

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús estableties per la següent llicència Creative Commons:  [http://cat.creativecommons.org/?page\\_id=184](http://cat.creativecommons.org/?page_id=184)

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

## **BASES MORFOLÓGICAS DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES PARA LA COMPRENSIÓN DE SUS LESIONES INTRÍNSECAS**

Memoria elaborada por:

**Emilio Farfán Cabello**

**Programa de Doctorado en Cirugía y Ciencias Morfológicas**

Para optar al grado de:

**Doctor por la Universitat Autònoma de Barcelona**

Esta tesis ha sido realizada bajo la dirección de

**Dr. Alfonso Rodríguez Baeza y Dr. Ramón Olivé Vilás**

en el Departament de Ciències Morfològiques. Facultat de Medicina.

Universitat Autònoma de Barcelona.

Tutor: **Dr. Alfonso Rodríguez Baeza**

Bellaterra, abril de 2020



**BASES MORFOLÓGICAS DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES PARA LA  
COMPRENSIÓN DE SUS LESIONES INTRÍNSECAS**

Memoria elaborada por:

**Emilio Farfán Cabello**

**Programa de Doctorado en Cirugía y Ciencias Morfológicas**

Para optar al grado de:

**Doctor por la Universitat Autònoma de Barcelona**

Esta tesis ha sido realizada bajo la dirección de

**Dr. Alfonso Rodríguez Baeza y Dr. Ramón Olivé Vilás**

en el Departament de Ciències Morfològiques. Facultat de Medicina.

Universitat Autònoma de Barcelona.

Tutor: **Dr. Alfonso Rodríguez Baeza**

Bellaterra, abril de 2020





Universitat Autònoma de Barcelona

**Departament de Ciències Morfològiques**

**ALFONSO RODRÍGUEZ BAEZA**, Catedrático de Universidad del Departament de Ciències Morfològiques de la Facultat de Medicina de la Universitat Autònoma de Barcelona

Y don

**RAMÓN OLIVÉ VILÁS**, Profesor Contratado Doctor del Departament de Fisioteràpia de la Facultat de Medicina i Ciències de la Salut de la Universitat Internacional de Catalunya

**HACEN CONSTAR,**

Que don **Emilio Farfán Cabello** ha realizado el trabajo de investigación titulado “**BASES MORFOLÓGICAS DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES PARA LA COMPRENSIÓN DE SUS LESIONES INTRÍNSECAS**” bajo su dirección, en el Departament de Ciències Morfològiques de la Facultat de Medicina de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Que consideramos el trabajo finalizado y apto para ser presentado y defendido por el doctorando como memoria para obtener el Grado de doctor por la Universitat Autònoma de Barcelona.

Y para que conste firmamos la presente en Bellaterra (Barcelona) a 30 de abril de 2020.

Alfonso Rodríguez Baeza

Catedrático de Universidad

Departament de Ciències Morfològiques

Facultat de Medicina

Universitat Autònoma de Barcelona

Ramón Olivé Vilás

Profesor Contratado Doctor

Departament de Fisioteràpia

Facultat de Medicina i Ciències de la Salut

Universitat Internacional de Catalunya



## **AGRADECIMIENTOS**

Luego de años dedicados a realizar este trabajo, que me ha hecho a ir de América a Europa para poder materializarlo, quiero agradecer a todos los que han aportado para su realización, ya sea con su consejo, trabajo, crítica o su compañía.

A mis directores, Dr. Alfonso Rodríguez Baeza y Dr. Ramón Olivé Vilás, por su rol fundamental en este proyecto. Me ayudaron desde la elaboración del proyecto, aportando su conocimiento y experiencia en la planificación y posterior ejecución. Además, agradezco inmensamente su revisión y crítica constructiva en la elaboración de este escrito, sin duda es mejor gracias a ustedes. A ambos los considero académicos admirables y modelos a seguir.

A mi esposa Ignacia, un pilar en todo sentido. Me acompañó en este viaje no sólo para estar allí. Era ella quien velaba por las cosas básicas en nuestra estancia en la Vila Universitaria, preocupada de nuestra comida, nuestra ropa y nuestro bienestar general. Pero eso no fue lo único, también participó en la elaboración práctica de esta tesis. Ahora me dirijo directamente a ti *Nachita*, estuviste dispuesta a aprender a disecar, me ayudaste a tomar muestras, fotografías y mediciones, eres también autora material de este proyecto. Infinitas gracias por todo.

A Manel Querol, siempre muy atento y dispuesto para atenderme y ayudarme con las cosas que necesitaba en la sala de disección. Recordaré siempre las discusiones futboleras durante los primeros minutos de la mañana.

A Anna Garrit por la elaboración de las preparaciones histológicas y protocolos. Agradezco también su gentileza y disposición.

Al Dr. Santi Rojas, por su apoyo en el análisis histológico, por enseñarme a utilizar el software ImageJ y por sus comentarios e ideas durante la elaboración de este trabajo.

Al Profesor Luís Villarroel, del Departamento de Salud Pública de la Pontificia Universidad Católica de Chile, que me ayudó con el análisis estadístico.

Al Profesor Mauricio Delgado, jefe del laboratorio de análisis de movimiento de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por el análisis biomecánico realizado.

Al Profesor Carlos Ramírez, del Departamento de Anatomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, que me apoyó con el análisis histológico.

A Maria del Mar Julià, por apoyarme en la tramitación de documentos, desde la postulación en adelante, pero también por su hospitalidad y gentileza durante mi estancia en el Departament de Ciències Morfològiques.

A la gente de la Pontificia Universidad Católica de Chile, al Dr. Oscar Inzunza por su apoyo como jefe del Departamento de Anatomía, facilitando mi asistencia a este programa de doctorado. A mis compañeros que tuvieron que distribuirse mis tareas durante mi ausencia, Mark, Verónica y Daniela. A los funcionarios del Departamento de Anatomía, José Miguel que me ayudó elaborando fotografías, y a Yasna, Alexis y Eric por el apoyo logístico.

Finalmente, tengo que decir que parte de este viaje fue también embeberme de otra cultura, en este caso la Española y concretamente la Catalana. Por ello quiero agradecer a las personas: Alfonso, Ramón, Manel, Mar, Anna, Santi, Marisa y Paula, cada uno de ustedes me hizo conocer distintos perfiles de cómo es la gente de Cataluña. Gracias por su tiempo, algo intangible, pero de lo más valioso que tenemos.

**A mi esposa Ignacia,**

**A mi hija Simona,**

**A mis Padres Jeanette y Emilio,**

**Al Negro, sé que allá arriba te sentirás orgulloso de tu nieto.**



## ÍNDICE

## Página

### INTRODUCCIÓN

#### Introducción

1

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

<b>1. Epidemiología de las lesiones isquiotibiales</b>	4
<b>2. Anatomía funcional de los isquiotibiales</b>	6
<b>3. Mecanismo de lesión</b>	9
<b>4. Factores de riesgo para lesión de isquiotibiales</b>	10
4.1. Lesiones previas	11
4.2. Flexibilidad y edad	12
4.3. Sexo	14
4.4. Morfología	14
4.5. Otros factores de riesgo	16
<b>5. Anatomía Macroscópica</b>	17
5.1. Muslo	17
5.2. Región posterior del muslo	17
5.3. Piel	17
5.4. Tejido celular subcutáneo	17
5.5. Fascia lata	18
5.6. Compartimentos del muslo	19
5.7. Compartimento anterior del muslo	20
5.8. Compartimento medial del muslo	20
5.9. Compartimento posterior del muslo	20
5.10. Músculo Biceps femoral	21
5.11. Músculos Semitendinoso	23
5.12. Tendón Conjunto Isquiotibial	25
5.13. Músculo Semimembranoso	26
5.14. Nervio Ciático ( <i>Ischiadicus</i> )	27
<b>6. Anatomía Microscópica</b>	29
6.1. Unión osteotendinosa	29
6.2. Unión miotendinosa	29

### HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

<b>Hipótesis</b>	31
<b>Objetivo general</b>	31
<b>Objetivos específicos</b>	31

### MATERIAL Y MÉTODOS

<b>1. Estrategia de búsqueda bibliográfica</b>	32
<b>2. Lugar</b>	32
<b>3. Procedimiento de Laboratorio</b>	32
<b>4. Sujetos</b>	32
<b>5. Estudio Macroscópico</b>	33
5.1. Instrumental de Disección	33

5.2. Disección Anatómica	33
5.3. Morfometría Macroscópica	34
5.4. Instrumental de Medición	35
5.5. Variables de Estudio	35
<b>6. Estudio Microscópico</b>	43
6.1. Procedimiento Histológico	43
6.2. Variables de Estudio	43
6.3. Análisis Estadístico	44

## RESULTADOS

<b>1. Anatomía Macroscópica</b>	45
1.1. Piel	46
1.2. Tejido Celular subcutáneo	46
1.3. Fascia lata	47
1.4. Compartimento posterior del muslo	48
1.5. Músculo Bíceps femoral	52
1.5.1. Cabeza larga del Bíceps femoral	53
1.5.2. Cabeza corta del Bíceps femoral	55
1.6. Músculo Semitendinoso	61
1.7. Músculo Semimembranoso	72
1.8. Estudio comparativo de las características morfológicas de los músculos isquiotibiales	78
1.9. Estudio comparativo por sexo	97
1.10. Tendón Conjunto Isquiotibial	110
1.11. Estudio del Tendón Intramuscular	131

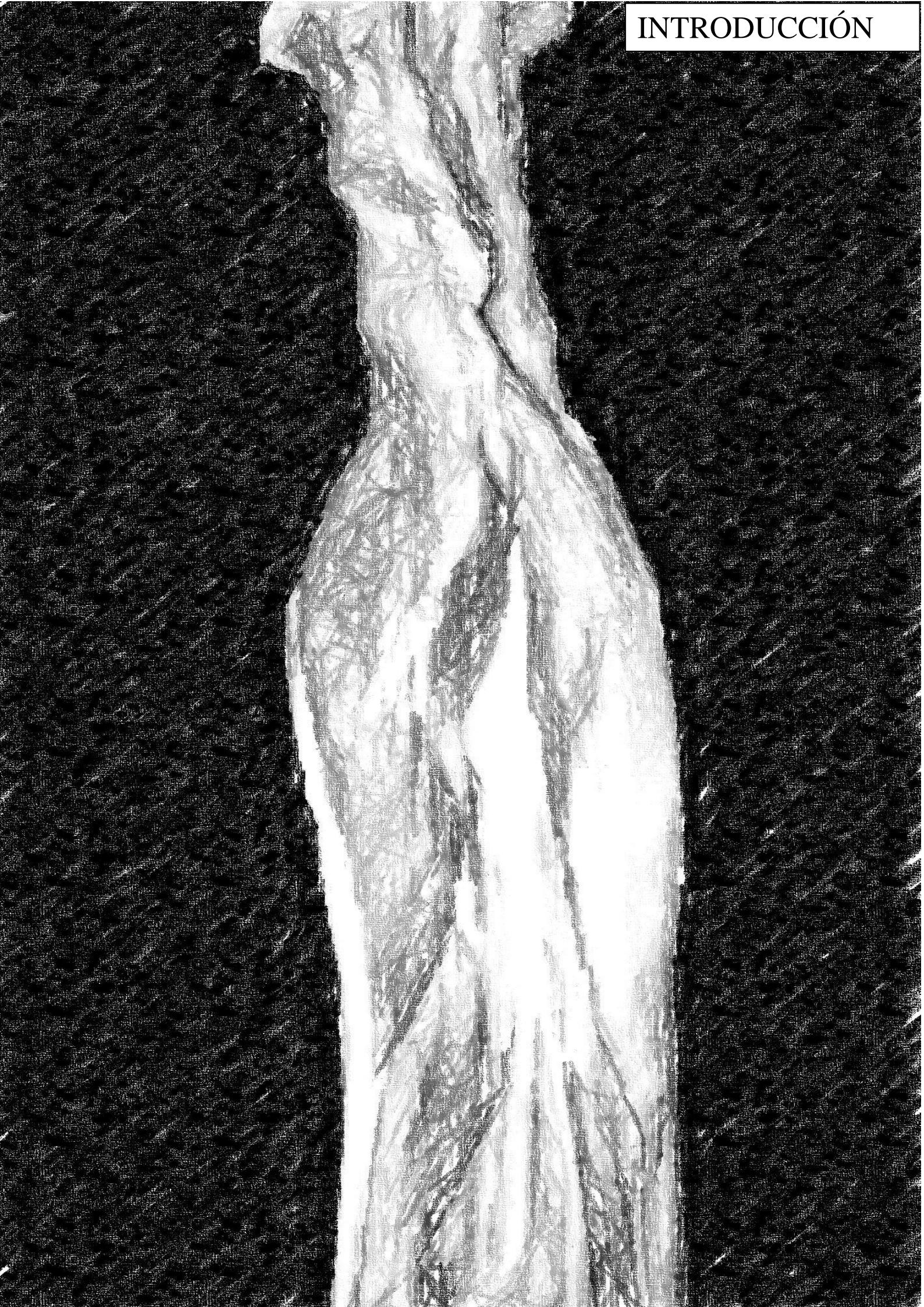
## DISCUSIÓN

<b>1. Relevancia clínica</b>	133
<b>2. Consideraciones anatómicas</b>	136
2.1. Compartimentos del muslo y Fascia lata	136
2.2. Disposición de los músculos en el compartimento posterior del muslo	138
<b>3. Músculo Bíceps femoral</b>	141
<b>4. Músculo Semitendinoso</b>	144
<b>5. Origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral</b>	147
<b>6. Músculo Semimembranoso</b>	150
<b>7. Morfología y función</b>	153
<b>8. Morfología muscular</b>	154
8.1. Respecto a los vientres musculares	155
8.2. Respecto a los tendones	158
8.3. Proporciones de los músculos isquiotibiales	161
8.4. Inervación y vascularización	163
<b>9. Comparación por sexo</b>	168
<b>10. Tendón Conjunto Isquiotibial</b>	171
<b>11. Estudio del Tendón Intramuscular</b>	173

<b>CONCLUSIONES</b>	
Conclusiones	176
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
Bibliografía	179
<b>ANEXO</b>	
Anexo 1	210
Anexo 2	210
Anexo 3	211



# INTRODUCCIÓN





## INTRODUCCIÓN

Dentro de las lesiones que afectan al aparato locomotor los desgarros musculares son frecuentes, pudiendo producirse durante las actividades de la vida diaria o mayoritariamente durante las actividades deportivas. La “declaración de consenso de Múnich” elaborada por un grupo de expertos en medicina deportiva creó una terminología y clasificación de lesiones musculares para el deporte (*Mueller-Wohlfahrt et al., 2013b*). Esta terminología categorizó las lesiones musculares en funcionales y estructurales. Las lesiones musculares funcionales agrupan trastornos sin evidencia macroscópica de rotura de fibras: incluyen el tipo 1 que corresponden a sobreesfuerzo y el tipo 2 que corresponden a trastornos neuromusculares. En las lesiones musculares estructurales existe evidencia macroscópica de rotura de fibras, e incluyen el tipo 3, donde hay roturas parciales, y el tipo 4 donde se observan roturas totales y avulsiones tendinosas.

