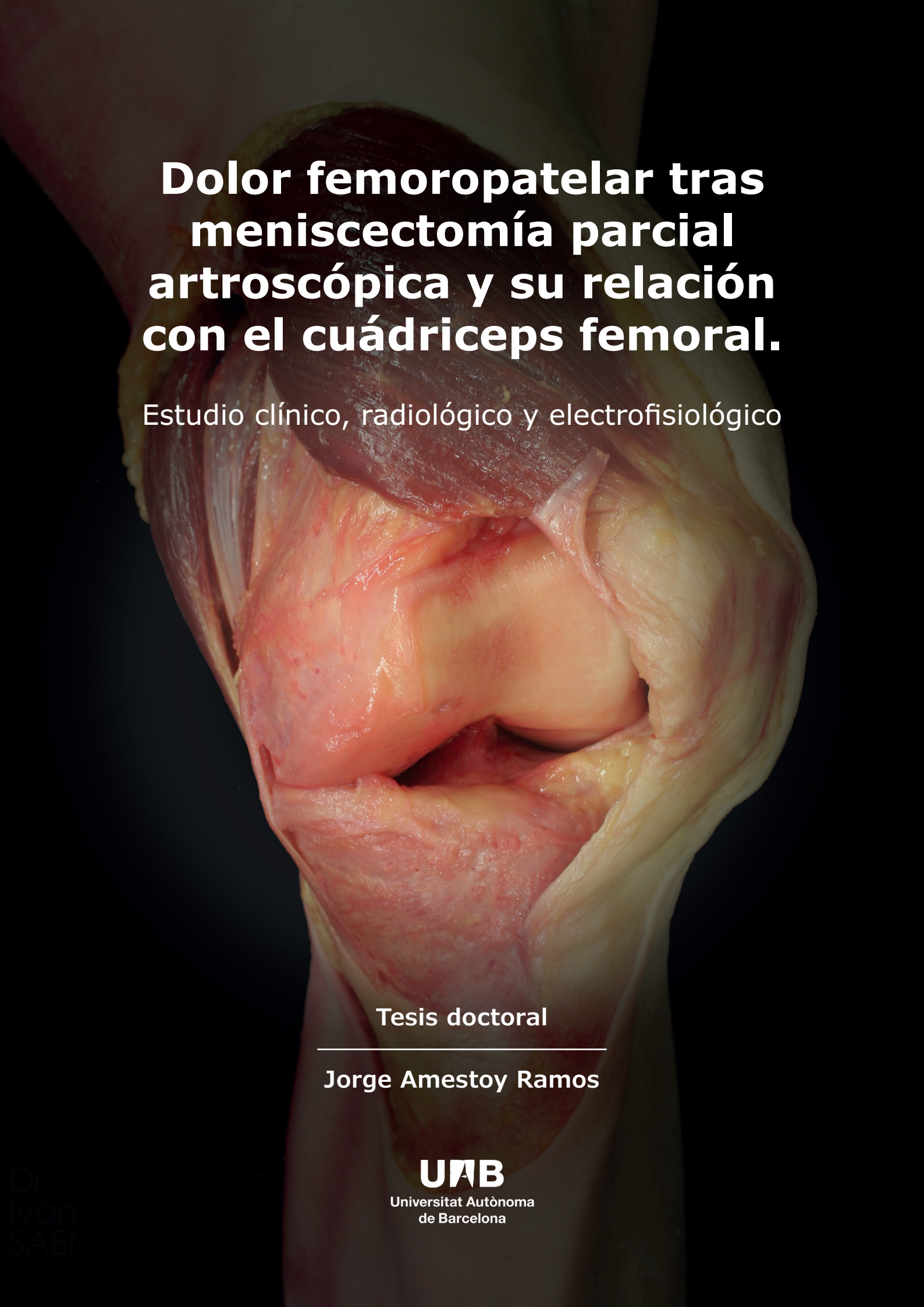


**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de 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.



# **Dolor femoropatelar tras meniscectomía parcial artroscópica y su relación con el cuádriceps femoral.**

Estudio clínico, radiológico y electrofisiológico

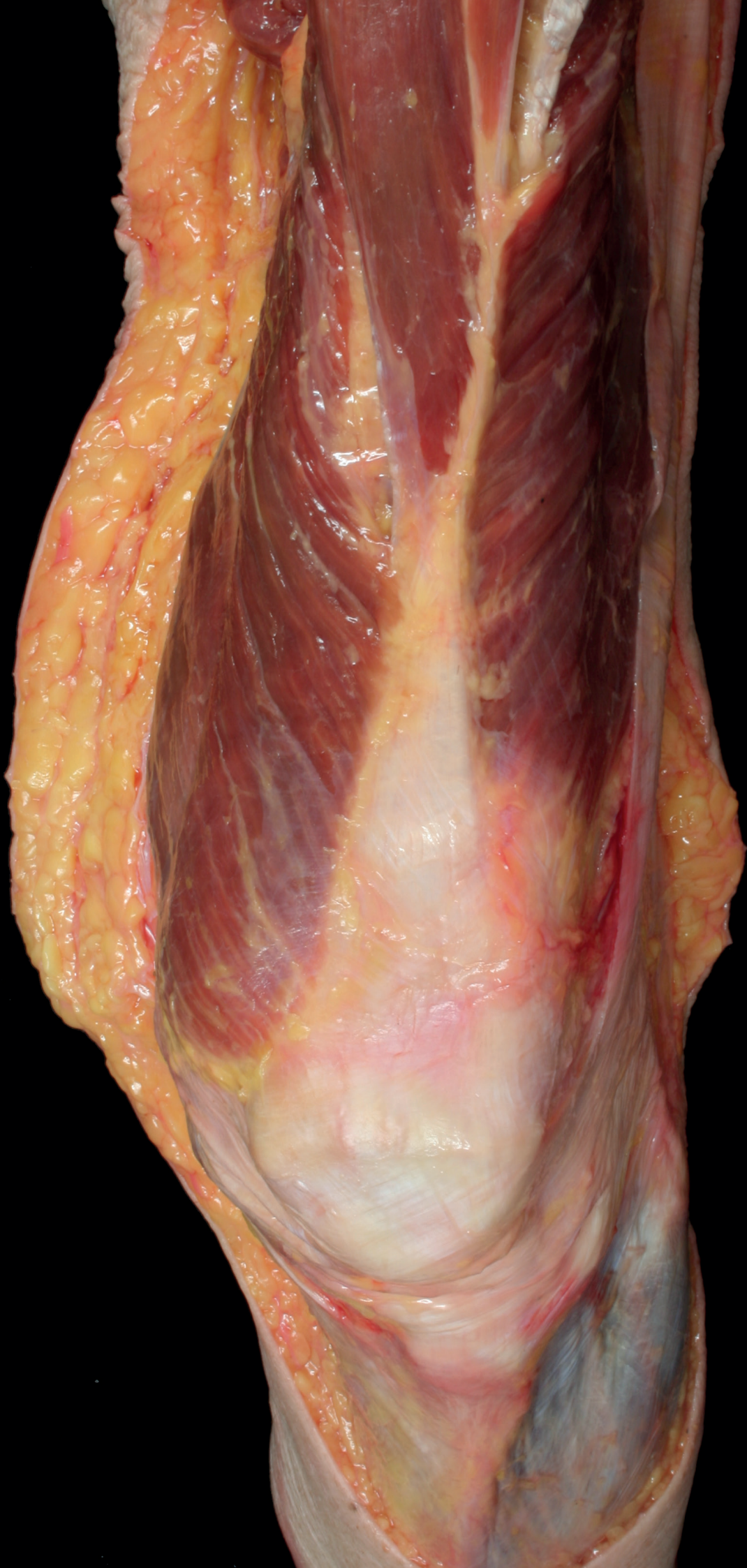
Tesis doctoral

---

Jorge Amestoy Ramos

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona



**Dolor femoropatelar  
tras meniscectomía parcial artroscópica  
y su relación con el cuádriceps femoral.**  
Estudio clínico, radiológico y electrofisiológico.

TESIS DOCTORAL

---

**Jorge Amestoy Ramos**

DIRECTORES

---

**Prof. Dr. Joan Carles Monllau Garcia**

**Dr. Daniel Pérez Prieto**

**Dr. Raúl Torres Claramunt**

TUTOR

---

**Prof. Dr. Joan Carles Monllau Garcia**



**Universitat Autònoma  
de Barcelona**

Unidad docente del Parc de Salut Mar  
Departamento de Cirugía  
Programa de Cirugía y Ciencias Morfológicas

\*Imágenes cortesía del Dr.Iván Saenz Navarro. Profesor asociado de Anatomía Humana. Universidad de Barcelona.

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo de investigación titulado:  
"DOLOR FEMOROPATELAR TRAS MENISCECTOMÍA PARCIAL ARTROSCÓPICA  
Y SU RELACIÓN CON EL CUÁDRICEPS FEMORAL.  
ESTUDIO CLÍNICO, RADIOLÓGICO Y ELECTROFISIOLÓGICO".

Ha estado realizado bajo nuestra dirección  
y está en condiciones de presentar su lectura y defensa  
ante el tribunal correspondiente para obtener el grado de Doctor.

Para que conste a los efectos oportunos,  
firmamos el presente documento en Barcelona, Noviembre de 2022.



Prof. Dr. Joan Carles Monllau



Dr. Daniel Pérez Prieto



Dr. Raúl Torres Claramunt

La tesis doctoral con título **Dolor femoropatelar tras meniscectomía parcial artroscópica y su relación con el cuádriceps femoral. Estudio clínico, radiológico y electrofisiológico** y presentada por el doctorando Jorge Amestoy Ramos, se ha realizado mediante compendio de publicaciones siguiendo la normativa de la Universidad Autónoma de Barcelona para este tipo de tesis doctoral.

Las referencias bibliográficas son:

**Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Leal-Blanquet J, Ares-Vidal J, Hinarejos P, Monllau JC. Patellofemoral Pain After Arthroscopy: Muscle Atrophy Is Not Everything. The Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2021 Jun 29; 9(6).**

**Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Solano A, Leal-Blanquet J, Hinarejos P, Monllau JC. Preoperative muscle thickness influences muscle activation after arthroscopic. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2021 Dec 18.**

## Agradecimientos:

Al Dr. Joan Carles Monllau, por inculcarme el interés por nuestra especialidad desde el primer día. Por ser un referente tanto en los aspectos profesionales como personales de mi carrera. Gracias por tu confianza y tus consejos.

Al Dr. Daniel Pérez Prieto por tener la idea de investigar sobre este tema y confiar en mí desde el principio para desarrollar el proyecto. Por su impulso constante a esta tesis doctoral.

Al Dr. Raúl Torres, por su tutela en lo profesional y en lo personal durante mis años de formación.

Al Dr. Juan Sánchez, por transmitirme su pasión por la cirugía de la rodilla.

A todos mis compañeros de residencia, a cada uno de los adjuntos, equipos de enfermería y secretarías del servicio de COT del Hospital del Mar y del Hospital de l'Esperança, por vuestra motivación y buen hacer. Por hacer que me sienta muy orgulloso de poder decir de dónde vengo. Gracias por todo lo que me habéis enseñado.

A todo el equipo de Equilae del Hospital Universitario Dexeus, por vuestra paciencia y ayuda.

A mi madre, mi padre y mi hermana, por transmitirme siempre los mejores valores como persona, que luego he podido aplicar como médico a mis pacientes. A toda mi familia, siempre presentes en cada paso que he ido dando en esta carrera de fondo.

A mi mujer Verónica, a quien admiro profundamente y con quién he podido compartir los mejores momentos de mi vida. Por tu paciencia y ayuda incondicional. Por no rendirte jamás. Por la familia que hemos creado.

A mi hijo Nicolás, a quién dedico esta tesis doctoral. Espero poder infundirte los mejores valores. Te quiero.





“La paciencia es la mejor medicina”

John Florio

## 1 Introducción

---

<b>1.1 Anatomía y biomecánica de la articulación femoropatelar</b>	14
1.1.1 Anatomía de la patela	14
1.1.2 Anatomía de la tróclea femoral	14
1.1.3 Tejidos blandos mediales	15
1.1.4 Tejidos blandos laterales	16
1.1.5 Biomecánica y recorrido femoropatelar normal	16
<b>1.2 Anatomía e implicaciones de la musculatura cuadricepsal</b>	17
1.2.1 Anatomía musculatura cuadricepsal.	17
1.2.2 Déficit de activación y atrofia muscular cuadricepsal postoperatoria.	17
<b>1.3 Fisiopatología del dolor femoropatelar</b>	18
1.3.1 Definición de dolor femoropatelar	18
1.3.2 Causas de dolor femoropatelar	19
<b>1.4 Menisopatías y dolor femoropatelar</b>	20
1.4.1 Meniscectomía y dolor femoropatelar postoperatorio	20
1.4.2 Rehabilitación postoperatoria tras meniscectomía.	21
1.4.3 Tratamiento del dolor femoropatelar postoperatorio	22
<b>1.5 Fundamento de la tesis</b>	24
<b>1.6 Hipótesis</b>	24
1.6.1 Primer estudio	25
1.6.2 Segundo estudio	25

## 2 Material y métodos

---

<b>2.1 Primer estudio</b>	28
2.1.1 Técnica quirúrgica	30
2.1.2 Manejo postoperatorio	30
2.1.3 Evaluación de los resultados	30
2.1.4 Análisis estadístico	34
<b>2.2 Segundo estudio</b>	34
2.2.1 Técnica quirúrgica	35
2.2.2 Manejo postoperatorio	35
2.2.3 Evaluación de los resultados	36
2.2.4 Análisis estadístico	37

## 3 Resultados

---

<b>3.1</b>	<b>Primer estudio</b>	42
3.1.1	Resultados de grosor muscular	42
3.1.2	Resultados de electromiografía de superficie	43
3.1.3	Resultados del test isocinético	44
3.1.4	Resultados funcionales	45
<b>3.2</b>	<b>Segundo estudio</b>	46

## 4 Discusión

---

<b>4.1</b>	<b>Atrofia muscular y contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral postoperatoria y su relación con el dolor femoropatelar</b>	54
<b>4.2</b>	<b>Influencia del grosor muscular previo en el dolor femoropatelar postoperatorio</b>	56
<b>4.3</b>	<b>Limitaciones</b>	58

## 5 Conclusiones

---

<b>5.1</b>	<b>Primer estudio</b>	62
<b>5.2</b>	<b>Segundo estudio</b>	63

## 6 Bibliografía

---

<b>Bibliografía</b>	66
---------------------	----

## 7 Anexos

---

<b>Anexos</b>	76
---------------	----



# 1

## Introducción

## 1.1 Anatomía y biomecánica de la articulación femoropatelar

### 1.1.1 Anatomía de la patela.

La patela es el hueso sesamoideo más grande del cuerpo humano. Forma, junto con el surco rotuliano de la tróclea femoral, la articulación femorrotuliana o femoropatelar. La patela es cóncava en su cara anterior. En su cara posterior, la superficie articular está situada en los dos tercios proximales y consta de siete facetas. Las tres facetas mediales y tres facetas laterales articulan con el surco femoral conforme se va flexionando la rodilla. El polo distal conforma la séptima faceta de la rótula y como parte extra-articular se une al tendón rotuliano. [35, 102]

El cartílago articular de la rótula es el más grueso de todo el cuerpo humano, pudiendo medir hasta 7mm. [43] La superficie articular patelar tiene una mayor congruencia con la tróclea femoral en el plano axial que en el plano sagital, contribuyendo así a la capacidad de deslizamiento de la propia articulación.

Se conocen múltiples variantes anatómicas de la patela. [104] Wiberg introdujo en 1934 un sistema de clasificación para los diferentes tipos de patela teniendo en cuenta la configuración de las facetas articulares medial y lateral. [88] El tipo 1, con una prevalencia del 10%, tiene las facetas medial y lateral cóncavas y del mismo tamaño. El tipo 2, es la morfología patelar más frecuente con una prevalencia del 65%. Este tipo presenta una faceta medial plana y de menor tamaño que la faceta lateral, que conserva su concavidad. El tipo 3 representa el 25% de los casos, presenta una faceta medial convexa y todavía de menor tamaño que la faceta lateral. No se ha definido ninguna correlación entre estos diferentes parámetros anatómicos y la aparición de condropatías en la articulación femoropatelar, ni dolor anterior de rodilla.

La irrigación primaria de la patela proviene de un plexo arterial complejo, formado principalmente por las arterias genicular suprema, genicular superior medial/lateral, genicular inferior medial/lateral y tibial anterior. Estas ramas arteriales se comunican formando un anillo anastomótico peritrotuliano que irriga el sistema patelar intraóseo.

[61, 93]

### 1.1.2 Anatomía de la tróclea femoral.

La tróclea está formada por la cara anterior del fémur distal. Presenta un surco centralizado

que genera la concavidad normal de esta articulación y divide las facetas medial y lateral. Este surco troclear tiene una profundidad de 5.2mm en condiciones normales.

[102] La profundidad aumenta a medida que se extiende distalmente hacia la escotadura intercondílea. La faceta troclear lateral es de mayor tamaño y altura que la faceta medial, estando 3.4mm más elevada que la faceta medial en el plano axial. [106] El cóndilo lateral forma la pared lateral de la articulación femorrotuliana y es el principal restrictor al desplazamiento lateral de la patela. El punto más deprimido del surco junto con los puntos más altos de la faceta medial y lateral definen el ángulo troclear. [102]

La displasia troclear se caracteriza por una pérdida de la anatomía cóncava normal y la profundidad del surco troclear. Dejour y colegas cuantificaron radiológicamente la displasia troclear. [21] Definieron la protuberancia troclear o “troclear bump”, considerada patológica cuando es mayor de 3 mm, y la profundidad del surco troclear, considerada patológica cuando es menor de 4 mm. La displasia troclear predispone con frecuencia a la inestabilidad de la rótula durante la flexión de la rodilla. [35]

### **1.1.3 Tejidos blandos mediales.**

Los tejidos blandos mediales de la articulación femoropatelar incluyen el ligamento patelofemoral medial (LPFM), el ligamento patelotibial, el retináculo medial y el vasto medial oblicuo (VMO).

El LPFM es el principal restrictor pasivo del desplazamiento lateral de la patela entre los 0 y los 30° de flexión, siendo de vital importancia en la estabilidad de la articulación femoropatelar. Anatómicamente se origina posterior y proximal al epicóndilo femoral medial y ligeramente distal y proximal al tubérculo del aductor. Se inserta en el tercio superior del borde medial de la patela. [60] La longitud del LPFM es de 53-55mm y su grosor es muy variable entre individuos, pudiendo oscilar entre 10-13mm. [6]

El VMO es uno de los principales músculos involucrados en la biomecánica de la articulación femorrotuliana. Es el principal restrictor activo del desplazamiento lateral de la patela en los primeros grados de flexión de la rodilla. El fortalecimiento del VMO es uno de los pilares fundamentales de la rehabilitación de muchos trastornos de la articulación patelofemoral. [17]



## **1.1.4 Tejidos blandos laterales.**

Las estructuras laterales de la articulación femoropatelar se dividen en una capa superficial y otra profunda. La capa superficial está compuesta por el retináculo lateral oblicuo, la capa profunda está compuesta por fibras oblicuas y transversas, específicamente la banda patelotibial y las bandas epicondilopatelares. [20]

El retináculo lateral es un estabilizador secundario pasivo de la traslación lateral de la rótula. La tensión excesiva del retináculo lateral provoca unas fuerzas excesivas entre la tróclea lateral y la faceta lateral rotuliana y puede resultar en una inclinación lateral de la rótula. Cabe destacar que solo en algunos casos, el origen del dolor femoropatelar es una tensión excesiva del retináculo lateral. [91]

## **1.1.5 Biomecánica y recorrido femoropatelar normal.**

Funcionalmente, la rodilla consta de dos articulaciones, la femoropatelar y la femorotibial. La función y la estabilidad de la articulación femororrotuliana requiere de una interacción compleja entre los estabilizadores activos, los estabilizadores pasivos y la morfología ósea y cartilaginosa. Las anomalías anatómicas predisponen a un mal recorrido de la rótula, las disfunciones en las estructuras dinámicas y estáticas de los tejidos blandos también tienen efectos significativos en la biomecánica patelofemoral.

Como hueso sesamoideo, la rótula mejora la ventaja mecánica del aparato extensor, ya que aumenta el brazo de palanca del cuádriceps femoral y disminuye la cantidad de fuerza que este músculo tiene que ejercer para extender la rodilla. [43]

Durante el recorrido femoropatelar normal, las presiones de contacto femoropatelares aumentan gradualmente conforme la rodilla se va flexionando. Diferentes componentes de esta articulación desempeñan papeles estabilizadores cruciales a lo largo del arco de movimiento. Durante la extensión completa, existe un pequeño vector de fuerza dirigido hacia posterior que provoca una ligera lateralización de la patela. Cuando la rodilla comienza a flexionarse, debido a la orientación única de la superficie articular de la rótula, se produce un desplazamiento patelar medial. [43, 102] Entre los 20° y los 30° de flexión, la patela comienza a circular por el surco troclear, aumentando así la estabilidad de la articulación. Del mismo modo, conforme la rodilla aumenta su flexión, los tendones patelar y cuadrícipital van aumentando progresivamente la fuerza del vector dirigido a posterior, aumentando

también así la estabilidad femoropatelar. A medida que la flexión aumenta a 60°, el área de contacto de la rótula también aumenta y avanza de distal a proximal, mientras que el área de contacto en la superficie de la tróclea avanza distalmente. Cuando la flexión de rodilla sobrepasa los 90°, el tendón del cuádriceps entra en contacto con la tróclea y absorbe parte de las presiones articulares, disminuyendo así las presiones en la superficie articular de la rótula. Entre 90° y 135° de flexión de la rodilla, la rótula rota ligeramente y la cresta que divide las facetas medial e impar se engrana con el cóndilo femoral. [48]

## 1.2 Anatomía e implicaciones de la musculatura cuadricepsital

### 1.2.1 Anatomía musculatura cuadricepsital.

El músculo cuádriceps femoral, formado por 4 cabezas o vientres musculares, es la principal fuerza motora del mecanismo extensor.

El recto femoral se origina en la espina ilíaca anteroinferior de la pelvis, discurre hacia distal centrado en la línea media y se fusiona con el tendón central del cuádriceps para insertarse en el polo proximal de la patela. El vasto intermedio discurre paralelo al recto femoral, pero se sitúa profundo a él. Se origina en la superficie anterior de la diáfisis femoral y se inserta en el polo superior de la patela separado por una fina bursa del tendón del recto femoral. El vasto lateral (VL) tiene su origen en la cara anterolateral del fémur y en el tabique intermuscular lateral comenzando proximalmente al nivel del trocánter mayor, se inserta en el polo superior de la patela con una angulación de 30-40° con respecto al eje anatómico del fémur. El vasto medial (VM) se origina en la cara anteromedial del fémur y el tabique intermuscular medial, se inserta en la rótula con una angulación aproximada de 50°. Las fibras más distales del músculo vasto medial, presentan una anatomía y una función un tanto particular, por lo que reciben una nomenclatura diferente: vasto medial oblicuo (VMO). Las fibras del VMO se originan en el tubérculo del abductor y se dirigen hacia la superficie superomedial de la patela con una angulación de 65°. Esta distinción ya la realizó Testut en 1884, cuando definió la excepcional separación de la parte distal de vasto medial. La cual, en lugar de insertarse en la rótula, continuaba hacia distal dirigida hacia la tuberosidad tibial. [32]

### 1.2.2 Déficit de activación y atrofia muscular cuadricepsital postoperatoria.

El déficit o fallo de activación es la incapacidad de contraer completamente un músculo

de forma voluntaria debido a alteraciones en la señalización neuronal. [45] No se trata simplemente de un fenómeno local aislado relacionado con la atrofia muscular, sino que está provocado por la inhibición muscular artrogénica, [67] un proceso en el que la inhibición neuronal provoca un fallo en la activación muscular, en el caso de la rodilla del cuádriceps femoral. [85] Cuando este déficit de activación no se trata precozmente y de forma adecuada, puede retrasar significativamente la recuperación de la fuerza muscular al impedir que se utilicen voluntariamente porciones de esos músculos durante el ejercicio activo.

La hipotrofia del músculo cuádriceps femoral que ocurre después de la cirugía de rodilla se produce por alteraciones en la arquitectura muscular, [73] atrofia selectiva de fibras [66, 67] e incluso déficits neurales. [77] Esta pérdida de masa muscular, contribuye a la debilidad o pérdida de fuerza muscular [59, 110].

La hipotrofia muscular y el déficit de activación del cuádriceps son comunes después de cualquier tipo de cirugía de rodilla, [46, 49] así como tras una lesión meniscal o ligamentosa. [55, 58, 95] . Como se expondrá a lo largo de esta tesis, suponen importantes factores de riesgo en el desarrollo de dolor femoropatelar tras artroscopia de rodilla.

## 1.3 Fisiopatología del dolor femoropatelar

### 1.3.1 Definición de dolor femoropatelar

El dolor femoropatelar (DFP) o dolor anterior de la rodilla es uno de los motivos más frecuentes de visita en las consultas de cirugía ortopédica. [81, 98] La incidencia de DFP es alta, situándose en 22/1.000 personas por año. [9] Se estima que el 15-33% de la población adulta lo padece en alguna ocasión a lo largo de su vida. [81]

Típicamente afecta a pacientes jóvenes y se da más frecuentemente en el sexo femenino que en el masculino, con una ratio 2:1. [34, 82, 98] Su prevalencia en mujeres de entre 18 y 35 años es del 12-13%. [86, 87] La mayor prevalencia de esta patología en mujeres está relacionada con factores anatómicos (mayor valgo anatómico y mayor ángulo Q) condicionados por el mayor diámetro medio-lateral de la pelvis, pero también por factores sociales o conductuales (sedestación con piernas cruzadas y cadera en abducción, calzado con zapato de tacón, etc.) [34]

Clínicamente, el DFP se manifiesta como un dolor difuso y poco definido en la cara anterior de la rodilla que aparece con actividades que implican una flexión mantenida de rodilla, como por ejemplo bajar escaleras, ponerse en cuclillas, permanecer sentado con las rodillas en posición flexionada durante largos períodos de tiempo o pisar el pedal del embrague en el automóvil (en el caso de dolor en la rodilla izquierda). No es infrecuente que estos pacientes experimenten también sensación de inestabilidad, así como crepitación o roce al flexionar la rodilla, sobre todo al bajar escaleras o desniveles.

### **1.3.2 Causas de dolor femoropatelar**

Clásicamente, se había relacionado la etiopatogenia del DFP con el desbalance muscular entre el VM y el VL del cuádriceps. Asumiendo que la hipotrofia o la falta de actividad neuromuscular del VM provoca una báscula o tilt externo rotuliano y un recorrido femoropatelar anómalo, [45, 89] generando una presión excesiva en la faceta lateral de la patela y en consecuencia la aparición de un dolor en la cara anterior de la rodilla. Por este motivo, la rehabilitación del DFP se ha centrado fundamentalmente en la potenciación y la neuroestimulación del VM, especialmente sus fibras oblicuas, ya que son las que han demostrado tener más efecto en el centrado y la estabilización rotuliana. [45, 64, 107]

Sin embargo, el desbalance entre el VM y el VL no está presente en todos los pacientes que experimentan DFP, [17] por lo que han de existir otras posibles causas. En los últimos años, se han relacionado otros factores, como la actividad neuromuscular de la musculatura rotadora externa y abductora de la cadera, [108] las anomalías rotacionales del fémur y de la tibia, [52, 113] e incluso factores psicológicos como la ansiedad, la depresión y la kinesiofobia. [23] Es por ello, por lo que hablar de la "homeostasis" de la articulación femoropatelar, entendiendo por ella la contribución mecánica/estructural ósea, así como la contribución biológica/metabólica de los tejidos de las partes blandas peripatelares y la contribución psicológica, probablemente sea lo más adecuado. Y, por tanto, entender la aparición del dolor anterior de rodilla como la pérdida de esta homeostasis. [24, 25]

El DFP también puede estar relacionado con la atrofia muscular que sucede tras los procedimientos quirúrgicos. [41] Esta patología se observa con relativa frecuencia en pacientes que son sometidos a diferentes tipos de cirugías alrededor de la articulación de la rodilla, como por ejemplo la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) [40] o la cirugía protésica de rodilla. [111] Sin embargo, hasta la publicación de los artículos expuestos en esta

tesis doctoral, no existía ningún estudio en la literatura que analizara de forma específica el DFP postoperatorio tras una meniscectomía parcial artroscópica.