En términos generales el grupo muscular más afectado por este tipo de lesiones corresponde a los isquiotibiales (*Ropiak & Bosco, 2012*). *Kuske et al. (2016)* realizaron una revisión sistemática de las lesiones de isquiotibiales comparando las que se producen por causas deportivas con las que no. Su análisis permitió evidenciar que la edad media de los pacientes con una lesión de isquiotibiales como resultado de prácticas deportivas es de 28.7 años en comparación con los 49.5 años de los pacientes cuya causa no fue deportiva, siendo la proporción de lesiones no deportivas significativamente mayor en mujeres que en hombres. Asimismo, entre los tipos de lesión isquiotibial, los desgarros musculares corresponden a las lesiones más comunes (57,6%) seguidas por las avulsiones (42,4%) de la tuberosidad isquiática; estas últimas se producen con mayor frecuencia durante actividades no deportivas (70,5%).

Respecto al ejercicio físico, ya sea actividad de ocio como profesional, este es cada vez más popular en la población mundial (*García et al., 2015*). Sus beneficios son bien conocidos, así como su positivo efecto en el bienestar global de la población. Sin embargo, en muchos casos se realiza sin una correcta planificación, lo que puede ocasionar lesiones debido a que el cuerpo es sometido a situaciones de sobreesfuerzo no habituales. Respecto a dichas lesiones, existen estudios que demuestran que entre el 11% y el 85% de los corredores recreativos

tienen al menos una lesión relacionada con esta actividad cada año, lo que ocasiona una reducción o interrupción temporal del entrenamiento. El alto riesgo de las lesiones relacionadas con la carrera representa un inconveniente importante que contrarresta los efectos beneficiosos de la actividad (*Fokkema et al., 2019*). Este tipo de lesiones pueden minimizarse mediante la programación adecuada del volumen, intensidad y frecuencia de la actividad física a realizar.

En nuestro entorno, uno de los deportes más practicados es el fútbol. Tiene más 250 millones de jugadores licenciados en 204 países registrados en la FIFA (*Stamm & Lamprecht, 2001*), existiendo, hasta el año 2013, más de 65.000 jugadores profesionales registrados y en activo en el mundo (*FIFPro World Players Union, 2013*). En este deporte las lesiones musculares tienen un papel preponderante, representando entre el 20% y el 46% de las lesiones sufridas por futbolistas profesionales, y entre el 18% y el 23% en futbolistas amateurs (*Medina et al., 2015*). Según *Crema et al. (2018a)* el 90% de las lesiones musculares del miembro inferior se localizan en los principales grupos musculares, como son los isquiotibiales, el cuádriceps femoral, los aductores y el tríceps sural. Si extrapolamos estos datos a un equipo profesional de fútbol, se obtiene una mediana de 12 lesiones por temporada y más de 300 días de inactividad para el club (*Servicios Médicos del Fútbol Club Barcelona, 2009*), con las correspondientes repercusiones deportivas y económicas que esto conlleva. Por ejemplo, en la liga Profesional de Fútbol Australiano el costo promedio por club relacionado con lesiones de isquiotibiales el año 2012 ascendió a \$AUD 245.842, que equivalen aproximadamente \$150.000 Euros (*Hickey et al., 2014*). Además, la lesión conlleva periodos de inactividad cuya duración dependerá de la magnitud del daño y ocasiona consecuencias deportivas y económicas tanto para el club como para los propios deportistas (*Barroso & Thiele, 2011*). Es evidente que los costos varían según la realidad de cada país y de las competiciones deportivas, más teniendo en cuenta que hay jugadores considerados “estrellas” que tienen incentivos extras por otros compromisos comerciales asociados. Estos antecedentes justifican la necesidad de que muchos clubes deportivos centren esfuerzos en trabajos preventivos que eviten las lesiones de sus deportistas.

Respecto a las lesiones de isquiotibiales en el deporte se han realizado esfuerzos importantes para resolver este problema o al menos minimizarlo. Ejemplo de ello son los programas de

entrenamiento que buscan prevenir este tipo de lesiones; sin embargo, no parece que los esfuerzos hayan dado los frutos esperados. *Ekstrand et al. (2016)* realizaron un seguimiento durante 13 temporadas (años 2001 a 2014) a 36 clubes de fútbol profesional de élite de 12 países europeos. Sus resultados muestran que en ese periodo de tiempo estas lesiones aumentaron de 75 en la temporada 2001/2002 a 219 en la temporada 2013/2014, promediando un aumento del 4% anual. Este hecho es relevante ya que las lesiones de isquiotibiales en los jugadores profesionales de fútbol implican un alejamiento promedio de la competencia de 18 días, lo que equivale aproximadamente a 3 partidos de inactividad por temporada (*van der Horst et al., 2017*).

También se debe mencionar el gran problema de las lesiones de isquiotibiales, que es su recidiva, la cual oscila entre el 12-31%, y cuyas causas se encuentran en la programación y contenido del entrenamiento, desequilibrios musculares, subestimación de la lesión, presencia de tejido cicatricial extenso y, sobre todo, rehabilitación incompleta o agresiva (*Croisier, 2004*). Lo cual ensombrece tanto el tratamiento como el pronóstico a largo plazo. En la literatura científica se han discutido factores de riesgo modificables como no modificables, sin embargo, se necesitan estudios de alta calidad para identificar factores de riesgo modificables importantes y programas preventivos destinados a reducir la recurrencia (*DeWitt & Vidale, 2014*).

Como ejemplo de los esfuerzos actuales por resolver este problema se encuentra el entrenamiento excéntrico de la musculatura isquiotibial, el cual está muy en boga y promete buenos resultados (*Milanese & Eston, 2019*). Este tipo de preparación se fundamenta sobre una base morfológica importante: la longitud de la fibra muscular y su respuesta al entrenamiento excéntrico. Este fundamento nos hace pensar que puede ser útil volver a la génesis del problema, partiendo desde lo básico, la morfología isquiotibial, y escudriñar en detalles que quizás hoy estamos omitiendo o dando por sabidos. Es posible que, al revisar las bases morfológicas de esta musculatura, encontremos información importante que ayude a comprender mejor sus lesiones.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. EPIDEMIOLOGÍA DE LAS LESIONES ISQUIOTIBIALES

Los músculos de la región femoral posterior, comúnmente denominados isquiotibiales (o isquiosurales), son un grupo muscular que presenta el mayor índice de lesión en los atletas profesionales y recreacionales (*Roger et al., 2017*). Este grupo muscular lo forman el Bíceps femoral (BF), con una cabeza larga (BFcl) y una cabeza corta (BFcc), el Semitendinoso (ST) y el Semimembranoso (SM).

Las lesiones de estos músculos son frecuentes en aquellos deportes que requieren aceleraciones bruscas y cambios de velocidad recurrentes (*Freckleton & Pizzari, 2013; Fiorentino & Blemker, 2014; Wangensteen et al., 2017*), como por ejemplo el fútbol o el atletismo. Muestra de ello es que en los últimos Juegos Olímpicos de Rio de Janeiro 2016 representaron el 46,2% de las lesiones de esta competición (*Crema et al., 2018b*). También ocupan un lugar destacado en las lesiones que afectan a los miembros inferiores, representando el 29% de todas las lesiones del deportista (*Sivasundaram et al., 2015*), y son las lesiones más frecuentes en los jugadores de fútbol profesional (*Woods et al., 2004; Ekstrand et al., 2011a; Brukner et al., 2014; Eastwood, 2014*). Según los estudios de *Mueller-Wohlfahrt et al. (2013b)* las afecciones musculares en el fútbol de élite representan el 31% de las lesiones, y de los grandes grupos musculares del miembro inferior el 37% de ellas afectan a los isquiotibiales. *Edouard et al. (2016)* estudiaron las principales lesiones ocurridas en 16 campeonatos internacionales de atletismo de alto nivel que se habían celebrado entre los años 2007 y 2015. Sus resultados señalan que las lesiones de los isquiotibiales representan el 39,8% de todas las lesiones musculares, y el 74,6% de las lesiones musculares del muslo.

Del complejo muscular que forman los isquiotibiales, la cabeza larga del Bíceps femoral es la que, de acuerdo con muchos autores, se lesiona con mayor frecuencia (*Koulouris & Connell, 2003*), siendo incluida en el fútbol de élite dentro de las lesiones severas (*UEFA, 2017*). En el trabajo de *De Smet & Best (2000)* se estudió la localización y la frecuencia de las lesiones de los músculos isquiotibiales en deportistas universitarios durante una temporada de competición. Sus resultados exponen un total de 15 lesiones, de las cuales 11 afectaron al Bíceps femoral (4

en la unión miotendinosa proximal, con lesión secundaria del Semitendinoso, y 1 en la parte proximal del vientre muscular), 3 al Semitendinoso (2 en la unión miotendinosa distal y 1 en la parte proximal del vientre muscular) y 1 al músculo Semimembranoso (en la unión miotendinosa proximal sin estar asociada a los otros dos músculos isquiotibiales).

*Hawkins et al. (2001)* realizaron un estudio epidemiológico de las lesiones sufridas en la Liga Inglesa de Fútbol Profesional (*Premier League*) durante dos temporadas competitivas. El estudio incluyó a 2.376 futbolistas, registrando un total de 6.030 lesiones, de las cuales el 37% correspondía a desgarros musculares y de estos, el 67% incidían en los músculos isquiotibiales. En la misma línea de investigación, *Woods et al. (2004)* documentaron 796 lesiones de isquiotibiales, de las cuales 749 fueron por tensiones musculares, correspondiendo el 53% al Bíceps femoral, 16% al Semitendinoso, 13% al Semimembranoso y 19% cuya localización no fue especificada con exactitud en el reporte médico. *Ekstrand et al. (2012)* también realizaron un seguimiento durante 4 temporadas (de 2007 a 2011) a 816 jugadores de fútbol profesional europeo. En su estudio observaron 180 lesiones de los músculos isquiotibiales, siendo 151 (84%) las que afectaban al Bíceps femoral, 20 (11%) al Semimembranoso y 9 (5%) al Semitendinoso. Así mismo *Hogervorst & Vereecke (2014)* señalan que las lesiones de los isquiotibiales en el deporte son 4 veces más frecuentes que las lesiones del músculo cuádriceps femoral o tríceps sural. Estos autores realizaron un estudio utilizando resonancia magnética, el cual incluyó un total de 222 pacientes; sus resultados evidencian que el 75% de las lesiones de los isquiotibiales afectan al Bíceps femoral. *Crema et al. (2016)* también estudiaron la distribución anatómica de las lesiones agudas de los músculos isquiotibiales en 275 jugadores de fútbol. Igualmente, sus resultados indican que la cabeza larga del Bíceps femoral es la más afectada, representando el 56,5% de las lesiones, y que en general, las lesiones fueron más comunes en la unión miotendinosa y en localizaciones proximales. Además, las lesiones de la unión miotendinosa proximal se asocian a una mayor extensión de edema en la cabeza larga del Bíceps femoral y en el Semitendinoso. Por último, estos autores describieron la localización más frecuente de las lesiones en cada músculo, encontrando que en la cabeza larga del Bíceps femoral y Semimembranoso las lesiones se generan en la unión miotendinosa proximal, en el Semitendinoso ocurren en la parte proximal

del vientre muscular y en la cabeza corta del Bíceps femoral en los extremos del vientre muscular.

*Entwistle et al. (2017)* realizaron un seguimiento de lesiones de la unión miotendinosa distal del músculo Bíceps femoral en 106 pacientes durante 5 años, siendo el 78% de ellos deportistas profesionales (de distintos deportes). Sus resultados muestran que las lesiones aisladas de la cabeza larga del Bíceps femoral representan el 51%; las que afectan a ambas cabezas, el 42%, y las que sólo afectan a la cabeza corta el 7% de los casos.

En la inserción proximal de los isquiotibiales, la localización más frecuente es el Tendón Conjunto Isquiotibial, siendo la lesión más común en el fútbol de élite (*van Dyk et al., 2018*), y es 2,5 veces más común que las lesiones del cuádriceps femoral, ocurriendo con mayor frecuencia durante la temporada competitiva en los jugadores de fútbol que participan de la Union of European Football Associations (*Ekstrand et al., 2011b*). Esta misma lesión en el atletismo representa el 50% de las lesiones que sufren los velocistas (*Philippon et al., 2015*). Cabe destacar que la rotura completa del Tendón Conjunto Isquiotibial es infrecuente y cuando ocurre se debe tratar con cirugía inmediata (*Orava & Kujala, 1995*). La evidencia demuestra que el tratamiento quirúrgico de las roturas isquiotibiales proximales agudas proporciona excelentes resultados funcionales y altas tasas de retorno a las actividades previas a la lesión; por el contrario, el tratamiento no quirúrgico proporciona resultados inferiores, con debilidad notable de los isquiotibiales y menores tasas de retorno al deporte (*Ernlund & Vieira, 2017*; *Shambaugh et al., 2017*).

## 2. ANATOMÍA FUNCIONAL DE LOS ISQUIOTIBIALES

Es importante comprender la función de los isquiotibiales durante el *sprint* para intentar entender por qué estos músculos son tan vulnerables a una lesión aguda por tensión.

Los isquiotibiales son músculos biarticulares que actúan sobre la cadera y la rodilla, pudiendo trabajar concéntrica o excéntricamente sobre ambas. Por ello estudios funcionales han analizado la dinámica de estos músculos, tanto individual como grupalmente, con el propósito de definir el rol de cada uno de ellos durante las distintas fases del *sprint*. *Kellis et al. (2017)* estudiaron, mediante dinamómetro isocinético y electromiografía de superficie, el comportamiento del Bíceps femoral cabeza larga y el Semitendinoso durante ejercicios

concéntricos y excéntricos máximos de flexión de rodilla a velocidades angulares de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ ,  $120^{\circ}\cdot s^{-1}$  y  $150^{\circ}\cdot s^{-1}$  en tres posiciones diferentes de la cadera. Observando que los ejercicios de flexión máxima de rodilla con la cadera en posición neutra de  $0^{\circ}$  no inducen una mayor actividad electromiográfica de la cabeza larga del Bíceps femoral, sin embargo, al realizar una extensión completa de rodilla con la cadera en flexión de  $90^{\circ}$  se puede activar selectivamente la cabeza larga del Bíceps femoral.

*Zhong et al.* (2017) estudiaron las cargas sobre los isquiotibiales y la mecánica de su lesión durante el *sprint*. Notando que, durante la fase de apoyo, la fuerza producida por los músculos de la cadera y de la rodilla se usa para contrarrestar la fuerza de reacción del suelo, mientras que en la fase de oscilación el trabajo muscular se modifica para contrarrestar el efecto de las fuerzas causadas por el movimiento oscilatorio del miembro inferior y para controlar su dirección. En la misma línea *Sun et al.* (2015) estudiaron la mecánica de los músculos isquiotibiales en condiciones de carga durante el *sprint* de máximo esfuerzo, observando que durante la oscilación final y el contacto talón-suelo, las fuerzas pasivas generadas por el movimiento de las articulaciones de la rodilla y la cadera actúan elongando a los músculos isquiotibiales, en tanto las fuerzas activas generadas por los isquiotibiales actúan para contrarrestar dichas fuerzas pasivas. El estudio concluye que los isquiotibiales son más susceptibles a lesiones por estiramiento durante estas 2 fases del *sprint*. En este mismo sentido los resultados de *Schache et al.* (2012), señalan que los músculos Bíceps femoral, Semitendinoso y Semimembranoso alcanzan su máxima tensión y fuerza absorbiendo energía durante la oscilación final de la carrera. Sin embargo, la carga biomecánica difiere para cada músculo: el Bíceps femoral lo hace exhibiendo la mayor tensión, el Semitendinoso la mayor velocidad de alargamiento, y el Semimembranoso absorbiendo energía y generando la mayor potencia. Estos resultados se complementan con los obtenidos por *van den Tillaar et al.* (2017), quienes compararon la actividad muscular máxima de los isquiotibiales en diferentes ejercicios con la actividad muscular máxima generada durante el *sprint*. Evidenciando que la actividad electromiográfica máxima en los diferentes ejercicios de isquiotibiales estaba en promedio entre 40-65% para el Semitendinoso, 18-40% para el Bíceps femoral y 40-75% para el Semimembranoso, respecto a la actividad electromiográfica máxima producida durante el *sprint*, que consideraron como el parámetro de 100%.

*Morin et al.* (2015) evaluaron el trabajo excéntrico de los isquiotibiales durante el contacto talón-suelo del *sprint*, observando que los sujetos que producen la mayor cantidad de fuerza horizontal son capaces de conseguir una mayor activación de sus músculos isquiotibiales antes del contacto con el suelo y, además, poseen una capacidad de fuerza máxima durante el trabajo excéntrico. De similar modo *Hansen et al.* (2017) estudiaron la activación de los músculos isquiotibiales durante el *sprint*, observando que el *peak electromiográfico* de los isquiotibiales laterales (músculo Bíceps femoral cabeza larga) durante las pruebas de carrera es similar tanto para la fase de balanceo como de apoyo. En contraposición, los isquiotibiales mediales (músculo Semitendinoso y Semimembranoso) exhiben una reducción de aproximadamente un 20% durante la fase de apoyo en comparación con la fase de balanceo. De acuerdo a sus resultados estos autores señalan que los isquiotibiales laterales trabajan igual durante ambas fases, mientras que los isquiotibiales mediales tienen menos exigencia en cada fase de contacto. Esta afirmación es reforzada por *Higashihara et al.* (2018) que estudiaron la actividad electromiográfica de la cabeza larga del Bíceps femoral y del Semitendinoso durante la aceleración y máxima velocidad del *sprint*, evidenciando que las demandas funcionales de los músculos isquiotibiales mediales y laterales son diferentes según se encuentren en fase de apoyo o de oscilación. *Toor et al.* (2019) analizaron la importancia de los isquiotibiales mediales en la estabilidad de la rodilla, observando que estos músculos están involucrados en el control rotacional, translacional y en el varo/valgo de la rodilla. Además, mencionaron que la aplicación de fuerzas anteriores, de rotación externa y de valgo sobre la rodilla con isquiotibiales deficientes aumentaba significativamente el movimiento, lo cual consideran clínicamente relevante, y se debe tener en atención al momento de elegir la fuente del injerto para la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, especialmente en la población de atletas de élite.

*Thelen et al.* (2005) estudiaron el complejo músculo-tendón del Bíceps femoral sometiéndolo a ciclos de estiramiento-acortamiento durante la segunda mitad de la fase de oscilación del *sprint*. Observaron que la actividad del Bíceps femoral aumenta notablemente, entre el 70% y el 80% del ciclo de la marcha, y continúa hasta el final de la oscilación. También observaron que después del inicio de la activación, el estiramiento del componente muscular se reduce

considerablemente mientras el tendón se alarga y almacena energía elástica. De estos resultados concluyen que un tendón más flexible aumenta el almacenamiento de energía elástica, reduciendo el *peak* de estiramiento muscular y el trabajo muscular excéntrico.

En relación a la influencia de la pelvis y su equilibrio horizontal Chumanov *et al.* (2007) estudiaron la influencia de la musculatura pélvica sobre los isquiotibiales durante la carrera, encontrando que los flexores de cadera durante la fase de oscilación inducen un estiramiento sustancial de los músculos isquiotibiales en el miembro contralateral que aumentaba con la velocidad de la carrera. Esto se debía al movimiento oscilante del bloque pélvico en cada zancada. Los autores concluyeron que la lesión por tensión de los isquiotibiales durante el *sprint* puede relacionarse con la realización de trabajo excéntrico durante zancadas repetidas y/o como resultado de una perturbación en la coordinación de la musculatura pélvica que induce un estiramiento isquiotibial excesivo.

Por otra parte, también se han realizado estudios para intentar establecer diferencias funcionales de los músculos isquiotibiales según el sexo del deportista. Williams & Welch (2015) compararon la influencia mecánica de la longitud isquiotibial entre corredores masculinos y femeninos, encontrando que para la flexión de la cadera en el contacto talón-suelo, las mujeres más flexibles tienen mayor flexión de cadera que los hombres más flexibles. De acuerdo a ello concluyen que la flexibilidad del Tendón Conjunto Isquiotibial da como resultado diferentes perfiles mecánicos entre hombres y mujeres.

### **3. MECANISMO DE LESIÓN**

Dos son los mecanismos por los que un músculo puede lesionarse: uno por traumatismo directo (causas extrínsecas), que se producen por un impacto directo sobre la masa muscular, ocasionando compresión de esta sobre el hueso subyacente; otro por mecanismo indirecto (causas intrínsecas), que se producen por descoordinación entre la capacidad adaptativa del músculo y la solicitud que se le demanda (Valle *et al.*, 2015), lo que ocasiona una elongación, esencialmente de carácter excéntrica que lesiona las fibras musculares (Bourne *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2017; Flores *et al.*, 2018). Este daño a menudo es causado por la tensión excesiva que se genera durante la contracción de la fibra muscular y no por la fuerza absoluta desarrollada en el músculo (Kendall & Eston, 2002), afirmación reforzada por Valente *et al.*

(2013), quienes señalan que el trabajo muscular en fase excéntrica es el mecanismo de lesión más frecuente en los desgarros de Bíceps femoral, sobre todo cuando existe hiperextensión de rodilla asociada a valgo o varo. Actualmente se acepta que los músculos cuyas fibras se disponen paralelas al tendón tienen una velocidad de acortamiento más rápida y su rango de movimiento es mayor; por el contrario, los músculos cuyas fibras alcanzan el tendón mediante una disposición oblicua (forma peniforme o semipeniforme) formando un ángulo llamado “ángulo de penación”, generan menor velocidad y tienen un menor rango de movimiento, aunque tengan un mayor número de fibras, lo que determina un mayor diámetro transversal y por lo tanto una mayor fuerza (Watanabe et al., 2016). Sin embargo se debe tener en cuenta que el ángulo de penación de las fibras musculares es modifiable con el entrenamiento, así lo plantearon Kawakami et al. (1993) quienes observaron diferencias significativas entre sujetos normales y físico culturistas, evidenciando correlaciones significativas entre el grosor muscular y los ángulos de penación para las cabezas largas y mediales del tríceps braquial, lo que sugiere que la hipertrofia muscular implica un aumento en los ángulos de penación de la fibra muscular. Esto último es apoyado por Nóbrega et al. (2017), quienes señalan que los entrenamientos de resistencia de alta y baja intensidad son efectivos para aumentar la masa muscular, la fuerza y el ángulo de penación.

En términos morfológicos se ha visto que la mayoría de las lesiones musculares por mecanismo intrínseco se suelen asentar sobre músculos biarticulares, especialmente de los miembros inferiores, y músculos con predominio de fibras tipo II. Los músculos más afectados son los isquiotibiales, seguidos de los aductores, el recto femoral y del tríceps sural, sin haber diferencias estadísticamente significativas entre la extremidad dominante respecto a la no dominante, excepto en el músculo cuádriceps femoral (Barroso & Thiele, 2011).

#### **4. FACTORES DE RIESGO DE LESIÓN DE ISQUIOTIBIALES**

Los factores de riesgo que aumentan las probabilidades de lesión en los músculos isquiotibiales son varios, por lo que se debe considerar una patología multifactorial (Mendiguchia et al., 2012; Opar et al., 2013); entre ellos se encuentran: lesión previa en este grupo muscular (especialmente si afectan al Tendón Conjunto Isquiotibial), falta de flexibilidad, edad, sexo, morfología y otros como alteraciones posturales lumbopélvicas, desequilibrio

agonista/antagonista, intervenciones quirúrgicas y nivel de competencia (*Verrall et al., 2001; Andersen et al., 2003; Foreman et al., 2006*).

#### **4.1. Lesiones previas**

Uno de los factores de riesgo más importantes en las lesiones musculares es la existencia de una lesión previa, lo cual aumenta el riesgo entre 2 y 6 veces. Esto se debe a que la remodelación posterior a la lesión deja un tejido cicatricial residual que puede afectar negativamente la funcionalidad del tejido muscular restante, influyendo directamente en la mecánica de alargamiento muscular, contribuyendo al riesgo de una nueva lesión durante las tareas de movimiento que involucran contracciones excéntricas (*Silder et al., 2010; Liu et al., 2012*). *Timmins et al. (2015)* compararon mediante ecografía la morfología del Bíceps femoral sano con el lesionado, encontrando diferencias significativas en la longitud de los fascículos y el ángulo de penación de las fibras en el músculo previamente lesionado; también que la fuerza excéntrica de éstos es significativamente inferior en relación a los músculos sanos, concluyendo que las lesiones previas modifican la arquitectura muscular alterando su correcto funcionamiento y aumentando el riesgo de volver a lesionarse.

*Arnlaug et al. (2016)* estudiaron a 180 atletas con lesión aguda de isquiotibiales, de los cuales 19 se volvieron a lesionar en un periodo menor o igual a 365 días. De este grupo, el 79% se lesionó en el mismo sitio de la lesión anterior y con una extensión radiológicamente mayor, atribuyendo esta nueva injuria a un proceso incompleto de cicatrización biológica y/o funcional de la primera lesión. Del mismo modo, se ha observado que la longitud de los fascículos musculares se modifica en relación al historial de lesiones; los isquiotibiales previamente lesionados tienen fascículos de menor longitud respecto a los no lesionados, existiendo una modificación y adaptación de la arquitectura muscular que a lo largo de una temporada de competencia desfavorece a la musculatura previamente lesionada (*Timmins et al., 2017*). Es más, se ha descrito que lesiones de otras regiones corporales pueden aumentar la probabilidad de lesión de los isquiotibiales. *Malliaropoulos et al. (2018)* realizaron un estudio de cohorte observacional de un periodo de 17 años (1998-2015), estudiando a 367 atletas de élite que se agruparon de acuerdo con su primera lesión traumática de tobillo o de isquiotibial aislada, observando que los atletas con una lesión en el tobillo previa tienen una probabilidad significativamente mayor de sufrir lesión de isquiotibiales en comparación con los atletas que

han sufrido una lesión isquiotibial como su primer evento traumático. Del mismo modo, Kraeutler *et al.* (2019) asociaron la prevalencia de pinzamiento acetabular en pacientes que presentan lesión del Tendón Conjunto Isquiotibial, y correlacionaron esto con la posición de la pelvis. Sus resultados señalan que la prevalencia de pinzamiento acetabular es alta en pacientes con patología sintomática del Tendón Conjunto Isquiotibial, y se asocia a una modificación de la inclinación pélvica. Esto se debe a que este tipo de pinzamiento da como resultado la restricción del rango de movimiento de la cadera y altera la inclinación de la pelvis, por este motivo los autores consideran que es justificable que estudios futuros investiguen si la presencia de pinzamiento acetabular es un factor de riesgo para las lesiones de isquiotibiales. Respecto a las lesiones del tendón intramuscular Crema *et al.* (2017) probaron que éstas se relacionan directamente con la falta de flexibilidad y fuerza de dicha estructura; además estas lesiones requieren un tiempo de recuperación más prolongado (Comin *et al.*, 2013).

#### **4.2. Flexibilidad y edad**

Witvrouw *et al.* (2003) estudiaron la flexibilidad como un factor de riesgo para lesiones de la musculatura isquiotibial en futbolistas profesionales. De acuerdo a sus resultados estos autores concluyeron que los jugadores que realizan hasta 90° de flexión de cadera con la rodilla extendida tienen un mayor riesgo de lesión de isquiotibiales. En relación a esto Miyamoto & Hirata, (2019) hacen el alcance de que la falta de flexibilidad en estas articulaciones puede deberse a rigidez articular y no necesariamente a un problema muscular. En este mismo sentido Guex *et al.* (2016) evaluaron la efectividad del entrenamiento excéntrico de isquiotibiales en deportistas *amateurs* sin lesiones previas, logrando respuestas adaptativas en la arquitectura muscular, mejorando parámetros funcionales como la fuerza excéntrica y aumentando la longitud de los fascículos. De igual manera Ribeiro-Alvares *et al.* (2018) señalan que el entrenamiento excéntrico de isquiotibiales (*Nordic curl*) diseñado para el fortalecimiento y prevención de lesiones musculares en adultos jóvenes físicamente activos modifica las características morfológicas de esta musculatura, aumentando un 22% su longitud y reduciendo un 17% el ángulo de penación, lo que es reforzado por Timmins (2017) quien además hace hincapié en que la flexibilidad depende de la morfología muscular y por lo tanto es un factor de riesgo modificable, pudiendo concluir que este tipo de entrenamientos reducen el riesgo de lesiones causadas por falta de longitud muscular (Delexrat *et al.*, 2020). Por el

contrario, estudios sobre entrenamiento concéntrico de isquiotibiales han demostrado aumento de fuerza muscular, pero no adaptaciones discernibles sobre la longitud (*Pedersen et al., 2019*).