El dolor patelofemoral es por tanto una de las patologías ortopédicas más intrigantes desde un punto de vista clínico y diagnóstico, ya que obliga al especialista a “pensar fuera de la caja” y estudiar en profundidad la anatomía, biomecánica, anatomía patológica, fisiopatología y psicología en cada caso. [105]

### 1.4 Meniscopatías y dolor femoropatelar

#### 1.4.1 Meniscectomía y dolor femoropatelar postoperatorio

Los meniscos son estructuras esenciales para el funcionamiento normal y la biomecánica de la rodilla. Sus funciones incluyen entre otras, absorción de impactos, transmisión de cargas, estabilidad y propiocepción. [42, 75] Las lesiones meniscales son patologías frecuentes y cada vez más comunes, particularmente en medicina deportiva. [112] Se pueden clasificar como lesiones traumáticas o degenerativas, dependiendo del mecanismo lesional, el patrón de ruptura, la edad del paciente y el estado previo de los tejidos meniscales. [83, 101]

Una mejor comprensión en las últimas décadas de la anatomía del menisco, su patogénia y su papel en la biomecánica de la rodilla ha conducido al desarrollo del concepto de “preservación meniscal”. [94] No obstante, la resección artroscópica de parte de los meniscos sigue siendo uno de los procedimientos quirúrgicos más comunes alrededor de la rodilla. [1, 29, 37, 109] Dependiendo del tipo de lesión, el tiempo de evolución de la misma, la edad y el perfil del paciente, en muchos casos la meniscectomía parcial artroscópica es el tratamiento de elección. [70, 80, 99] La cirugía artroscópica es un procedimiento elegante que da como resultado una mejoría notable del dolor en la línea articular. [28] Sin embargo, un número no despreciable de pacientes desarrolla un dolor anterior de rodilla característico y generalmente temporal después del procedimiento quirúrgico. Este fenómeno también se ha observado en pacientes que han sido sometidos a distintos procedimientos quirúrgicos alrededor de la rodilla, como la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) o artroplastia total de rodilla. [39, 111] La incidencia de DFP postoperatorio tras una meniscectomía parcial artroscópica no había sido estudiada hasta el presente trabajo, este porcentaje podría ser

bastante similar a la incidencia de dolor anterior después de la reconstrucción del LCA (22-24%). [18]

El dolor patelofemoral tras artroscopia de rodilla suele aparecer alrededor de la sexta semana tras la intervención, que es justo el momento en que el paciente empieza a retomar su actividad deportiva habitual. [8] Es en este punto, cuando el paciente debería de ser capaz de activar por completo el músculo cuádriceps femoral. [3] Pese a experimentar mejoría de las molestias a nivel de la interlínea articular de la rodilla, los pacientes con DFP postoperatorio describen la aparición de un dolor generalmente inespecífico que en ocasiones se localiza directamente anterior a la rodilla. A menudo este dolor aparece al bajar escaleras o con la sedestación prolongada, aliviándose con la extensión pasiva de la rodilla. Los ruidos o crujidos articulares son frecuentes y no necesariamente son una causa de preocupación en el período postoperatorio. [10] La crepitación o sensación de roce bajo la rótula puede ser patológica si se asocia con lesiones condrales en la articulación femorrotuliana. Sin embargo, el exceso de líquido sinovial aún presente en la rodilla después de la cirugía artroscópica también puede ser la causa de esta crepitación rotuliana.

#### **1.4.2 Rehabilitación postoperatoria tras meniscectomía**

Un protocolo de rehabilitación meniscal ideal ha de tener en cuenta la técnica realizada (resección o reparación meniscal), pero también ha de considerar el patrón de ruptura, el tamaño y la localización de la lesión, así como cualquier procedimiento realizado de forma concomitante. La adecuada rehabilitación postoperatoria de la rodilla menisectomizada es fundamental, no sólo para permitir la reincorporación a la actividad deportiva habitual, sino también para prevenir nuevas lesiones y complicaciones postoperatorias como el DFP. La reincorporación a la actividad deportiva habitual suele incluir correr o saltar aproximadamente a las 6 semanas tras la intervención. [10, 96]

Además de reducir el derrame articular de la rodilla y alcanzar un balance articular completo, es muy importante lograr una activación temprana del cuádriceps femoral. Como describiremos más adelante, una recuperación precoz del grosor y la fuerza de este músculo, puede resultar beneficioso en la prevención del dolor anterior de rodilla en el postoperatorio de cirugía meniscal. Por ello, la monitorización de la activación neuromuscular del cuádriceps y su grosor muscular puede facilitar la identificación de pacientes con riesgo de desarrollar esta complicación postoperatoria.

En los últimos años, la investigación se ha centrado en desarrollar intervenciones desinhibitorias específicas para mejorar la activación voluntaria del cuádriceps. La estimulación eléctrica neuromuscular ha demostrado mejorar la función y la fuerza del cuádriceps, así como disminuir su atrofia en el período postoperatorio de la cirugía del LCA. [30, 50, 63] Recientemente han sido publicados trabajos que también abalan su eficacia después de cirugía meniscal. [36] El ejercicio excéntrico, en el que el músculo se alarga y una fuerza externa supera la producida por el músculo, ha demostrado ser más eficaz que el fortalecimiento concéntrico tradicional para minimizar la atrofia muscular y mejorar la recuperación de la fuerza muscular. [38] La capacidad de contraer excéntricamente el cuádriceps es fundamental para lograr un rango de movimiento óptimo de la rodilla durante la fase de apoyo del ciclo de la marcha, [44, 103] lo cual es básico en la fase inicial de la rehabilitación tras cirugía meniscal. [3, 15, 58, 62] La evidencia actual apoya la aplicación de EMG de superficie en los protocolos de rehabilitación postoperatorios después de cirugía artroscópica de rodilla. Genera un beneficio en términos de fuerza muscular cuadricepsital, ganancia de balance articular y escalas funcionales en comparación con la rehabilitación estándar de forma aislada. [4, 71, 85]

Tener un buen estado de la musculatura cuadricepsital previamente a la cirugía podría ser protector frente al desarrollo de DFP postoperatorio. En este sentido, un programa progresivo de rehabilitación preoperatoria centrado principalmente en el fortalecimiento cuadricepsital en sujetos que vayan a ser sometidos a cirugía meniscal, podría conducir a una mejor función de la rodilla y prevenir el desarrollo de dolor anterior. Del mismo modo que sucede en pacientes que se someten a una reconstrucción del LCA. [26, 71]

### **1.4.3 Tratamiento del dolor femoropatelar postoperatorio**

El pilar fundamental del tratamiento del DFP postoperatorio tras cirugía meniscal es el fortalecimiento muscular del cuádriceps femoral, la musculatura abductora y rotadora de cadera y la musculatura abdominal o core. Medidas terapéuticas adicionales incluyen la reeducación de la marcha o la corrección pasiva del recorrido femoropatelar con vendajes o kinesiotaping.

Los ejercicios de fortalecimiento muscular cuadricepsital se centran fundamentalmente en potenciar el músculo VM, [10] ya que como se verá más adelante en este compendio de artículos, es el músculo que más implicación tiene en el desarrollo de esta patología. El Colegio Americano de Medicina Deportiva recomienda una carga de entrenamiento del 70 al

85% de una repetición máxima para promover la hipertrofia muscular. [116] Muchas veces no es sencillo alcanzar estas cargas al principio del proceso de recuperación después de una cirugía artroscópica, por ello se recomienda que la progresión sea paulatina. La terapia de restricción del flujo sanguíneo se ha convertido en una herramienta muy eficaz para lograr la hipertrofia de la musculatura cuádriceps. [65, 96] Esta terapia genera un entorno anaeróbico en el que se liberan de factores de crecimiento que promueven la hipertrofia muscular. [19, 22, 65] El aspecto diferencial, es que la terapia de restricción de flujo puede estimular un ambiente anaeróbico usando cargas mucho más bajas que el tradicional 70-85% de la repetición máxima. El uso de esta terapia puede ser beneficioso en el tratamiento de aquellos pacientes que desarrollen DFP después de cirugía meniscal artroscópica, dado que promueve un mayor crecimiento del cuádriceps femoral con menores cargas y menor sobrecarga de la articulación femorrotuliana.

En los últimos años se ha estudiado mucho la implicación de la musculatura abductora de la cadera y la musculatura abdominal o core en la articulación patelofemoral. El fortalecimiento conjunto de la musculatura de rodilla y cadera ha demostrado en varios ensayos clínicos aleatorizados ser más eficaz que el entrenamiento aislado de la musculatura cuádriceps en el tratamiento DFP. [31, 47, 74] Lo mismo ocurre con la musculatura abdominal, la cual tiene una gran importancia en la estabilización del tronco durante la marcha y también se ha visto implicada en el manejo del dolor femoropatelar, [115] por lo que también debería ser agregada a los regímenes de tratamiento del dolor anterior de rodilla postoperatorio. [33, 72] Además, son ejercicios que se pueden realizar fácilmente desde las primeras semanas tras una artroscopia simple de rodilla. [114]

Los vendajes u ortesis han demostrado tener un beneficio limitado en el manejo del dolor patelofemoral. [88, 97] Lo mismo sucede con el tratamiento con bandas o kinesiotaping, el cual ha demostrado disminuir el dolor anterior y mejorar la función del cuádriceps en atletas con esta algia. [2] Probablemente, ambos tratamientos puedan ser beneficiosos para reducir el DFP tras meniscectomía parcial artroscópica, pero siempre como complemento de una terapia de potenciación muscular dirigida.



## 1.5 Fundamento de la tesis

La meniscectomía parcial artroscópica es una de las cirugías más frecuentemente realizadas en cualquier servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. [51, 70] Su técnica ha evolucionado enormemente en los últimos años, pasando de las meniscectomías abiertas que se realizaban en la década de los '80 a las meniscectomías parciales mediante técnicas artroscópicas mínimamente invasivas que se realizan hoy en día. [68, 69] Cuando está correctamente indicada, sus resultados clínicos son excelentes, con una mejoría prácticamente inmediata del dolor en la interlinea afectada. [1, 28, 37] Sin embargo, puede presentar una complicación relativamente frecuente, bastante limitante para el paciente y que no ha sido correctamente estudiada hasta la fecha, el dolor anterior postoperatorio.

Debido a la elevada frecuencia de estas lesiones y a su tratamiento eminentemente quirúrgico en pacientes sintomáticos y jóvenes, la aparición de este DFP postoperatorio supone un problema habitual en la práctica clínica diaria que puede llegar a ser altamente limitante si no se identifica y no se trata de la forma adecuada. [91]

Por este motivo, pensamos que es necesario profundizar en el conocimiento de la etiopatogenia del dolor anterior de rodilla después meniscectomía parcial artroscópica y estudiar la implicación del músculo cuádriceps femoral en esta patología.

La justificación de esta tesis doctoral es por tanto eminentemente clínica y busca intentar dilucidar tanto la incidencia del DFP tras meniscectomía parcial artroscópica como los factores de riesgo que lo pueden provocar, con la finalidad de plantear gestos terapéuticos para limitarlo o evitarlo.

## 1.6 Hipótesis

La hipótesis de trabajo de esta tesis se basa en el estudio acerca del DFP y su relación con el cuádriceps femoral tras meniscectomía parcial artroscópica realizado en las siguientes 2 publicaciones.

### **1.6.1 Primer estudio**

El primer estudio compara el grosor muscular, la contractilidad neuromuscular y la fuerza del cuádriceps femoral en pacientes que desarrollan DFP tras meniscectomía parcial artroscópica con respecto a pacientes que no desarrollan este dolor anterior de rodilla.

En este trabajo la hipótesis principal fue que los pacientes que desarrollaran dolor patelofemoral tras la cirugía tendrían una mayor pérdida del grosor muscular, de la contractilidad neuromuscular y de la fuerza muscular del músculo cuádriceps femoral en comparación con aquellos pacientes que no desarrollaran este dolor. La hipótesis secundaria era que estos pacientes presentarían además unos peores resultados funcionales.

### **1.6.2 Segundo estudio**

El segundo estudio compara la correlación entre el grosor muscular preoperatorio del cuádriceps femoral y su actividad neuromuscular y fuerza en el postoperatorio de una meniscectomía parcial artroscópica en pacientes con y sin dolor patelofemoral.

En este trabajo la hipótesis fue que existiría una correlación directa entre el grosor muscular preoperatorio del cuádriceps femoral y su actividad neuromuscular y fuerza en el postoperatorio tras meniscectomía parcial artroscópica en aquellos pacientes que no desarrollaban DFP.



A grayscale photograph of a person from the waist down, wearing a dark athletic top, shorts with three white stripes on the side, and dark sneakers with a white swoosh. The person is standing in a gym or fitness studio, with a bench and other equipment visible in the background. The image is semi-transparent, serving as a background for the text.

# 2

## Material y Método

En esta tesis por compendio de artículos, el apartado Material y Método se corresponde con los datos publicados en cada uno de los trabajos de investigación.

### 2.1 Primer estudio

*Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Leal-Blanquet J, Ares-Vidal J, Hinarejos P, Monllau JC. Patellofemoral Pain After Arthroscopy: Muscle Atrophy Is Not Everything. The Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2021 Jun 29; 9(6).*

Se realizó un estudio longitudinal de cohorte prospectivo entre junio de 2015 y diciembre de 2017 en 120 pacientes programados para meniscectomía parcial artroscópica. El estudio fue aprobado por el comité de ética de nuestra institución. Los criterios de inclusión fueron una lesión meniscal medial aguda sintomática que requirió cirugía en pacientes de >18 años. Los pacientes fueron excluidos si ya presentaban DFP antes de la intervención, si habían recibido alguna cirugía previa en la rodilla afectada (incluida la reparación de meniscos), o bien si se había realizado algún procedimiento quirúrgico asociado (p. ej., reparación condral, reconstrucción de LCA, sinovectomía) durante la cirugía meniscal. Todos los pacientes fueron intervenidos quirúrgicamente con un máximo de 6 meses de evolución desde la lesión meniscal. No se encontraron diferencias en el tiempo de evolución de la lesión meniscal entre los grupos.

De los 120 pacientes iniciales, 30 fueron excluidos según los criterios antes mencionados: 19 tenían DFP antes de la cirugía y en 11 de ellos se realizó algún procedimiento quirúrgico asociado (en 7 pacientes se realizó reparación meniscal con sutura; en 3 pacientes se realizaron microfracturas asociadas debido a la presencia incidental de una lesión condral, en un paciente debido a una lesión meniscal cicatrizada y estable se decidió no tratar) (Figura 1).

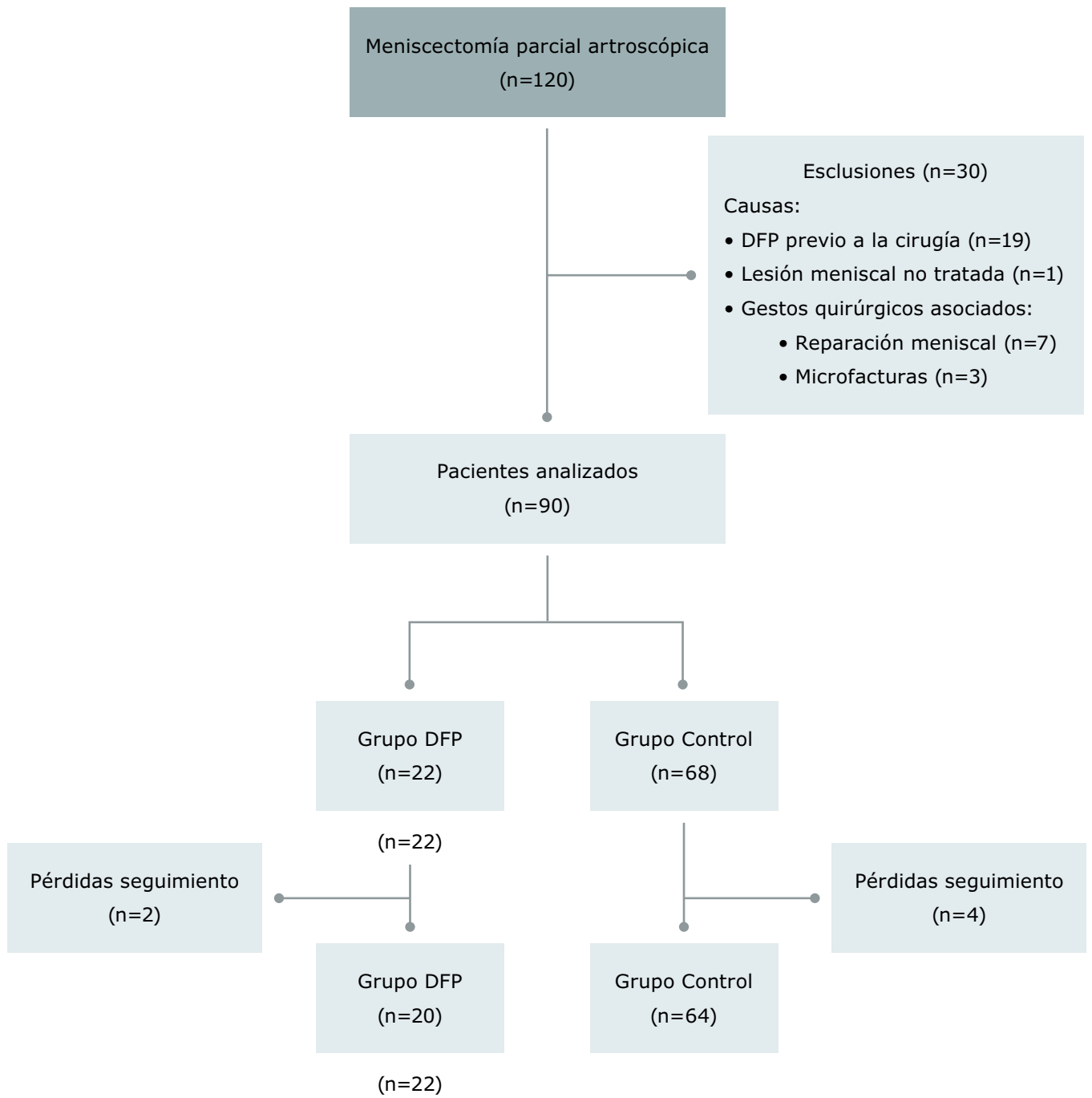


Figura 1

Diagrama de flujo del estudio, exclusión de pacientes y distribución por grupos.

### 2.1.1 Técnica quirúrgica

Los pacientes fueron intervenidos por el mismo equipo quirúrgico (P.H., J.L.-B., J.F.S.-S., R.T.-C., J.C.M.) de la unidad de rodilla de nuestra institución. Todos los procedimientos quirúrgicos se realizaron bajo anestesia espinal (15 mg levobupivacaína al 0,5%). Dada la corta duración de la cirugía (20 minutos de media), se utilizó un torniquete a una presión de 100 mm Hg por encima de la presión sistólica previa exanguinación del miembro. No hubo diferencias > 50 mm Hg en la presión del torniquete entre los pacientes. La meniscectomía parcial artroscópica se realizó en todos los casos a través de los portales anterolateral y anteromedial de rutina. Ningún paciente recibió un bloqueo del nervio ciático o femoral después de la operación. En ningún caso se dejaron colocados redones intrarticulares.

### 2.1.2 Manejo postoperatorio

Los pacientes se sometieron a cirugía en régimen de cirugía mayor ambulatoria. Todos los pacientes recibieron la misma medicación analgésica, antiinflamatoria y anticoagulante durante el postoperatorio. Todos los pacientes recibieron un protocolo estandarizado de fisioterapia permitiendo la carga de peso inmediata según tolerancia, sin inmovilizador de rodilla y con la ayuda de dos muletas hasta que se estableciera un patrón adecuado de marcha. La función muscular se restauró mediante ejercicios de fortalecimiento específicos para la musculatura cuádriceps. Se inició con ejercicios isométricos de cuádriceps y progresivamente se fueron incorporando ejercicios de cadena abierta en el transcurso de 6 semanas. El rango de movilidad articular no se limitó y se fue ampliando progresivamente según tolerancia.

### 2.1.3 Evaluación de los resultados

Los pacientes fueron incluidos en un grupo o en otro en función de su respuesta a una pregunta sobre la presencia de DFP en la visita preoperatoria y a las 6 semanas después de la cirugía ("¿Alguna vez ha tenido dolor en la parte anterior de la rodilla además de el dolor actual en la interlínea articular medial?"). Los pacientes respondieron esta pregunta por escrito junto con el resto de los cuestionarios de resultados.

Para cuantificar el grosor muscular de los músculos VM y VL, se realizó una resonancia magnética (RM) del muslo en todos los pacientes antes de la cirugía y 6 semanas después de la cirugía. Estas RM se realizaron en la rodilla lesionada y contralateral. Existe un alto coeficiente de correlación entre el área de la sección transversal del cuádriceps y el volumen

muscular total. [68] Se obtuvieron imágenes de las rodillas en el plano sagital en la misma unidad de resonancia magnética de cuerpo entero de 1.5 T (GE Signa EXCITE). Se tomó un topograma y se programaron planos axiales en una secuencia rápida T1 bidimensional (ángulo de volteo, 55; tiempo de repetición, 580 milisegundos; tiempo mínimo de eco, 11,3 milisegundos; campo de visión, 17 x17 cm; 60 particiones; matriz, 448 x 288 píxeles; tiempo de adquisición, 2,55 minutos). Se obtuvieron imágenes sagitales con un espesor de corte de 6 mm, con un intervalo de partición de 4,5 mm y una resolución en el plano de 0,31 a 0,83 mm. Todas las mediciones de RM se realizaron de forma ciega a la identificación del paciente, a las secuencias de tiempo y a otras mediciones estructurales de la rodilla. Esta medición se realizó a 3,75 cm desde el polo superior de la rótula para el VM y a 15 cm para el VM y VL, según Wang et al [107] (Figura 2). Con estos valores se calculó el cociente VL / VM. [78] Todas las mediciones de RM fueron realizadas de forma ciega por 2 observadores independientes (radiólogos especialistas en sistema musculo-esquelético).

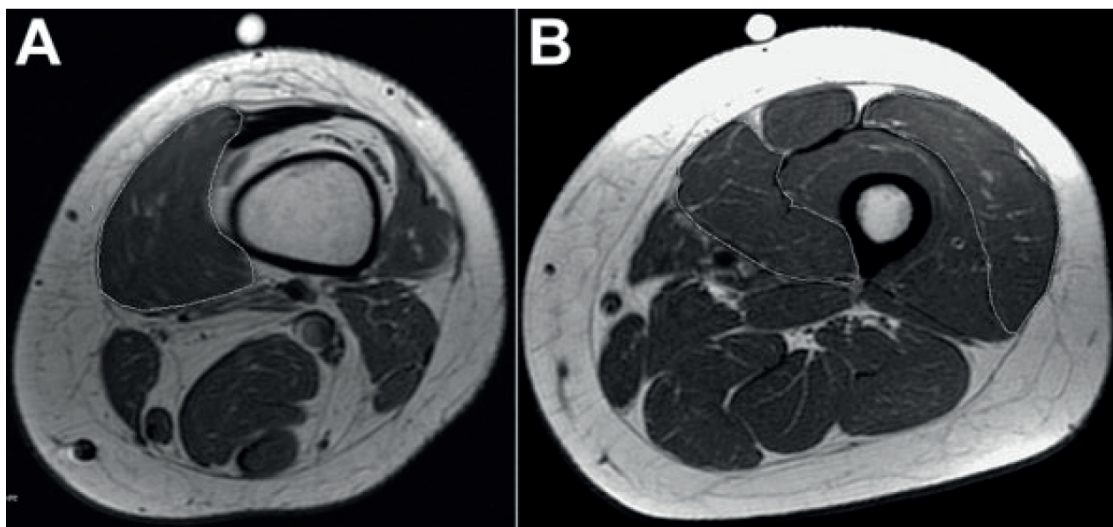


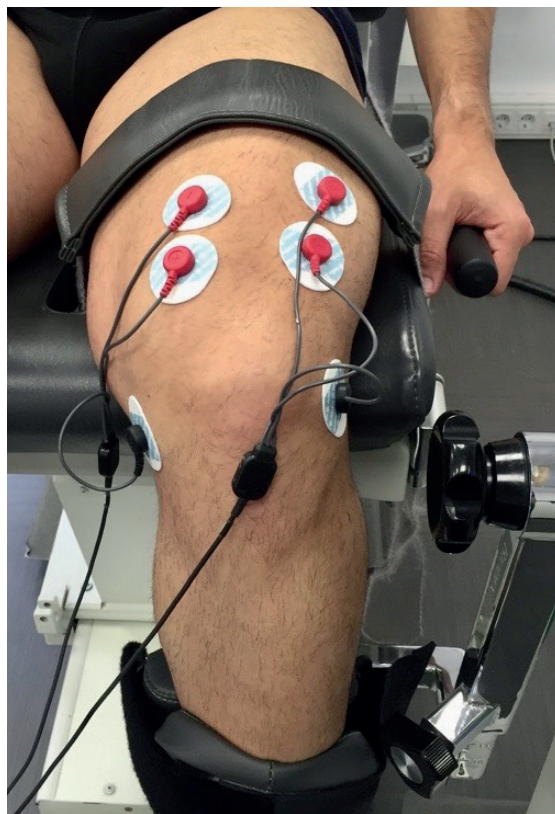
Figura 2

Imagen de resonancia magnética de corte axial que muestra el área de la sección transversal del VM y el VL a (A) 3,75 cm y (B) 15 cm desde el polo superior de la rótula.

Asimismo, la contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral se analizó con electromiografía de superficie (EMG-S) (MegaWin), extrayendo la actividad muscular y la contracción voluntaria



máxima del VL y del VM antes de la cirugía y a las 6 semanas de la intervención. Los electrodos de superficie Ag / AgCl (30 mm de diámetro) se distribuyeron en la dirección de las fibras musculares del VM y del VL, de acuerdo con el método de colocación de electrodos para registros electromiográficos de superficie en miembros inferiores descrito por Rainoldi et al. [84] Se colocaron dos electrodos adicionales de control en la meseta tibial medial y lateral (Figura 3). La piel debajo de los electrodos se limpió previamente con una solución de alcohol al 95%.



**Figura 3**

Colocación de electrodos para electromiografía de superficie en una rodilla izquierda. Se pueden visualizar 2 electrodos en el VM, 2 en el VL y 2 electrodos de control adicionales en la superficie del hueso de la meseta tibial medial y lateral.

Para evaluar la fuerza muscular, se realizó una prueba isocinética (dinamómetro Biodex) tanto preoperatoriamente como a las 6 semanas de la intervención, que proporcionó datos sobre la

fuerza muscular a través del rango de movimiento a 60 grados / sg (Figura 4). Las pruebas electrofisiológicas e isocinéticas se realizaron de forma bilateral en ambas rodillas, ambas pruebas fueron realizadas por el mismo fisioterapeuta, el cual desconocía si el paciente tenía PFP.

Todos los pacientes rellenan, antes de la operación y en la visita de control, el cuestionario funcional de Lysholm. Este cuestionario ha sido validado en pacientes con lesiones ligamentosas, condrales [56, 57] y meniscales [7, 18] así como en personas con rodillas normales o sanas. [12, 13]

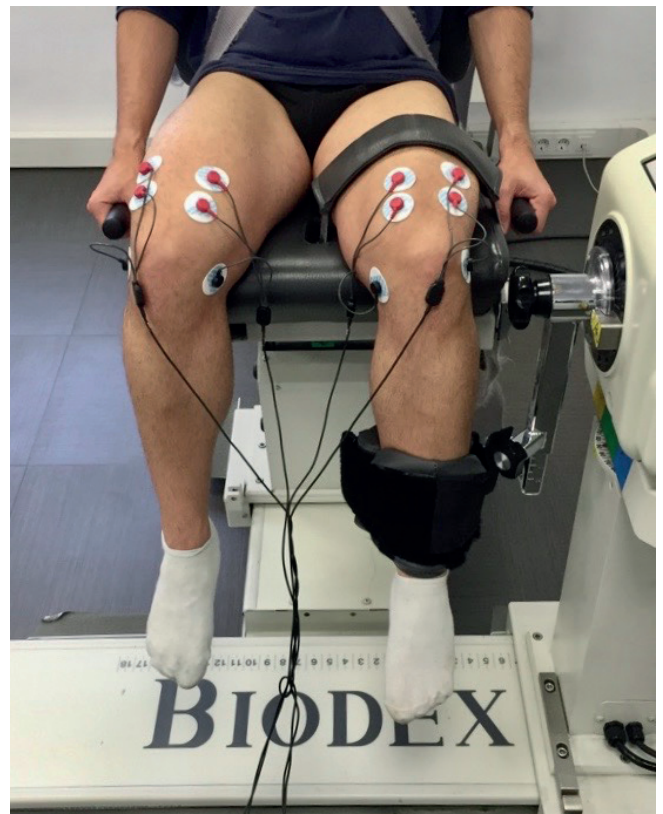
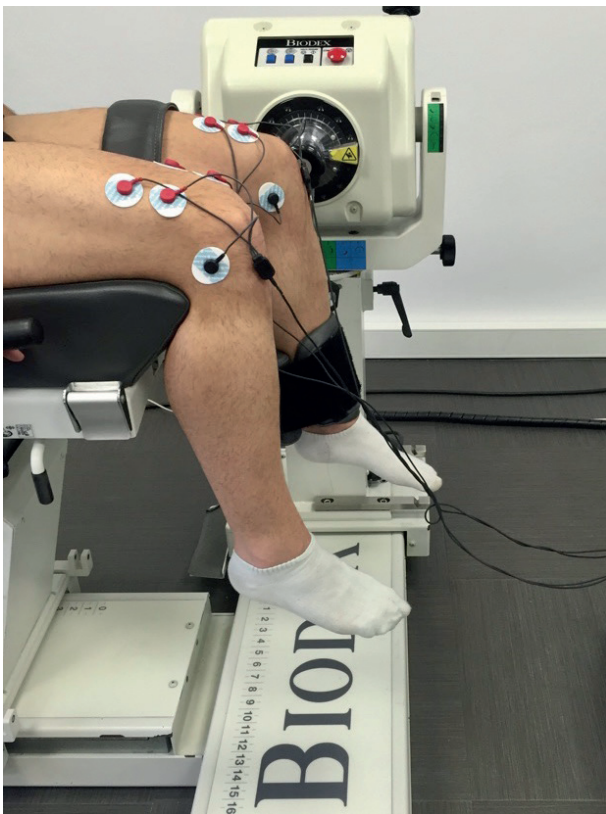


Figura 4

Prueba isocinética en un dinamómetro Biodex.