*Henderson et al. (2010)* estudiaron los factores predisponentes de una lesión de musculatura isquiotibial en jugadores de fútbol del sexo masculino de la *Premier League*, encontrando que las probabilidades de sufrir una lesión aumentan 1,78 veces por cada año de edad, 1,47 por cada 1 cm logrado en pruebas de salto y 1,29 por cada grado de disminución en el rango activo de flexión de cadera, concluyendo que los jugadores de fútbol con mayor edad, más fuertes y menos flexibles corren mayor riesgo de sufrir una lesión de musculatura isquiotibial; por ello recomiendan identificar a quienes tengan estas características y hacer intervenciones apropiadas para minimizar el riesgo de lesión, recomendación que es apoyada por *van Dyk et al. (2017)* quienes además resaltan la edad como un factor de riesgo no modificable.

*Sugiura et al. (2017)* realizaron el análisis de 3 programas de prevención de lesiones diferentes utilizados en el transcurso de 24 temporadas de competición (1988 – 2011) abarcando una población de 613 velocistas masculinos entrenados por un mismo entrenador. Desde 1988 a 1991 (período 1) la prevención se centró únicamente en el entrenamiento de fuerza, de 1992 a 1999 (período 2) la prevención combinó el entrenamiento de fuerza y agilidad, y desde el año 2000 al 2011 (período 3) el programa incorporó fuerza, agilidad y flexibilidad. Posteriormente compararon la incidencia de lesiones de isquiotibiales por temporada ocurridas en cada uno de los 3 programas de prevención, dando como resultado 137,9 lesiones en el período 1, 60,6 lesiones en el período 2 y 6,7 lesiones en el período 3, demostrando que la incidencia de las lesiones de isquiotibiales en los velocistas disminuye a medida que se incorporan agilidad y flexibilidad al entrenamiento de fuerza.

Por último, *Freckleton & Pizzari (2013)* realizaron un metaanálisis en el que señalan que la edad y las lesiones previas son los factores de riesgo primarios, añadiendo que las descompensaciones musculares entre cuádriceps e isquiotibiales aumentan el riesgo de lesión para este último grupo muscular.

#### **4.3. Sexo**

El sexo del individuo también es un factor de riesgo diferenciador. Esto basado en que durante las actividades deportivas los hombres tienen mayor riesgo de lesiones de isquiotibiales (*Sattherthwaite et al., 1999; Edouard et al., 2016*), mientras que las mujeres tienen mayor riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior (*Myklebust et al., 2003; Arendt & Dick, 2009*), lo cual es interesante considerando que tanto isquiotibiales como el ligamento cruzado anterior actúan limitando la extensión excesiva de la rodilla. *Cross et al. (2013)* estudiaron las lesiones parciales y completas de isquiotibiales en el fútbol masculino y femenino norteamericano, entre los años 2004 y 2009, reportando que los hombres son un 64% más propensos que las mujeres a tener una lesión isquiotibial. Esto es corroborado por *Larruskain et al. (2017)* quienes compararon las lesiones entre hombres y mujeres pertenecientes a un mismo club de la primera división española durante 5 temporadas (2010 – 2015). Sus resultados muestran que los hombres son más propensos a sufrir lesiones del Tendón Conjunto Isquiotibial y lesiones de la cadera e ingle, en tanto que las mujeres son más propensas a lesiones de cuádriceps femoral y articulaciones de rodilla y tobillo. Además, *Edouard et al. (2016)* señalan que el riesgo de lesión muscular en hombres es 2 veces mayor que en las mujeres. Para *Behan et al. (2018)* esta diferencia puede justificarse en parte por el diferente tamaño de los músculos flexores y extensores de la rodilla, así como por el tamaño proporcional de los vientres que los constituyen, atribuyendo estas diferencias a las características morfológicas propias de cada sexo debidas esencialmente a la carga hormonal.

#### **4.4. Morfología**

Las características morfológicas también pueden ser un factor riesgo y predisponer a una lesión de este grupo muscular (*Mendiguchía et al., 2012*). Por ejemplo, *Pérez-Bellmunt et al. (2015)* describieron un tejido conjuntivo de disposición transversal que denominan “retináculo”, el cual rodea y se adhiere íntimamente al Tendón Conjunto Isquiotibial; la unión entre ambas estructuras es tan íntima que los autores consideran que podría tener relación directa con las lesiones por adherencia producidas en esta zona. Para *Lempainen et al. (2018)* la disposición estructural de los músculos isquiotibiales (disposición de las fibras musculares, presencia de tendón intramuscular y la relación de las fibras musculares con el epimisio) se puede correlacionar con sus propiedades funcionales y con las lesiones por estiramiento, ya que la

mayoría de las lesiones por mecanismo indirecto asientan en la unión miotendinosa (*Koulouris & Connell, 2005; Woodley & Mercer, 2005*). Como se ha mencionado en los párrafos precedentes, las lesiones que afectan a los músculos isquiotibiales son muy frecuentes en el deporte, especialmente en los que realizan trabajos explosivos de aceleración y desaceleración (fútbol, rugby, atletismo), siendo más frecuente la lesión del músculo Bíceps femoral en su cabeza larga, que para *Schuermans et al. (2014)* se debe presumiblemente a sus características morfológicas. *Evangelidis et al. (2015)* describen una alta variabilidad en el tamaño de la aponeurosis de la cabeza larga del Bíceps femoral entre hombres jóvenes y sanos, siendo la aponeurosis proximal del músculo Bíceps femoral más estrecha que la aponeurosis de la parte distal, lo cual podría explicar que la longitud de los fascículos aumente más durante la contracción, concluyendo que los individuos con una aponeurosis relativamente pequeña podrían aumentar el riesgo de lesión de este músculo. Así, la propia arquitectura muscular (longitud de sus fascículos, área de sección fisiológica, tamaño de la aponeurosis, ángulo de penación) se debe considerar como un factor de riesgo intrínseco cuando se compara con otros músculos. *Lieber & Fridén (2000)* realizaron una revisión de las definiciones básicas del músculo esquelético, resumiendo las propiedades arquitectónicas de los músculos de los miembros superiores e inferiores, destacando que los músculos están diseñados para realizar funciones bastante específicas, sin desconocer que la arquitectura muscular puede cambiar adaptándose a una nueva mecánica o ambiente. *Beltrán et al. (2012)* mencionan que la diferente inervación de las 2 cabezas del Bíceps femoral (cabeza larga por el nervio Tibial del nervio Ciático y la cabeza corta por el nervio Fibular común del mismo nervio) puede causar una contracción asincrónica entre ambos vientres, lo que podría dar lugar a trabajos musculares con ritmos desiguales que pueden alterar la respuesta conjunta frente a una misma solicitud mecánica.

También se considera un factor de riesgo la constitución fibrilar, específicamente las fibras tipo II que son de contracción rápida (*Liu et al., 2012*). Por último, se ha postulado como factor de riesgo el componente genético individual, en especial la presencia de polimorfismos genéticos (*Pruna & Artells, 2015*).

De acuerdo a todo lo anterior *Ertelt & Gronwald (2017)* proponen una mayor individualización de los programas de prevención, especialmente en lo que respecta a las características anatómicas, a fin de reducir aún más las tasas de lesiones en los deportes de élite.

#### **4.5. Otros factores de riesgo**

Desde el punto de vista quirúrgico la reconstrucción de ligamento cruzado anterior con autoinjerto isquiotibial homolateral es considerado un factor de riesgo (*de Visser et al., 2012*). Esta idea es apoyada por *Timmins et al. (2016)* quienes demostraron que en la cabeza larga del Bíceps femoral la longitud del fascículo, el ángulo de penación y la fuerza excéntrica al movilizar la rodilla es significativamente menor respecto a la extremidad contralateral después de haberse realizado reconstrucción de ligamento cruzado anterior utilizando autoinjerto del músculo Semitendinoso homolateral. Además, se ha documentado que la longitud de los músculos isquiotibiales se reduce significativamente en individuos con dolor lumbar, presumiblemente como mecanismo protector contra los movimientos pélvicos, por lo que esto también se debe tener en consideración a la hora de reinsertar a un deportista con algún problema de tipo lumbar o postural (*Fasuyi et al., 2017*).

Otro factor de riesgo importante es el desequilibrio muscular entre la fuerza de los isquiotibiales y el cuádriceps femoral; si esta relación isquiotibiales / cuádriceps es  $< 0,6$  se incrementa el riesgo de lesión de los isquiotibiales. Además, el déficit de fuerza de los isquiotibiales de una extremidad respecto a la otra, hace que el riesgo aumente cuando la diferencia es del 10-15% (*Liemohn, 1978; Worrell, 1994; Sallay et al., 1996*). Esta relación puede variar en función del sexo, deporte y posición del deportista.

También son importantes, como factores de riesgo, los errores en el entrenamiento (aproximadamente el 50% de las lesiones musculares) y la fase inicial de una temporada. Por último, se considera que las actividades físicas competitivas son un factor determinante de la intensidad con que se realiza un ejercicio y por lo tanto un factor de riesgo de lesiones entre deportistas de un mismo nivel (*Andersen et al., 2003*).

Con los antecedentes expuestos y teniendo en consideración que la organización anatómica de un músculo es el determinante principal de sus propiedades mecánicas (*Haberfehlner et al., 2016*), es posible afirmar que el conocimiento profundo de sus características morfológicas, como son los diámetros musculares, proporciones, distribución de sus componentes

anatómicos, forma, arquitectura muscular, presencia de tendones intramusculares, inervación, vascularización y las relaciones y disposiciones compartimentales, permitirán comprender mejor su función y sus lesiones.

## **5. ANATOMÍA MACROSCÓPICA**

### **5.1. Muslo**

El muslo corresponde a la región comprendida entre las articulaciones de la cadera y la rodilla, superiormente está limitado por una línea circular que pasa por el surco glúteo y la base del triángulo femoral e inferiormente es limitado por una línea circular que pasa a dos traveses de dedo sobre la patela (*Rouvière & Delmas, 2005*). La Fascia lata envuelve y contiene la musculatura del muslo, la que debido a sus características anatómicas y funcionales frecuentemente se ve afectada por lesiones (*Linklater et al., 2010*).

### **5.2. Región posterior del muslo**

La región posterior del muslo (o región femoral posterior) está situada por detrás del plano frontal de este segmento y comprende todas las partes blandas que se encuentran dorsales al fémur. Esta región es uniformemente convexa en toda su extensión y en los sujetos delgados y musculosos presenta cierto número de relieves longitudinales correspondientes a los músculos subyacentes. Estos relieves se exageran con la contracción y son casi inexistentes en sujetos con sobrepeso. Los planos constitutivos de la región posterior del muslo corresponden sucesivamente a la piel, tejido celular subcutáneo, Fascia lata, músculos isquiotibiales y fémur (*Testut & Jacob, 1979*).

### **5.3. Piel**

La piel de la región posterior del muslo es más gruesa que en la región anterior, siendo también muy móvil sobre las estructuras subyacentes, excepto lateralmente, donde pequeños y resistentes tractos fibrosos la unen con firmeza a la Fascia lata. Generalmente en esta región los vellos son cortos y abundantes.

### **5.4. Tejido celular subcutáneo**

El tejido celular subcutáneo en la parte lateral del muslo es relativamente compacto a nivel del surco que separa al músculo Bíceps femoral del vasto lateral, lugar donde se establece una

adherencia bastante íntima entre la piel y la aponeurosis subyacente. En todos los demás puntos tiene una estructura laminar y forma una verdadera fascia superficial de tipo adiposa, por donde transcurren vasos y nervios superficiales. Se continúa con el tejido celular subcutáneo de la región femoral anterior sin línea de demarcación alguna, también se continúa proximalmente con el tejido celular subcutáneo de la región glútea y perineal y distalmente con el de la fosa poplítea.

### **5.5. Fascia lata**

La Fascia lata se origina superior y posteriormente en el sacro y cóccix, lateralmente sobre la cresta iliaca, anteriormente en el ligamento inguinal y rama superior del pubis y medialmente en la rama inferior del pubis, rama del isquion, tuberosidad isquiática y borde inferior del ligamento sacrotuberoso. Desde la cresta iliaca desciende una densa lámina conjuntiva por sobre el músculo glúteo medio hasta el borde superior del glúteo mayor, donde se divide en dos hojas, una que pasa superficial y otra que pasa profunda respecto a este músculo. Estas hojas se vuelven a unir en el borde inferior del músculo glúteo mayor. Distalmente la Fascia lata se extiende hasta la región de la rodilla tomando inserción en la tibia, fíbula y patela para luego continuarse como fascia de la pierna (o fascia crural).

La Fascia lata rodea el muslo a modo de un cilindro y lo compartimenta a través de tabiques fibrosos. Se caracteriza por ser delgada anterior, medial y posteriormente, haciéndose gruesa por su cara lateral al ser reforzada por fibras longitudinales de tejido conjuntivo que forman el tracto iliotibial (de Maissiat), el cual se inserta en el tubérculo anterolateral de la tibia (de Gerdy). La superficie interna está en relación con los músculos del muslo a los cuales suministra vainas fasciales que los rodean y contienen (*Paturet, 1951; Moore et al., 2018*).

Desde la cara profunda de la Fascia lata se originan 2 tabiques intermusculares, uno lateral y otro medial, que se insertan a lo largo de la línea áspera extendiéndose de proximal a distal y que son característicamente más gruesos en el extremo superior del muslo y más delgados en el extremo inferior. El tabique intermuscular lateral es más grueso y resistente que el medial, se extiende desde la inserción del glúteo mayor hasta el cóndilo femoral lateral, insertándose sucesivamente, de proximal a distal, en la tuberosidad glútea, labio lateral de la línea áspera, línea supracondílea lateral del fémur y cóndilo femoral lateral, situándose entre los músculos vasto lateral (situado por anterior) y cabeza corta del Bíceps femoral (que queda posterior); a

esta última le proporciona una superficie de inserción muscular. El tabique intermuscular medial, más delgado y débil, se fija sucesivamente de proximal a distal en la línea pectínea, el labio medial de la línea áspera, la línea supracondílea medial y el tubérculo aductor del fémur, situándose entre el vasto medial (queda anterior) y los aductores y el pectíneo (quedan posteriores). En su área de inserción este tabique se confunde con la inserción de la aponeurosis del vasto medial. Numerosos septos más pequeños, como los que pasan entre los aductores y flexores de muslo, transcurren individualmente entre los músculos proporcionando ocasionalmente uniones parciales para sus fibras (*Testut & Latarjet, 1967; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*).

Estructuralmente la Fascia lata está organizada en tres capas fibrosas con abundantes fibras de colágeno y escasas fibras elásticas. Entre estas capas se encuentran finas terminaciones nerviosas y vasculares. Esta composición morfológica le confiere una alta resistencia y adaptabilidad mecánica (*Szotek et al., 2016*), presumiblemente vinculada a las demandas mecánicas que recibe por parte de los diferentes componentes del sistema locomotor (*Benjamin & Ralphs, 1998*).