### 2.1.4 Análisis estadístico


Las variables numéricas se expresan de forma descriptiva como medias y desviaciones estándar. Las diferencias entre los grupos (pre y postoperatorio) se evaluaron mediante pruebas t pareadas. Esto se realizó por separado para el grupo de DFP y para el grupo de control. Las diferencias pre-postoperatorias fueron calculadas para cada parámetro y para cada paciente. Estas diferencias se utilizaron para realizar comparaciones entre grupos mediante pruebas t no apareadas. Se utilizó la versión 15.1 de Stata (StataCorp) para el análisis estadístico. Se consideraron estadísticamente significativos valores de  $p < 0,05$ . Se realizó un cálculo del tamaño muestral de antemano. Teniendo en cuenta un riesgo alfa de 0,05, un riesgo beta de 0,2 y un riesgo relativo de 0,1, fue necesaria una muestra de 88 pacientes. Se estimó que la proporción de pacientes que desarrollarían DFP después de la cirugía sería de 0,25 proporción similar a la incidencia en personas sanas. [98] Se asumieron unas pérdidas de seguimiento del 5%. Se empleó la aproximación de Poisson.

## 2.2 Segundo estudio

*Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Solano A, Leal-Blanquet J, Hinarejos P, Monllau JC. Preoperative muscle thickness influences muscle activation after arthroscopic. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2021 Dec 18.*

La aprobación del estudio fue concedida por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Parc de Salut Mar de la Universitat Autònoma de Barcelona (CEIC nº 2014/5534). Se realizó un estudio de cohortes prospectivo entre 2015 y 2017 en pacientes consecutivos a los que se les iba a realizar una menisectomía parcial artroscópica. Los criterios de inclusión fueron que el paciente tuviera 18 años o más y que tuviera una rotura meniscal medial aguda y sintomática que requiriera cirugía. Todos los pacientes fueron intervenidos con un máximo de 6 meses de evolución de la lesión meniscal. No se encontraron diferencias en el tiempo de evolución de la rotura meniscal entre los grupos. Los criterios de exclusión incluyeron haber tenido DFP antes de la cirugía, cirugías previas en la rodilla afectada (incluida la reparación meniscal) o si hubo un gesto quirúrgico asociado durante el procedimiento índice (por ejemplo, reparación condral, reconstrucción del LCA).

Por las razones expuestas anteriormente, se excluyeron 30 pacientes de los 120 incluidos



inicialmente en el estudio. Diecinueve de los 30 habían tenido DFP antes de la cirugía. Los 11 pacientes restantes fueron sometidos a un gesto quirúrgico asociado durante la artroscopia de rodilla, en 7 de ellos se realizó reparación meniscal con sutura, en 3 de ellos se realizaron microfracturas por la presencia incidental de lesión condral y en un paciente se objetivó una lesión meniscal parcial que se decidió no tratar (Figura 1).

### **2.2.1 Técnica quirúrgica**

Todos los procedimientos quirúrgicos fueron realizados por el mismo equipo de cirujanos de rodilla del Hospital Parc de Salut Mar. Los pacientes fueron intervenidos bajo anestesia espinal (15 mg de levobupivacaína al 0,5%). Como la cirugía era de corta duración, previa exanguinación de la extremidad se empleó un torniquete de isquemia a una presión de 100mmHg por encima de la presión sistólica del paciente. En todos los casos la artroscopia se realizó a través de los portales anterolateral y anteromedial de rutina. Ninguno de los pacientes recibió bloqueo del nervio femoral o ciático tras el procedimiento. En ningún caso se utilizaron drenajes intrarticulares.

### **2.2.2 Manejo postoperatorio**

Los pacientes se sometieron a cirugía en régimen de cirugía mayor ambulatoria. Todos los pacientes recibieron la misma medicación analgésica, antiinflamatoria y anticoagulante durante el periodo postoperatorio. Tras el alta médica, todos los pacientes recibieron un programa de fisioterapia en nuestra institución o en centros de rehabilitación externos. En ambos casos se respetaron las mismas pautas postoperatorias. Se trataba de un protocolo estandarizado basado en carga de peso inmediata con ayuda de muletas, sin férulas ortopédicas, hasta lograr un patrón de marcha normal. El rango de movilidad articular no se limitó y se fue ampliando progresivamente según tolerancia.

El programa de rehabilitación que siguieron los pacientes incluía ejercicios de fortalecimiento muscular, propiocepción, coordinación y ejercicios cardiovasculares. Los ejercicios de fortalecimiento muscular iban dirigidos a los músculos de la extremidad inferior (cuádriceps, isquiotibiales, músculos abductores de cadera y musculatura de la pierna). Se iniciaba con ejercicios isométricos de cuádriceps y progresivamente se iban incorporando ejercicios de cadena abierta en el transcurso de 6 semanas. Durante las primeras 4 semanas postoperatorias, la flexión de la rodilla se limitó a 60° durante la realización de ejercicios con peso (por ejemplo, sentadillas o estocadas). Se realizaron tres series de 12 a 20 repeticiones cada una,


la intensidad del ejercicio osciló entre el 65 y el 80 % del máximo alcanzable. Focalizados en el control neuromuscular de la rodilla intervenida, los ejercicios de propiocepción y coordinación incluían actividades de moderada intensidad (por ejemplo, equilibrio de una sola pierna y ejercicios de estabilización estática y dinámica en superficies estables e inestables durante 10 min/sesión). La sesión de ejercicio cardiovascular consistía en 10 minutos de ciclismo en bicicleta estática de intensidad ligera a moderada.

### 2.2.3 Evaluación de los resultados

Los pacientes fueron asignados a un grupo o a otro dependiendo de su respuesta a una pregunta relacionada con la presencia del DFP en la visita preoperatoria y a las seis semanas tras la intervención quirúrgica (“¿Alguna vez ha tenido dolor en la parte anterior de la rodilla además del dolor actual en la línea articular medial o lateral?”). La pregunta fue respondida de forma escrita por parte del paciente.

Para cuantificar el grosor muscular de VM y VL, se tomaron imágenes de RM del muslo para todos los pacientes antes de la cirugía y 6 semanas después de la cirugía. Estas pruebas de imagen se realizaron tanto en la rodilla lesionada como en la rodilla contralateral. Existe un alto coeficiente de correlación entre el área de sección transversal del cuádriceps y el volumen muscular total. [54] Se tomaron imágenes de las rodillas en el plano sagital en la misma unidad de RM de cuerpo entero de 1,5 T (GE SIGNA EXCITE) utilizando una bobina de extremidad comercial de solo recepción. Se tomó un topograma y se programaron planos axiales en una secuencia 2D de eco de espín rápido T1 (ángulo de giro 55°, tiempo de repetición 580 ms, tiempo mínimo de TE 11,30 ms, campo de visión 17 × 17 cm, 60 particiones, matriz de 448 × 288 píxeles tiempo de adquisición 2,55 min). Las imágenes sagitales se obtuvieron con un espesor de corte de 6 mm, con un intervalo de partición de 4,50 mm y una resolución en el plano de 0,31–0,83 mm. Todas las evaluaciones de RM fueron ciegas a la identificación del sujeto, secuencias de tiempo y otras medidas estructurales de la rodilla. Esta medida se realizó a 3,75 cm para el VM y a 15 cm para el VM y VL del polo superior de la rótula, de acuerdo con Wang et al. [89] Con esos valores se calculó la relación VL / VM. [64] Todas las mediciones de resonancia fueron realizadas de forma ciega por dos radiólogos, especializados en el sistema musculoesquelético, que actuaban como observadores independientes.

Asimismo, se analizó la contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral con EMG-S (Megawin),



extrayéndose la actividad muscular y los valores de contracción voluntaria máxima del VL y del VM durante el preoperatorio y a las 6 semanas de la cirugía. Se distribuyeron cuatro electrodos de superficie de Ag/AgCl (30 mm de diámetro) en la dirección de las fibras musculares del VM y del VL, de acuerdo con el método para la colocación de electrodos en los registros EMG-S de los músculos de las extremidades inferiores descrito por Rainoldi et al. [84] Se colocaron dos electrodos adicionales de control en la superficie ósea de la meseta tibial medial y lateral. Se utilizó una solución de alcohol al 95% para limpiar la piel debajo de los electrodos.

Primero se informó a los pacientes acerca de la estimulación eléctrica. Luego, se fue incrementando progresivamente una sola intensidad de corriente de pulsos rectangulares de 1 msg en pasos de 10 mA (a partir de 0 mA) cada 3 a 5 sg. La intensidad máxima de corriente se determinó como el nivel de corriente en el que el par evocado no aumentó más a pesar del aumento de la intensidad de la corriente, lo que indica un reclutamiento completo del músculo cuádriceps. Posteriormente, los pacientes ejecutaron un protocolo de calentamiento estandarizado consistente en 6 contracciones voluntarias submáximas y 1 contracción voluntaria máxima con 90 grados de flexión de rodilla. A continuación, los pacientes completaron 3 series de contracción voluntaria máxima separadas por aproximadamente 30 sg. A los pacientes se les proporcionó constantemente estimulación verbal y retroalimentación visual estandarizadas. El torque de la contracción voluntaria máxima se midió como el torque máximo ajustado a la masa corporal alcanzado antes o después de la contracción superpuesta. El nivel de activación se calculó utilizando la siguiente fórmula:  $[100 - (\text{par de contracción superpuesta} / \text{par de contracción potenciado}) \times 100]$ . [92]

Se realizó también una prueba isocinética (dinamómetro Biodex) tanto antes de la cirugía como 6 semanas después de la cirugía para evaluar los valores de rendimiento muscular. Las pruebas proporcionaron datos sobre la fuerza muscular a través del rango de movimiento a 60 grados por segundo. Los pacientes realizaron la extensión, con retorno pasivo a la posición inicial. Se realizaron tres repeticiones y se eligió la mediana para cada paciente. Las pruebas electrofisiológicas e isocinéticas fueron realizadas en ambas rodillas por el mismo fisioterapeuta que desconocía si el paciente tenía o no dolor patelofemoral.

#### **2.2.4 Análisis estadístico**

Las variables numéricas se expresan como medias y desviaciones estándar. Dentro de los

grupos, los cambios (preoperatorios vs postoperatorios) se evaluaron mediante pruebas t pareadas. Esto se realizó por separado para el grupo DFP y el grupo control. La correlación entre variables continuas se evaluó con el coeficiente de correlación de Spearman. Para el análisis estadístico se utilizó la versión 15.10 de STATA (StataCorp, College Station, TX, EE. UU.). Los valores de p de 0,05 se consideraron estadísticamente significativos.

Se realizó un cálculo del tamaño de la muestra en un primer momento. Aceptando un riesgo alfa de 0,05, un riesgo beta de 0,20 y un riesgo relativo mayor o igual a 0,10, se necesitaban 88 sujetos. La proporción de pacientes que desarrollaron DFP después de la cirugía se estimó en 0,25, la misma incidencia que en personas sanas. [70, 78, 81] Se asumió una pérdida de seguimiento del 5%. Se utilizó la aproximación de Poisson.







A grayscale photograph of a person using a gym machine, possibly a leg press or similar. The person is wearing a dark t-shirt and shorts. A large, bright blue number '3' is overlaid on the right side of the image. The background is dark and out of focus.

3

Resultados

En esta tesis por compendio de artículos, el apartado Resultados se corresponde con los datos publicados en cada uno de los trabajos de investigación.

### 3.1 Primer estudio

*Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Leal-Blanquet J, Ares-Vidal J, Hinarejos P, Monllau JC. Patellofemoral Pain After Arthroscopy: Muscle Atrophy Is Not Everything. The Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2021 Jun 29; 9(6).*

De los 90 pacientes restantes tras las exclusiones, hubo 6 pacientes que se perdieron durante el seguimiento: 2 pacientes del grupo DFP y 4 pacientes del grupo control. Estas pérdidas de seguimiento resultaron no ser diferenciales para el análisis estadístico de los datos, dado que no afectaron la demografía de los grupos. De los 84 pacientes restantes, 20 (23,80%) fueron asignados al grupo de DFP por desarrollar dolor anterior de rodilla postoperatorio y 64 (76,20%) se consideraron controles por no haber desarrollado este tipo de dolor. En cuanto a la distribución por sexos, fueron 55 hombres (65,47%) y 29 mujeres (34,53%), la edad media de la muestra fue  $44,92 \pm 11,01$  años. Ambos grupos fueron comparables en todas las variables preoperatorias analizadas.

#### 3.1.1 Resultados de grosor muscular

Aunque el grosor muscular fue comparable entre los dos grupos a nivel preoperatorio (Tabla 1), los pacientes que desarrollaron DFP mostraron una mayor disminución del grosor muscular (5,11 cm<sup>2</sup> en VL15 cm, 6,80 cm<sup>2</sup> en VM 15 cm y 7,80 cm<sup>2</sup> en VM 3,75 cm o VMO) con respecto al grupo control (1,38, 2,28 y 2,69 cm<sup>2</sup> respectivamente) a las 6 semanas después de la cirugía ( $p < 0,001$ ).

**Tabla 1**Grosor muscular (cm<sup>2</sup>)<sup>a</sup>

	Grupo DFP	Grupo control	Valor P
<b>Preoperatorio</b>			
VL 15cm	21.09 ± 3.55	22.30 ± 3.67	0.072
VM 15cm	15.79 ± 2.95	17.20 ± 2.66	0.127
VM 3.75cm	17.66 ± 2.62	19.25 ± 4.01	0.081
VL/VM	1.35 ± 0.21	1.32 ± 0.26	0.282
<b>Postoperatorio</b>			
VL 15cm	15.88 ± 2.47	20.72 ± 3.35	<b>&lt;0.001</b>
VM 15cm	9.06 ± 2.25	14.92 ± 2.96	<b>&lt;0.001</b>
VM 3.75cm	9.67 ± 1.84	16.55 ± 3.89	<b>&lt;0.001</b>
VL/VM	1.76 ± 0.25	1.63 ± 0.26	<b>0.035</b>
<b>Diferencias</b>			
VL 15cm	5.11 ± 2.01	1.38 ± 1.67	<b>&lt;0.001</b>
VM 15cm	6.8 ± 1.96	2.28 ± 1.87	<b>&lt;0.001</b>
VM 3.75cm	7.9 ± 2.15	2.69 ± 3.18	<b>&lt;0.001</b>
Ratio VL/VM	0.77 ± 0.09	0.98 ± 0.13	<b>0.022</b>

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias ± DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos (P<0.05). DFP, dolor femoropatelar. VL, vastus lateralis. VM, vastus medialis.

### 3.1.2 Resultados de electromiografía de superficie

La actividad muscular disminuyó en mayor medida en el grupo de pacientes que desarrollaron DFP (804,25 mV en VL y 1250,80 mV en VM) que en el grupo control (486,95 y 680,82 mV) a las 6 semanas de la cirugía artroscopia (p = 0,036 y p < 0,001 respectivamente). El análisis de la contracción voluntaria máxima mostró resultados en la misma línea que los mencionados anteriormente (Tabla 2).

**Tabla 2**Contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral ( $\mu\text{V}$ )<sup>a</sup>

	Grupo DFP	Grupo control	Valor P
<b>Preoperatorio</b>			
VL AM	2418.25 ± 940.90	2686.00 ± 984.84	0.721
VM AM	2477.10 ± 936.34	2626.93 ± 914.38	0.436
VL CVM	266.90 ± 70.82	264.43 ± 115.50	0.784
VM CVM	271.15 ± 80.72	248.93 ± 109.19	0.420
<b>Postoperatorio</b>			
VL AM	1614.00 ± 671.74	2199.05 ± 840.24	<b>0.021</b>
VM AM	1226.30 ± 565.79	1946.11 ± 799.33	<b>&lt;0.001</b>
VL CVM	159.79 ± 55.94	222.33 ± 63.32	<b>0.035</b>
VM CVM	122.90 ± 63.94	231.75 ± 62.83	<b>&lt;0.001</b>
<b>Diferencias</b>			
VL AM	804.25 ± 762.82	486.95 ± 421.34	<b>0.036</b>
VM AM	1250.80 ± 985.02	680.82 ± 440.32	<b>&lt;0.001</b>
VL CVM	107.11 ± 99.11	42.10 ± 73.40	<b>0.008</b>
VM CVM	148.25 ± 103.57	17.18 ± 80.44	<b>&lt;0.001</b>

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias ± DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $P < 0.05$ ). DFP, dolor femoropatelar. AM, actividad muscular. CVM, contracción voluntaria máxima. VL, vastus lateralis. VM, vastus medialis.

### 3.1.3 Resultados del test isocinético

El estudio isocinético preoperatorio mostró datos de fuerza muscular de 23,61 kg en el grupo de DFP y de 25,11 kg en el grupo de control ( $p = 0,521$ ). A las 6 semanas tras la cirugía, se redujo a 12,27 kg en el grupo de DFP y a 20,02 kg en el grupo de control ( $p < 0,001$ ) (Tabla 3).

**Tabla 3**Fuerza muscular a 60 grad/sg (Kg)<sup>a</sup>

	Grupo DFP	Grupo control	Valor P
Preoperatorio	23.62 ± 8.57	25.11 ± 9.17	<b>0.521</b>
Postoperatorio	12.27 ± 5.59	20.02 ± 5.92	<b>&lt;0.001</b>
Diferencia	11.35 ± 6.78	5.09 ± 7.86	<b>&lt;0.001</b>

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias ± DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos (P<0.05). DFP, dolor femoropatelar.

### 3.1.4 Resultados funcionales

Las puntuaciones de Lysholm preoperatorias fueron bastante similares en ambos grupos (DFP, 59,85; control, 55,56; p = 0,307). Sin embargo, en el postoperatorio los pacientes que desarrollaron DFP tuvieron resultados funcionales significativamente peores (DFP, 63,05; control, 74,45; p <0,001) (Tabla 4).

**Tabla 4**Cuestionario de Lysholm<sup>a</sup>

	Grupo DFP	Grupo control	Valor P
Preoperatorio	59.85 ± 17.14	55.56 ± 14.16	<b>0.307</b>
Postoperatorio	63.05 ± 14.70	74.45 ± 10.85	<b>&lt;0.001</b>
Diferencia	3.2 ± 12.95	18.89 ± 13.34	<b>&lt;0.001</b>

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias ± DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos (P<0.05). DFP, dolor femoropatelar

## 3.2 Segundo estudio

Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Solano A, Leal-Blanquet J, Hinarejos P, Monllau JC. Preoperative muscle thickness influences muscle activation after arthroscopic. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2021 Dec 18.

De los 90 pacientes restantes después de la exclusión, 6 fueron pérdidas de seguimiento. Estas pérdidas incluyeron 4 pacientes del grupo control y 2 pacientes del grupo DFP. Las pérdidas de seguimiento resultaron no ser diferenciales para el análisis estadístico de los datos, dado que no afectaban a la demografía de los dos grupos. De los 84 pacientes restantes, 20 (23,8%) fueron asignados al grupo DFP por desarrollar dolor anterior de rodilla a las 6 semanas de la intervención, y 64 pacientes (76,2%) se consideraron controles, por no desarrollar este dolor. La edad media muestral fue de 44,9 años (DE 11,0 años). Había 29 mujeres (34,5%) y 55 hombres (65,5%). Ambos grupos fueron comparables en cuanto a todas las variables preoperatorias analizadas (tabla 5).

**Tabla 5**

Variables analizadas en el estudio

	Grupo DFP	Grupo control	Valor P
<b>Preoperatorio</b>			
VL 15cm (cm <sup>2</sup> )	21.1 ± 3.6	22.3 ± 3.7	n.s
VM 15cm (cm <sup>2</sup> )	15.8 ± 2.9	17.2 ± 2.7	n.s
VM 3.75cm (cm <sup>2</sup> )	17.7 ± 2.6	19.2 ± 4.0	n.s
VL MA (μV)	2418.3 ± 940.9	2686.0 ± 984.8	n.s
VM MA (μV)	2477.1 ± 936.3	2626.9 ± 914.4	n.s
VL CVM (μV)	266.9 ± 70.8	264.4 ± 115.5	n.s
VM CVM (μV)	271.2 ± 80.7	248.9 ± 109.2	n.s
MS 60°/sg (Kg)	23.6 ± 8.6	25.1 ± 9.2	n.s

Postoperatorio			
VL 15cm (cm <sup>2</sup> )	15.9 ± 2.5	20.7 ± 3.3	<b>&lt;0.001</b>
VM 15cm (cm <sup>2</sup> )	9.0 ± 2.2	14.9 ± 2.9	<b>&lt;0.001</b>
VM 3.75cm (cm <sup>2</sup> )	9.7 ± 1.8	16.6 ± 3.9	<b>&lt;0.001</b>
VL MA (μV)	1614.0 ± 671.7	2199.1 ± 840.2	<b>0.02</b>
VM MA (μV)	1226.3 ± 565.8	1946.1 ± 799.3	<b>&lt;0.001</b>
VL CVM (μV)	159.8 ± 55.9	222.3 ± 63.3	<b>0.04</b>
VM CVM (μV)	122.9 ± 63.9	231.8 ± 62.8	<b>&lt;0.001</b>
MS 60°/sg (Kg)	12.27 ± 5.6	20.0 ± 5.9	<b>&lt;0.001</b>

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias ± DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos (P<0.05). DFP, dolor femoropatelar. VL, vastus lateralis. VM, vastus medialis. MA, Actividad muscular. CVM, contracción voluntaria máxima. MS, fuerza muscular.

Existe una correlación positiva moderada entre el grosor preoperatorio del músculo cuádriceps y la actividad muscular, la contracción voluntaria máxima y los valores de fuerza preoperatoria, independientemente de si el paciente desarrolla o no dolor patelofemoral. Esta correlación es más fuerte para el músculo VM a 3,75 cm del polo superior de la rótula (p < 0,01) (Tablas 5, 6, 7, 8). Existe una correlación positiva de moderada a alta entre el grosor del cuádriceps femoral preoperatorio y el grosor de dicho músculo a las 6 semanas después de la cirugía. Esta correlación es también independiente de que el paciente desarrolle o no dolor patelofemoral (tabla 6).

Se observa una correlación positiva moderada entre el grosor del músculo cuádriceps femoral en el preoperatorio preoperatorio y los valores de actividad muscular, contracción voluntaria máxima y fuerza a las 6 semanas después de la cirugía exclusivamente para el grupo de pacientes que no desarrollaron dolor patelofemoral. El grupo de pacientes que desarrolló dolor femorrotuliano en el postoperatorio no mostró esta correlación (Tabla 6, 7, 8).



**Tabla 6**

Correlaciones postoperatorias

Grupo control (n=64)			
Preoperatorio			
	VL 15cm	VM 15cm	VM 3.75cm
Preoperatorio			
VL MA	0.4 ( <b>p = 0.01</b> )	0.3 ( <b>p = 0.01</b> )	0.2 ( <b>p = 0.03</b> )
VM MA	0.3 (p = n.s.)	0.4 ( <b>p = 0.04</b> )	0.6 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VL CVM	0.4 ( <b>p = 0.03</b> )	0.2 (p = n.s.)	0.3 ( <b>p = 0.01</b> )
VM CVM	0.2 ( <b>p = 0.03</b> )	0.4 ( <b>p = 0.03</b> )	0.4 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
MS 60%/sg	0.5 ( <b>p = 0.04</b> )	0.4 ( <b>p = 0.01</b> )	0.4 ( <b>p = 0.02</b> )
Postoperatorio			
VL 15cm	0.7 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.3 ( <b>p = 0.01</b> )	0.5 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VM 15cm	0.2 ( <b>p = 0.04</b> )	0.8 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.4 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VM 3.75cm	0.6 (p = n.s.)	0.4 ( <b>p = 0.01</b> )	0.7 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VL MA	0.6 ( <b>p = 0.04</b> )	0.1 (p = n.s.)	0.3 ( <b>p = 0.03</b> )
VM MA	0.3 (p = n.s.)	0.7 ( <b>p = 0.04</b> )	0.5 ( <b>p = 0.01</b> )
VL CVM	0.5 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.4 ( <b>p = 0.02</b> )	0.3 ( <b>p = 0.04</b> )
VM CVM	0.2 ( <b>p = 0.03</b> )	0.3 (p = n.s.)	0.5 ( <b>p = 0.02</b> )
MS 60%/sg	0.4 ( <b>p = 0.02</b> )	0.4 ( <b>p = 0.01</b> )	0.5 ( <b>p = 0.01</b> )
Grupo DFP (n=20)			
Preoperatorio			
	VL 15cm	VM 15cm	VM 3.75cm
Preoperatorio			
VL MA	0.3 ( <b>p = 0.04</b> )	0.1 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)
VM MA	0.3 (p = n.s.)	0.3 ( <b>p = 0.04</b> )	0.4 ( <b>p = 0.02</b> )

VL CVM	0.3 ( <b>p = 0.04</b> )	0.1 (p = n.s.)	0.3 (p = n.s.)
VM CVM	0.2 (p = n.s.)	0.3 (p = n.s.)	0.0 (p = n.s.)
MS 60°/sg	0.1 (p = n.s.)	0.4 ( <b>p = 0.03</b> )	0.1 (p = n.s.)
<b>Postoperatorio</b>			
VL 15cm	0.5 ( <b>p = 0.02</b> )	0.5 ( <b>p = 0.04</b> )	0.5 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VM 15cm	0.23 ( <b>p = 0.04</b> )	0.6 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.4 ( <b>p = 0.04</b> )
VM 3.75cm	0.4 (p = n.s.)	0.6 ( <b>p = 0.01</b> )	0.6 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VL MA	0.1 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)
VM MA	0.1 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)
VL CVM	0.1 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)
VM CVM	0.1 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)
MS 60°/sg	0.1 (p = n.s.)	0.5 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias ± DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos (P<0.05). DFP, dolor femoropatelar. VL, vastus lateralis. VM, vastus medialis. MA, Actividad muscular. CVM, contracción voluntaria máxima. MS, fuerza muscular.

## Tabla 7

### Correlaciones postoperatorias

<b>Grupo control (n=64)</b>			
<b>Postoperatorio</b>			
	VL 15cm	VM 15cm	VM 3.75cm
<b>Preoperatorio</b>			
VL MA	0.5 ( <b>p = 0.01</b> )	0.2 (p = n.s.)	0.3 ( <b>p = 0.03</b> )
VM MA	0.2 ( <b>p = 0.03</b> )	0.5 ( <b>p = 0.04</b> )	0.5 ( <b>p = 0.04</b> )
VL CVM	0.4 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.2 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.2 ( <b>p &lt; 0.01</b> )
VM CVM	0.2 (p = n.s.)	0.3 (p = n.s.)	0.5 ( <b>p = 0.04</b> )
MS 60°/sg	0.3 ( <b>p = 0.02</b> )	0.4 ( <b>p = 0.01</b> )	0.5 ( <b>p = 0.03</b> )

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias  $\pm$  DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $P < 0.05$ ). DFP, dolor femoropatelar. VL, vastus lateralis. VM, vastus medialis. MA, Actividad muscular. CVM, contracción voluntaria máxima. MS, fuerza muscular.

## Tabla 8

### Correlaciones postoperatorias

Grupo control (n=64)			
Postoperatorio			
	VL 15cm	VM 15cm	VM 3.75cm
Preoperatorio			
VL MA	0.1 (p = n.s.)	0.3 (p = n.s.)	0.3 (p = n.s.)
VM MA	0.1 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)
VL CVM	0.1 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)
VM CVM	0.0 (p = n.s.)	0.1 (p = n.s.)	0.2 (p = n.s.)
MS 60°/sg	0.2 ( <b>p &lt; 0.01</b> )	0.1 (p = n.s.)	0.3 (p = n.s.)

<sup>a</sup> Los datos son expresados como medias  $\pm$  DE. Los valores P en negrita indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $P < 0.05$ ). DFP, dolor femoropatelar. VL, vastus lateralis. VM, vastus medialis. MA, Actividad muscular. CVM, contracción voluntaria máxima. MS, fuerza muscular.





2



# 4

## Discusión


En esta tesis por compendio de artículos, el apartado Discusión se ha dividido en dos partes. La primera se centra en la atrofia muscular y la contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral en el postoperatorio de meniscectomía parcial artroscópica y su relación con el dolor patelofemoral, que se corresponde con los datos publicados en el primer artículo. El segundo apartado, se centra en la discusión acerca de la influencia que tiene el grosor muscular preoperatorio en la activación neuromuscular del cuádriceps femoral en el postoperatorio de cirugía artroscópica de rodilla, lo cual se corresponde con los datos publicados en el segundo artículo.

## **4.1 Atrofia muscular y contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral postoperatoria y su relación con el dolor patelofemoral.**

El hallazgo más importante de este trabajo es que los pacientes que desarrollan DFP tras meniscectomía parcial artroscópica no solo desarrollan una mayor atrofia del músculo cuádriceps femoral, sino que también experimentan una mayor pérdida de fuerza muscular y un mayor déficit de contractilidad eléctrica de este grupo muscular.