## **5.6. Compartimentos del muslo**

La Fascia lata y el fémur dividen al muslo en 2 compartimentos, uno anterior y otro posterior. Sin embargo, algunos autores consideran la existencia de un compartimento medial si se tienen en cuenta los músculos aductores en un compartimento separado de los músculos isquiotibiales (*Drake et al., 2010*). Con esta disposición, se consideran tres grupos musculares funcionalmente distintos: el grupo extensor (anterior), el grupo flexor (posterior) y el grupo aductor (medial). El grupo extensor y el grupo flexor ocupan compartimentos osteofaciales limitados periféricamente por la Fascia lata y separados por los tabiques intermusculares lateral y medial. El grupo aductor no posee un compartimento individual delimitado por planos fasciales (*Standring, 2016*). Sin embargo, diversos autores (*Testut & Latarjet, 1967; Orts Llorca, 1985; Moore et al., 2018*) describen un tercer tabique intermuscular más delgado que los otros, el cual aísla a los músculos aductores dentro del compartimento posterior, dando lugar a los tres compartimentos antes descritos. Se describe un nervio principal por compartimento, siendo el nervio femoral para el compartimento anterior, el nervio obturador para el compartimento medial y el nervio Ciático (*Ischiadicus*) para el compartimento posterior. En contraste con la

inervación, la vascularización no muestra una distribución compartimental, si no que se distribuye en los tres, otorgando irrigación procedente de distintas ramas de la arteria femoral, particularmente de la arteria Femoral profunda y sus ramificaciones. Los aductores reciben una contribución de la arteria obturatriz y los isquiotibiales reciben proximalmente irrigación de la arteria glútea inferior (*Standring, 2016*).

### **5.7. Compartimento anterior del muslo**

Este compartimento contiene el músculo sartorio y los cuatro vientres del músculo cuádriceps femoral (recto femoral, vasto lateral, vasto medial y vasto intermedio), todos inervados por el nervio femoral (L2-L4). Además, los extremos terminales de los músculos psoas mayor e ilíaco (M. Iliopsoas) pasan a la parte superior del compartimento anterior del muslo a través de la laguna muscular. El músculo iliopsoas recibe inervación directa del plexo lumbar y del nervio femoral (*Drake et al., 2010*). Los músculos del compartimento anterior del muslo actúan como flexores de la cadera y extensores de la rodilla.

### **5.8. Compartimento medial del muslo**

Este compartimento contiene cinco músculos (grácil, pectíneo, aductor largo, aductor corto y aductor mayor), todos ellos inervados por el nervio obturador (L2-L4), con excepción del pectíneo que también recibe inervación del nervio femoral, y la porción isquiotibial del aductor mayor que recibe inervación del nervio Tibial (*Moore et al., 2018*). Los músculos del compartimento medial son, fundamentalmente aductores de cadera.

### **5.9. Compartimento posterior del muslo**

En el compartimento posterior del muslo se encuentra el grupo muscular conocido tradicionalmente como “isquiotibiales”, denominación dada por algunos de los puntos de inserción que ellos comparten. Este grupo incluye a los 3 músculos de la región posterior del muslo: el Bíceps femoral, el Semitendinoso y el Semimembranoso. Estos músculos tienen origen en la tuberosidad isquiática, excepto, la cabeza corta del Bíceps femoral que lo hace en el labio lateral de la línea áspera del fémur. Por este motivo autores como *Bonnel et al. (1991)* no consideran esta parte en el grupo isquiotibial, al igual que *Koulouris & Connell (2005)* quienes enfatizan que es lo consecuente y lógico. Independientemente de ello, las inserciones de estos músculos se realizan en la tibia, en la cara posterior de la cápsula articular de la rodilla

y en la cabeza de la fíbula, lo que también está en contradicción con el concepto de isquiotibiales. La disposición de esta musculatura comprende 2 planos musculares, uno superficial y otro profundo. El plano superficial incluye a la cabeza larga del Bíceps femoral y al Semitendinoso, siendo el Bíceps femoral más lateral y el Semitendinoso más medial. El plano profundo incluye a la cabeza corta del Bíceps femoral y al Semimembranoso, manteniendo estos unas posiciones equivalentes a las del plano superficial. Existen amplias descripciones sobre variaciones musculares para el grupo isquiotibial; por ejemplo, en el caso del Bíceps femoral se ha descrito independencia anatómica de sus dos cabezas, variaciones en el origen de la cabeza larga procedentes de la pelvis, división de la cabeza corta en varios fascículos o ausencia de ella, fusión de los músculos Semitendinoso y Semimembranoso o ausencia de cualquiera de ellos (*Testut, 1884*), variaciones anatómicas que pueden tener repercusión funcional.

Estos músculos están cubiertos por dependencias de la Fascia lata y entre ellos se encuentra una capa celuloadiposa, la cual es especialmente abundante en la parte central del compartimento posterior, lugar por donde transita el nervio Ciático. Esta capa celuloadiposa se continúa superiormente, hasta llegar a la región glútea, y se continúa inferiormente hasta la fosa poplítea, con el tejido celuloadiposo que ocupa esta cavidad. Todos los músculos dispuestos en el compartimento posterior del muslo son antagonistas de los del compartimento anterior, por lo tanto, actúan como extensores de la articulación de la cadera y flexores de la articulación de la rodilla (*Testut & Jacob, 1979*).

### **5.10. Músculo Bíceps Femoral**

El músculo Bíceps femoral se encuentra situado lateralmente al Semitendinoso y Semimembranoso. Es voluminoso y está formado por dos cabezas: una cabeza larga de origen isquiático y otra cabeza corta de origen femoral. Ambas cabezas se insertan distalmente por medio de un tendón común en la cabeza de la fíbula.

La cabeza larga del músculo Bíceps femoral tiene su inserción proximal en la impresión inferomedial de la tuberosidad isquiática, junto al músculo Semitendinoso, por medio de un tendón común; este tendón puede también tomar inserción en la parte baja del ligamento sacrotuberoso. Una disección minuciosa permite observar que la superficie de inserción de la

cabeza larga del Bíceps femoral es superior y lateral respecto a la del músculo Semitendinoso, y medial respecto a la inserción proximal del Semimembranoso (*Rouvière & Delmas, 2005*).

La cabeza corta del Bíceps femoral se origina de pequeñas fibras tendinosas en el intersticio de la línea áspera (labio lateral), entre el aductor mayor, que está situado medialmente y el vasto lateral que está situado lateralmente. Esta inserción se extiende a lo largo de casi todo el intersticio, superiormente hasta la tuberosidad glútea e inferiormente hasta la línea supracondílea lateral, a 5 cm por encima del cóndilo femoral lateral; sus fibras se incorporan al tabique intermuscular lateral de la Fascia lata (*Hayashi & Maruyama, 2005*).

La cabeza larga del músculo Bíceps femoral se dirige inferior y lateralmente cruzando superficialmente al nervio Ciático. Al principio es contigua al Semitendinoso, pero en el tercio inferior del muslo se separa de este músculo y juntos limitan el triángulo superior de la fosa poplítea. Además, la cabeza larga del músculo Bíceps femoral tiene fibras más largas y con mayor ángulo de penación proximal que distal, mientras que se observa lo contrario en la disposición fibrilar del músculo Semitendinoso (*Kellis et al., 2010*), hecho que se relaciona directamente con la función. Las fibras musculares de la cabeza larga terminan en la cara anterior de su tendón distal y tienen un ángulo de penación de 13,46° ( $\pm 2,88$ ) según *Kellis et al. (2012)* y 13,2° ( $\pm 3,1$ ) según *Tosovic et al. (2016)*. *Terry & LaPrade (1996)* describieron que el componente tendinoso de la cabeza larga incluye un tendón directo que se inserta en la cara posterolateral de la cabeza fibular y un tendón anterior que se inserta en la cara lateral de la cabeza fibular, lateralmente al ligamento colateral fibular y se continúa distalmente para terminar en la fascia de la pierna. Las fibras musculares de la cabeza corta se dirigen inferior, medial y posteriormente y se implantan sobre la cara anterolateral del tendón distal hasta muy cerca de su inserción fibular, teniendo un ángulo de penación de 13.17° ( $\pm 2.60$ ) (*Kellis et al., 2012*). Esta se relaciona íntimamente con el nervio Fibular común, el cual puede ser lesionado en cirugías reparativas del tendón distal del Bíceps femoral (*Fukuda et al., 2016*). El tendón de terminación común del Bíceps femoral es ancho y aplanado en la cara posterior del músculo hacia el tercio inferior del muslo y se vuelve más voluminoso en la medida que desciende, pasa posterior al cóndilo femoral lateral para insertarse en el vértice de la cabeza fibular, lateralmente a la inserción del ligamento colateral fibular del que está separado por una bolsa sinovial. Inserciones secundarias son en el cóndilo lateral de la tibia, mediante un fascículo

tendinoso grueso y horizontal, y en la fascia de la pierna por medio de una expansión variable (*Rouvière & Delmas, 2005*).

La irrigación de la cabeza larga procede de la primera y segunda arteria perforante; accesoriamente puede recibir ramas de la arteria glútea inferior y de la circunfleja femoral medial para la inserción proximal, y de la arteria genicular superior lateral para la inserción distal. La cabeza corta es irrigada superiormente por la segunda o tercera arteria perforante e inferiormente por la arteria genicular superior lateral.

La inervación del Bíceps femoral procede del plexo sacro a través del nervio Ciático. La cabeza larga es inervada por el nervio Tibial y la cabeza corta por el nervio Fibular común. La cabeza larga del Bíceps femoral funcionalmente realiza extensión de cadera y flexión de rodilla; además con rodilla flexionada genera rotación lateral de la pierna. En cuanto a la cabeza corta, que no cruza la articulación coxofemoral, sólo participa en la flexión de rodilla y rotación lateral de pierna (*Koulouris & Connell, 2005; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*). Además, colabora en la estabilidad lateral de la articulación de la rodilla como refuerzo para el ligamento colateral fibular y la cápsula articular (*Tubbs et al., 2006*). El hecho de que la cabeza corta del Bíceps femoral tenga distinta inervación respecto a la cabeza larga ha llevado a autores, como *Orts Llorca (1985)*, a afirmar que el Bíceps femoral son dos músculos diferentes, que se han reunido secundariamente para tomar una inserción común; este concepto también es señalado por *Tubbs et al. (2016)* entre otros autores. *Branch & Anz (2015)* realizaron la descripción anatómica de la unión miotendinosa distal del Bíceps femoral, calificándola como anatómicamente compleja respecto a los otros isquiotibiales, y ello debido a que los tendones de las cabezas larga y corta se unen con algunas fibras musculares individuales continuando discretamente con cada vientre muscular.

### **5.11. Músculo Semitendinoso**

El músculo Semitendinoso está situado medial al Bíceps femoral y superficial al Semimembranoso. Es un músculo fusiforme, carnoso superiormente y tendinoso inferiormente, que se extiende desde el isquion hasta el extremo superior de la tibia. Se origina en una impresión inferomedial de la tuberosidad isquiática mediante un tendón común con la cabeza larga del Bíceps femoral, lateral a la inserción del ligamento sacrotuberoso y medial al tendón proximal del Semimembranoso. La inserción proximal del Semitendinoso es inferior y medial a

la cabeza larga del Bíceps femoral. Algunas fibras musculares del Semitendinoso se implantan directamente en la tuberosidad isquiática (*Rouvière & Delmas, 2005*). Para *Spalteholz (1990)* se inserta directamente en dicha tuberosidad mediante cortas fibras tendinosas. *Woodley & Mercer (2005)* además describen que el músculo Semitendinoso se inserta en el borde medial del tendón proximal del Bíceps femoral y en una aponeurosis proximal situada anteriormente, que procede de este mismo músculo. También se han reportado casos de separación completa entre el Semitendinoso y Bíceps femoral (*Tubbs et al., 2016*).

Al tendón de origen le sigue un cuerpo muscular fusiforme, atravesado oblicuamente en la unión de su tercio superior con su tercio medio por una intersección tendinosa que se dirige de superior a inferior y de medial a lateral. Sus fibras musculares tienen un ángulo de penación de 9,14° (± 3,54) (*Kellis et al., 2012*). Este músculo se dirige en sentido inferior y medial cubriendo al Semimembranoso. Hacia el tercio inferior del muslo el músculo se continúa con un tendón largo y delgado. Este tendón transcurre sobre la cara posterior del músculo Semimembranoso y pasa posterior al cóndilo femoral medial. Proporciona algunas fibras a la fascia de la pierna y se inserta en la parte superior de la cara medial de la tibia, posteriormente al sartorio e inferiormente al grácil, constituyendo el plano tendinoso profundo de la pata de ganso. En algunas ocasiones el tendón distal del Semitendinoso da origen a bandas tendinosas accesorias que podrían facilitar avulsiones óseas (*Sivasundaram et al., 2015*).

El músculo Semitendinoso es irrigado por dos arterias principales, una superior y otra inferior. La superior deriva de la arteria circunfleja femoral medial o de la primera arteria perforante. La inferior, más larga, procede de la primera rama perforante, distal al origen de la rama superior. Un suministro accesorio proximal deriva de la arteria glútea inferior, y otro a nivel distal procede de la arteria genicular inferior medial.

La inervación viene dada por el nervio Tibial del nervio Ciático. Funcionalmente realiza extensión de cadera y flexión de rodilla; además, con rodilla flexionada, genera rotación medial de la pierna (*Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*). Las fibras musculares del Semitendinoso tienen una disposición longitudinal, que es diferente a la disposición fibrilar del Bíceps femoral y del Semimembranoso, cuyas fibras tienen una disposición peniforme. Esta diferencia en la arquitectura muscular puede tener un efecto en la capacidad de fuerza de los isquiotibiales, tanto a nivel individual como grupal (*Kellis et al., 2012*).

## **5.12. Tendón Conjunto Isquiotibial**

El Tendón Conjunto de los músculos isquiotibiales es la estructura conformada por el origen común y proximal del tendón de la cabeza larga del músculo Biceps femoral y del Semitendinoso. Ambos músculos se conectan por sus superficies adyacentes mediante una aponeurosis que se extiende 7,5 cm desde su origen isquiático (*Standring, 2016*). Cifra semejante es referida en la obra de *Paturet (1951)*, donde se considera que la longitud de esta estructura tendinosa es de 5 a 6 cm. Algunos autores incluyen en este origen común al músculo Semimembranoso (*Tubbs et al., 2016*) lo que genera dudas respecto a su conformación.

El origen del Tendón Conjunto Isquiotibial se realiza en un área ovalada, situada a aproximadamente 4 cm lateral al vértice de la tuberosidad isquiática (*Neuschwander et al., 2015*), ocupando una superficie de aproximadamente 2,7 x 1,8 cm (*Miller et al., 2007*). En esta área, la cabeza larga del músculo Biceps femoral y los músculos Semitendinoso y Semimembranoso se reúnen para formar un tendón común a partir de unos 2 cm distales a la inserción isquiática (*Neuschwander et al., 2015*).

*Sato et al. (2012)* realizaron una descripción detallada de la inserción proximal de los músculos isquiotibiales y diferenciaron dos áreas de inserción en la tuberosidad isquiática: un área anterolateral, ocupada por la inserción del Semimembranoso, y otra área posteromedial, ocupada por la cabeza larga del Biceps femoral y por el Semitendinoso, refiriendo una unión íntima entre estos dos músculos. Además, describieron una conexión directa entre el tendón de origen de la cabeza larga del Biceps femoral y el ligamento sacrotuberoso, lo cual no fue observado en el origen del músculo Semitendinoso.

Es de importancia clínica la relación del Tendón Conjunto Isquiotibial con las estructuras vecinas. *Puranen & Orava (1988)* describieron una serie de 59 casos con “síndrome isquiotibial” en los cuales se producía dolor por estructuras tendinosas vecinas al Tendón Conjunto Isquiotibial en su punto de inserción, que al ser presionadas durante la sedestación generaban dolor, situación corregida al separar estos tejidos tendinosos quirúrgicamente, lo que en 52 casos alivió completamente el problema. También se debe considerar la relación con el nervio Ciático, ya que en muchas ocasiones este nervio se ve afectado por las lesiones proximales de los músculos isquiotibiales, especialmente las que afectan al Tendón Conjunto

Isquiotibial, ocasionando neuropatía crónica que se debe considerar en el diagnóstico diferencial de las afecciones del nervio Ciático (*Bucknor et al., 2014*).

### **5.13. Músculo Semimembranoso**

El músculo Semimembranoso está situado posterior al músculo aductor mayor y profundo al Semitendinoso. Es delgado, aplanado, tendinoso y laminar superiormente, y muscular y voluminoso inferiormente, características que le confieren su nombre. Se extiende desde el isquion hasta la parte superior de la tibia. Este músculo se origina en una impresión superolateral en la tuberosidad isquiática, que tiene forma de media luna y ocupa un área de 3,1 x 1,1 cm (*Miller et al., 2007*), medialmente al músculo cuadrado femoral y lateralmente al tendón común de la cabeza larga del Bíceps femoral y Semitendinoso.

Este origen se efectúa primero por medio de un tendón grueso, el cual recibe, desde la rama y tuberosidad isquiática, expansiones fibrosas procedentes del músculo aductor mayor; a continuación, le sigue una ancha membrana tendinosa, más gruesa lateral que medialmente y que se prolonga hacia la mitad del muslo. El cuerpo muscular nace de este tendón membranoso siguiendo una línea oblicua inferior y lateral de proximal a distal. Las fibras musculares se dirigen oblicuamente en sentido inferior y medial, terminando después de un breve trayecto, en un tendón que aparece en la mitad de músculo a lo largo de su borde medial. Estas fibras tienen un ángulo de penación de 15,95° (± 2,39) (*Kellis et al., 2012*). El tendón distal es grueso y resistente, quedando completamente libre de fibras musculares a nivel del cóndilo femoral medial. El tendón se resuelve en una expansión que se confunde en la fascia de la pierna para dividirse en tres fascículos: uno denominado tendón directo, que sigue la dirección del músculo y se inserta en la cara posterior del cóndilo tibial medial, adicionalmente algunas fibras más superficiales descienden y algunas se insertan en el borde medial de la tibia, mientras que otras se confunden con la fascia del músculo poplíteo; el segundo, denominado tendón reflejo, se encuentra cubierto por el ligamento colateral tibial, se dirige anteriormente, pasa por el surco horizontal del cóndilo tibial medial y se fija en el extremo anterior de este surco; el tercero se denomina tendón recurrente y constituye el ligamento poplíteo oblicuo de la articulación de la rodilla; se dirige posterior y superiormente y se pierde ensanchándose en el casquete del cóndilo femoral medial.

La irrigación del Semimembranoso procede habitualmente de todas las arterias perforantes, predominando la primera, mientras que otras veces predominan las ramas que se originan de la cuarta. Una rama de la arteria femoral, o de la poplítea, suple la parte distal; también puede haber contribución de la arteria glútea inferior para la inserción proximal. La inervación viene dada por el nervio Tibial del nervio Ciático (*Standring, 2016*). Funcionalmente realiza extensión de cadera y flexión de rodilla; además, con la rodilla flexionada realiza rotación medial de la pierna (*Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*).

Un estudio morfológico realizado en 13 miembros inferiores demostró que la cabeza larga del músculo Bíceps femoral y el músculo Semimembranoso tienen características similares (longitud total del músculo, longitud de sus fibras musculares y arquitectura semipeniforme) (*Kumazaki et al., 2012*). El músculo Semimembranoso varía considerablemente en tamaño y a veces se encuentra ausente o puede ser doble (*Testut & Latarjet, 1967*).

#### **5.14. Nervio Ciático (*Ischiadicus*)**

El nervio Ciático corresponde al nervio del compartimento posterior del muslo. Está constituido por los nervios Tibial y Fibular común, ambos envueltos por un mismo tejido conjuntivo (epineuro), siendo los ramos terminales del plexo sacro. El nervio Ciático es el responsable de la inervación motora de los músculos de la región posterior del muslo y de todos los músculos de la pierna y del pie. Sus fibras proceden de ramos anteriores de los nervios espinales L4 a S3, dando lugar al nervio más voluminoso del cuerpo humano. El nervio sale de la pelvis por el agujero Ciático mayor, inferiormente al músculo piriforme (hiato infrapiriforme), siendo en este tramo aplanado y midiendo entre 1,5 y 2 cm de ancho. Es necesario destacar que existen variaciones en su emergencia a la región glútea relacionadas con el músculo piriforme (*Tubbs et al., 2016*).

El nervio Ciático desciende por la región glútea, cubierto por el músculo glúteo mayor, y transcurre por un canal situado entre el isquion y el trocánter mayor, posterior a los músculos obturador interno, gemelos y cuadrado femoral. Al salir de este canal penetra en la región posterior del muslo, profundamente a una depresión formada por el tendón de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral y el músculo Semitendinoso (*Ripani et al., 2006*). Desciende oblicua y lateralmente por detrás del músculo aductor mayor y está cruzado superficialmente por la cabeza larga del músculo Bíceps femoral. En la región glútea el nervio recibe irrigación

de la arteria glútea inferior, así como de anastomosis cruzadas entre las arterias circunflejas femorales medial y lateral, de la arteria glútea inferior y de la primera arteria perforante. En la parte baja del muslo recibe ramas arteriales de las arterias perforantes y ocasionalmente de la arteria Poplítea. Las numerosas ramas arteriales del nervio Ciático se anastomosan entre sí a partir de cadenas arteriales extraneurales e intraneurales (*Standring, 2016*). Antes de alcanzar la fosa poplítea emite sus 2 ramos terminales que son el nervio Tibial y el nervio Fibular común, aunque el punto de división es muy variable (*Tubbs et al., 2016*). Durante su trayecto este nervio emite habitualmente 8 ramos colaterales destinados a la región posterior del muslo y la articulación de la rodilla. Estos ramos colaterales son (*Paturet, 1951; Testut & Jacob, 1979; Rouvière & Delmas, 2005*):

1. Nervio superior del Semitendinoso: penetra en el tendón común del Semitendinoso y Bíceps femoral e inerva el vientre muscular superiormente a la intersección tendinosa.
2. Nervio de la cabeza larga del Bíceps femoral: penetra en el músculo en la porción media de su cara anterior.
3. Nervio inferior del Semitendinoso: penetra en la porción media del músculo.
4. Nervio del Semimembranoso: comprende uno o dos ramos que abordan al músculo por su cara lateral.
5. Nervio del aductor mayor: se distribuye por la porción medial del músculo. Se puede originar directamente del nervio Ciático o del nervio del Semimembranoso.
6. Nervio de la cabeza corta del Bíceps femoral: se distribuye por la parte media del vientre muscular.
7. Ramo articular de la rodilla: se distribuye por la porción lateral de la capsula articular.
8. Ramo articular de la cadera: corresponde a un ramo inconstante que se distribuye por la cara posterior de la articulación coxofemoral.

## **6. ANATOMÍA MICROSCÓPICA**

### **6.1. Unión osteotendinosa**

Los tendones son responsables de transmitir la fuerza generada por el músculo al hueso, y esto lo consiguen gracias a su composición histológica dada principalmente por colágeno tipo I y complementada con colágeno tipo II y V. Este tejido se une al hueso para movilizarlo, llamándose el punto de unión o entesis (*Wang, 2006*).

La entesis representa el sitio de unión osteotendinosa, siendo un lugar de mucho estrés mecánico y de bastante uso, por lo tanto, un punto donde pueden aparecer lesiones, sobre todo cuando el núcleo de osificación secundario aún no está totalmente osteointegrado al resto del hueso o cuando existen problemas de mineralización ósea (*Kuske et al., 2016*). Según la estructura se distinguen 2 tipos de entesis, la fibrosa y la fibrocartilaginosa, determinadas por el tipo de tejido presente en la unión. En la entesis fibrosa el tendón o ligamento se adhieren directamente al hueso o indirectamente a través de periostio; en ambos casos el tejido fibroso denso conecta directamente al tendón o ligamento con el hueso sin que se interponga cartílago. La entesis fibrocartilaginosa muestra áreas donde hay condrogénesis, presentando cuatro zonas diferentes de tejido, que avanzando de tendón a hueso muestran tejido fibroso denso puro, fibrocartílago no calcificado, fibrocartílago calcificado y hueso (*Benjamin et al., 2006; Wang, 2006*).

### **6.2. Unión miotendinosa**

La zona de unión “músculo-tendón” se denomina unión miotendinosa. Al microscopio electrónico de transmisión la unión miotendinosa se observa como evaginaciones de sarcolemas en forma de dedo, proyectadas desde el tendón y el endomisio que rodea las fibras musculares, con miofilamentos que se extienden desde la línea Z de la fibra muscular y se fusionan con el tejido del tendón (*Knudsen et al., 2015*).

Su función es transferir las fuerzas musculares al tendón por lo que se encuentra sujetada a un alto estrés mecánico (*Sharafi et al., 2011*). Debido a su deficiente capacidad de adaptarse a la carga ésta zona corresponde a un lugar frecuente de lesiones (*Rubin, 2012; Jakobsen et al., 2017*). Además, se ha descrito que influye en el crecimiento muscular (*Benjamin & Ralphs, 1996*), ya que durante el desarrollo la interacción “músculo-tendón” genera fuerzas mecánicas

que son necesarias para la maduración de la unión miotendinosa y la diferenciación tisular. Además, estas fuerzas deben ser resistidas por los músculos y los tendones para evitar el desprendimiento mutuo, la deformación o incluso la pérdida de su integridad (*Valdivia et al., 2017*).

De acuerdo a lo descrito en esta revisión bibliográfica queda claro que existe una detallada descripción anatómica de los músculos isquiotibiales en los textos de anatomía humana y en publicaciones científicas de investigadores dedicados a estudiar estas estructuras. Sin embargo, aún quedan aspectos sin resolver que vienen determinados por las observaciones clínicas de quienes trabajan diariamente con ellos. El presente estudio pretende profundizar en las bases morfológicas para intentar comprender mejor las lesiones que afectan a este grupo muscular.



## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS





## **HIPÓTESIS**

Las características morfológicas de los músculos isquiotibiales (vientres musculares, tendones, distribución de componentes anatómicos, inervación, vascularización, relaciones y disposiciones compartimentales) determinan sus características funcionales, siendo esta la base para comprender mejor las lesiones musculares producidas por mecanismo indirecto (intrínseco).

## **OBJETIVO GENERAL**

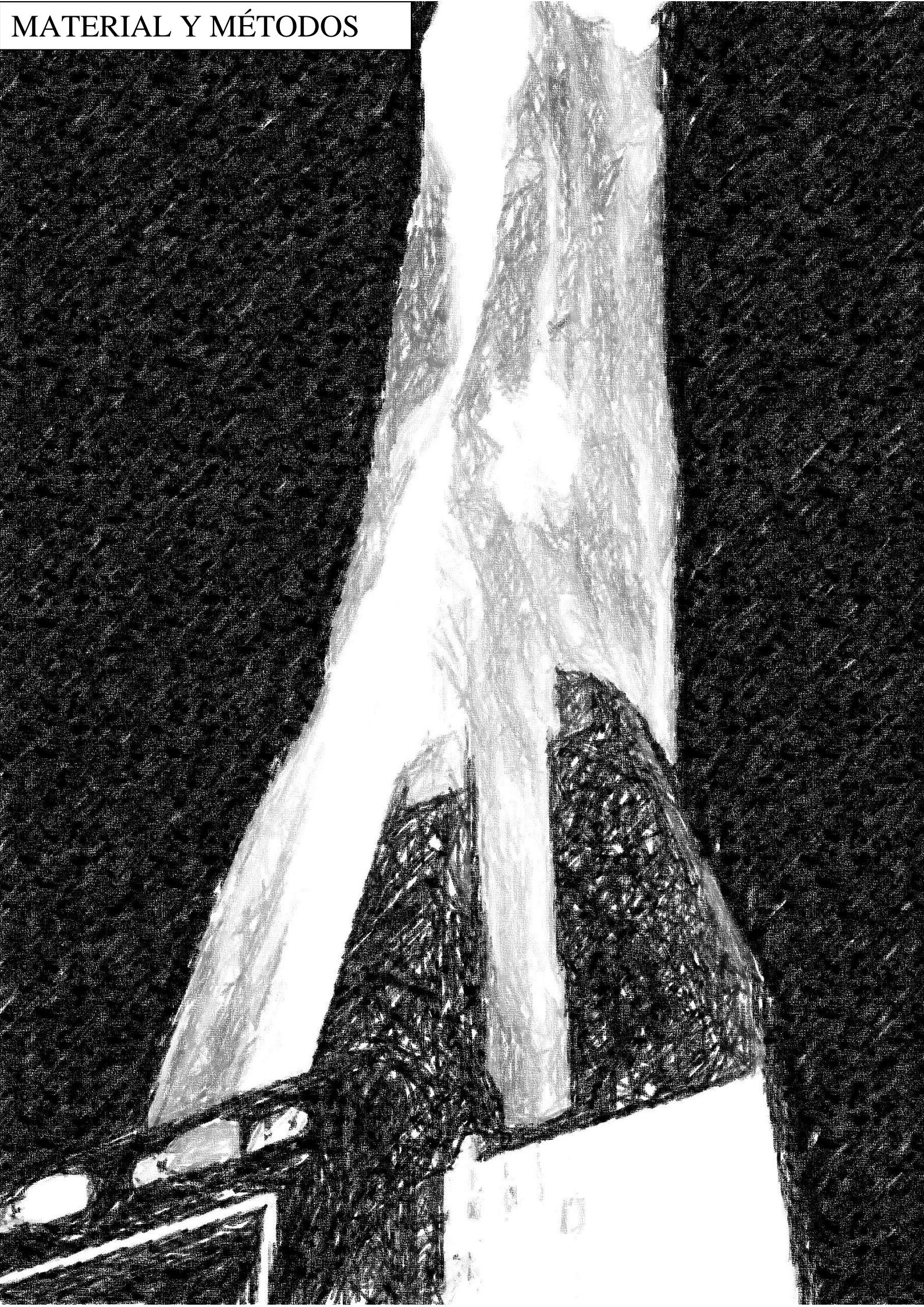
Realizar la descripción morfológica, macroscópica y microscópica de los músculos isquiotibiales considerando las implicaciones funcionales.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar la descripción anatómica macroscópica de cada uno de los músculos isquiotibiales.
2. Realizar la descripción anatómica de la posición de los músculos isquiotibiales en el compartimento posterior del muslo.
3. Realizar el estudio morfométrico de los vientres musculares, aponeurosis/tendones, nervios y vasos sanguíneos en cada uno de los músculos isquiotibiales.
4. Realizar un estudio comparativo de los hallazgos morfológicos y morfométricos de los músculos isquiotibiales.
5. Determinar si existe continuidad entre los tendones proximal y distal en cada uno de los músculos isquiotibiales.
6. Realizar la descripción anatómica del Tendón Conjunto Isquiotibial.