La etiología del dolor anterior de la rodilla es multifactorial, con una amplia gama de factores involucrados. Se han sugerido como causales factores neuromusculares, anatómicos, mecánicos e incluso psicológicos, [23, 76, 79, 92] lo que explica los resultados algo impredecibles del tratamiento. Pese a que el tratamiento de estos pacientes se intenta abordar desde un punto de vista holístico, [90] la terapia física continúa siendo el pilar principal del tratamiento, focalizándose sobre todo en el fortalecimiento muscular del cuádriceps femoral y en concreto del músculo vasto medial para mejorar el tracking femoropatelar. [10, 96] Sin embargo, protocolos recientes enfatizan la importancia de otros grupos musculares, como la musculatura abductora y rotadores externos de la cadera, en el tratamiento del dolor anterior de rodilla. [54, 69] Estos músculos disminuyen la rotación interna femoral y el valgo funcional dinámico durante el recorrido femorrotuliano y, por lo tanto, reducen la presión sobre la faceta rotuliana lateral. [81]

La presente investigación se ha centrado más en los músculos alrededor de la rodilla, asumiendo que la inhibición postoperatoria por proximidad es más notoria en el grupo muscular del



muslo que en el grupo muscular glúteo. En este sentido, nuestros resultados indican que los pacientes en los que aparece DFP tras cirugía artroscópica de rodilla experimentan una atrofia muscular del VL y, en mayor medida, del VM. Esta disminución en el grosor del músculo cuádriceps femoral podría estar relacionado con el desarrollo de DFP. La disminución del área de sección transversal del músculo cuádriceps femoral se ha reportado en pacientes con DFP en comparación con controles asintomáticos. [53] Hallazgos similares han sido publicados tras artroplastia total de rodilla. En este sentido, el fortalecimiento de VM optimiza el movimiento de la rótula sobre la tróclea femoral, asociándose también con unas menores presiones de contacto y un área de contacto reducida. [64] De este modo, el fortalecimiento muscular del cuádriceps femoral mediante ejercicios simples de autorehabilitación puede ser útil en la prevención del dolor femoropatelar postoperatorio. [64, 100]

La atrofia muscular no es la única afección que experimentan estos pacientes. También desarrollan una mayor disminución de la actividad neuromuscular cuádriceps, en la medida en que el reclutamiento de fibras musculares medido por EMG-S disminuye considerablemente en comparación con los valores preoperatorios. Nuevamente, esto ocurre de forma más pronunciada en el músculo VM que en el músculo VL. Sin embargo, no todos los pacientes con DFP muestran esta disfunción en el VM y en el VL; esto se explica por la variabilidad fisiológica normal en la población sana. La inhibición artrogénica del cuádriceps femoral se asocia con la severidad del dolor anterior de rodilla en pacientes con osteoartritis de la articulación femororrotuliana. [14] La disminución en la activación muscular del cuádriceps también se ha observado tanto en la fase aguda de una lesión del LCA, como en pacientes con lesiones crónicas del LCA que experimentan inestabilidad de rodilla (noncoopers). [55, 95] Esto respalda los hallazgos de estudios que obtuvieron mejores resultados en el tratamiento del dolor anterior de rodilla cuando las técnicas de control neuromuscular (estimulación eléctrica neuromuscular y facilitación neuromuscular propioceptiva) se combinaron con técnicas de fortalecimiento muscular. [5, 11, 76]

Se observa una tendencia hacia la activación tardía del músculo VM en relación con el VL en aquellos pacientes que desarrollan DFP postoperatorio con respecto a aquellos que no lo desarrollan. Estas diferencias en la activación entre estos dos músculos también se han observado en pacientes adolescentes con DFP en comparación con controles sanos. [11, 16] Sin embargo, esta asociación no ha sido descrita en pacientes con dolor patelofemoral tras artroscopia de rodilla. El retraso en la activación de las fibras musculares del VM



en relación con el VL durante el ejercicio físico puede afectar negativamente al tracking femoropatelar, contribuyendo a la aparición de dolor anterior de rodilla. Por este motivo, este estudio confirma por primera vez la importancia del músculo VM en el DFP postoperatorio, destacando el papel de este músculo en la atrofia muscular a nivel clínico, que había sido denostado en los últimos años en detrimento de la musculatura glútea. [17]

El uso de manguitos de isquemia o torniquetes intraoperatorios puede ser perjudicial para el cuádriceps femoral tras una cirugía de rodilla. Algunos estudios han demostrado que su uso resultó en una disminución significativa de la circunferencia del muslo, así como en cambios electromiográficos negativos a las 3 semanas tras la reconstrucción del LCA. [7] En el presente trabajo, se empleó manguito de isquemia en todos los pacientes, independientemente de su grupo, de modo que afectó a ambos grupos por igual no pudiendo ser considerado como un factor de confusión.

## **4.2 Influencia del grosor muscular preoperatorio en la activación muscular del cuádriceps femoral tras cirugía artroscópica de rodilla.**

El hallazgo más importante de esta investigación es que existe una correlación positiva entre el grosor muscular preoperatorio y la activación muscular postoperatoria en aquellos pacientes que no desarrollan DFP tras cirugía artroscópica de menisectomía parcial. Esta asociación no se da en aquellos pacientes que sí que desarrollan DFP tras la cirugía. Los resultados sugieren que el retraso en la activación electromiográfica del VL y especialmente del VM, independientemente del grosor muscular previo a la cirugía, podrían ser considerados como un factor de riesgo para el desarrollo de DFP alrededor de la sexta semana después de MPA.

Existen una amplia gama de factores implicados en la etiología del dolor anterior de rodilla. [39, 90] La atrofia muscular, así como el retraso en la activación del cuádriceps femoral han sido identificados en el primer artículo del compendio de esta tesis doctoral como factores de riesgo para el desarrollo de dolor anterior de rodilla tras cirugía artroscópica.

Los resultados indican que los pacientes en los que aparece dolor anterior de rodilla tras cirugía artroscópica experimentan una atrofia muscular del VL y, en mayor medida del VM a las 6 semanas de la intervención. Esta disminución del tamaño muscular probablemente

esté en relación con la inhibición postoperatoria por proximidad y el consiguiente déficit en la activación muscular. Este trabajo va más allá, ya que muestra la asociación entre el déficit de activación del cuádriceps y el DFP postoperatorio incluso en aquellos pacientes con buen grosor muscular y buena contractilidad eléctrica del cuádriceps femoral antes de la cirugía. En esta línea, el retraso en la activación y la hipotrofia del cuádriceps femoral son factores cruciales en los que se deben focalizar los esfuerzos terapéuticos para mejorar la recuperación funcional de la rodilla tras una artroscopia de rodilla.

Otro hallazgo interesante de esta tesis doctoral es la incidencia de DFP a las 6 semanas tras una meniscectomía parcial artroscópica en pacientes que no tenían previamente este dolor. Esta incidencia es del 23,8 % y es similar a la de los pacientes tras la cirugía de reconstrucción del LCA en el seguimiento a 1 y 2 años tras la intervención (24 % y 22 %, respectivamente). [18] Sin embargo, el seguimiento a corto plazo de la presente investigación impide sacar una conclusión firme con respecto a este tema en particular.

Recientemente, la investigación se ha centrado en desarrollar intervenciones desinhibitorias específicas para mejorar la activación voluntaria del cuádriceps. Se ha demostrado que la estimulación eléctrica neuromuscular mejora la función y la fuerza del cuádriceps, así como también disminuye su atrofia en el postoperatorio de la cirugía del LCA. [50, 63] El ejercicio excéntrico, en el que se alarga el músculo y una fuerza externa supera la producida por el paciente, ha demostrado ser más eficaz que el fortalecimiento concéntrico tradicional para minimizar la atrofia muscular y mejorar la recuperación de fuerza muscular. [38] La capacidad de contraer excéntricamente el cuádriceps es fundamental para lograr un rango de movimiento óptimo de la rodilla durante la fase de soporte de carga de la marcha, [44, 103] lo cual es necesario en la fase inicial de rehabilitación después de una cirugía de menisco. [8, 15, 58, 62] La combinación de estimulación eléctrica neuromuscular con ejercicios excéntricos en el protocolo de rehabilitación postoperatoria tras cirugía meniscal puede mejorar la activación precoz del músculo cuádriceps femoral. Por lo tanto, pueden ayudar a prevenir el desarrollo de dolor en la parte anterior de la rodilla, incluso en aquellos pacientes con poco grosor del músculo cuádriceps.

Se fijó el umbral de 6 semanas para realizar las mediciones, ya que es el momento en el que aumenta la incidencia de dolor patelofemoral tras artroscopia de rodilla. [8] Aunque el tratamiento debe ser individualizado para cada paciente, en términos generales la sexta

semana es el momento a partir del cual el paciente debería poder volver a practicar su deporte habitual tras una meniscectomía parcial artroscópica. [58] Es en este punto cuando el paciente debería poder activar completamente el músculo cuádriceps femoral.

Un programa de pre-rehabilitación progresiva centrado principalmente en el fortalecimiento del cuádriceps femoral de sujetos que han sido sometidos a cirugía de menisco conduce a una mejora de la función de la rodilla en el postoperatorio, de la misma manera que sucede en pacientes que han sido sometidos a una reconstrucción del LCA. [26, 27, 63, 77] Sin embargo, basándonos en los resultados actuales, aquellos pacientes que desarrollan DFP después de la artroscopia no muestran esta correlación.


### 4.3 Limitaciones

La presente tesis doctoral, así como el compendio de artículos que la componen tienen algunas limitaciones que se han de tener en cuenta. La primera es la severidad del daño meniscal y en consecuencia la cantidad de tejido meniscectomizado durante la cirugía, lo cual no se tuvo en cuenta en los estudios e ineludiblemente puede tener un impacto en el grado de atrofia y activación muscular tras la intervención.

En segundo lugar, la ausencia de seguimiento posterior a las 6 semanas tras la cirugía no permite conocer la evolución de estos pacientes a medio y largo plazo. Sin embargo, el propósito de esta tesis doctoral se centraba en cuantificar datos en un periodo relativamente corto de tiempo y no estudiar la evolución clínica de estos pacientes a largo plazo.

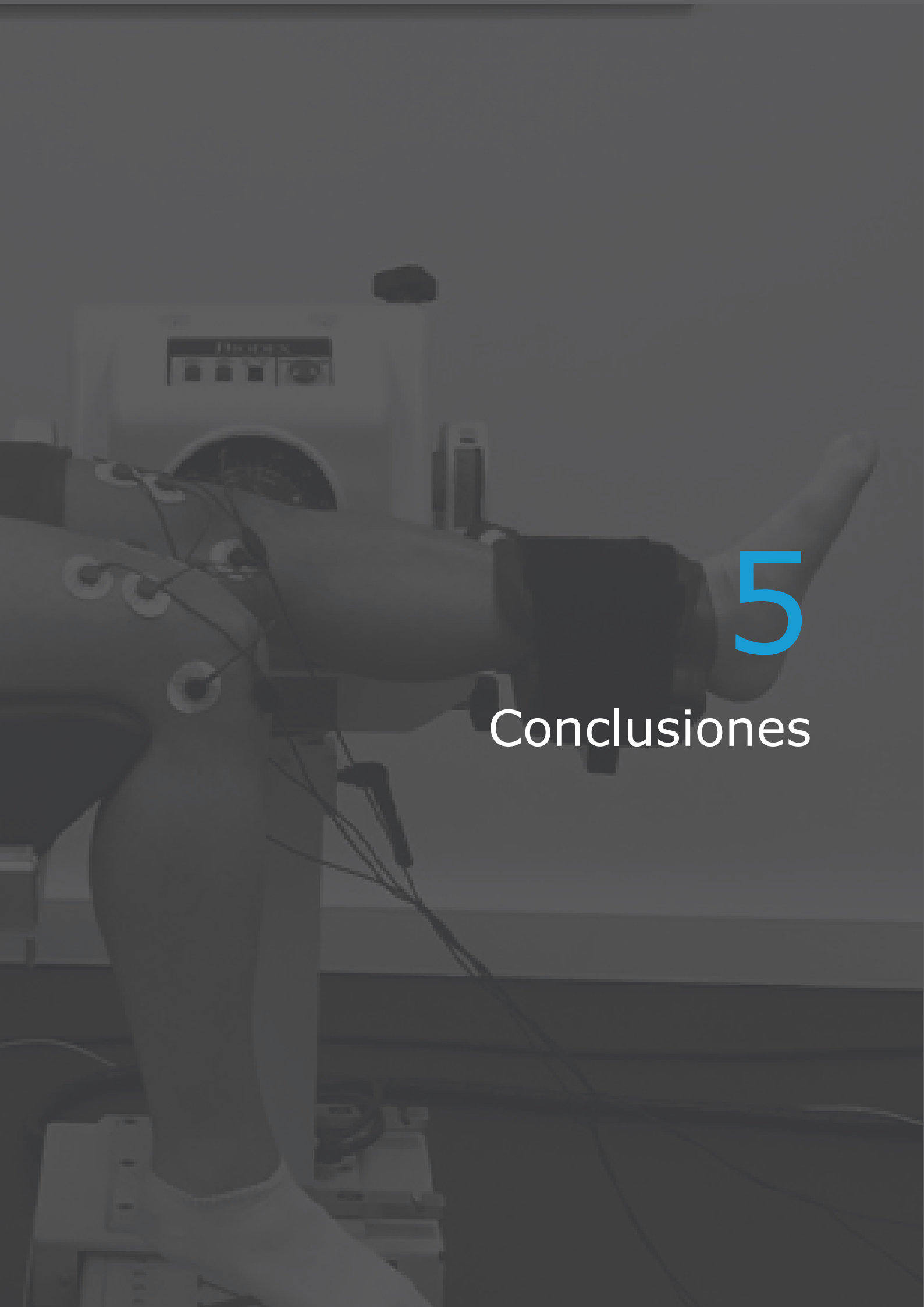
La definición de dolor femoropatelar también puede suponer una limitación, ya que se basa en la presencia de dolor en la parte anterior de la rodilla de forma autorreferida por el paciente y no en medidas más objetivas como pueden ser scores o cuestionarios específicos de dolor femoropatelar.

Algunas anomalías estructurales de las extremidades inferiores en el plano axial pueden generar un aumento de anteversión femoral o de torsión tibial externa, lo cual puede contribuir a una alteración del tracking femoropatelar y a la aparición de dolor en esta localización. Estos factores no se han analizado en el presente trabajo, por lo que podrían ser considerados



también como una limitación.





# 5

## Conclusiones

## 5.1 Primer estudio

# 1

## ESTUDIO

**La presencia de dolor femoropatelar tras meniscectomía parcial artroscópica se asocia a una mayor atrofia muscular del cuádriceps femoral a las 6 semanas tras la cirugía.**

Además, los pacientes que desarrollan este dolor anterior de rodilla también presentan un mayor retraso en la activación neuromuscular del cuádriceps femoral, así como una menor fuerza muscular cuádriceps y unos peores resultados funcionales en comparación a aquellos pacientes que no desarrollan este dolor.



## 5.2 Segundo estudio

# 2

## ESTUDIO

**Existe una correlación positiva directa entre el grosor muscular preoperatorio del cuádriceps femoral y la activación neuromuscular y la fuerza de este músculo en el postoperatorio de meniscectomía parcial artroscópica.**

Esta asociación se da exclusivamente en aquellos pacientes que no desarrollan dolor femoropatelar tras la intervención.





# 6

## Bibliografía

1. Abram SGF, Hopewell S, Monk AP, Bayliss LE, Beard DJ, Price AJ (2020) Arthroscopic partial meniscectomy for meniscal tears of the knee: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 54:652–663
2. Aghapour E, Kamali F, Sinaei E (2017) Effects of Kinesio Taping® on knee function and pain in athletes with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 21:835–839
3. Akima H, Furukawa T (2005) Atrophy of thigh muscles after meniscal lesions and arthroscopic partial meniscectomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 13:632–637
4. Akkaya N, Ardic F, Ozgen M, Akkaya S, Sahin F, Kilic A (2012) Efficacy of electromyographic biofeedback and electrical stimulation following arthroscopic partial meniscectomy: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 26:224–236
5. Alba-Martín P, Gallego-Izquierdo T, Plaza-Manzano G, Romero-Franco N, Núñez-Nagy S, Pecos-Martín D (2015) Effectiveness of therapeutic physical exercise in the treatment of patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *J Phys Ther Sci* 27:2387–2390
6. Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP (2003) Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *The Knee* 10:215–220
7. Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW (2020) Perioperative and Postoperative Factors Influence Quadriceps Atrophy and Strength After ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 8:232596712093029
8. Becker R, Kopf S, Seil R, Hirschmann MT, Beaufils P, Karlsson J (2020) From meniscal resection to meniscal repair: a journey of the last decade. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:3401–3404
9. Boling M, Padua D, Marshall S, Guskiewicz K, Pyne S, Beutler A (2010) Gender differences in the incidence and prevalence of patellofemoral pain syndrome: Epidemiology of patellofemoral pain. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20:725–730
10. Brelín AM, Rue J-PH (2016) Return to Play Following Meniscus Surgery. *Clinics in Sports Medicine* 35:669–678
11. Briani RV, De Oliveira Silva D, Flóride CS, Aragão FA, de Albuquerque CE, Magalhães FH, de Azevedo FM (2018) Quadriceps neuromuscular function in women with patellofemoral pain: Influences of the type of the task and the level of pain. *PLoS ONE* 13:e0205553
12. Briggs KK, Kocher MS, Rodkey WG, Steadman JR (2006) Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee score and Tegner activity scale for patients with meniscal injury of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 88:698–705

- 13.** Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL (2009) Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *Am J Sports Med* 37:898–901
- 14.** Callaghan MJ, Parkes MJ, Hutchinson CE, Felson DT (2014) Factors associated with arthrogenous muscle inhibition in patellofemoral osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil* 22:742–746
- 15.** Capin JJ, Khandha A, Zarzycki R, Manal K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L (2018) Gait Mechanics After ACL Reconstruction Differ According to Medial Meniscal Treatment. *J Bone Joint Surg Am* 100:1209–1216
- 16.** Carry PM, Kanai S, Miller NH, Polousky JD (2010) Adolescent patellofemoral pain: a review of evidence for the role of lower extremity biomechanics and core instability. *Orthopedics* 33:498–507
- 17.** Chester R, Smith TO, Sweeting D, Dixon J, Wood S, Song F (2008) The relative timing of VMO and VL in the aetiology of anterior knee pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 9:64
- 18.** Culvenor AG, Øiestad BE, Holm I, Gunderson RB, Crossley KM, Risberg MA (2017) Anterior knee pain following anterior cruciate ligament reconstruction does not increase the risk of patellofemoral osteoarthritis at 15- and 20-year follow-ups. *Osteoarthr Cartil* 25:30–33
- 19.** Day B (2018) Personalized Blood Flow Restriction Therapy: How, When and Where Can It Accelerate Rehabilitation After Surgery? *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 34:2511–2513
- 20.** Dejour D, Saggin P. (2012) Disorders of the patellofemoral joint. *Insall & Scott surgery of the knee Elsevier, Philadelphia*, p Chapter 61
- 21.** Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier Ch (1994) Factors of patellar instability: An anatomic radiographic study. *Knee Surg, Sports traumatol, Arthroscopy* 2:19–26
- 22.** DePhillipo NN, Kennedy MI, Aman ZS, Bernhardson AS, O’Brien LT, LaPrade RF (2018) The Role of Blood Flow Restriction Therapy Following Knee Surgery: Expert Opinion. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 34:2506–2510
- 23.** Doménech J, Sanchis-Alfonso V, Espejo B (2014) Changes in catastrophizing and kinesiophobia are predictive of changes in disability and pain after treatment in patients with anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2295–2300
- 24.** Dye SF (1996) The Knee as a Biologic Transmission With an Envelope of Function: A Theory. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 325:10–18

- 25.** Dye SF, Staubli HU, Biedert RM, et al. (1999) The mosaic of pathophysiology causing patellofemoral pain: therapeutic implications. *Oper Tech Sports Med* 7:46-54
- 26.** Eitzen I, Holm I, Risberg MA (2009) Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 43:371-376
- 27.** Failla MJ, Arundale AJH, Logerstedt DS, Snyder-Mackler L (2015) Controversies in Knee Rehabilitation. *Clinics in Sports Medicine* 34:301-312
- 28.** Fayard JM, Pereira H, Servien E, Lustig S, Neyret P (2010) Meniscectomy global results-complications. *The Meniscus Springer-Verlag*, pp 177-191
- 29.** Feeley BT, Lau BC (2018) Biomechanics and Clinical Outcomes of Partial Meniscectomy: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 26:853-863
- 30.** Feil S, Newell J, Minogue C, Paessler HH (2011) The Effectiveness of Supplementing a Standard Rehabilitation Program With Superimposed Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective, Randomized, Single-Blind Study. *Am J Sports Med* 39:1238-1247
- 31.** Ferber R, Bolgla L, Earl-Boehm JE, Emery C, Hamstra-Wright K (2015) Strengthening of the Hip and Core Versus Knee Muscles for the Treatment of Patellofemoral Pain: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Journal of Athletic Training* 50:366-377
- 32.** Flandry F (2011) Normal Anatomy and Biomechanics of the Knee. 19:11
- 33.** Foroughi F, Sobhani S, Yoosefinejad AK, Motealleh A (2019) Added Value of Isolated Core Postural Control Training on Knee Pain and Function in Women With Patellofemoral Pain Syndrome: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 100:220-229
- 34.** Fulkerson JP, Arendt EA (2000) Anterior Knee Pain in Females: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 372:69-73
- 35.** Fulkerson JP, Hungerford DS Biomechanics of the patellofemoral joint. *Disorders of the patellofemoral joint Williams & Wilkins, Baltimore.* (1990), p pp 25-41
- 36.** Gatewood CT, Tran AA, Dragoo JL (2017) The efficacy of post-operative devices following knee arthroscopic surgery: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25:501-516
- 37.** Gauffin H, Tagesson S, Meunier A, Magnusson H, Kvist J (2014) Knee arthroscopic surgery is beneficial to middle-aged patients with meniscal symptoms: a prospective, randomised, single-blinded study. *Osteoarthritis and Cartilage* 22:1808-1816

- 38.** Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC (2007) Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 89:559–570
- 39.** Goicoechea N, Hinarejos P, Torres-Claramunt R, Leal-Blanquet J, Sánchez-Soler J, Monllau JC (2021) Patellar denervation does not reduce post-operative anterior knee pain after primary total knee arthroplasty with patellar resurfacing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29:3346–3351
- 40.** Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC (2005) Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy* 21:791–803
- 41.** Grapar Žargi T, Drobnič M, Vauhnik R, Koder J, Kacin A (2017) Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12 weeks following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee* 24:319–328
- 42.** Greis PE, Bardana DD, Holmstrom MC, Burks RT (2002) Meniscal Injury: I. Basic Science and Evaluation: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 10:168–176
- 43.** Grelsamer RP, Proctor CS, Bazos AN (1994) Evaluation of Patellar Shape in the Sagittal Plane: A Clinical Analysis. *Am J Sports Med* 22:61–66
- 44.** Harkey MS, Gribble PA, Pietrosimone BG (2014) Disinhibitory interventions and voluntary quadriceps activation: a systematic review. *J Athl Train* 49:411–421
- 45.** Hart HF, Ackland DC, Pandy MG, Crossley KM (2012) Quadriceps volumes are reduced in people with patellofemoral joint osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil* 20:863–868
- 46.** Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD (2010) Quadriceps Activation Following Knee Injuries: A Systematic Review. *Journal of Athletic Training* 45:87–97
- 47.** Hott A, Brox JI, Pripp AH, Juel NG, Paulsen G, Liavaag S (2019) Effectiveness of Isolated Hip Exercise, Knee Exercise, or Free Physical Activity for Patellofemoral Pain: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med* 47:1312–1322
- 48.** Hungerford DS, Barry M. (1979) Biomechanics of the patellofemoral joint. *Clin Orthop Relat Res* 144:9–15.
- 49.** Ingersoll CD, Grindstaff TL, Pietrosimone BG, Hart JM (2008) Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury. *Clin Sports Med* 27:383–404, vii
- 50.** Johnston PT, Feller JA, McClelland JA, Webster KE (2021) Knee strength deficits following anterior cruciate ligament reconstruction differ between quadriceps and

hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*

**51.** José Luis Prieto Deza, Servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica. Hospital Mateu Orfila. Menorca, Islas Baleares, Ángel Calvo Díaz, Ricardo Cuéllar Gutiérrez, Miguel Ángel Ruiz Ibán, Miguel García Navlet, José Luis Ávila Lafuente (2017) Epidemiología de los procedimientos artroscópicos en España. Resultados de la encuesta de actividad artroscópica de 2014. *Rev Esp Artrosc Cir Articul* 25–37

**52.** Karaman O, Ayhan E, Kesmezacar H, Seker A, Unlu MC, Aydingoz O (2014) Rotational malalignment after closed intramedullary nailing of femoral shaft fractures and its influence on daily life. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 24:1243–1247

**53.** Kaya D, Citaker S, Kerimoglu U, Atay OA, Nyland J, Callaghan M, Yakut Y, Yüksel I, Doral MN (2011) Women with patellofemoral pain syndrome have quadriceps femoris volume and strength deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:242–247

**54.** Khayambashi K, Mohammadkhani Z, Ghaznavi K, Lyle MA, Powers CM (2012) The effects of isolated hip abductor and external rotator muscle strengthening on pain, health status, and hip strength in females with patellofemoral pain: a randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:22–29

**55.** Knoll Z, Kocsis L, Kiss RM (2004) Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 12:7–14

**56.** Kocher MS, Steadman JR, Briggs K, Zurakowski D, Sterett WI, Hawkins RJ (2002) Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 84:1560–1572

**57.** Kocher MS, Steadman JR, Briggs KK, Sterett WI, Hawkins RJ (2004) Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee scale for various chondral disorders of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 86:1139–1145

**58.** Kopf S, Beaufils P, Hirschmann MT, Rotigliano N, Ollivier M, Pereira H, Verdonk R, Darabos N, Ntagiopoulos P, Dejour D, Seil R, Becker R (2020) Management of traumatic meniscus tears: the 2019 ESSKA meniscus consensus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:1177–1194

**59.** Krishnan C, Williams GN (2011) Factors explaining chronic knee extensor strength deficits after ACL reconstruction. *J Orthop Res* 29:633–640

**60.** LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV, Johansen S, Wentorf FA, Engebretsen L (2007) The Anatomy of the Medial Part of the Knee: The Journal of Bone & Joint Surgery 89:2000–2010

- 61.** Lazaro LE, Cross MB, Lorich DG (2014) Vascular anatomy of the patella: Implications for total knee arthroplasty surgical approaches. *The Knee* 21:655–660
- 62.** Lepley LK, Lepley AS, Onate JA, Grooms DR (2017) Eccentric Exercise to Enhance Neuromuscular Control. *Sports Health* 9:333–340
- 63.** Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM (2015) Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee* 22:270–277
- 64.** Lin Y-F, Lin J-J, Jan M-H, Wei T-C, Shih H-Y, Cheng C-K (2008) Role of the vastus medialis obliquus in repositioning the patella: a dynamic computed tomography study. *Am J Sports Med* 36:741–746
- 65.** Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG (2012) Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 112:1849–1859
- 66.** Lopresti C, Kirkendall DT, Street GM, Dudley AW (1988) Quadriceps Insufficiency following Repair of the Anterior Cruciate Ligament\*. *J Orthop Sports Phys Ther* 9:245–249
- 67.** Lorentzon R, Elmqvist LG, Sjöström M, Fagerlund M, Fuglmeyer AR (1989) Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear: muscle size, morphology, and mechanical output before reconstruction. *Am J Sports Med* 17:423–429
- 68.** Marcon M, Ciritsis B, Laux C, Nanz D, Nguyen-Kim TDL, Fischer MA, Andreisek G, Ulbrich EJ (2015) Cross-sectional area measurements versus volumetric assessment of the quadriceps femoris muscle in patients with anterior cruciate ligament reconstructions. *Eur Radiol* 25:290–298
- 69.** Mascal CL, Landel R, Powers C (2003) Management of patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk muscle function: 2 case reports. *J Orthop Sports Phys Ther* 33:647–660
- 70.** Matsusue Y, Thomson NL (1996) Arthroscopic partial medial meniscectomy in patients over 40 years old: a 5- to 11-year follow-up study. *Arthroscopy* 12:39–44
- 71.** Mehmet Kirnap 1, Mustafa Calis, Ali Osman Turgut, Mehmet Halici, Mehmet Tuncel (2005) The efficacy of EMG-biofeedback training on quadriceps muscle strength in patients after arthroscopic meniscectomy.
- 72.** Motealleh A, Kordi Yoosefinejad A, Ghoddosi M, Azhdari N, Pirouzi S (2019) Trunk postural control during unstable sitting differs between patients with patellofemoral pain syndrome and healthy people: A cross-sectional study. *The Knee* 26:26–32



- 73.** Narici M, Cerretelli P (1998) Changes in human muscle architecture in disuse-atrophy evaluated by ultrasound imaging. *J Gravit Physiol* 5:P73-74
- 74.** Nascimento LR, Teixeira-Salmela LF, Souza RB, Resende RA (2018) Hip and Knee Strengthening Is More Effective Than Knee Strengthening Alone for Reducing Pain and Improving Activity in Individuals With Patellofemoral Pain: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 48:19–31
- 75.** P S Walker, M J Erkman (1975) The role of the menisci in force transmission across the knee. *Clin Orthop Relat Res*
- 76.** Pal S, Draper CE, Fredericson M, Gold GE, Delp SL, Beaupre GS, Besier TF (2011) Patellar maltracking correlates with vastus medialis activation delay in patellofemoral pain patients. *Am J Sports Med* 39:590–598
- 77.** Palmieri-Smith RM, Lepley LK (2015) Quadriceps Strength Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Joint Biomechanics and Functional Performance at Time of Return to Activity. *Am J Sports Med* 43:1662–1669
- 78.** Pan J, Stehling C, Muller-Hocker C, Schwaiger BJ, Lynch J, McCulloch CE, Nevitt MC, Link TM (2011) Vastus lateralis/vastus medialis cross-sectional area ratio impacts presence and degree of knee joint abnormalities and cartilage T2 determined with 3T MRI - an analysis from the incidence cohort of the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthr Cartil* 19:65–73
- 79.** Pattyn E, Verdonk P, Steyaert A, Vanden Bossche L, Van den Broecke W, Thijs Y, Witvrouw E (2011) Vastus medialis obliquus atrophy: does it exist in patellofemoral pain syndrome? *Am J Sports Med* 39:1450–1455
- 80.** Paxton ES, Stock MV, Brophy RH (2011) Meniscal repair versus partial meniscectomy: a systematic review comparing reoperation rates and clinical outcomes. *Arthroscopy* 27:1275–1288
- 81.** Petersen W, Ellermann A, Gösele-Koppenburg A, Best R, Rembitzki IV, Brüggemann G-P, Liebau C (2014) Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2264–2274
- 82.** Powers CM, Bolgla LA, Callaghan MJ, Collins N, Sheehan FT (2012) Patellofemoral Pain: Proximal, Distal, and Local Factors—2nd International Research Retreat, August 31–September 2, 2011, Ghent, Belgium. *J Orthop Sports Phys Ther* 42:A1–A54
- 83.** P.Verdonk, P,Vererfve (2010) Traumatic Lesions: Stable Knee, ACL Knee. *The Meniscus Springer*, pp 45–51
- 84.** Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I (2004) A method for positioning electrodes during

surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurosci Methods* 134:37–43

**85.** Rice DA, McNair PJ (2010) Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 40:250–266

**86.** Robinson RL, Nee RJ (2007) Analysis of Hip Strength in Females Seeking Physical Therapy Treatment for Unilateral Patellofemoral Pain Syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther* 37:232–238

**87.** Roush JR, Bay RC (2012) Prevalence of anterior knee pain in 18 to 35 year old females. *Int J Sports Phys Ther.* 4: 396-401

**88.** Saltychev M, Dutton R, Laimi K, Beaupré G, Virolainen P, Fredericson M (2018) Effectiveness of conservative treatment for patellofemoral pain syndrome: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med* 50:393–401

**89.** Sanchis-Alfonso V (2008) [Patellofemoral pain]. *Orthopade* 37:835–836, 838–840

**90.** Sanchis-Alfonso V (2014) Holistic approach to understanding anterior knee pain. Clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2275–2285

**91.** Sanchis-Alfonso V, Dye SF (2017) How to Deal With Anterior Knee Pain in the Active Young Patient. *Sports Health* 9:346–351

**92.** Sanchis-Alfonso V, Rosello´ -Sastre E. (2000) Immunohistochemical analysis for neural markers of the lateral retinaculum in patients with isolated symptomatic patellofemoral malalignment: a neuroanatomic basis for anterior knee pain in the active young patient. *Am J Sports Med* 28(5):725-731.