## MATERIAL Y MÉTODOS





## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA**

La revisión bibliográfica expuesta en la introducción se realizó en bases de datos de revistas indexadas en PUBMED y Bibliotecas Universitarias de la Universitat Autònoma de Barcelona y Pontificia Universidad Católica de Chile.

### **2. LUGAR**

El trabajo práctico se realizó en la sala de disección del Departament de Ciències Morfològiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.

### **3. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO**

Esta investigación se hizo mediante disecciones anatómicas realizadas en cadáveres, de los cuales se obtuvieron preparaciones anatómicas y preparaciones histológicas que posteriormente fueron analizadas.

### **4. SUJETOS**

Para el estudio se utilizaron 35 miembros inferiores pertenecientes a cuerpos donados a la Facultat de Medicina de la Universitat Autònoma de Barcelona. Todos los cuerpos correspondían a personas que manifestaron la voluntad de dicha donación mediante un documento aprobado por la Comisión de Ética en la Experimentación Humana de la Universitat Autònoma de Barcelona (procedimiento 2904 resuelto favorablemente el 27/03/2015).

De acuerdo con la legislación vigente, de protección de datos personales, todos los cuerpos de la sala de disección de la Facultat de Medicina de la Universitat Autònoma de Barcelona, utilizados en el estudio, fueron anonimizados mediante una referencia interna.

Todos los cuerpos fueron negativos a pruebas serológicas para hepatitis B, hepatitis C y HIV, y en ninguno de ellos había signos de intervenciones quirúrgicas previas en la región de estudio.

La fijación de los cuerpos se realizó mediante inyección arterial de la mezcla Cambridge (solución de Fenol, Etanol, Glicerina y Formaldehido) y la conservación de los cuerpos se realizó en cámara frigorífica a 6ºC.

## **5. ESTUDIO MACROSCÓPICO**

### **5.1. Instrumental de Disección**

- Pinza de disección sin dientes
- Pinza de disección con dientes
- Tijeras de disección curvas
- Espéculo número 4
- Hoja de bisturí número 24

### **5.2. Disección Anatómica**

Previo a iniciar las disecciones los muslos fueron separados del tronco. A continuación, fueron identificados mediante un número de serie, el cual permitió obtener información de la edad, sexo y lateralidad de la muestra, de esta manera cada miembro inferior quedó identificado y listo para ser estudiado.

Para el procedimiento de disección cada preparación anatómica fue posicionada en decúbito prono, realizándose una disección por planos sobre las regiones glútea y posterior del muslo.

En una primera fase se levantó la piel y el tejido celular subcutáneo, de medial a lateral, iniciándose la disección en la región glútea hasta exponer su fascia profunda. A continuación, se realizó un corte longitudinal por la cara medial del muslo, extendido desde la rama isquiopubiana hasta el tercio proximal de la pierna, finalizando con un giro de 90° hacia lateral extendido horizontalmente hasta la cara lateral de la pierna. Estas incisiones respetaron el plano de la Fascia lata sin dañarla.

Una vez retirada la piel y el tejido celular subcutáneo se realizó la abertura del compartimento posterior del muslo seccionando la Fascia lata, comenzando de distal a proximal y siguiendo el mismo trazo realizado para retirar las cubiertas superficiales.

En el tercio inferior de la cara posterior del muslo la Fascia lata fue rebatida lateralmente, así como también fueron cortados los desdoblamientos fasciales que ésta realiza sobre los tendones distales de los músculos Semitendinoso, Semimembranoso y Bíceps femoral, dejando expuestos los tendones y vientres musculares. Además, se retiró la grasa de la fosa poplítea para poder exponer de mejor manera los vientres musculares que la delimitan.

En el tercio medio se quitó la cubierta fascial procedente de la Fascia lata para los músculos Semitendinoso y cabeza larga del Bíceps femoral, así como también se tuvo que retirar la

fascia que conecta al músculo aductor mayor y Semimembranoso para poder exponer el contorno medial de éste último.

En el tercio proximal del muslo, y con la finalidad de poner de manifiesto el origen de los músculos isquiotibiales, se seccionó y rebatió lateralmente el músculo glúteo mayor, dejando expuesta la fascia que cubre la tuberosidad isquiática, así como el Tendón Conjunto Isquiotibial, el nervio Ciático, los músculos pelvitrocantéreos y los vasos y nervios procedentes de la pelvis.

Para obtener un mejor campo visual y apreciar con mayor nitidez el trayecto del nervio Ciático y su relación con el Tendón Conjunto Isquiotibial se procedió a retirar la fascia que los cubría procurando mantener la indemnidad de este tendón hasta su inserción en la tuberosidad isquiática. A continuación, desde este punto se prosiguió retirando la fascia que cubría al nervio Ciático, vasos y nervios Glúteos inferiores y músculo piriforme. Una vez expuestos completamente los músculos isquiotibiales se dio inicio a la medición de sus componentes y estructuras vasculonerviosas relacionadas.

### **5.3. Morfometría Macroscópica**

Una vez expuestos los músculos isquiotibiales, desde su origen hasta su inserción, se procedió al estudio morfométrico, el cual se realizó en 3 etapas para estudiar los diferentes aspectos que se detallan más adelante (en “Variables de estudio”).

En la primera etapa se midió la longitud del muslo, lo que nos sirvió de referencia para establecer la relación con los demás datos obtenidos, que fueron los diámetros (longitudinales, transversales y anteroposteriores) de cada uno de los músculos isquiotibiales. Además, se realizó la descripción de la posición de cada músculo en el compartimento posterior del muslo.

En la segunda etapa se realizó la disección de los pedículos vasculonerviosos de cada músculo. Para ello se disecó nuevamente y en detalle cada músculo separando el tejido adiposo para identificar los vasos y nervios que recibía. En esta etapa se realizó también la descripción de los componentes anatómicos de cada músculo (vientres y tendones).

Por último, en la tercera etapa se realizó el estudio de la continuidad del tendón intramuscular y del área de los vientres musculares. Para ello se extrajeron los músculos cortando en sus puntos de origen e inserción (ver anexo 1). A continuación, se realizaron cortes transversales

de 1 cm de grosor, que fueron fotografiados y analizados en computador con el software ImageJ 1.51 j8.

Para los procedimientos de medición se entrenó a una persona para que midiera las estructuras estudiadas simultáneamente con el investigador a cargo. Este entrenamiento consistió en la medición de 10 muslos con su respectiva musculatura y de 50 fotografías aleatorias de cortes transversales realizadas en conjunto con el investigador. Al finalizar las mediciones de entrenamiento se comenzó con las mediciones del estudio. Los datos obtenidos entre el investigador principal y el ayudante se promediaron y su resultado fue introducido en una hoja de cálculo Excel 2010 previamente diseñada.

#### **5.4. Instrumental de Medición**

- 1 Lápiz dermográfico
- 1 Cinta métrica milimetrada de rango 0- 1500 mm
- 1 Regla milimetrada de rango 0-150 mm
- 1 Goniómetro de 180°
- 1 Pie de metro digital (o pie de rey) y analógico de 0-150 mm (Stainless)
- iPhone 6S con cámara de 12 Mpx
- 1 Computador portátil Dell Inspiron, modelo Studio xps
- Software ImageJ 1.51 j8

#### **5.5. Variables de Estudio**

- **Longitud de muslo:** Con lápiz dermográfico se marcó sobre la piel el punto más prominente del trocánter mayor del fémur y otro punto sobre la superficie más prominente del epicóndilo femoral lateral. Utilizando cinta métrica se midió la distancia entre ambos puntos. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Morfología muscular:** Se realizó la descripción de la forma del vientre muscular, fibras musculares, tendones y cómo se organizaban para conformar al músculo. Describiendo la inserción de las fibras musculares en el tendón y reconociendo el patrón de organización y/o de penación, esta descripción se realizó mediante observación macroscópica *in situ* y fotográfica. Como referencia se utilizaron criterios tradicionales

(*Testut & Latarjet, 1967; Orts Llorca, 1985*) y modernos (*Rouvière & Delmas 2005; Standring, 2016*); Estos fueron la configuración de la forma del músculo y la arquitectura muscular.

- **Longitud total del músculo:** Utilizando cinta métrica se midió desde el punto de inserción proximal hasta el punto de inserción distal. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Longitud del vientre muscular:** Utilizando cinta métrica se midió desde la aparición de la primera fibra muscular en el tendón proximal hasta la última fibra muscular en el tendón distal, midiendo la longitud de la porción contráctil completa. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Diámetro transversal del vientre muscular:** Utilizando pie de metro (pie de rey) se midió el diámetro (sección) transversal del vientre muscular colocando el instrumento en el nivel de mayor grosor en sentido transversal del vientre muscular. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Diámetro anteroposterior del vientre muscular:** Utilizando pie de metro (o pie de rey) se midió el diámetro (sección) anteroposterior del vientre muscular colocando el instrumento en el punto de mayor grosor en sentido antero-posterior del vientre muscular. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Área de sección del vientre muscular:** Se realizaron cortes transversales de 1 cm de grosor a los vientres musculares (ver anexo 1). A continuación se seleccionó el corte donde el vientre muscular fuera mayor para cada músculo (cabeza corta y larga del Bíceps femoral, Semimembranoso y Semitendinoso). Posteriormente se fotografió cada corte por su cara superior e inferior según protocolo fotográfico (ver anexo 2) y se midió el área del vientre muscular utilizando el programa ImageJ 1.51 j8 (software de procesamiento, edición y análisis de imágenes digitales). La unidad de medida utilizada fue en milímetros<sup>2</sup>.

- **Longitud uniones miotendinosas:** Utilizando cinta métrica se midió la longitud de las uniones miotendinosas, considerando como referencia la longitud de la unión músculo-tendón desde su inicio hasta su terminación. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Longitud del tendón proximal:** Utilizando cinta métrica se midió desde el punto en el que el tendón proximal se hace visible dentro del músculo hasta el punto en que se insertaba proximalmente en el hueso, midiendo la longitud de la porción tensil completa. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Longitud del tendón distal:** Utilizando cinta métrica se midió desde el punto en el que el tendón distal se hace visible dentro del músculo hasta el punto en que se insertaba distalmente en el hueso, midiendo la longitud de la porción tensil completa. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Número de nervios por vientre muscular:** Se realizó el conteo de los nervios que alcanzaban cada vientre muscular. Para ello se identificó el nervio Ciático lateralmente al Tendón Conjunto Isquiotibial y se hizo la disección de su trayecto y el de los ramos nerviosos que se originaban en él e ingresaban a cada vientre muscular, registrando el número de nervios y en cuál tercio del vientre muscular ocurría la penetración nerviosa.
- **Número de pedículos vasculares por vientre muscular:** Se realizó el conteo de los pedículos vasculares de cada vientre muscular. Para ello se identificaron mediante disección los pedículos vasculares que ingresaban en cada vientre, registrando el número y origen vascular de cada pedículo.
- **Estudio comparativo de las características morfológicas de los músculos isquiotibiales:** Se realizaron comparaciones entre los músculos Semitendinoso, Semimembranoso y las cabezas corta y larga del Bíceps femoral. Para esta comparación se utilizaron parámetros morfológicos cualitativos y cuantitativos.

- **Estudio comparativo por sexo:** Se realizaron comparaciones entre los músculos Semitendinoso, Semimembranoso y las cabezas corta y larga del Bíceps femoral. Para esta comparación se utilizaron parámetros morfológicos cualitativos y cuantitativos, pero diferenciados por sexo masculino o femenino.
- **Área de origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral:** Mediante una regla milimetrada se midió la amplitud ocupada por el origen del músculo Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral. El punto de referencia considerado como distal fue la fibra muscular más inferior del Semitendinoso que se originaba en la cabeza larga del Bíceps femoral, y el punto de referencia proximal fue la fibra muscular más superior que se extendiera oblicuamente del Semitendinoso al Bíceps femoral. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Diámetro transversal del grupo fibras del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral:** Utilizando pie de metro (o pie de rey) se midió el diámetro transversal del grupo de fibras del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral. Como referencia se utilizaron los bordes medial y lateral de este grupo de fibras en el lugar donde se diferenciaban del Semitendinoso. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Diámetro anteroposterior del grupo fibras del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral:** Utilizando pie de metro (o pie de rey) se midió el diámetro anteroposterior del grupo de fibras del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral. Como puntos de referencia se utilizaron las caras anterior y posterior de las fibras antes de alcanzar el Bíceps femoral. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.