**93.** Scapinelli R. (1967) Blood supply of the human patella: its relation to ischaemic necrosis after fracture. *J Bone Joint Surg Br* 49:563–70.

**94.** Seil R, Becker R (2016) Time for a paradigm change in meniscal repair: save the meniscus! *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:1421–1423

**95.** Shanbehzadeh S, Mohseni Bandpei MA, Ehsani F (2017) Knee muscle activity during gait in patients with anterior cruciate ligament injury: a systematic review of electromyographic studies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25:1432–1442

**96.** Sherman SL, DiPaolo ZJ, Ray TE, Sachs BM, Oladeji LO (2020) Meniscus Injuries. *Clinics in Sports Medicine* 39:165–183

**97.** Sinclair JK, Selfe J, Taylor PJ, Shore HF, Richards JD (2016) Influence of a knee brace intervention on perceived pain and patellofemoral loading in recreational athletes. *Clinical Biomechanics* 37:7–12

- 98.** Smith BE, Selfe J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, Rathleff MS, Smith TO, Logan P (2018) Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 13:e0190892
- 99.** Stein T, Mehling AP, Welsch F, von Eisenhart-Rothe R, Jäger A (2010) Long-term outcome after arthroscopic meniscal repair versus arthroscopic partial meniscectomy for traumatic meniscal tears. *Am J Sports Med* 38:1542–1548
- 100.** Tang SF, Chen CK, Hsu R, Chou SW, Hong WH, Lew HL (2001) Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome: an electromyographic study. *Arch Phys Med Rehabil* 82:1441–1445
- 101.** T.Boyer, H.Dorfmann, A. Podgorski (2010) Degenerative Lesions-Meniscal Cyst. Springer-Verlag, pp 51–61
- 102.** Tecklenburg K, Dejour D, Hoser C, Fink C (2006) Bony and cartilaginous anatomy of the patellofemoral joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14:235–240
- 103.** Torry MR, Decker MJ, Viola RW, O'Connor DD, Steadman JR (2000) Intra-articular knee joint effusion induces quadriceps avoidance gait patterns. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 15:147–159
- 104.** Tria AJ Jr, Alicea JA (1995) Embryology and anatomy of the patella. *The patella* Springer, Berlin Heidelberg New York, p pp 11-23
- 105.** Vicente Sanchís-Alfonso, Cristina Ramírez-Fuentes, Esther Roselló-Sastre, Scott F.Dye, Robert A.Teige (2020) Pathophysiology of Anterior Knee Pain. In David Dejour, Stefano Zaffagnini, Elizabeth A.Arendt, Petri Sillanpää, Florian Dirisamer (eds) *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis* Springer
- 106.** Walsh W, Delee J, Drez D, Miller M (2003) Recurrent dislocation of the knee in the adult. *Delee and Drez's orthopaedic sports medicine* Saunders, Philadelphia, pp 1710–49
- 107.** Wang Y, Wluka AE, Berry PA, Siew T, Teichtahl AJ, Urquhart DM, Lloyd DG, Jones G, Cicuttini FM (2012) Increase in vastus medialis cross-sectional area is associated with reduced pain, cartilage loss, and joint replacement risk in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 64:3917–3925
- 108.** Werner S (2014) Anterior knee pain: an update of physical therapy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2286–2294
- 109.** Wesdorp MA, Eijgenraam SM, Meuffels DE, Bierma-Zeinstra SMA, Kleinrensink G-J, Bastiaansen-Jenniskens YM, Reijman M (2020) Traumatic Meniscal Tears Are Associated With Meniscal Degeneration. *Am J Sports Med* 48:2345–2352

- 110.** Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, Axe MJ, Snyder-Mackler L (2005) Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 33:402–407
- 111.** Wünschel M, Leichtle U, Obloh C, Wülker N, Müller O (2011) The effect of different quadriceps loading patterns on tibiofemoral joint kinematics and patellofemoral contact pressure during simulated partial weight-bearing knee flexion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1099–1106
- 112.** Yeh PC, Starkey C, Lombardo S, Vitti G, Kharrazi FD (2012) Epidemiology of Isolated Meniscal Injury and Its Effect on Performance in Athletes From the National Basketball Association. *Am J Sports Med* 40:589–594
- 113.** Yildirim AO, Aksahin E, Sakman B, Kati YA, Akti S, Dogan O, Ucaner A, Bicimoglu A (2013) The effect of rotational deformity on patellofemoral parameters following the treatment of femoral shaft fracture. *Arch Orthop Trauma Surg* 133:641–648
- 114.** Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J (2007) Deficits in Neuromuscular Control of the Trunk Predict Knee Injury Risk: Prospective Biomechanical-Epidemiologic Study. *Am J Sports Med* 35:1123–1130
- 115.** Zuk EF, Kim G, Rodriguez J, Hallaway B, Kuczo A, Deluca S, Allen K, Glaviano NR, DiStefano LJ (2021) The Utilization of Core Exercises in Patients With Patellofemoral Pain: A Critically Appraised Topic. *Journal of Sport Rehabilitation* 30:1094–1097
- 116.** (2009) Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41:687–708





7

Anexos

## 7.1 Primer artículo

Check for updatesOriginal Research

# Patellofemoral Pain After Arthroscopy

## Muscle Atrophy Is Not Everything

Jorge Amestoy,<sup>\*†</sup> MD, Daniel Pérez-Prieto,<sup>‡</sup> PhD, Raúl Torres-Claramunt,<sup>‡</sup> PhD, Juan Francisco Sánchez-Soler,<sup>‡</sup> MD, Joan Leal-Blanquet,<sup>‡</sup> PhD, Jesús Ares-Vidal,<sup>§</sup> PhD, Pedro Hinarejos,<sup>‡</sup> PhD, and Joan Carles Monllau,<sup>‡</sup> PhD

*Investigation performed at Hospital del Mar, Barcelona, Spain*

---

**Background:** It remains unclear as to why patellofemoral pain (PFP) appears in some patients after knee arthroscopy and what influence the quadriceps muscle has on its onset.

**Purpose:** To compare muscle thickness, neuromuscular contractility, and quadriceps femoris muscle strength between patients who develop PFP after arthroscopic partial meniscectomy and a control group and to compare functional outcomes between these entities.

**Study Design:** Cohort study; Level of evidence, 3.

**Methods:** A prospective longitudinal cohort study was carried out on patients scheduled for arthroscopic partial meniscectomy. Patients were excluded if they had preoperative PFP, previous knee surgery, or additional surgical procedures (eg, meniscal repair or microfracture). The following were performed preoperatively: magnetic resonance imaging to quantify muscle thickness, surface electromyography to analyze electrical contractility, and an isokinetic study to assess the strength of the quadriceps femoris muscle. Patients also completed a Lysholm functional questionnaire. Six weeks after the index procedure, patients were questioned about the presence of PFP, and the same tests were repeated. The PFP group included patients who developed anterior knee pain postoperatively, while the control group included those who did not develop pain.

**Results:** Of 90 initial study patients, 20 were included in the PFP group (23.8%) and 64 in the control group (76.2%); 6 patients were lost to follow-up. Both study groups were comparable on all of the analyzed preoperative variables. Patients in the PFP group had worse results in terms of muscle thickness (9.67 vs 16.55 cm<sup>2</sup>), electrical contractility (1226.30 vs 1946.11  $\mu$ V), and quadriceps strength (12.27 vs 20.02 kg; all  $P < .001$ ). They also presented worse functional results on the Lysholm score (63.05 vs 74.45;  $P < .001$ ).

**Conclusion:** Patients who developed PFP after arthroscopic partial meniscectomy had more quadriceps femoris muscle atrophy as well as a greater decrease in electrical contractility and muscle strength at 6 weeks postsurgically as compared with a control group. The PFP group also had worse postoperative functional results.

**Keywords:** patellofemoral pain; anterior knee pain; knee arthroscopy; meniscectomy; quadriceps muscle atrophy; physical therapy

---

Patellofemoral pain (PFP) is among the most frequently observed pathologies in the field of orthopaedics. Its prevalence ranges from 16% to 24% of the population and is more frequent in female patients, with a 2:1 ratio.<sup>34,41</sup> Between 80% and 90% of patients respond favorably to nonoperative treatment, with physical therapy as its main pillar.<sup>18</sup> Classically, the suggested etiopathogenesis of this pain was a muscle imbalance between the vastus medialis (VM) and the vastus lateralis (VL) of the quadriceps femoris. It was assumed that hypotrophy or lack of neuromuscular activity of the VM caused a lateral patellar tilt and abnormal patellofemoral tracking, leading to excessive compressive stress to the patellar facets and PFP.<sup>17,37</sup> For this reason, physical therapy focuses mainly on strengthening and neurostimulation of the VM, particularly its oblique fibers (VM obliquus [VMO]), as it has been shown that VMO has the most effect on patellar alignment.<sup>17,26,45</sup> However, the VM/VL imbalance is not present in all patients experiencing PFP,<sup>10</sup> and some other reasons must be causative. In recent years, other factors have been associated with PFP, such as the neuromuscular activity of the external rotators and abductors of the hip,<sup>46</sup> the rotational abnormalities of the femur or tibia,<sup>20,48</sup> and even psychological factors (eg, anxiety, depression, and kinesiophobia).<sup>13</sup>

Meniscal injuries are common conditions in the knee joint, particularly in sports medicine. In many cases,

---

The Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 9(6), 23259671211013000  
DOI: 10.1177/23259671211013000  
© The Author(s) 2021

---

This open-access article is published and distributed under the Creative Commons Attribution - NonCommercial - No Derivatives License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits the noncommercial use, distribution, and reproduction of the article in any medium, provided the original author and source are credited. You may not alter, transform, or build upon this article without the permission of the Author(s). For article reuse guidelines, please visit SAGE's website at <http://www.sagepub.com/journals-permissions>.

1

arthroscopic resection or repair is the treatment of choice, depending on the type of tear and the patient profile.<sup>29,33,39,43</sup> In those cases, arthroscopic surgery is an elegant procedure that often results in remarkable improvement in joint line pain. However, a non-negligible number of patients developed characteristic and usually temporary anterior knee pain after the surgical procedure.

Postsurgical PFP may be related to the muscle loss that occurs after surgery.<sup>16</sup> This phenomenon has been seen in patients undergoing different types of knee surgery, such as anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction<sup>15</sup> or total knee arthroplasty.<sup>47</sup> However, as far as we know, there are no studies analyzing postoperative PFP after an arthroscopic partial meniscectomy (APM).

Therefore, the purpose of the present study was to compare the muscle thickness, neuromuscular contractility, and strength of the quadriceps femoris of patients who develop PFP after APM and those who do not. A secondary objective was to compare the functional results in these 2 groups of patients. The hypothesis was that patients who develop PFP after surgery have greater muscle thickness loss, reduced contractility, and less muscle strength as well as worse functional results than patients who do not develop this pain.

## METHODS

A prospective longitudinal cohort study was undertaken between June 2015 and December 2017 in 120 consecutive patients scheduled for APM. The study was approved by the ethics committee of our institution. The inclusion criteria were an acute symptomatic meniscal tear requiring surgery in patients aged  $\geq 18$  years. Patients were excluded if they had PFP before surgery, previous surgery on the involved knee (including meniscal repair), or an associated surgical procedure (eg, chondral repair, ACL reconstruction) during the index procedure. All patients underwent surgery with a maximum of 6 months of evolution since the meniscal tear. No differences were found in the time of evolution of the meniscal tear between the groups.

Of the initial 120 patients, 30 were excluded per the aforementioned criteria: 19 had PFP before surgery and 11 had an associated surgical procedure. For the latter, 7 patients had meniscal repairs with suturing; 3 had associated microfractures attributed to the incidental presence of a chondral injury; and 1 had a partial meniscal injury that was left untreated (Figure 1).

## Surgical Procedure

The patients underwent surgery by the same surgical team (P.H., J.L.-B., J.F.S.-S., R.T.-C., J.C.M.) in the knee unit of our institution. All surgical procedures were carried out under spinal anesthesia (15 mg; levobupivacaine 0.5%). Given the short duration of the surgery (a mean of 20 minutes), a tourniquet was used at a pressure of 100 mm Hg above systolic pressure with prior exsanguination of the limb. There were no differences in tourniquet pressure  $>50$  mm Hg among the patients. The APM was performed through routine anterolateral and anteromedial portals in all cases. No patient received a femoral or sciatic nerve block after the operation. No drains were left in place in any case.

## Postoperative Management

The patients had surgery on a day-case basis. All patients received the same analgesic, anti-inflammatory, and anticoagulant medication during the postoperative period. All patients received a standardized physical therapy protocol based on immediate postoperative weightbearing with crutches as tolerated and without bracing until a normal gait pattern was established. Muscle function was restored using targeted strengthening exercises for the quadriceps. They started from isometric exercises and progressed to open chain exercises over the course of 6 weeks. Range of motion was not limited and progressed as tolerated.

## Outcome Assessment

Patients were allocated to a group according to their response to a question regarding the presence of PFP at the preoperative visit and at 6 weeks after surgery ("Have you ever had pain in the anterior part of the knee in addition to the current pain on the medial or lateral joint line?"). The patients answered this question in writing with the rest of the outcome questionnaires.

To quantify the muscle thickness of the VM and VL muscles, magnetic resonance imaging (MRI) of the thigh was performed on all patients before surgery and 6 weeks after surgery. Those MRI scans were performed on the injured and contralateral knee. A high correlation coefficient exists between the quadriceps cross-sectional area and the total muscle volume.<sup>27</sup> The knees were imaged on the sagittal plane on the same 1.5-T whole-body MRI unit (GE Signa EXCITE) using a commercial receive-only extremity coil. A topogram was taken, and axial planes were programmed in a T1 fast spin echo 2-dimensional sequence (flip angle, 55°; repetition time, 580 milliseconds; minimum

\*Address correspondence to Jorge Amestoy, MD, Passeig Marítim de la Barceloneta, 25-29, Barcelona 08003, Spain (email: jamestoyramos@gmail.com).

<sup>†</sup>Parc de Salut Mar, Barcelona, Spain.

<sup>‡</sup>Department for Orthopedics and Traumatology, Hospital del Mar, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Spain.

<sup>§</sup>Department for Radiology, Hospital del Mar, Institut Hospital del Mar d'Investigacions Mèdiques, Barcelona, Spain.

Final revision submitted December 10, 2020; accepted January 12, 2021.

The authors declared that there are no conflicts of interest in the authorship and publication of this contribution. AOSSM checks author disclosures against the Open Payments Database (OPD). AOSSM has not conducted an independent investigation on the OPD and disclaims any liability or responsibility relating thereto.

Ethical approval for this study was obtained from Clínica del Parc de Salut Mar (CEIC No. 2014/5534).



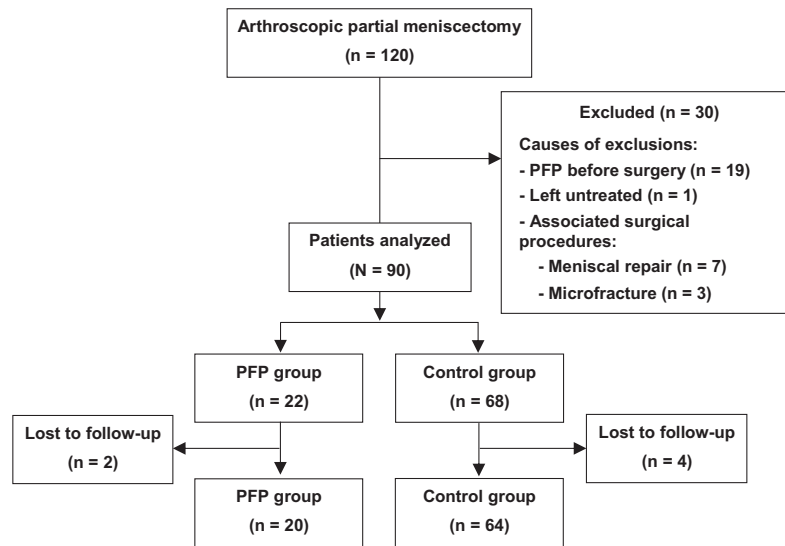


Figure 1. Flowchart of the study and enrollment of the patients. PFP, patellofemoral pain.

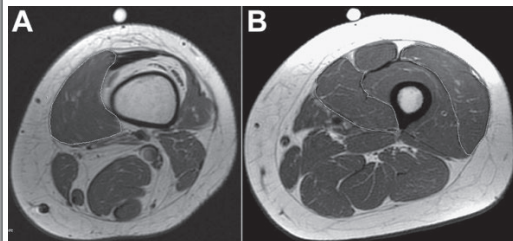


Figure 2. Axial view magnetic resonance imaging showing the cross-sectional area of the vastus medialis and vastus lateralis at (A) 3.75 cm and (B) 15 cm from the upper pole of the patella.

echo time, 11.3 milliseconds; field of view, 17 × 17 cm; 60 partitions; matrix, 448 × 288 pixels; acquisition time, 2.55 minutes). Sagittal images were obtained at a partition thickness of 6 mm, with a partition interval of 4.5 mm and an in-plane resolution of 0.31 to 0.83 mm. All the MRI assessments were performed blinded to patient identification, time sequences, and other knee structural measurements. This measurement was performed at 3.75 cm for the VM and 15 cm for the VM and VL from the upper pole of the patella, according to Wang et al<sup>45</sup> (Figure 2). The VL/VM ratio was calculated with those values.<sup>31</sup> Every MRI measurement was performed blinded by 2 independent observers (radiologists specialized in the musculoskeletal system).

Likewise, the electrical contractility of the quadriceps femoris was analyzed with surface electromyography

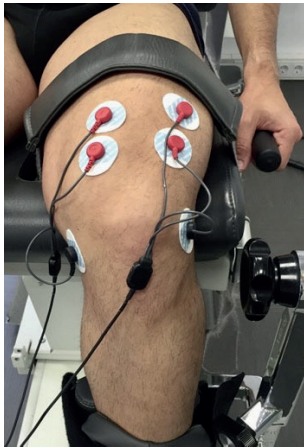
(MegaWin), extracting muscle activity and the maximum voluntary contraction values of the VL and the VM during the preoperative period and at 6 weeks postsurgically. The Ag/AgCl surface electrodes (30-mm diameter) were distributed in the direction of the muscle fibers of the VM and VL, in accordance with the method for electrode placement in lower limb muscles for surface electromyographic recordings described by Rainoldi et al.<sup>35</sup> Two additional control electrodes were placed on the medial and lateral tibial plateau (Figure 3). The skin under the electrodes was cleaned with a 95% alcohol solution.

To assess the muscle performance values, an isokinetic test (Biodex dynamometer) was performed both presurgically and 6 weeks postsurgically, which provided data on muscular strength through range of motion at 60 deg/s (Figure 4). The electrophysiological and isokinetic tests were performed on both knees by the same physical therapist, who was blinded to whether the patient had PFP.

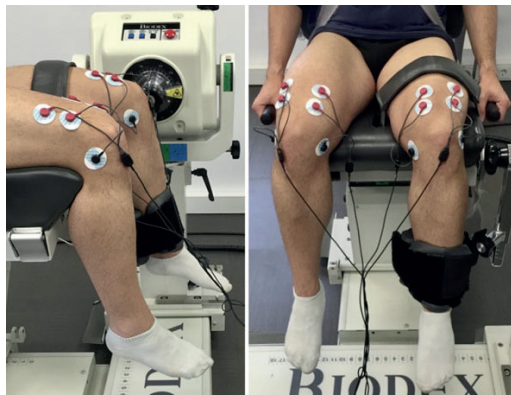
All patients completed the functional Lysholm knee score before the operation and at the control visit. This questionnaire has been validated in patients with ligamentous,<sup>24</sup> chondral,<sup>25</sup> and meniscal<sup>2,12</sup> injuries as well as in people with normal or healthy knees.<sup>6,7</sup>

#### Statistical Analysis

Numerical variables are expressed descriptively as means and standard deviations. Within the groups, changes (pre- vs postoperative) were evaluated through paired *t* tests. This was performed separately for the PFP group and the control group. Pre- to postoperative differences were calculated for each parameter and for every



**Figure 3.** Electrode placement for surface electromyography in a left knee. There were 2 electrodes on the vastus medialis, 2 on the vastus lateralis, and 2 additional control electrodes on the bone surface.



**Figure 4.** Isokinetic testing on a Biodex dynamometer.

patient. These differences were used to perform between-group comparisons by means of unpaired *t* tests. Stata Version 15.1 (StataCorp) was used for statistical analysis.  $P < .05$  were considered statistically significant.

A sample-size calculation was made beforehand. Based on an alpha risk of .05, a beta risk of 0.2, and a relative risk of  $\geq 0.1$ , a sample of 88 patients was necessary. The proportion of patients who developed PFP after surgery was estimated to be 0.25, the same as the incidence in healthy people.<sup>41</sup> A follow-up loss of 5% was assumed. The Poisson approximation was used.

**TABLE 1**  
Muscle Thickness Between the Study Groups<sup>a</sup>

	Cross-sectional Area, cm <sup>2</sup>		P Value
	PFP Group	Control Group	
<b>Preoperative</b>			
VL <sub>15cm</sub>	21.09 ± 3.55	22.30 ± 3.67	.072
VM <sub>15cm</sub>	15.79 ± 2.95	17.20 ± 2.66	.127
VM <sub>3.75cm</sub>	17.66 ± 2.62	19.25 ± 4.01	.081
VL/VM ratio <sup>b</sup>	1.35 ± 0.21	1.32 ± 0.26	.282
<b>Postoperative</b>			
VL <sub>15cm</sub>	15.88 ± 2.47	20.72 ± 3.35	<b>&lt;.001</b>
VM <sub>15cm</sub>	9.06 ± 2.25	14.92 ± 2.96	<b>&lt;.001</b>
VM <sub>3.75cm</sub>	9.67 ± 1.84	16.55 ± 3.89	<b>&lt;.001</b>
VL/VM ratio <sup>b</sup>	1.76 ± 0.25	1.63 ± 0.26	<b>.035</b>
<b>Difference</b>			
VL <sub>15cm</sub>	5.11 ± 2.01	1.38 ± 1.67	<b>&lt;.001</b>
VM <sub>15cm</sub>	6.80 ± 1.96	2.28 ± 1.87	<b>&lt;.001</b>
VM <sub>3.75cm</sub>	7.80 ± 2.15	2.69 ± 3.18	<b>&lt;.001</b>
VL/VM ratio <sup>b</sup>	0.77 ± 0.09	0.98 ± 0.13	<b>.022</b>

<sup>a</sup>Data are reported as mean ± SD. Bold *P* values indicate statistically significant difference between groups ( $P < .05$ ). PFP, patellofemoral pain; VL, vastus lateralis; VM, vastus medialis.

<sup>b</sup>Cross-sectional area ratio.

## RESULTS

Of the remaining 90 patients after exclusions, 6 were lost to follow-up. The losses included 2 patients from the PFP group and 4 patients from the control group. These follow-up losses were found to be nondifferential for the statistical analysis of the data, because they did not affect the demographics of the 2 groups. Of the remaining 84 patients, 20 (23.80%) were allocated to the PFP group for developing postoperative anterior knee pain, and 64 (76.20%) were considered controls. There were 55 men (65.47%) and 29 women (34.53%), and the mean ± SD age of the sample was 44.92 ± 11.01 years. Both groups were comparable in terms of all the preoperative variables analyzed.

### Muscle Thickness

Although the muscle thickness was comparable between the groups preoperatively (Table 1), patients who developed PFP showed a greater decrease in muscle thickness (5.11 cm<sup>2</sup> for VL<sub>15cm</sub>, 6.80 cm<sup>2</sup> for VM<sub>15cm</sub>, and 7.80 cm<sup>2</sup> for VM<sub>3.75cm</sub> or VMO) with respect to the control group (1.38, 2.28, and 2.69 cm<sup>2</sup>, respectively) at 6 weeks after surgery ( $P < .001$  for all).

### Surface Electromyography Results

Muscle activity decreased to a greater extent in the PFP group (804.25 μV in the VL and 1250.80 μV in the VM) than in the control group (486.95 and 680.82 μV) at 6 weeks after the index arthroscopy ( $P = .036$  and  $P < .001$ , respectively).

**TABLE 2**  
Electrical Contractility of the Femoral Quadriceps Between the Study Groups<sup>a</sup>

	Muscle Activity, $\mu$ V		P Value
	PFM Group	Control Group	
<b>Preoperative</b>			
VL MA	2418.25 $\pm$ 940.90	2686.00 $\pm$ 984.84	.721
VM MA	2477.10 $\pm$ 936.34	2626.93 $\pm$ 914.38	.436
VL MVC	266.90 $\pm$ 70.82	264.43 $\pm$ 115.50	.784
VM MVC	271.15 $\pm$ 80.72	248.93 $\pm$ 109.19	.420
<b>Postoperative</b>			
VL MA	1614.00 $\pm$ 671.74	2199.05 $\pm$ 840.24	<b>.021</b>
VM MA	1226.30 $\pm$ 565.79	1946.11 $\pm$ 799.33	<b>&lt;.001</b>
VL MVC	159.79 $\pm$ 55.94	222.33 $\pm$ 63.32	<b>.035</b>
VM MVC	122.90 $\pm$ 63.94	231.75 $\pm$ 62.83	<b>&lt;.001</b>
<b>Difference</b>			
VL MA	804.25 $\pm$ 762.82	486.95 $\pm$ 421.34	<b>.036</b>
VM MA	1250.80 $\pm$ 985.02	680.82 $\pm$ 440.32	<b>&lt;.001</b>
VL MVC	107.11 $\pm$ 99.11	42.10 $\pm$ 73.40	<b>.008</b>
VM MVC	148.25 $\pm$ 103.57	17.18 $\pm$ 80.44	<b>&lt;.001</b>

<sup>a</sup>Data are reported as mean  $\pm$  SD. Bold *P* values indicate statistically significant difference between groups (*P* < .05). MA, muscle activity; MVC, maximum voluntary contraction; PFM, patellofemoral pain; VL, vastus lateralis; VM, vastus medialis.

The maximum voluntary contraction analysis showed results in line with those previously mentioned (Table 2).

**Isokinetic Testing Results**

The preoperative isokinetic study showed muscle strength data of 23.61 kg in the PFM group and 25.11 kg in the control group (*P* = .521). It dropped to 12.27 kg in the PFM group and 20.02 kg in the control group (*P* < .001) at 6 weeks after surgery (Table 3).

**Functional Results**

Preoperative Lysholm scores were quite similar (PFM, 59.85; control, 55.56; *P* = .307). However, in the postoperative period, the patients who developed PFM had significant worse functional results (PFM, 63.05; control, 74.45; *P* < .001) (Table 4).

**DISCUSSION**

The most important finding of the current investigation is that patients who develop PFM after APM have not only greater loss of muscle thickness but also a greater decrease in muscle strength and electrical contractility of the quadriceps femoris. In that sense, the hypothesis has been confirmed.

The cause of anterior knee pain is likely to be multifactorial with a wider range of factors involved. Neuromuscular, anatomic, mechanical, and even psychological factors<sup>13,30,32,38</sup> have all been suggested as causative, which explains the unpredictable results of treatment. Although a

**TABLE 3**  
Muscle Strength at 60 deg/s Between the Study Groups<sup>a</sup>

	Muscle Strength, kg		P Value
	PFM Group	Control Group	
Preoperative	23.62 $\pm$ 8.57	25.11 $\pm$ 9.17	.521
Postoperative	12.27 $\pm$ 5.59	20.02 $\pm$ 5.92	<b>&lt;.001</b>
Difference	11.35 $\pm$ 6.78	5.09 $\pm$ 7.86	<b>&lt;.001</b>

<sup>a</sup>Data are reported as mean  $\pm$  SD. Bold *P* values indicate statistically significant difference between groups (*P* < .05). PFM, patellofemoral pain.

**TABLE 4**  
Lysholm Scores Between the Study Groups<sup>a</sup>

	PFM Group	Control Group	P Value
Preoperative	59.85 $\pm$ 17.14	55.56 $\pm$ 14.16	.307
Postoperative	63.05 $\pm$ 14.70	74.45 $\pm$ 10.85	<b>&lt;.001</b>
Difference	3.2 $\pm$ 12.95	18.89 $\pm$ 13.34	<b>&lt;.001</b>

<sup>a</sup>Data are reported as mean  $\pm$  SD. Bold *P* values indicate statistically significant difference between groups (*P* < .05). PFM, patellofemoral pain.

holistic approach has been attempted for the treatment of these patients,<sup>36</sup> physical therapy continues to focus on quadriceps muscle strength to improve patellofemoral tracking and is the most commonly prescribed intervention.<sup>19</sup> However, recent protocols emphasize the importance of some other distant muscles, such as the abductor and external rotators of the hip, in the treatment of anterior knee pain.<sup>22,28</sup> These muscles decrease internal femoral rotation and excessive functional valgus during patellofemoral tracking and therefore reduce the pressure on the lateral patellar facet.<sup>34</sup>

Assuming that postoperative proximity inhibition is more noticeable in the thigh than in the gluteus muscle group, the present investigation has focused on the muscles around the knee.<sup>4</sup> In this sense, the results indicate that patients in whom PFM appears after arthroscopic surgery experience muscular atrophy of the VL and, to a greater extent, the VM. This decrease in quadriceps femoris muscle size might be related to the development of PFM. The decreased cross-sectional area of the quadriceps femoris muscle has been reported in patients with PFM as compared with asymptomatic controls.<sup>21</sup> Similar observations have been reported after a total knee arthroplasty. Here, strengthening of the VM optimizes patellar tracking. It is also associated with lower patellofemoral contact pressure and a reduced contact area.<sup>26</sup> Therefore, simple self-rehabilitation with open chain exercises to strengthen the quadriceps femoris muscle might be helpful in preventing postoperative PFM.<sup>26,44</sup>

Muscle atrophy is not the only condition these patients experience. They also have a decrease in quadriceps neuromuscular activity, in as much as the recruitment of muscle fibers measured by surface electromyography decreases

considerably as compared with the preoperative values. Again, this is more in the VM muscle than in the VL muscle. Nevertheless, not all PFP patients demonstrate VM-VL dysfunction; this is explained by the normal physiological variability in the healthy population. Arthrogenous quadriceps muscle inhibition is associated with the severity of the anterior knee pain in patients with patellofemoral joint osteoarthritis.<sup>8</sup> Decreased quadriceps activation has also been observed in the acute stage of an ACL injury and in patients with ACL-deficient knees who experience instability (noncopers).<sup>23,40</sup> This supports the findings of studies that obtained better results in the treatment of PFP when neuromuscular control techniques (neuromuscular electrical stimulation and proprioceptive neuromuscular facilitation) were combined with muscle enhancement or strengthening techniques.<sup>1,5,30</sup>

A trend toward delayed activation of the VMO muscle relative to the VL muscle was seen in those patients with postoperative PFP versus those without. These differences in the activation of the quadriceps heads during contraction have also been observed among adolescent female patients with PFP when compared with healthy controls.<sup>5,9</sup> However, this association has not been described in patients with PFP after knee arthroscopy. The delay in VMO muscle fiber recruitment relative to the VL muscle during functional activity may adversely affect patellar tracking, thus contributing to the presence of postoperative anterior knee pain. For this reason, this study confirms the importance of VM in the PFP for the first time. Therefore, the role of the VMO in atrophy at the clinical level, which had been revealed in recent years to the detriment of the gluteal musculature, is again brought into focus.<sup>10</sup> Another interesting finding of the current work is the incidence of PFP after an arthroscopic meniscectomy in patients who did not previously have this pain. The 23.8% incidence of postoperative PFP is similar to that of patients after ACL reconstruction at 1- and 2-year follow-up (24% and 22%, respectively).<sup>12</sup> However, the shorter follow-up time in the present investigation impedes drawing any sound conclusion on this particular issue.

Intraoperative tourniquet use may be detrimental to the quadriceps femoris after knee surgery. Some studies have demonstrated that tourniquet use resulted in a significantly decreased thigh circumference as well as significant negative electromyographic changes at 3 weeks after ACL reconstruction.<sup>9</sup> In the present study, a tourniquet was used on all patients regardless of their group. Therefore, the tourniquet affected both groups equally and was not a confounding factor.

Some limitations can be found in the present study. First is the severity of meniscal damage and consequently the amount of meniscus removed at surgery, as it might have an impact on the degree of postoperative atrophy. Second is the duration of symptoms before surgery and the lack of follow-up after 6 weeks, which make it impossible to ascertain the evolution of these patients in the medium and long term. However, the aim of the present study was to quantify data in a relatively short period after surgery and not to ascertain the clinical evolution of these patients in the long run. Lower extremity structural anomalies on the

transverse plane, including increased femoral anteversion and lateral tibial torsion, may contribute to patellofemoral malalignment, and PFP must also be considered.<sup>11,14</sup> These factors were not analyzed in the current study, so they might be another limitation. Last, there is the definition of PFP, which is based on the subjective presence of pain (or not) in the anterior part of the knee. This is determined by self-referral and not by more objective and specific measures or patellofemoral questionnaires, such as the patellar diagnostic test (Felson test).<sup>42</sup>

In light of the current results, any neuromuscular deficit observed after APM should be monitored and specific rehabilitation protocols applied to maintain functional stability of the knee to avoid any postoperative dysfunction, such as quadriceps femoris muscle atrophy or loss of strength.

## CONCLUSION

The results suggest that patients who develop PFP after APM have more quadriceps femoris atrophy at 6 weeks after surgery as compared with patients who do not develop this pain. Moreover, they have decreased muscle strength and electrical contractility of the VM to a greater degree with respect to the VL. This group of patients also has worse functional results after surgery.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the radiology department of Hospital del Mar for its help in performing the measurements on the magnetic resonance images. They also thank Mr Sanchez and Ms Piqueras, physical therapists from the INVALCOR Biomechanical Center, who collaborated in the performance of all isokinetic and electromyographic tests on our patients. This study was carried out within the framework of the doctoral program of the Department of Surgery and Morphological Sciences of the Universitat Autònoma de Barcelona.

## REFERENCES

- Alba-Martín P, Gallego-Izquierdo T, Plaza-Manzano G, Romero-Franco N, Núñez-Nagy S, Pecos-Martín D. Effectiveness of therapeutic physical exercise in the treatment of patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(7):2387-2390.
- Arroyo-Morales M, Martín-Alguacil J, Lozano-Lozano M, et al. The Lysholm score: cross cultural validation and evaluation of psychometric properties of the Spanish version. *PLoS One*. 2019;14(8): e0221376.
- Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and postoperative factors influence quadriceps atrophy and strength after ACL reconstruction: a systematic review. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(6):232596712093029.
- Berry PA, Teichtahl AJ, Galevska-Dimitrovska A, et al. Vastus medialis cross-sectional area is positively associated with patella cartilage and bone volumes in a pain-free community-based population. *Arthritis Res Ther*. 2008;10(6):R143.
- Briani RV, De Oliveira Silva D, Flórida CS, et al. Quadriceps neuromuscular function in women with patellofemoral pain: influences of

- the type of the task and the level of pain. *PLoS One*. 2018;13(10): e0205553.
6. Briggs KK, Kocher MS, Rodkey WG, Steadman JR. Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee score and Tegner activity scale for patients with meniscal injury of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(4):698-705.
  7. Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL. Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *Am J Sports Med*. 2009;37(5):898-901.
  8. Callaghan MJ, Parkes MJ, Hutchinson CE, Felson DT. Factors associated with arthrogenous muscle inhibition in patellofemoral osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2014;22(6):742-746.
  9. Carry PM, Kanai S, Miller NH, Polousky JD. Adolescent patellofemoral pain: a review of evidence for the role of lower extremity biomechanics and core instability. *Orthopedics*. 2010;33(7):498-507.
  10. Chester R, Smith TO, Sweeting D, Dixon J, Wood S, Song F. The relative timing of VMO and VL in the aetiology of anterior knee pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008;9:64.
  11. Cibulka MT, Threlkeld-Watkins J. Patellofemoral pain and asymmetrical hip rotation. *Phys Ther*. 2005;85(11):1201-1207.
  12. Culvenor AG, Øiestad BE, Holm I, Gunderson RB, Crossley KM, Risberg MA. Anterior knee pain following anterior cruciate ligament reconstruction does not increase the risk of patellofemoral osteoarthritis at 15- and 20-year follow-ups. *Osteoarthritis Cartilage*. 2017;25(1):30-33.
  13. Doménech J, Sanchis-Alfonso V, Espejo B. Changes in catastrophizing and kinesiophobia are predictive of changes in disability and pain after treatment in patients with anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(10):2295-2300.
  14. Erkokcak OF, Altan E, Altintas M, Turkmen F, Aydin BK, Bayar A. Lower extremity rotational deformities and patellofemoral alignment parameters in patients with anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(9):3011-3020.
  15. Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy*. 2005;21(7):791-803.
  16. Grapar Žargi T, Drobnic M, Vauhnik R, Koder J, Kacin A. Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12 weeks following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*. 2017;24(2):319-328.
  17. Hart HF, Ackland DC, Pandey MG, Crossley KM. Quadriceps volumes are reduced in people with patellofemoral joint osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2012;20(8):863-868.
  18. Heijden RA, Lankhorst NE, Linschoten R, Bierma-Zeinstra SMA, Middelkoop M. Exercise for treating patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;1:CD010387.
  19. Hiemstra LA, Kerlake S, Arendt EA. Clinical rehabilitation of anterior knee pain: current concepts. *Am J Orthop*. 2017;46(2):82-86.
  20. Karaman O, Ayhan E, Kesmezacar H, Seker A, Unlu MC, Aydingoz O. Rotational malalignment after closed intramedullary nailing of femoral shaft fractures and its influence on daily life. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014;24(7):1243-1247.
  21. Kaya D, Citaker S, Kerimoglu U, et al. Women with patellofemoral pain syndrome have quadriceps femoris volume and strength deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(2):242-247.
  22. Khayambashi K, Mohammadkhani Z, Ghaznavi K, Lyle MA, Powers CM. The effects of isolated hip abductor and external rotator muscle strengthening on pain, health status, and hip strength in females with patellofemoral pain: a randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2012;42(1):22-29.
  23. Knoll Z, Kocsis L, Kiss RM. Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004;12(1):7-14.
  24. Kocher MS, Steadman JR, Briggs K, Zurakowski D, Sterett WI, Hawkins RJ. Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84(9):1560-1572.
  25. Kocher MS, Steadman JR, Briggs KK, Sterett WI, Hawkins RJ. Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee scale for various chondral disorders of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(6):1139-1145.
  26. Lin Y-F, Lin J-J, Jan M-H, Wei T-C, Shih H-Y, Cheng C-K. Role of the vastus medialis obliquus in repositioning the patella: a dynamic computed tomography study. *Am J Sports Med*. 2008;36(4):741-746.
  27. Marcon M, Ciritsis B, Laux C, et al. Cross-sectional area measurements versus volumetric assessment of the quadriceps femoris muscle in patients with anterior cruciate ligament reconstructions. *Eur Radiol*. 2015;25(2):290-298.
  28. Mascal CL, Landel R, Powers C. Management of patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk muscle function: 2 case reports. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2003;33(11):647-660.
  29. Matsusue Y, Thomson NL. Arthroscopic partial medial meniscectomy in patients over 40 years old: a 5- to 11-year follow-up study. *Arthroscopy*. 1996;12(1):39-44.
  30. Pal S, Draper CE, Fredericson M, et al. Patellar maltracking correlates with vastus medialis activation delay in patellofemoral pain patients. *Am J Sports Med*. 2011;39(3):590-598.
  31. Pan J, Stehling C, Muller-Hocker C, et al. Vastus lateralis/vastus medialis cross-sectional area ratio impacts presence and degree of knee joint abnormalities and cartilage T2 determined with 3 T MRI—an analysis from the incidence cohort of the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthritis Cartilage*. 2011;19(1):65-73.
  32. Pattyn E, Verdonk P, Steyaert A, et al. Vastus medialis obliquus atrophy: does it exist in patellofemoral pain syndrome? *Am J Sports Med*. 2011;39(7):1450-1455.
  33. Paxton ES, Stock MV, Brophy RH. Meniscal repair versus partial meniscectomy: a systematic review comparing reoperation rates and clinical outcomes. *Arthroscopy*. 2011;27(9):1275-1288.
  34. Petersen W, Ellermann A, Gösele-Koppenburg A, et al. Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(10):2264-2274.
  35. Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurosci Methods*. 2004;134(1):37-43.
  36. Sanchis-Alfonso V. Holistic approach to understanding anterior knee pain: clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(10):2275-2285.
  37. Sanchis-Alfonso V. Patellofemoral pain. Article in German. *Orthopade*. 2008;37(9):835-836, 838-840.
  38. Sanchis-Alfonso V, Roselló-Sastre E. Immunohistochemical analysis for neural markers of the lateral retinaculum in patients with isolated symptomatic patellofemoral malalignment: a neuroanatomic basis for anterior knee pain in the active young patient. *Am J Sports Med*. 2000;28(5):725-731.
  39. Seil R, Becker R. Time for a paradigm change in meniscal repair: save the meniscus! *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(5):1421-1423.
  40. Shanbehzadeh S, Mohseni Bandpei MA, Ehsani F. Knee muscle activity during gait in patients with anterior cruciate ligament injury: a systematic review of electromyographic studies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(5):1432-1442.
  41. Smith BE, Selve J, Thacker D, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(1):e0190892.
  42. Stefanik JJ, Neogi T, Niu J, et al. The diagnostic performance of anterior knee pain and activity-related pain in identifying knees with structural damage in the patellofemoral joint: the Multicenter Osteoarthritis Study. *J Rheumatol*. 2014;41(8):1695-1702.
  43. Stein T, Mehling AP, Welsch F, von Eisenhart-Rothe R, Jäger A. Long-term outcome after arthroscopic meniscal repair versus arthroscopic



- partial meniscectomy for traumatic meniscal tears. *Am J Sports Med.* 2010;38(8):1542-1548.
44. Tang SF, Chen CK, Hsu R, Chou SW, Hong WH, Lew HL. Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome: an electromyographic study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(10):1441-1445.
45. Wang Y, Wluka AE, Berry PA, et al. Increase in vastus medialis cross-sectional area is associated with reduced pain, cartilage loss, and joint replacement risk in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2012; 64(12):3917-3925.
46. Werner S. Anterior knee pain: an update of physical therapy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2286-2294.
47. Wünschel M, Leichtle U, Obloh C, Wülker N, Müller O. The effect of different quadriceps loading patterns on tibiofemoral joint kinematics and patellofemoral contact pressure during simulated partial weight-bearing knee flexion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011; 19(7):1099-1106.
48. Yildirim AO, Aksahin E, Sakman B, et al. The effect of rotational deformity on patellofemoral parameters following the treatment of femoral shaft fracture. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(5): 641-648.

## 7.2 Segundo artículo

Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy  
<https://doi.org/10.1007/s00167-021-06820-4>

KNEE



### Preoperative muscle thickness influences muscle activation after arthroscopic knee surgery

Jorge Amestoy<sup>1,2</sup> · Daniel Pérez-Prieto<sup>1,2</sup> · Raúl Torres-Claramunt<sup>1,2</sup> · Juan Francisco Sánchez-Soler<sup>1,2</sup> · Albert Solano<sup>1,2</sup> · Joan Leal-Blanquet<sup>1,2</sup> · Pedro Hinarejos<sup>1,2</sup> · Joan Carles Monllau<sup>1,2</sup>

Received: 26 July 2021 / Accepted: 25 November 2021  
© The Author(s) 2021

#### Abstract

**Purpose** The aim of this study was to compare the correlation between preoperative quadriceps femoris muscle thickness and postoperative neuromuscular activation and quadriceps femoris strength in patients with and without patellofemoral pain after arthroscopic partial meniscectomy.

**Methods** A series of 120 patients were prospectively analysed in a longitudinal cohort study of patients scheduled for arthroscopic partial meniscectomy. The patellofemoral pain group included patients who developed anterior knee pain after surgery while the control group included those who had not done so. Patients with preoperative patellofemoral pain, previous knee surgeries as well as those on whom additional surgical procedures had been performed were excluded. Of the 120 initially included in the study, 90 patients were analysed after the exclusions.

**Results** There is a direct correlation between preoperative quadriceps femoris muscle thickness and the neuromuscular activity values and the strength of the muscle at 6 weeks after surgery. These results were seen exclusively in the group of patients who do not develop patellofemoral pain (0.543,  $p = 0.008$ ). The group of patients who developed anterior knee pain in the postoperative period did not show this correlation (n.s.).

**Conclusion** In patients without patellofemoral pain after meniscectomy, the greater the preoperative thickness of the quadriceps femoris, the more postoperative neuromuscular activation and strength they had. This correlation did not occur in those patients who develop patellofemoral pain after meniscal surgery.

**Level of evidence** II.

**Keywords** Knee arthroscopy · Quadriceps muscle activation · Quadriceps muscle atrophy · Patellofemoral pain · Quadriceps muscle strength

#### Introduction

Quadriceps activation failure (QAF) occurs due to alterations in neural signalling caused by a reduction in alpha motor neuron pool recruitment and/or firing rate [12]. It commonly occurs after knee surgery and is not simply an isolated local phenomenon related to atrophy. This has been attributed to arthrogenic muscle inhibition, [21] a process in which quadriceps activation failure is caused by neural inhibition [30].

Activation failure is the inability to completely volitionally contract the muscle due to alterations in neural signalling. It is common following any type of knee surgery [12, 14]. If left untreated, QAF can significantly impede strength gains by only allowing portions of the muscles to be volitionally utilized during active exercise [13, 19].

If these neural abnormalities are not targeted with specific interventions used to disinhibit an inhibited muscle, quadriceps dysfunction may persist and become a factor limiting successful postoperative knee management [17, 19].

Quadriceps muscle hypotrophy (QMH) that occurs following knee surgery is also thought to contribute to persistent muscle weakness [17, 39] due to alterations in muscle architecture [23], selective fibre atrophy [20, 21], or even neural deficits like QAF [25]. It might cause patellofemoral pain (PFP), a dreaded complication after knee surgery. It

✉ Daniel Pérez-Prieto  
[dr.danielperezprieto@gmail.com](mailto:dr.danielperezprieto@gmail.com)

<sup>1</sup> Hospital del Mar, Barcelona, Spain

<sup>2</sup> Autonomous University of Barcelona, Barcelona, Spain

Published online: 18 December 2021

Springer

affects up to 23% of patients who undergo arthroscopic partial meniscectomy (APM) [1, 5].

Muscle hypotrophy as well as the delayed onset of electromyographic activity of the quadriceps femoris muscle after arthroscopic partial meniscectomy predispose to the development of postoperative PFP. Furthermore, these two risk factors also predispose to worse postoperative functional results [1].

Despite the important role that the quadriceps muscle plays in this pathology, whether having greater quadriceps muscle thickness before surgery has any impact in the neuromuscular activation of this muscle in the postoperative period has not yet been studied. No prospective study investigating the development of patellofemoral pain after a knee arthroscopy has tested the electromyographic activity of the vastus medialis and vastus lateralis muscles and its relationship with the preoperative muscular thickness.

The aim of this study was to compare the correlation between preoperative quadriceps muscle thickness, its postoperative neuromuscular activation and strength in patients with and without patellofemoral pain after APM.

The hypothesis was that there is direct correlation between the preoperative quadriceps muscle thickness and its neuromuscular activity after an APM in patients who do not develop patellofemoral pain.

## Materials and methods

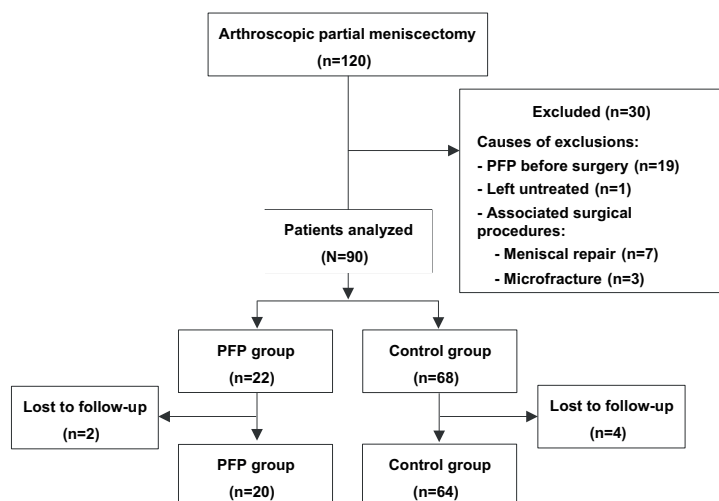
Approval for the study was granted by the Ethics Committee of Clinical Research of Parc de Salut Mar Hospital, Autonomous University of Barcelona (CEIC no. 2014/5534). Between 2015 and 2017, a prospective longitudinal cohort study was carried out on consecutive patients who were scheduled to undergo APM. The inclusion criteria were that the patient be aged 18 years or older and have an acute symptomatic medial meniscal tear requiring surgery. All patients underwent the procedure at a maximum of 6 months of evolution from the meniscal tear. No differences were found in the time of evolution of the meniscal tear between the groups. The exclusion criteria included having had PFP prior to surgery, previous surgeries on the involved knee (including meniscal repair) or if there had been an associated surgical procedure (e.g. chondral repair, ACL reconstruction, etc.) during the index procedure.

For the reasons previously stated, 30 patients out of the 120 initially included in the study were excluded. Nineteen of the 30 had had PFP before surgery. The remaining 11 patients of those 30 had undergone an associated surgical procedure like meniscal repair (7), microfractures due to the incidental presence of a chondral injury (3), and there was 1 partial meniscal injury that was left untreated (Fig. 1).

## Surgical procedure

The same team of knee surgeons from Parc de Salut Mar Hospital carried out all the surgical procedures on the

**Fig. 1** Flowchart of the study and enrolment of the patients. PFP, patellofemoral pain





patients. They were done with the patients under spinal anaesthesia (15 mg levobupivacaine 0.5%). As the surgery was of short duration, a tourniquet was used at a pressure of 100 mmHg above systolic pressure with prior exsanguination of the limb. In all cases, the arthroscopy was performed through routine anterolateral and anteromedial portals. None of the patients had a femoral or a sciatic nerve block subsequent to the procedure. No drains were used in any case.

### Postoperative management

The patients underwent the operation on a day-case basis. The same anti-inflammatory and anticoagulant medication was given to all the patients during the postoperative period. All patients passed through a physical therapy program either in our institution or in external rehabilitation facilities after discharge. In both cases, the same postoperative guidelines were respected. It was a standardized physical therapy protocol based on immediate postoperative weight-bearing with crutches as tolerated, without bracing, until there was a normal gait pattern. Range-of-motion was not limited and progressed as tolerated.

The progressive program that the patients followed included strengthening, proprioception and coordination and cardiovascular exercises. The program included targeted strengthening exercises for the lower extremity muscles (quadriceps, hamstrings, hip and calf muscles). It went from isometric exercises to open chain exercises over 6 weeks. For the first 3–4 weeks after surgery, knee flexion during weight-bearing exercises (e.g. squats, lunges) was limited to 60°. Exercise intensity, of a maximum of one repetition, ranged between 65 and 80% and the volume was three sets of 12–20 repetitions. With a focus on neuromuscular control of the operated knee, proprioception and coordination exercises included moderate intensity tasks (e.g. single-leg balance and static and dynamic stabilization drills on stable and unstable surfaces for 10 min/sessions). The 10-min cardiovascular exercise session called for cycling at light-to-moderate intensity. All patients received the same standardized physical therapy protocol after the surgery.

### Outcome assessment

Patients were assigned to a group depending on how they responded to a question relative to the presence of PFP at the preoperative visit and at 6 weeks after surgery (“Have you ever had pain in the anterior part of the knee in addition to the current pain on the medial or lateral joint line?”). The question was then answered in writing by the patient.

To quantify VM and VL muscle thickness, magnetic resonance imaging (MRI) of the thigh was taken for all patients before surgery and at 6 weeks after surgery. Those MRIs were done on both the injured knee and the contralateral

knee. A high correlation coefficient exists between the quadriceps cross-sectional area and the total muscle volume [22]. The knees were imaged on the sagittal plane on the same 1.5T whole-body MRI unit (GE SIGNA EXCITE) using a commercial receive-only extremity coil. A topogram was taken and axial planes were programmed in a T1 fast spin-echo 2D sequence (flip angle 55°, repetition time 580 ms, minimum TE time 11.30 ms, field of view 17 × 17 cm, 60 partitions, 448 × 288 pixel matrix, acquisition time 2.55 min). Sagittal images were obtained at a partition thickness of 6 mm with a partition interval of 4.50 mm and an in-plane resolution of 0.31–0.83 mm. All the MRI assessments were blinded to subject identification, time sequences and other knee structural measurements. This measurement was performed at 3.75 cm for the VM and 15 cm for the VM and VL from the upper pole of the patella, in accordance with Wang et al. [37]. The VL/VM ratio was calculated with those values [26]. All of the MRI measurements were performed by two blinded radiologists, specialized in musculoskeletal system, as independent observers.

Likewise, the electrical contractility of the quadriceps femoris was analysed with surface electromyography (S-EMG) (MEGAWIN), extracting muscle activity and the maximum voluntary contraction values of the VL and the VM during the preoperative period and at 6 weeks after surgery. Four Ag/AgCl surface electrodes (30 mm diameter) were distributed in the direction of the muscle fibres of the VM and VL, in accordance with the method for electrode placement in lower limb muscles S-EMG recordings described by Rainoldi et al. [28]. Two additional control electrodes were placed on the bone surface of medial and lateral tibial plateau. A 95% alcohol solution was used to clean the skin under the electrodes.

Patients were first informed about with electrical stimulation. Then, a single current intensity of 1-ms rectangular pulses was progressively increased in 10-mA steps (starting from 0 mA) every 3 to 5 s. Maximal current intensity was determined as the current level at which the evoked torque did not further increase despite increasing current intensity, indicating full quadriceps recruitment. Subsequently, the patients executed a standardized warm-up protocol consisting of 6 submaximal voluntary contractions and 1 maximum voluntary contraction (MVC) with 90 degrees of knee flexion. Next, patients completed 3 MVC trials separated by approximately 30 s. Standardized verbal encouragement and visual feedback were consistently provided to the patients. MVC torque was measured as the peak torque adjusted to body mass attained before or after the superimposed twitch [27]. The activation level was calculated using the following formula:  $[100 - (\text{superimposed twitch torque} / \text{potentiated twitch torque}) \times 100]$ . [38]

An isokinetic test (Biodex dynamometer) was also performed both before surgery and 6 weeks after surgery to

**Table 1** Study variables analysed

	PFPP group (n=20)	Control group (n=64)	p value
<b>Preoperative</b>			
VL 15 cm (cm <sup>2</sup> )	21.1 ± 3.6	22.3 ± 3.7	n.s
VM 15 cm (cm <sup>2</sup> )	15.8 ± 2.9	17.2 ± 2.7	n.s
VM 3.75 cm (cm <sup>2</sup> )	17.7 ± 2.6	19.2 ± 4.0	n.s
VL MA (μV)	2418.3 ± 940.9	2686.0 ± 984.8	n.s
VM MA (μV)	2477.1 ± 936.3	2626.9 ± 914.4	n.s
VL MVC (μV)	266.9 ± 70.8	264.4 ± 115.5	n.s
VM MVC (μV)	271.2 ± 80.7	248.9 ± 109.2	n.s
MS 60 degrees per s (Kg)	23.6 ± 8.6	25.1 ± 9.2	n.s
<b>Postoperative</b>			
VL 15 cm (cm <sup>2</sup> )	15.9 ± 2.5	20.7 ± 3.3	<b>&lt;0.01</b>
VM 15 cm (cm <sup>2</sup> )	9.0 ± 2.2	14.9 ± 2.9	<b>&lt;0.01</b>
VM 3.75 cm (cm <sup>2</sup> )	9.7 ± 1.8	16.6 ± 3.9	<b>&lt;0.01</b>
VL MA (μV)	1614.0 ± 671.7	2199.1 ± 840.2	<b>0.02</b>
VM MA (μV)	1226.3 ± 565.8	1946.1 ± 799.3	<b>&lt;0.01</b>
VL MVC (μV)	159.8 ± 55.9	222.3 ± 63.3	<b>0.04</b>
VM MVC (μV)	122.9 ± 63.9	231.8 ± 62.8	<b>&lt;0.01</b>
MS 60 degrees per s (Kg)	12.27 ± 5.6	20.0 ± 5.9	<b>&lt;0.01</b>

Data are reported as mean ± SD. Bold p values indicate a statistically significant difference between groups ( $p < 0.05$ ). VL vastus lateralis, VM vastus medialis, VMO vastus medialis oblique, MA muscle activity, MVC maximum voluntary contraction, MS muscular strength

assess the muscle performance values. The tests provided data on muscular strength through range of motion at 60 degrees per second. The patients did the extension, with passive return to the starting position. Three repetitions were performed, and the median was chosen for each patient. The electrophysiological and isokinetic tests were performed on both knees by the same physiotherapist who was blinded as to whether the patient had patellofemoral pain.

### Statistical analysis

Numerical variables are expressed descriptively as mean and standard deviations. Within the groups, changes (preoperative vs. postoperative) were evaluated by means of paired *t* tests. This was performed separately for the PFPP group and the control group. The correlation between continuous variables were evaluated with Spearman's rank correlation coefficients. STATA version 15.10 (StataCorp, College Station, TX, USA) was used for the statistical analysis. *p* values of 0.05 were considered statistically significant.

A sample size calculation was made beforehand. Accepting an alpha risk of 0.05, a beta risk of 0.20 and a relative risk greater or equal to 0.10, 88 subjects were needed. The proportion of patients who developed PFPP after surgery was estimated to be 0.25, the same as the incidence in healthy people [29, 31, 34]. A follow-up loss of 5% was assumed. The Poisson approximation was used.

### Results

Of the remaining 90 patients after exclusion, 6 were lost to follow-up. The losses included 4 patients from the control group and 2 patients from PFPP group. These follow-up losses were found to be non-differential for the statistical analysis of the data, because they did not affect the demographics of the two groups. Of the remaining 84 patients, 20 (23.8%) were allocated to PFPP group for developing postoperative anterior knee pain, and 64 patients (76.2%) were considered controls. The mean age of the sample was 44.9 years (SD 11.0 years). There were 29 women (34.5%) and 55 men (65.5%). Both groups were comparable in terms of all the preoperative variables analysed (Table 1).

There is a moderate positive correlation between preoperative quadriceps muscle thickness and preoperative muscle activity, MVC and strength values, regardless of whether the patient develops patellofemoral pain or not. This correlation is stronger for the VM at 3.75 cm of the patella (0.6,  $p < 0.01$ ) (Tables 1, 2, 3, 4). A moderate to high positive correlation exists between preoperative quadriceps femoris muscle thickness and muscle thickness at 6 weeks after surgery. This correlation is independent of whether the patient develops patellofemoral pain or not (Table 2).

There was a moderate positive correlation between preoperative quadriceps femoris muscle thickness and muscle activity, MVC and strength values at 6 weeks after surgery exclusively for the group of patients who do not develop patellofemoral pain. The group of patients who developed patellofemoral pain in the postoperative period did not show this correlation (Table 2, 3, 4).

**Table 2** Postoperative correlations

Preoperative	Control group ( <i>n</i> = 64)		
	VL 15 cm	VM 15 cm	VM 3.75 cm
<b>Preoperative</b>			
VL MA	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.2 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )
VM MA	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.08</b> )	0.6 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VL MVC	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )
VM MVC	0.2 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
MS 60 degrees per s	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )
<b>Postoperative</b>			
VL 15 cm	0.7 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VM 15 cm	0.2 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.8 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VM 3.75 cm	0.6 ( <i>p</i> = n.s.)	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.7 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VL MA	0.6 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )
VM MA	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.7 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )
VL MVC	0.5 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )
VM MVC	0.2 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )
MS 60 degrees per s	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )
Preoperative	PFP group ( <i>n</i> = 20)		
	VL 15 cm	VM 15 cm	VM 3.75 cm
<b>Preoperative</b>			
VL MA	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)
VM MA	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )
VL MVC	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)
VM MVC	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.0 ( <i>p</i> = n.s.)
MS 60 degrees per s	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)
<b>Postoperative</b>			
VL 15 cm	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VM 15 cm	0.23 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.6 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )
VMO or VM 3.75 cm	0.4 ( <i>p</i> = n.s.)	0.6 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.6 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VL MA	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)
VM MA	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)
VL MVC	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)
VM MVC	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)
MS 60 degrees per s	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.5 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)

Data are reported as mean  $\pm$  SD. Bold *p* values indicate a statistically significant difference between groups ( $p < 0.05$ ). VL vastus lateralis, VM vastus medialis, VMO vastus medialis oblique, MA muscle activity, MVC maximum voluntary contraction, MS muscular strength

## Discussion

The most important finding of the current investigation is that while a positive correlation exists between preoperative quadriceps femoris thickness and postoperative neuromuscular activation in patients without patellofemoral pain, this does not occur in those patients who develop patellofemoral pain after meniscal surgery. The results suggest that the delayed onset of electromyographic activity of the vastus lateralis and especially the vastus medialis muscle, regardless of muscle thickness prior to surgery,

could be considered as a risk factor for the development of patellofemoral pain around the sixth week after APM.

It is likely that there are a wide range of factors involved in the aetiology of anterior knee pain [10, 32, 33]. Muscle atrophy as well as the delay in the activation of the quadriceps femoris muscle have already been identified as risk factors for developing patellofemoral pain after arthroscopic knee surgery [1]. Quadriceps femoris muscle thickness has been decreased between 25 and 50% in the PFP group. Moreover, all the other measurement decreased remarkably compared to the control group.

**Table 3** Postop correlations

Postoperative	Control group ( <i>n</i> = 64)		
	VL 15 cm	VM 15 cm	VM 3.75 cm
<b>Postoperative</b>			
VL MA	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )
VM MA	0.2 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )
VL MVC	0.4 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.2 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.2 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )
VM MVC	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.04</b> )
MS 60 degrees per s	0.3 ( <b><i>p</i> = 0.02</b> )	0.4 ( <b><i>p</i> = 0.01</b> )	0.5 ( <b><i>p</i> = 0.03</b> )

Data are reported as mean  $\pm$  SD. Bold *p* values indicate a statistically significant difference between groups ( $p < 0.05$ ). VL vastus lateralis, VM vastus medialis, VMO vastus medialis oblique, MA muscle activity, MVC maximum voluntary contraction, MS muscular strength

**Table 4** Postop correlations

Postoperative	PFP group ( <i>n</i> = 20)		
	VL 15 cm	VM 15 cm	VM 3.75 cm
<b>Postoperative</b>			
VL MA	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)
VM MA	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)
VL MVC	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)
VM MVC	0.0 ( <i>p</i> = n.s.)	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.2 ( <i>p</i> = n.s.)
MS 60 degrees per s	0.2 ( <b><i>p</i> &lt; 0.01</b> )	0.1 ( <i>p</i> = n.s.)	0.3 ( <i>p</i> = n.s.)

Data are reported as mean  $\pm$  SD. Bold *p* values indicate a statistically significant difference between groups ( $p < 0.05$ ). VL vastus lateralis, VM vastus medialis, VMO vastus medialis oblique, MA muscle activity, MVC maximum voluntary contraction, MS muscular strength

The results indicate that patients in whom PFP appears after arthroscopic surgery experience muscular atrophy of the VL and, to a greater extent, the VM during a period of 6 weeks. This decrease in quadriceps femoris muscle size is probably related to postoperative proximity inhibition and the consequent failure of muscle activation. Then again, it might also be related to the development of PFP. This article goes further, as it shows the association between quadriceps activation failure and postoperative patellofemoral pain, even in those patients with good muscle thickness and good electrical contractility of the quadriceps muscles prior to surgery. In this line, QAF and QMH are crucial factors to target to improve the recovery of knee function following knee arthroscopy.

Another interesting finding of the current work is the incidence of PFP after an arthroscopic meniscectomy in patients who did not previously have this pain. The 23.8% incidence of postoperative PFP is similar to that of patients after ACL reconstruction at the 1- and 2-year follow-up (24% and 22%, respectively) [5]. However, the shorter follow-up time in the

present investigation impedes drawing any firm conclusion with regard to this particular issue.

Recently, research has focused on developing specific disinhibitory interventions to improve voluntary quadriceps activation. Neuromuscular electrical stimulation has been shown to improve quadriceps function and strength, as well as decrease its atrophy in the postoperative period of ACL surgery [15, 19]. Eccentric exercise, whereby the muscle is lengthened and an external force exceeds that produced by the muscle, has been shown to be more effective than traditional concentric strengthening at minimizing muscle atrophy and improving muscle force production [9]. The ability to eccentrically contract the quadriceps is critical for optimal knee range of motion during the weight-acceptance phase of gait [11, 36], which is necessary in the early phase of rehabilitation after meniscal surgery [2, 3, 16, 18]. The combination of neuromuscular electrical stimulation with eccentric exercises in the postoperative rehabilitation protocol after meniscal surgery may improve early activation of the quadriceps femoris muscle. Therefore, they may aid in preventing the development of anterior knee pain, even in those patients with poor quadriceps muscle thickness.

A threshold of 6 weeks was set for the measurements. It is the moment in which the incidence of patellofemoral pain increases after knee arthroscopy [1, 2]. In general terms, although the treatment must be individualized for each patient, sixth weeks is the time point from which the patient should be able to return to play after an APM [16]. It is at this point that the patient should be able to fully activate the quadriceps femoris muscle.

A progressive pre-habilitation program that is mainly focused on strengthening the quadriceps femoris of subjects who have undergone meniscal surgery leads to improved knee function in the postoperative period, in the same way as happens in patients who have undergone ACL reconstruction [6, 8, 15, 19, 24]. However, based on the current results, those patients who develop patellofemoral pain after arthroscopy do not show this correlation.

There are some limitations in the present study. One is the severity of meniscal damage and consequently the amount of meniscus removed at surgery, as they might have an impact on the degree of postoperative electrical contractility of the quadriceps femoris. Then, the definition of PFP, which is based on the presence of pain in the anterior part of the knee in a self-referral manner and not on more objective and specific measure score or patellofemoral questionnaires like the patellar diagnostic test (Felson). [35] Lower extremity structural anomalies on the transverse plane like increased femoral anteversion and lateral tibial torsion may contribute to patellofemoral malalignment and PFP must also be considered [4, 7]. These factors have not been analysed in the current study. Thus, that might be another limitation.

In the light of the current results, early activation of the quadriceps femoris after APM is particularly important for the prevention of postoperative patellofemoral pain, regardless of the quadriceps muscle thickness prior to the intervention.

This study provides insights on the influence of neuromuscular control on anterior knee pain and how the postoperative rehabilitation protocol after meniscectomy should be approached. Those results may in turn be useful in guiding rehabilitation efforts and guide daily clinical practice after knee arthroscopy.

## Conclusion

In patients without patellofemoral pain after meniscectomy, the thicker the preoperative quadriceps femoris, the more postoperative neuromuscular activation and strength they have. This correlation did not occur in those patients who develop patellofemoral pain after meniscal surgery.

**Acknowledgements** The authors thank the Radiology Department of Hospital del Mar for their help in performing the measurements on the MR images. They also thank Mr. Sanchez and Ms. Piqueras, physiotherapists from the INVALCOR Biomechanical Center, who collaborated in carrying out all of the isokinetic and electromyographic tests on our patients. This study was done within the framework of the PhD program of the Department of Surgery and Morphological Sciences of the Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

**Funding** Open Access Funding provided by Universitat Autònoma de Barcelona.

## Declarations

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Ethical approval** Approval for the study was granted by the Ethics Committee of Clinical Research of Parc de Salut Mar Hospital, Autonomous University of Barcelona (CEIC no. 2014/5534)

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

- Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, Sánchez-Soler JF, Leal-Blanquet J, Ares-Vidal J, Hinarejos P, Monllau JC (2021) Patellofemoral pain after arthroscopy: muscle atrophy is not everything. *Orthop J Sports Med* 9:232596712110130
- Becker R, Kopf S, Seil R, Hirschmann MT, Beaufils P, Karlsson J (2020) From meniscal resection to meniscal repair: a journey of the last decade. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:3401–3404
- Capin JJ, Khandha A, Zarzycki R, Manal K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L (2018) Gait mechanics after ACL reconstruction differ according to medial meniscal treatment. *J Bone Joint Surg Am* 100:1209–1216
- Cibulka MT, Threlkeld-Watkins J (2005) Patellofemoral pain and asymmetrical hip rotation. *Phys Ther* 85:1201–1207
- Culvenor AG, Øiestad BE, Holm I, Gunderson RB, Crossley KM, Risberg MA (2017) Anterior knee pain following anterior cruciate ligament reconstruction does not increase the risk of patellofemoral osteoarthritis at 15- and 20-year follow-ups. *Osteoarthritis Cartil* 25:30–33
- Eitzen I, Holm I, Risberg MA (2009) Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 43:371–376
- Erkocak OF, Altan E, Altintas M, Turkmen F, Aydin BK, Bayar A (2016) Lower extremity rotational deformities and patellofemoral alignment parameters in patients with anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:3011–3020
- Failla MJ, Arundale AJH, Logerstedt DS, Snyder-Mackler L (2015) Controversies in knee rehabilitation. *Clin Sports Med* 34:301–312
- Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC (2007) Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 89:559–570
- Goicoechea N, Hinarejos P, Torres-Claramunt R, Leal-Blanquet J, Sánchez-Soler J, Monllau JC (2021) Patellar denervation does not reduce post-operative anterior knee pain after primary total knee arthroplasty with patellar resurfacing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29:3346–3351
- Harkey MS, Gribble PA, Pietrosimone BG (2014) Disinhibitory interventions and voluntary quadriceps activation: a systematic review. *J Athl Train* 49:411–421
- Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD (2010) Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 45:87–97
- Hurley MV, Jones DW, Newham DJ (1994) Arthroscopic quadriceps inhibition and rehabilitation of patients with extensive traumatic knee injuries. *Clin Sci (Lond)* 86:305–310
- Ingersoll CD, Grindstaff TL, Pietrosimone BG, Hart JM (2008) Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury. *Clin Sports Med* 27(383–404):vii
- Johnston PT, Feller JA, McClelland JA, Webster KE (2021) Knee strength deficits following anterior cruciate ligament reconstruction differ between quadriceps and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06565-0>
- Kopf S, Beaufils P, Hirschmann MT, Rotigliano N, Ollivier M, Pereira H, Verdonk R, Darabos N, Ntangiopoulos P, Dejour D, Seil R, Becker R (2020) Management of traumatic meniscus tears: the 2019 ESSKA meniscus consensus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:1177–1194

17. Krishnan C, Williams GN (2011) Factors explaining chronic knee extensor strength deficits after ACL reconstruction. *J Orthop Res* 29:633–640
18. Lepley LK, Lepley AS, Onate JA, Grooms DR (2017) Eccentric exercise to enhance neuromuscular control. *Sports Health* 9:333–340
19. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM (2015) Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee* 22:270–277
20. Lopresti C, Kirkendall DT, Street GM, Dudley AW (1988) Quadriceps insufficiency following repair of the anterior cruciate ligament. *J Orthop Sports Phys Ther* 9:245–249
21. Lorentzon R, Elmquist LG, Sjöström M, Fagerlund M, Fuglmeier AR (1989) Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear: muscle size, morphology, and mechanical output before reconstruction. *Am J Sports Med* 17:423–429
22. Marcon M, Ciritsis B, Laux C, Nanz D, Nguyen-Kim TDL, Fischer MA, Andreisek G, Ulbrich EJ (2015) Cross-sectional area measurements versus volumetric assessment of the quadriceps femoris muscle in patients with anterior cruciate ligament reconstructions. *Eur Radiol* 25:290–298
23. Narici M, Cerretelli P (1998) Changes in human muscle architecture in disuse-atrophy evaluated by ultrasound imaging. *J Gravit Physiol* 5:P73–74
24. Palmieri-Smith RM, Lepley LK (2015) Quadriceps strength asymmetry after anterior cruciate ligament reconstruction alters knee joint biomechanics and functional performance at time of return to activity. *Am J Sports Med* 43:1662–1669
25. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM (2008) Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. *Clin Sports Med* 27:405–424
26. Pan J, Stehling C, Muller-Hoecker C, Schwaiger BJ, Lynch J, McCulloch CE, Nevitt MC, Link TM (2011) Vastus lateralis/vastus medialis cross-sectional area ratio impacts presence and degree of knee joint abnormalities and cartilage T2 determined with 3T MRI—an analysis from the incidence cohort of the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthr Cartil* 19:65–73
27. Place N, Maffiuletti NA, Martin A, Lepers R (2007) Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle. *Muscle Nerve* 35:486–495
28. Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I (2004) A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurosci Methods* 134:37–43
29. Rathleff MS, Vicenzino B, Middelkoop M, Graven-Nielsen T, van Linschoten R, Hölmich P, Thorborg K (2015) Patellofemoral pain in adolescence and adulthood: same, but different? *Sports Med* 45:1489–1495
30. Rice DA, McNair PJ (2010) Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 40:250–266
31. Roush JR, Bay RC (2012) Prevalence of anterior knee pain in 18–35 year-old females. *Int J Sports Phys Ther* 7:396–401
32. Sanchis-Alfonso V (2008) Patellofemoral pain. *Orthopade* 37(835–836):838–840
33. Sanchis-Alfonso V (2014) Holistic approach to understanding anterior knee pain. Clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:2275–2285
34. Smith BE, Selve J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, Rathleff MS, Smith TO, Logan P (2018) Incidence and prevalence of patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 13:e0190892
35. Stefanik JJ, Neogi T, Niu J, Roemer FW, Segal NA, Lewis CE, Nevitt M, Guermazi A, Felson DT (2014) The diagnostic performance of anterior knee pain and activity-related pain in identifying knees with structural damage in the patellofemoral joint: the Multicenter Osteoarthritis Study. *J Rheumatol* 41:1695–1702
36. Torry MR, Decker MJ, Viola RW, O'Connor DD, Steadman JR (2000) Intra-articular knee joint effusion induces quadriceps avoidance gait patterns. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 15:147–159
37. Wang Y, Wluka AE, Berry PA, Siew T, Teichtahl AJ, Urquhart DM, Lloyd DG, Jones G, Cicuttini FM (2012) Increase in vastus medialis cross-sectional area is associated with reduced pain, cartilage loss, and joint replacement risk in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 64:3917–3925
38. Wellauer V, Morf C, Minetto MA, Place N, Maffiuletti NA (2015) Assessment of quadriceps muscle inactivation with a new electrical stimulation paradigm: quadriceps neuromuscular testing. *Muscle Nerve* 51:117–124
39. Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, Axe MJ, Snyder-Mackler L (2005) Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 33:402–407


**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## 7.3 Literatura de soporte

Layout: T4 Color  
Chapter No.: 12

Book ID: 112362\_3\_En  
Date: 22-9-2022 Time: 10:02 am

Book ISBN: 978-3-031-09766-9  
Page: 1/9



---

# Anterior Knee Pain After Arthroscopic Meniscectomy: Risk Factors, Prevention and Treatment

Jorge Amestoy, Daniel Pérez-Prieto,  
and Joan Carles Monllau

### 1 General Considerations

The menisci are essential to the normal functioning and biomechanics of the knee. Their functions include shock absorption, load transmission, stability, and proprioception [1, 2]. Meniscal injuries are common conditions in the knee joint, particularly in sports medicine. They can be classified mainly as either traumatic or degenerative injuries. It depends on the mechanism of injury, the pattern of rupture, the age of the patient and the previous state of the meniscal tissue [3–5].

A better understanding of the role of meniscus anatomy, its biomechanics and pathogenesis led to the development of the “meniscus preservation” concept over recent decades. Nevertheless, arthroscopic resections of parts of the menisci probably continue to be the most common surgical procedures around the knee [3, 5–8]. Depending on the type of tear, the time of evolution since the injury and the patient profile, partial meniscectomy is the treatment of choice in many cases [9–12]. In those cases, arthroscopic surgery is an elegant procedure that often results in a remarkable improvement in joint line pain [13]. However, a non-negligible number of patients have developed characteristic and usually temporary anterior knee pain after the surgical procedure.

This phenomenon has also been seen in patients that have undergone distinct types of knee surgery, namely anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction or total knee arthroplasty [14, 15]. The incidence of postoperative PFP after arthroscopic partial meniscectomy in patients who did not previously have this pain is 23.8% at 6 weeks after the surgery [16]. That percentage is quite similar to the incidence in patients who have pain after ACL reconstruction (22–24%) [17].

Patellofemoral pain after knee arthroscopy usually appears around the sixth postoperative week, which is just the moment when the patient begins to return to their usual sports activities after an arthroscopic partial meniscectomy [18, 19]. It is at this point that the patient should be able to fully activate the quadriceps femoris muscle [20]. Despite referring to improvement in the discomfort at the level of the knee joint interline, the patients with postoperative PFP describe the appearance of a generally non-specific pain that is sometimes located directly

\_29  
\_30  
\_31 **AQ1**  
\_32  
\_33  
\_34  
\_35  
\_36  
\_37  
\_38  
\_39  
\_40  
\_41 **AQ2**  
\_42  
\_43  
\_44  
\_45  
\_46  
\_47  
\_48  
\_49  
\_50  
\_51  
\_52  
\_53  
\_54  
\_55  
\_56  
\_57  
\_58  
\_59  
\_60

J. Amestoy (✉) · D. Pérez-Prieto · J. C. Monllau  
Department of Orthopaedic Surgery, Hospital del Mar, Barcelona, Spain  
e-mail: [jamestoyramos@gmail.com](mailto:jamestoyramos@gmail.com)

Catalan Institute of Traumatology and Sports Medicine (ICATME), Hospital Universitari Dexeus, Barcelona, Spain

Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Barcelona, Spain

© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2022  
V. Sanchis-Alfonso (ed.), *Anterior Knee Pain and Patellar Instability*,  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-09767-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-09767-6_12)



61 anterior to the knee. They will often place a hand  
 62 over the anterior knee when asked about the  
 63 location of their pain. They often complain with  
 64 anterior pain with prolonged sitting that it is  
 65 usually relieved by passive extension as well as  
 66 worsening pain when going downstairs. Noisy  
 67 knees are common and not necessarily a cause of  
 68 concern in the postoperative period [21]. Crepi-  
 69 tus or a rubbing sensation under the kneecap that  
 70 hurts could be pathological if associated with  
 71 chondral lesions in the patellofemoral joint.  
 72 However, the excess synovial fluid still present in  
 73 the knee after arthroscopic meniscectomy may  
 74 also be the cause of this patellar crepitation.

75 **2 Risk Factors for Patellofemoral**  
 76 **Pain After Knee Arthroscopy**  
 77

78 The cause of anterior knee pain that has been  
 79 extensively described in this book is likely to be  
 80 multifactorial, which means a wide range of  
 81 factors are involved in its etiopathogenesis.  
 82 Neuromuscular, anatomic, mechanical, and even  
 83 psychological factors have all been suggested as  
 84 causative [22–24], which explains the unpre-  
 85 dictable results of treatment.

86 In the case of patellofemoral pain that appears  
 87 after arthroscopic partial meniscectomy, there are  
 88 several specific risk factors that may influence  
 89 the development of this pain during the postop-  
 90 erative period.

91 **2.1 Postoperative Quadriceps Muscle**  
 92 **Atrophy**

93 Classically, one of the suggested etiopathogene-  
 94 sis factors of anterior knee pain was a muscle  
 95 imbalance between the vastus medialis (VM) and  
 96 the vastus lateralis (VL) of the quadriceps  
 97 femoris muscle. It was assumed that hypotrophy  
 98 or lack of neuromuscular activity of the VM,  
 99 particularly its oblique fibers (VMO), caused a  
 100 lateral patellar tilt and abnormal patellofemoral  
 101 tracking that led to excessive compressive stress  
 102 on the patellar facets and anterior knee pain.  
 103 However, Chester et al. have found that the

104 VM/VL imbalance is not present in all patients  
 105 experiencing PFP [25]. They stated that some  
 106 other agents must be causative.

107 Quadriceps muscle hypotrophy that occurs  
 108 following knee surgery contributes to persistent  
 109 muscle weakness [26, 27] due to alterations in  
 110 muscle architecture [28], selective fibre atrophy  
 111 [29, 30], or even neural deficits like quadriceps  
 112 activation failure [31]. It might also cause post-  
 113 operative patellofemoral pain.

114 Amestoy and colleagues studied 120 patients  
 115 who underwent arthroscopic partial meniscec-  
 116 tomy. In the study, an MRI of the thigh, surface  
 117 electromyography and isokinetic tests were per-  
 118 formed before and after surgery. They observed  
 119 that patients who developed PFP at 6 weeks after  
 120 the surgery showed a greater decrease in muscle  
 121 thickness (5.11 cm<sup>2</sup> for VL15 cm, 6.80 cm<sup>2</sup> for  
 122 VM15 cm, and 7.80 cm<sup>2</sup> for VM3.75 cm or  
 123 VMO) with respect to patients who did not  
 124 develop this anterior knee pain (1.38, 2.28, and  
 125 2.69 cm<sup>2</sup>, respectively) at 6 weeks after surgery  
 126 (P < 0.001 for all) [16]. This decrease in muscle  
 127 thickness was much more noticeable in the VM  
 128 than in the VL muscle.

129 The weakness of the hip abductor and external  
 130 rotator muscles might also influence the appear-  
 131 ance of this post-operative patellofemoral pain.  
 132 Weakness of said muscles allows the femur to  
 133 abduct/internally rotate more than normal,  
 134 thereby increasing lateral patellar contact pres-  
 135 sure and causing subsequent increased anterior  
 136 knee pain [32–35]. No study has evaluated the  
 137 atrophy of these muscles after knee arthroscopy.  
 138 However, it is logical to think that arthrogenic  
 139 inhibition after knee surgery will be more notable  
 140 in the quadriceps muscle group than in the glu-  
 141 teal muscle group due to the greater proximity of  
 142 the knee.

143 **2.2 Delayed Quadriceps Activation**

144 Activation failure is the inability to completely  
 145 volitionally contract the muscle due to alterations  
 146 in neural signalling. It is common following any  
 147 type of knee surgery [36, 37]. Quadriceps acti-  
 148 vation failure occurs due to alterations in neural





149 signalling caused by a reduction in alpha motor  
150 neuron pool recruitment and/or the firing rate  
151 [38]. It is not simply an isolated local phe-  
152 nomenon related to atrophy. If left untreated,  
153 quadriceps activation failure can significantly  
154 impede strength gains by only allowing portions  
155 of the muscles to be volitionally utilized during  
156 active exercise [39]. In the same way as after  
157 knee arthroscopy, decreased quadriceps activa-  
158 tion has also been observed in the acute stage of  
159 an ACL injury and in patients with ACL-  
160 deficient knees who experience instability (non-  
161 copers) [40, 41].

162 In addition to muscle atrophy, delay in the  
163 activation of the quadriceps femoris muscle  
164 could be another risk factor in the development  
165 of patellofemoral pain after knee arthroscopy.  
166 A deficiency of the VMO weakens the medial  
167 quadriceps vector, thereby allowing greater  
168 pulling of the lateral quadriceps vector with a  
169 resultant increase in the dynamic Q-angle. Due to  
170 this loss of the medial force, the patella is pulled  
171 laterally out of its normal tracking. Additionally,  
172 studies have shown more delayed activation of  
173 the VMO in comparison to the VL, at 15, 30, and  
174 45 degrees of knee extension, using elec-  
175 tromyography [42].

176 In their study, Amestoy and colleagues  
177 observed that the electrical contractility of the  
178 quadriceps femoris muscle evaluated by means  
179 of surface electromyography (sEMG) decreased  
180 to a greater extent in patients that developed  
181 patellofemoral pain at 6 weeks after the surgery  
182 (804.25 mV in the VL and 1250.80 mV in the  
183 VM) than in patients that did not develop this  
184 pain (486.95 and 680.82 mV) ( $P = 0.036$  and  
185  $P < 0.001$ , respectively) [16]. This decrease in  
186 muscle activation was again much more notice-  
187 able in the VM than in the VL muscle (Fig. 2).  
188 Briani and colleagues described similar differ-  
189 ences in the activation of the quadriceps heads  
190 during contraction among adolescent female  
191 patients with anterior knee pain when compared  
192 with healthy controls [43, 44].

193 Therefore, patients who develop PFP after  
194 APM not only have greater loss of muscle  
195 thickness but also a greater decrease in the  
196 electrical contractility of the quadriceps femoris.

197 Thus, this should be considered as an independ-  
198 ent risk factor for the development of anterior  
199 knee pain after meniscus surgery.

200 Some studies have demonstrated that tourni-  
201 quet use resulted in a significantly decreased  
202 thigh circumference as well as significant nega-  
203 tive electromyographic changes at 3 weeks after  
204 ACL reconstruction [45]. In this sense, intraop-  
205 erative tourniquet use may be detrimental to the  
206 quadriceps femoris muscle after knee arthro-  
207 scopy. No significant differences were found in  
208 muscle strength or in the functional results  
209 between patients on whom a tourniquet was used  
210 and patients on whom it was not used.

### 2.3 Postoperative Quadriceps Muscle Weakness

211 In addition to quadriceps muscle hypotrophy and  
212 quadriceps activation failure, postoperative  
213 strength deficit has been identified as another  
214 independent risk factor in the development of  
215 patellofemoral pain after arthroscopic partial  
216 meniscectomy.

217 Amestoy and colleagues observed that patients  
218 who developed anterior knee pain in the postop-  
219 erative period of meniscal knee surgery had lower  
220 quadriceps muscle strength than patients who did  
221 not develop this pain (12.27 kg vs. 20.02 kg  
222 respectively,  $P < 0.001$ ). Both groups started  
223 from comparable levels of strength before surgery  
224 [16]. To assess the muscle strength values, an  
225 isokinetic test (Biodex dynamometer) was per-  
226 formed both pre-surgically and 6 weeks postsur-  
227 gically. It provided data on muscular strength  
228 through range-of-motion at  $60^\circ/s$ .  
229  
230

### 2.4 Preoperative Quadriceps Muscle Thickness

231 Despite the important role that the quadriceps  
232 muscle plays in this pathology, no study had  
233 studied the influence of preoperative quadriceps  
234 femoris muscle thickness on the development of  
235 patellofemoral pain after knee arthroscopy until  
236 now.  
237  
238

AQ3



239 In a recent study, the Monllau and colleagues  
240 study group observed that there is a direct cor-  
241 relation between the preoperative muscle thick-  
242 ness of the quadriceps femoris muscle and its  
243 neuromuscular activation in the postoperative  
244 period of knee arthroscopy [18]. The results  
245 suggest that patients who have less VL muscle  
246 thickness and especially the VM preoperatively  
247 have a greater risk of developing patellofemoral  
248 pain around the sixth week after APM. On the  
249 other hand, they also suggest that the delayed  
250 onset of electromyographic activity of the  
251 quadriceps femoris muscle, regardless of muscle  
252 thickness prior to surgery, could be considered a  
253 risk factor for the development of patellofemoral  
254 pain. This is of great importance, because they  
255 establish a direct relationship between preopera-  
256 tive muscle thickness, which is relatively easy to  
257 assess and quantify clinically, and the risk of  
258 developing patellofemoral pain in the arthro-  
259 scopic meniscal surgery postoperative period.

### 260 3 Prevention 261

262 For all this, achieving early activation of the  
263 quadriceps femoris with an early recovery of its  
264 muscle thickness and strength after arthroscopic  
265 partial meniscectomy would be beneficial in  
266 preventing postoperative anterior knee pain. In  
267 this way, monitoring the neuromuscular activa-  
268 tion of the quadriceps and its muscle thickness  
269 may facilitate the identification of patients at risk  
270 of developing this postoperative complication. It  
271 would also allow them to start an early treatment.

272 Recently, research has focused on developing  
273 specific disinhibitory interventions to improve  
274 voluntary quadriceps activation. Neuromuscular  
275 electrical stimulation (NMES) has been shown to  
276 improve quadriceps function and strength, as  
277 well as decrease its atrophy in the ACL surgery  
278 postoperative period [39, 46]. Five of the seven  
279 studies included in a systematic review found a  
280 significant improvement in quadriceps strength  
281 with the application of NMES following knee  
282 arthroscopy [47–49]. Moreover, high intensity

NMES resulted in more strength recovery than  
low intensity or no application of NMES  
6 weeks following surgery ( $p < 0.05$ ) [50].

Eccentric exercise, whereby the muscle is  
lengthened and an external force exceeds that  
produced by the muscle, has been shown to be  
more effective than traditional concentric  
strengthening at minimizing muscle atrophy and  
improving muscle force production [51]. The  
ability to eccentrically contract the quadriceps is  
critical to optimal knee range-of-motion during  
the weight-acceptance phase of gait [52, 53],  
which is necessary in the early phase of reha-  
bilitation after meniscal surgery [19, 54–56].

The combination of NMES with eccentric  
exercises in the postoperative rehabilitation pro-  
tocol after meniscal surgery may improve early  
activation of the quadriceps femoris muscle.  
Therefore, they may aid in preventing the  
development of anterior knee pain even in those  
patients with poor quadriceps muscle thickness.

Based on the current evidence, sEMG appli-  
cation should be considered in postoperative  
protocols following arthroscopic surgery. Some  
studies that assessed the effect of sEMG fol-  
lowing arthroscopic knee surgery reported a  
benefit in terms of quadriceps strength measured  
by muscle force, knee range-of-motion and  
functional knee scores when compared to stan-  
dard rehabilitation alone [57–59]. Among these  
studies, the sEMG group had greater VM and VL  
muscle activity and maximum contraction values  
when compared to NMES or rehabilitation alone  
( $p < 0.05$ ).

It has recently been shown that there is a  
direct relationship between the preoperative  
muscle thickness of the quadriceps femoris and  
neuromuscular activation and muscle strength at  
6 weeks after arthroscopic partial meniscectomy  
[18]. Therefore, having the quadriceps femoris  
muscle in a correct preoperative state might be  
protective against the development of postoper-  
ative patellofemoral pain. In this sense, a pro-  
gressive rehabilitation program that is mainly  
focused on strengthening the quadriceps femoris  
of subjects who have undergone meniscal

283  
284  
285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298  
299  
300  
301  
302  
303  
304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312  
313  
314  
315  
316  
317  
318  
319  
320  
321  
322  
323  
324  
325  
326  
327  
328



329 surgery leads to improved knee function and  
330 prevents the development of PFP. Much the  
331 same happens in patients who have undergone  
332 ACL reconstruction [46, 60, 61].

#### 333 4 Treatment 334

335 An ideal meniscal rehabilitation protocol should  
336 consider the size, tear pattern, location, quality of  
337 the repaired tissue and any concomitant proced-  
338 ures. Proper postoperative rehabilitation of the  
339 menisectomized knee is essential, not only to  
340 prevent the development of anterior knee pain  
341 but specially to return to regular sports activities.  
342 The return would also include running or jump-  
343 ing at approximately 6 weeks [21, 62].

344 The mainstay of treatment for postoperative  
345 PFP after APM is currently the strengthening of  
346 the quadriceps femoris muscle, abductor and  
347 external rotator hip muscles and core muscles.  
348 Additional measures include gait retraining, the  
349 passive correction of patellar maltracking with  
350 bracing and taping or hyaluronic acid or platelet-  
351 rich plasma injections.

352 It is well known that knee pain and effusion  
353 can lead to quadriceps dysfunction and atrophy.  
354 This is particularly true in the setting of a  
355 meniscal tear, both preoperatively and postoper-  
356 atively [20]. Strengthening exercises for PFP  
357 management originally focused on strengthening  
358 the knee via quadriceps strengthening as VM  
359 weakness is a known factor in the etiology of  
360 PFP. The return of full quadriceps function and  
361 strength is often hard won on the road to  
362 recovery. So, it is prudent to have early  
363 strengthening included in a patient's rehabilita-  
364 tion protocol [21].

365 The American College of Sports Medicine  
366 recommends a resistance training load of 70–  
367 85% of the one repetition maximum to promote  
368 muscle hypertrophy [63]. It is often challenging  
369 for postoperative patients to achieve these loads  
370 early in the recovery process after an arthro-  
371 scopic surgery. Blood flow restriction therapy  
372 (BFRT) has become a growing part of the pre-  
373 operative and postoperative rehabilitation regi-  
374 men of arthroscopy to combat this difficult

375 problem [62]. This therapy results in the devel-  
376 opment of an anaerobic environment along with  
377 the subsequent release of growth factors. It is the  
378 release of these growth factors that promotes  
379 muscle hypertrophy [64–66]. The beauty of  
380 BFRT is that it can stimulate an anaerobic  
381 environment using loads that are much lower  
382 than the traditional 70–85% of the one repetition  
383 maximum. According to a recent meta-analysis,  
384 strength and muscle hypertrophy were signifi-  
385 cantly greater in the groups performing exercise  
386 with BFR 2–3 days per week when compared to  
387 those exercising 4–5 days per week without BFR  
388 [66]. The use of this therapy may be beneficial in  
389 those patients who developed PFP pain after  
390 arthroscopic meniscal surgery because it would  
391 cause greater quadriceps muscle growth with  
392 lower loads and less overload of the patellofe-  
393 moral joint.

394 In recent years, the importance of hip abduc-  
395 tors and external rotators strengthening has been  
396 identified as an important pillar in the manage-  
397 ment of PFP. Two recent systematic reviews that  
398 investigated the importance of hip and knee  
399 strengthening as compared to knee strengthening  
400 alone. Both reviews found that the combination  
401 therapy significantly reduced pain in patients  
402 with PFP [67]. Core strengthening has also been  
403 recently revealed to be an important component  
404 to add to postoperative anterior knee pain treat-  
405 ment regimens [68, 69]. In addition, they are  
406 exercises that can be easily performed from the  
407 first postoperative weeks after a simple knee  
408 arthroscopy [70].

409 Patellar bracing has shown some short-term  
410 benefit in PFP in small studies [71]. According to  
411 a systematic review by Saltychev, of the 37  
412 studies included in their review, only 7 demon-  
413 strate a significant benefit with patellar bracing  
414 [72]. Kinesio taping of the VMO has been shown  
415 to decrease pain and improve quadriceps func-  
416 tion in athletes with PFP. However, these results  
417 were seen among only 15 patients with PFP,  
418 limiting the power of the results [73]. Probably  
419 knee taping and patellar bracing may be benefi-  
420 cial in reducing PFP after meniscus surgery, but  
421 only as an adjunct to targeted strengthening  
422 therapy.



423 Surgical treatment for postoperative PFPS is  
424 very uncommon and is reserved for cases due to  
425 femoropatellar chondral lesions refractory to  
426 conservative treatment, or severe osseous and  
427 ligamentous abnormalities that prevent normal  
428 patellar tracking despite non-operative treatment  
429 programs.

### 5 Summary

- 430 – PFP after APM affects almost 1 in 4 patients.  
431 Its appearance can be prevented with a series  
432 of preventive measures that are relatively easy  
433 to apply.
- 434 – Muscle atrophy, late neuromuscular activation  
435 and early non-recovery of muscle strength are  
436 identifiable risk factors in the development of  
437 PFP after simple knee arthroscopy. A thinner  
438 quadriceps femoris muscle prior to arthro-  
439 scopic knee surgery is directly correlated with  
440 less neuromuscular activation of the same in  
441 the postoperative period. VM seems to have a  
442 greater influence than VL on the development  
443 of this pathology.
- 444 – The main preventive strategy is to strengthen  
445 the quadriceps femoris muscle prior to surgery  
446 through a pre-rehabilitation program until an  
447 adequate muscle thickness of the quadriceps  
448 femoris is achieved. Promoting early neuro-  
449 muscular activation, recovering the thickness  
450 and muscle strength of the quadriceps femoris  
451 should also be preventive strategies for patel-  
452 lofemoral pain after arthroscopy. For this  
453 purpose, the combination of NEMS, sEMG  
454 and eccentric exercises might be a good  
455 option.
- 456 – Recovering good functionality of the quadri-  
457 cepts femoris muscle is the main objective of  
458 the treatment of PFP after knee arthroscopy,  
459 for which BFRT has become a very usefull  
460 tool. The strengthening of the hip abductors  
461 and core muscles should not be forgotten in  
462 the treatment of this pathology. They are  
463 exercises that can be easily performed from  
464 the first postoperative weeks after knee  
465 arthroscopy.

### References

469  
470

- 471 1. Greis PE, Bardana DD, Holmstrom MC, Burks RT.  
472 Meniscal injury: I. Basic science and evaluation. *J Am*  
473 *Acad Orthopaedic Surg.* 2002;10:168–76. [https://doi.](https://doi.org/10.5435/00124635-200205000-00003)  
474 [org/10.5435/00124635-200205000-00003.](https://doi.org/10.5435/00124635-200205000-00003)
- 475 2. Walker PS, Erkmán MJ. The role of the menisci in  
476 force transmission across the knee. *Clin Orthop Relat*  
477 *Res.* 1975;109:184–92.
- 478 3. Abram SGF, Hopewell S, Monk AP, Bayliss LE,  
479 Beard DJ, Price AJ. Arthroscopic partial meniscec-  
480 tomy for meniscal tears of the knee: a systematic  
481 review and meta-analysis. *Br J Sports Med.*  
482 2020;54:652–63. [https://doi.org/10.1136/bjsports-](https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100223)  
483 [2018-100223.](https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100223)
- 484 4. Verdonk P, Vererfve P. Traumatic lesions: stable  
485 knee, ACL knee. In: *The meniscus.* Springer;2010.  
486 pp. 45–51.
- 487 5. Boyer T, Dorfmann H, Podgorski A. Degenerative  
488 lesions-meniscal cyst. Springer; 2010. pp. 51–61.
- 489 6. Feeley BT, Lau BC. Biomechanics and clinical  
490 outcomes of partial meniscectomy. *J Am Acad*  
491 *Orthop Surg.* 2018;26:853–63. [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00256)  
492 [5435/JAAOS-D-17-00256.](https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-17-00256)
- 493 7. Gauffin H, Tagesson S, Meunier A, Magnusson H,  
494 Kvist J. Knee arthroscopic surgery is beneficial to  
495 middle-aged patients with meniscal symptoms: a  
496 prospective, randomised, single-blinded study.  
497 *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22:1808–16. [https://](https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.07.017)  
498 [doi.org/10.1016/j.joca.2014.07.017.](https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.07.017)
- 499 8. Wesdorp MA, Eijgenraam SM, Meuffels DE,  
500 Bierma-Zeinstra SMA, Kleinrensink G-J,  
501 Bastiaansen-Jenniskens YM, Reijman M. Traumatic  
502 meniscal tears are associated with meniscal degener-  
503 ation. *Am J Sports Med.* 2020;48:2345–52. [https://](https://doi.org/10.1177/0363546520934766)  
504 [doi.org/10.1177/0363546520934766.](https://doi.org/10.1177/0363546520934766)
- 505 9. Matsusue Y, Thomson NL. Arthroscopic partial  
506 medial meniscectomy in patients over 40 years old:  
507 a 5- to 11-year follow-up study. *Arthroscopy.*  
508 1996;12:39–44. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(96)90217-0)  
509 [\(96\)90217-0.](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(96)90217-0)
- 510 10. Paxton ES, Stock MV, Brophy RH. Meniscal repair  
511 versus partial meniscectomy: a systematic review  
512 comparing reoperation rates and clinical outcomes.  
513 *Arthroscopy.* 2011;27:1275–88. [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.03.088)  
514 [1016/j.arthro.2011.03.088.](https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.03.088)
- 515 11. Seil R, Becker R. Time for a paradigm change in  
516 meniscal repair: save the meniscus! *Knee Surg Sports*  
517 *Traumatol Arthrosc.* 2016;24:1421–3. [https://doi.org/](https://doi.org/10.1007/s00167-016-4127-9)  
518 [10.1007/s00167-016-4127-9.](https://doi.org/10.1007/s00167-016-4127-9)
- 519 12. Stein T, Mehling AP, Welsch F, von Eisenhart-Rothe  
520 R, Jäger A. Long-term outcome after arthroscopic  
521 meniscal repair versus arthroscopic partial meniscec-  
522 tomy for traumatic meniscal tears. *Am J Sports Med.*  
523 2010;38:1542–8. [https://doi.org/10.1177/03635465](https://doi.org/10.1177/0363546510364052)  
524 [10364052.](https://doi.org/10.1177/0363546510364052)
- 525 13. Fayard JM, Pereira H, Servien E, Lustig S,  
526 Neyret P. Meniscectomy global results-



- 527 complications. In: *The meniscus*. Springer;2010. 586  
528 pp. 177–91. 587
- 529 14. Wünschel M, Leichtle U, Obloh C, Wülker N, Müller 588  
530 O. The effect of different quadriceps loading patterns 589  
531 on tibiofemoral joint kinematics and patellofemoral 590  
532 contact pressure during simulated partial weight- 591  
533 bearing knee flexion. *Knee Surg Sports Traumatol* 592  
534 *Arthrosc.* 2011;19:1099–106. [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.1007/s00167-010-1359-y) 593  
535 [1007/s00167-010-1359-y](https://doi.org/10.1007/s00167-010-1359-y). 594
- 536 15. Goicoechea N, Hinarejos P, Torres-Claramunt R, 595  
537 Leal-Blanquet J, Sánchez-Soler J, Monllau JC. Patel- 596  
538 lar denervation does not reduce post-operative anterior 597  
539 knee pain after primary total knee arthroplasty 598  
540 with patellar resurfacing. *Knee Surg Sports Traumatol* 599  
541 *Arthrosc.* 2021;29:3346–51. [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.1007/s00167-020-06164-5) 600  
542 [1007/s00167-020-06164-5](https://doi.org/10.1007/s00167-020-06164-5). 601
- 543 16. Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, 602  
544 Sánchez-Soler JF, Leal-Blanquet J, Ares-Vidal J, 603  
545 Hinarejos P, Monllau JC. Patellofemoral pain after 604  
546 arthroscopy: muscle atrophy is not everything. 605  
547 *Orthop J Sports Med.* 2021;9:232596712110130. 606  
548 <https://doi.org/10.1177/23259671211013000>. 607
- 549 17. Culvenor AG, Øiestad BE, Holm I, Gunderson RB, 608  
550 Crossley KM, Risberg MA. Anterior knee pain 609  
551 following anterior cruciate ligament reconstruction 610  
552 does not increase the risk of patellofemoral 611  
553 osteoarthritis at 15- and 20-year follow-ups. 612  
554 *Osteoarthr Cartil.* 2017;25:30–3. [https://doi.org/10.](https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.09.012) 613  
555 [1016/j.joca.2016.09.012](https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.09.012). 614
- 556 18. Amestoy J, Pérez-Prieto D, Torres-Claramunt R, 615  
557 Sánchez-Soler JF, Solano A, Leal-Blanquet J, 616  
558 Hinarejos P, Monllau JC. Preoperative muscle 617  
559 thickness influences muscle activation after arthro- 618  
560 scopic knee surgery. *Knee Surg Sports Traumatol* 619  
561 *Arthrosc.* 2021. [https://doi.org/10.1007/s00167-021-](https://doi.org/10.1007/s00167-021-06820-4) 620  
562 [06820-4](https://doi.org/10.1007/s00167-021-06820-4). 621
- 563 19. Becker R, Kopf S, Seil R, Hirschmann MT, Beau- 622  
564 fils P, Karlsson J. From meniscal resection to 623  
565 meniscal repair: a journey of the last decade. *Knee* 624  
566 *Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28:3401–4. 625  
567 <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06316-7>. 626
- 568 20. Akima H, Furukawa T. Atrophy of thigh muscles 627  
569 after meniscal lesions and arthroscopic partial meni- 628  
570 sectomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 629  
571 2005;13:632–7. [https://doi.org/10.1007/s00167-004-](https://doi.org/10.1007/s00167-004-0602-9) 630  
572 [0602-9](https://doi.org/10.1007/s00167-004-0602-9). 631
- 573 21. Brelín AM, Rue J-PH. Return to play following 632  
574 meniscus surgery. *Clin Sports Med.* 2016;35:669–78. 633  
575 <https://doi.org/10.1016/j.csm.2016.05.010>. 634
- 576 22. Sanchis-Alfonso V. Holistic approach to understand- 635  
577 ing anterior knee pain. Clinical implications. *Knee* 636  
578 *Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22:2275–85. 637  
579 <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3011-8>. 638
- 580 23. Sanchis-Alfonso V, Dye SF. How to deal with 639  
581 anterior knee pain in the active young patient. *Sports* 640  
582 *Health.* 2017;9:346–51. [https://doi.org/10.1177/](https://doi.org/10.1177/1941738116681269) 641  
583 [1941738116681269](https://doi.org/10.1177/1941738116681269). 642
- 584 24. Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J, Cambier D, 643  
585 Vanderstraeten G. Intrinsic risk factors for the 644  
development of anterior knee pain in an athletic 645  
population: a two-year prospective study. *Am J* 646  
*Sports Med.* 2000;28:480–9. [https://doi.org/10.1177/](https://doi.org/10.1177/03635465000280040701) 647  
[03635465000280040701](https://doi.org/10.1177/03635465000280040701). 648
- 590 25. Chester R, Smith TO, Sweeting D, Dixon J, Wood S, 591  
Song F. The relative timing of VMO and VL in the 592  
aetiology of anterior knee pain: a systematic review 593  
and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 594  
2008;9:64. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-9-64>. 595
- 596 26. Krishnan C, Williams GN. Factors explaining 597  
chronic knee extensor strength deficits after ACL 598  
reconstruction. *J Orthop Res.* 2011;29:633–40. 599  
<https://doi.org/10.1002/jor.21316>. 600
- 601 27. Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, Axe MJ, 602  
Snyder-Mackler L. Quadriceps weakness, atrophy, 603  
and activation failure in predicted noncopers after 604  
anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 605  
2005;33:402–7. [https://doi.org/10.1177/03635465](https://doi.org/10.1177/0363546504268042) 606  
[04268042](https://doi.org/10.1177/0363546504268042). 607
- 608 28. Bleakney R, Maffulli N. Ultrasound changes to 609  
intramuscular architecture of the quadriceps follow- 610  
ing intramedullary nailing. *J Sports Med Phys* 611  
*Fitness.* 2002;42:120–5. 612
- 613 29. Lorentzon R, Elmqvist LG, Sjöström M, Fager- 614  
lund M, Fuglmeier AR. Thigh musculature in 615  
relation to chronic anterior cruciate ligament tear: 616  
muscle size, morphology, and mechanical output 617  
before reconstruction. *Am J Sports Med.* 618  
1989;17:423–9. [https://doi.org/10.1177/0363546589](https://doi.org/10.1177/036354658901700318) 619  
[01700318](https://doi.org/10.1177/036354658901700318). 620
- 621 30. Lopresti C, Kirkendall DT, Street GM, Dudley AW. 622  
Quadriceps Insufficiency following repair of the 623  
anterior cruciate ligament. *J Orthop Sports Phys* 624  
*Ther.* 1988;9:245–9. [https://doi.org/10.2519/jospt.](https://doi.org/10.2519/jospt.1988.9.7.245) 625  
[1988.9.7.245](https://doi.org/10.2519/jospt.1988.9.7.245). 626
- 627 31. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtyś EM. Max- 628  
imizing quadriceps strength after ACL reconstruc- 629  
tion. *Clin Sports Med.* 2008;27(405–424):vii–ix. 630  
<https://doi.org/10.1016/j.csm.2008.02.001>. 631
- 632 32. Vora M, Curry E, Chipman A, Matzkin E, Li X. 633  
Patellofemoral pain syndrome in female athletes: a 634  
review of diagnoses, etiology and treatment options. 635  
*Orthop Rev (Pavia).* 2018;9. [https://doi.org/10.4081/](https://doi.org/10.4081/or.2017.7281) 636  
[or.2017.7281](https://doi.org/10.4081/or.2017.7281). 637
- 638 33. Nakagawa TH, Moriya ÉTU, Maciel CD, Serrão FV. 639  
Trunk, Pelvis, hip, and knee kinematics, hip strength, 640  
and gluteal muscle activation during a single-leg 641  
squat in males and females with and without 642  
patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Sports Phys* 643  
*Ther.* 2012;42:491–501. [https://doi.org/10.2519/](https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3987) 644  
[jospt.2012.3987](https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3987). 645
- 646 34. Mascal CL, Landel R, Powers C. Management of 647  
patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk 648  
muscle function: 2 case reports. *J Orthop Sports Phys* 649  
*Ther.* 2003;33:647–60. [https://doi.org/10.2519/jospt.](https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.11.647) 650  
[2003.33.11.647](https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.11.647). 651
- 652 35. Ferber R, Bolgla L, Earl-Boehm JE, Emery C, 653  
Hamstra-Wright K. Strengthening of the hip and core 654  
versus knee muscles for the treatment of 655



- patellofemoral pain: a multicenter randomized controlled trial. *J Athl Train.* 2015;50:366–77. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.70>.
36. Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train.* 2010;45:87–97. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.87>.
37. Ingersoll CD, Grindstaff TL, Pietrosimone BG, Hart JM. Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury. *Clin Sports Med.* 2008;27(383–404):vii. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2008.03.004>.
38. Hart HF, Ackland DC, Pandy MG, Crossley KM. Quadriceps volumes are reduced in people with patellofemoral joint osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil.* 2012;20:863–8. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2012.04.009>.
39. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee.* 2015;22:270–7. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2014.11.013>.
40. Knoll Z, Kocsis L, Kiss RM. Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12:7–14. <https://doi.org/10.1007/s00167-003-0440-1>.
41. Shanbehzadeh S, Mohseni Bandpei MA, Ehsani F. Knee muscle activity during gait in patients with anterior cruciate ligament injury: a systematic review of electromyographic studies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:1432–42. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3925-9>.
42. Akkurt E, Salli A, Ozerbil OM, Ugurlu H. The effect of isokinetic exercise on symptoms, functional status, and EC activation onset time of the vastus medialis oblique and vastus lateralis in female patients with patellofemoral pain syndrome. *Isokinet Exerc Sci.* 2010;18:157–61.
43. Briani RV, De Oliveira SD, Flóride CS, Aragão FA, de Albuquerque CE, Magalhães FH, de Azevedo FM. Quadriceps neuromuscular function in women with patellofemoral pain: influences of the type of the task and the level of pain. *PLoS One.* 2018;13: e0205553. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205553>.
44. Carry PM, Kanai S, Miller NH, Polousky JD. Adolescent patellofemoral pain: a review of evidence for the role of lower extremity biomechanics and core instability. *Orthopedics.* 2010;33:498–507. <https://doi.org/10.3928/01477447-20100526-16>.
45. Kuo L-T, Yu P-A, Chen C-L, Hsu W-H, Chi C-C. Tourniquet use in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18:358. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1722-y>.
46. Johnston PT, Feller JA, McClelland JA, Webster KE. Knee strength deficits following anterior cruciate ligament reconstruction differ between quadriceps and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06565-0>.
47. Gatewood CT, Tran AA, Dragoo JL. The efficacy of post-operative devices following knee arthroscopic surgery: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:501–16. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4326-4>.
48. Feil S, Newell J, Minogue C, Paessler HH. The effectiveness of supplementing a standard rehabilitation program with superimposed neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blind study. *Am J Sports Med.* 2011;39:1238–47. <https://doi.org/10.1177/0363546510396180>.
49. Rebai H, Barra V, Laborde A, Bonny J-M, Poumarat G, Coudert J. Effects of two electrical stimulation frequencies in thigh muscle after knee surgery. *Int J Sports Med.* 2002;23:604–9. <https://doi.org/10.1055/s-2002-35525>.
50. Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, Stralka SW. Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(8):1166–73.
51. Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:559–70. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00385>.
52. Harkey MS, Gribble PA, Pietrosimone BG. Disinhibitory interventions and voluntary quadriceps activation: a systematic review. *J Athl Train.* 2014;49:411–21. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.1.04>.
53. Torry MR, Decker MJ, Viola RW, O'Connor DD, Steadman JR. Intra-articular knee joint effusion induces quadriceps avoidance gait patterns. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2000;15:147–59. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(99\)00083-2](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(99)00083-2).
54. Kopf S, Beaufils P, Hirschmann MT, Rotigliano N, Ollivier M, Pereira H, Verdonk R, Darabos N, Ntagiopoulos P, Dejour D, Seil R, Becker R. Management of traumatic meniscus tears: the 2019 ESSKA meniscus consensus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28:1177–94. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-05847-3>.
55. Capin JJ, Khandha A, Zarzycki R, Manal K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Gait mechanics after ACL reconstruction differ according to medial meniscal treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100:1209–16. <https://doi.org/10.2106/JBJS.1.01014>.
56. Lepley LK, Lepley AS, Onate JA, Grooms DR. Eccentric exercise to enhance neuromuscular control. *Sports Health.* 2017;9:333–40. <https://doi.org/10.1177/1941738117710913>.