- **Ángulo de penación de las fibras del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral:** Utilizando un goniómetro se midió el ángulo de penación de las fibras del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral. Para ello se posicionó el goniómetro sobre ambos músculos, dejando el brazo fijo del goniómetro sobre el vientre muscular del Bíceps femoral, paralelo al área de origen del Semitendinoso, y el brazo móvil sobre las fibras centrales del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral. La unidad de medida utilizada fue en grados.
- **Diagrama de descomposición de fuerza del origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral para el análisis biomecánico:** A través de un diagrama bidimensional de descomposición de fuerzas se estableció la dirección y sentido de los componentes vectoriales de las fibras del Semitendinoso para ver cómo influían en la función mecánica final de la cabeza larga del Bíceps femoral.
- **Conformación morfológica del Tendón Conjunto Isquiotibial:** Se realizó mediante la observación macroscópica, determinando si la constitución del Tendón Conjunto Isquiotibial estaba hecha por fibras musculares, tendinosas o ambas.
- **Unión osteotendinosa macroscópica del Tendón Conjunto Isquiotibial:** Se analizó mediante observación macroscópica cómo se realizaba la inserción proximal de los músculos Semitendinoso y cabeza larga del músculo Bíceps femoral en la tuberosidad isquiática, determinando si la unión era tendón-hueso o músculo-hueso.
- **Organización anatómica y relación con estructuras vecinas del Tendón Conjunto Isquiotibial:** Se analizó mediante observación macroscópica la posición y relaciones anatómicas que establecen los elementos que conforman el Tendón Conjunto Isquiotibial.

- **Longitud del Tendón Conjunto Isquiotibial:** Utilizando una regla flexible milimetrada se realizó la medición de la longitud del Tendón Conjunto Isquiotibial. La regla se posicionó en la línea media del tendón, considerando como punto de referencia proximal la inserción en la tuberosidad isquiática y como punto de referencia distal la unión miotendinosa proximal de la cabeza larga del Bíceps femoral. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Diámetro transversal del Tendón Conjunto Isquiotibial:** Utilizando un pie de metro (pie de rey) se procedió a medir el diámetro transversal del Tendón Conjunto Isquiotibial. Para ello se realizó una segmentación de la longitud total del tendón en tres tercios y se midió el grosor del extremo superior del tercio proximal, en la parte central del tercio medio y en el extremo inferior del tercio distal. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.
- **Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial:** Se realizaron cortes transversales de 1 cm de espesor al Tendón Conjunto Isquiotibial a tres niveles (tercio superior, tercio medio y tercio inferior) (ver anexo 1). Posteriormente se fotografió cada corte por su cara inferior según protocolo fotográfico (ver anexo 2). En la fotografía se midió el área total del Tendón Conjunto Isquiotibial, el área que corresponde al tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral, del Semitendinoso y adicionalmente del Semimembranoso. Para ello se utilizó el programa ImageJ 1.51 j8. La unidad de medida utilizada fue en milímetros<sup>2</sup>.
- **Estudio del Tendón Intramuscular:** Se realizaron cortes transversales de 1 cm de grosor a cada músculo del grupo isquiotibial (ver anexo 1). Luego se fotografió cada corte por su cara superior e inferior utilizando un protocolo fotográfico diseñado para esta experiencia (ver anexo 2). A continuación, se realizó seguimiento del tendón proximal y distal a nivel intramuscular en la secuencia fotográfica construida, registrando si existía continuidad macroscópica entre el tendón proximal y el tendón distal de acuerdo al modelo planteado por *Dufour & Pillu (2006)*.

## **Comentarios sobre hechos particulares**

### **Comentario sobre número de muestras de vasos y nervios**

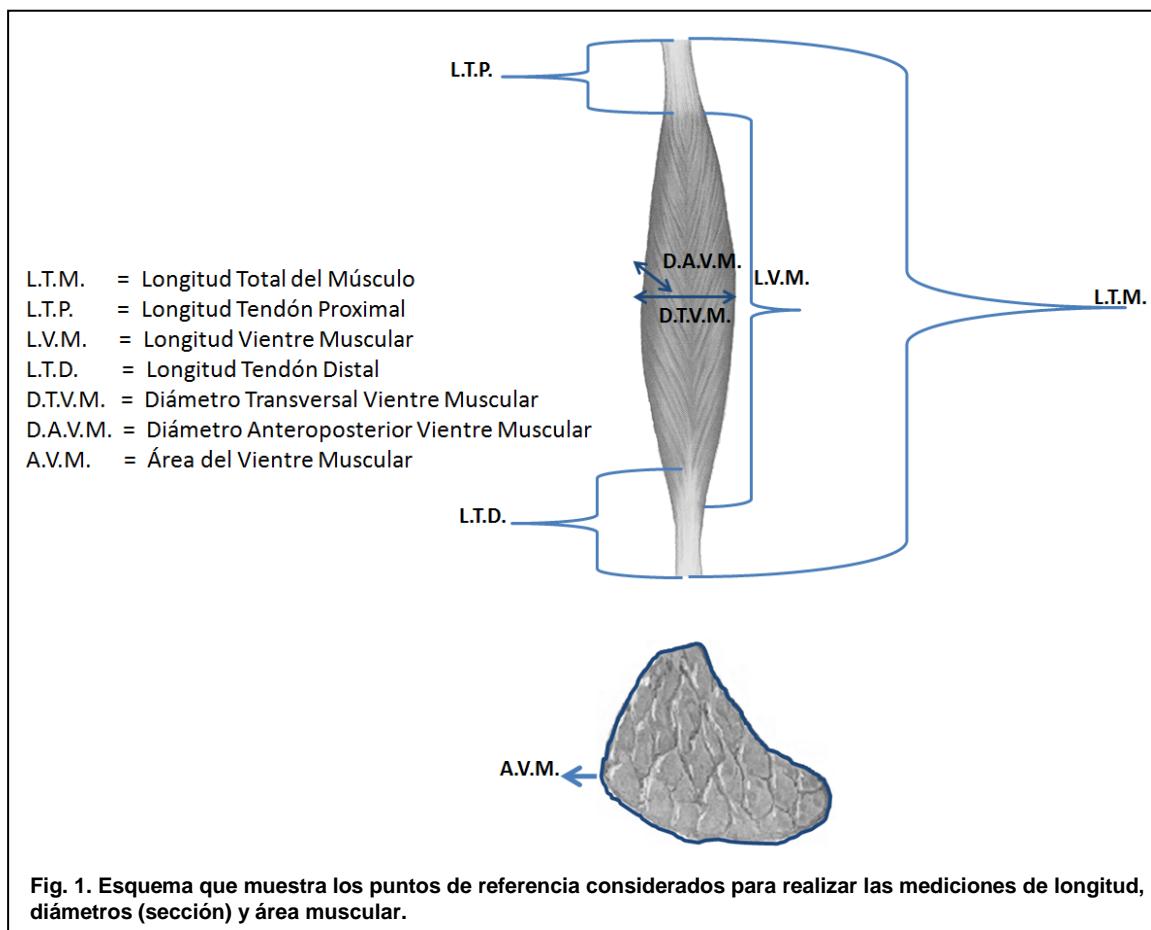
La preparación codificada como “R893” fue utilizada para evaluar posibles procedimientos de estudio de imagen, específicamente Resonancia Magnética y Ecografía. Estos procedimientos no dejaron la muestra en las condiciones apropiadas para realizar el estudio de vasos y nervios. Por tal motivo, el estudio estadístico de vascularización e inervación se hizo con 34 de las 35 piezas originales.

### **Comentario sobre redacción de términos anatómicos**

Para facilitar la lectura y destacar las variables de estudio, las estructuras anatómicas incluidas en la Terminología Anatómica Internacional (*FIPAT, 2019*) que son estudiadas en esta investigación, llevan la primera letra de su nombre en mayúscula. Las estructuras anatómicas no estudiadas llevan todo el nombre en minúscula.

## Esquema de Parámetros de Medición

Los parámetros para medir las longitudes y diámetros del músculo se muestran gráficamente a continuación; y también se muestran las abreviaturas utilizadas para referirse a cada parámetro (figura 1).



## **6. ESTUDIO MICROSCÓPICO**

El estudio anatómico macroscópico fue complementado con el estudio microscópico, con el objetivo de poner de manifiesto inserciones tendinosas, mediante tinciones con Tricrómico de Masson, variante de Goldner. Estas preparaciones histológicas se estudiaron mediante microscopía óptica.

Para este estudio se utilizaron 10 muslos pertenecientes a la muestra original de los 35 utilizados para el estudio macroscópico. De cada muslo se extrajeron los músculos isquiotibiales desde su origen hasta su inserción, a continuación, los músculos fueron seccionados transversalmente obteniéndose cortes de 1 cm de grosor (ver anexo 1). Posteriormente se seleccionaron 20 cortes, 10 de la unión osteotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial a nivel de la tuberosidad isquiática y 10 del origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Biceps femoral.

Las muestras fueron postfijadas mediante inmersión en 60 ml de formaldehído tamponado al 10% durante 24 horas.

### **6.1. Procedimiento Histológico**

Las muestras fueron procesadas siguiendo el protocolo estándar para tejido fijado en formaldehído tamponado al 10%. Este proceso consiste en un lavado previo de las muestras en alcohol de 75° para eliminar el exceso de fijador. Posteriormente los tejidos son deshidratados por medio de alcoholes de graduación ascendente (alcoholes de 96° y 100°), inmersión en un líquido intermediario (xilol) y finalmente en la impregnación del tejido (parafina), inclusión y corte a 10 micras.

Los cortes obtenidos fueron desparafinados y rehidratados para coloración con técnica Tricrómico de Masson, variante de Goldner (ver anexo 3).

### **6.2. Variables de Estudio**

- Observación microscópica de la unión osteotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial:**

Se realizaron cortes longitudinales de 10 micras, a nivel de la inserción del Tendón Conjunto Isquiotibial en la tuberosidad isquiática. Mediante microscopía óptica se determinó el tejido de unión entre Semitendinoso y hueso. La tinción utilizada fue

Tricrómico de Masson, variante de Goldner, que permite poner de manifiesto el tejido conjuntivo (ver anexo 3). Las imágenes fueron obtenidas mediante microscopio óptico (Arquimed, modelo Olympus BX51) a 200x. A continuación, y utilizando una regla microscópica se midió el espesor de este tejido. La unidad de medida utilizada fue en milímetros.

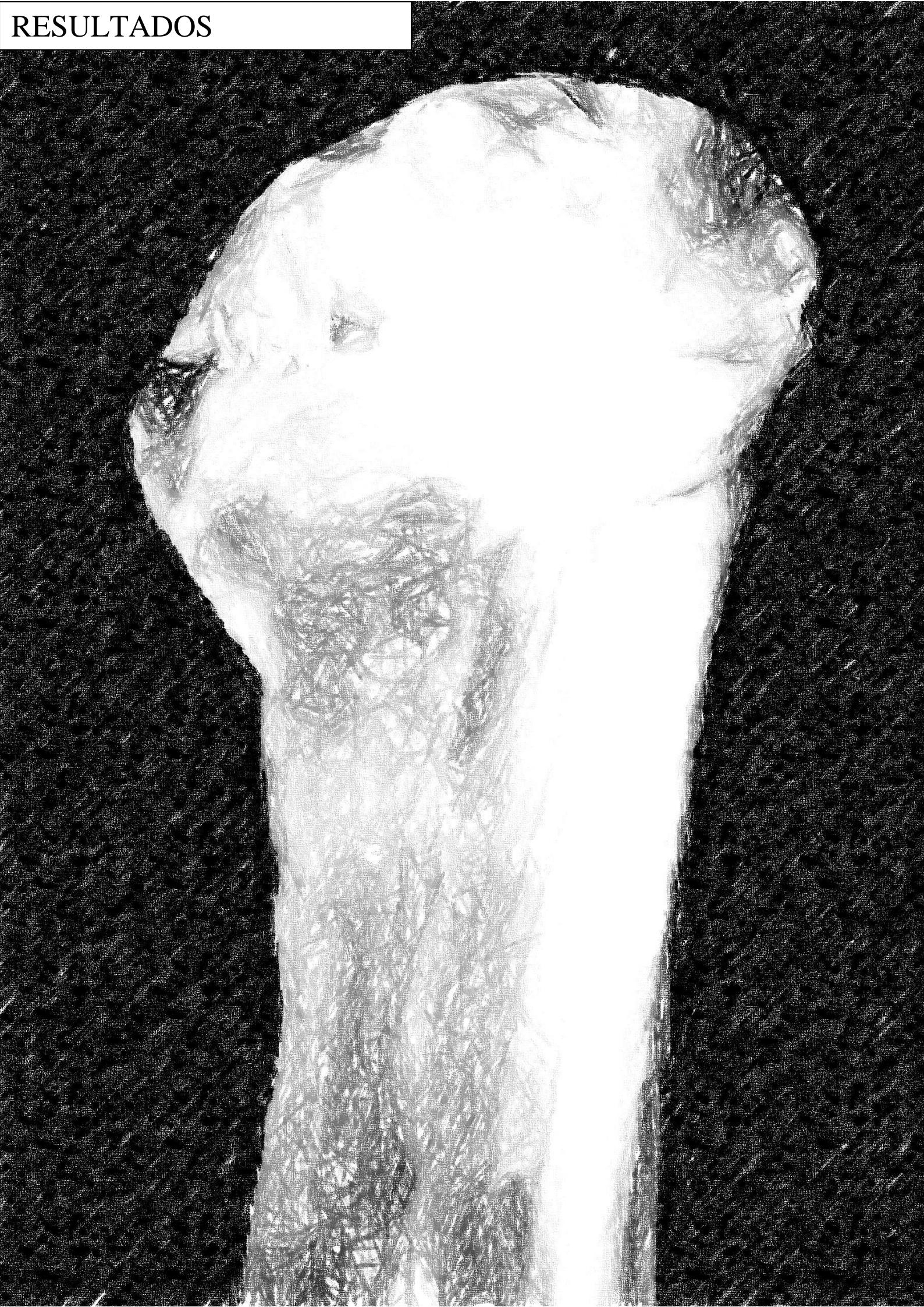
- **Observación microscópica del origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral:** Para complementar la observación macroscópica del origen estudiado, se realizaron cortes transversales de 10 micras en el tercio inferior del Tendón Conjunto Isquiotibial. Mediante microscopía óptica se determinó el tejido de unión entre Semitendinoso y la cabeza larga del Bíceps femoral. La tinción utilizada fue Tricrómico de Masson, variante de Goldner, que permite poner de manifiesto el tejido conjuntivo (ver anexo 3). Las imágenes fueron obtenidas mediante microscopio óptico (Arquimed, modelo Olympus BX51) a 200x y 400x.

### **6.3. Análisis Estadístico**

Los datos obtenidos de cada una de las observaciones y mediciones fueron introducidos en una hoja de cálculo Excel 2010, previamente diseñada, y posteriormente analizados estadísticamente con el software SPSS 24.0. En este análisis estadístico se realizó T-Test para comparar dos grupos y ANOVA test para comparar múltiples grupos (Prueba de comparaciones múltiples de Tukey). Se calcularon rangos, frecuencias, medidas de tendencia central y desviación estándar utilizando un intervalo de confianza del 95%.



# RESULTADOS





## RESULTADOS

### 1. ANATOMÍA MACROSCÓPICA

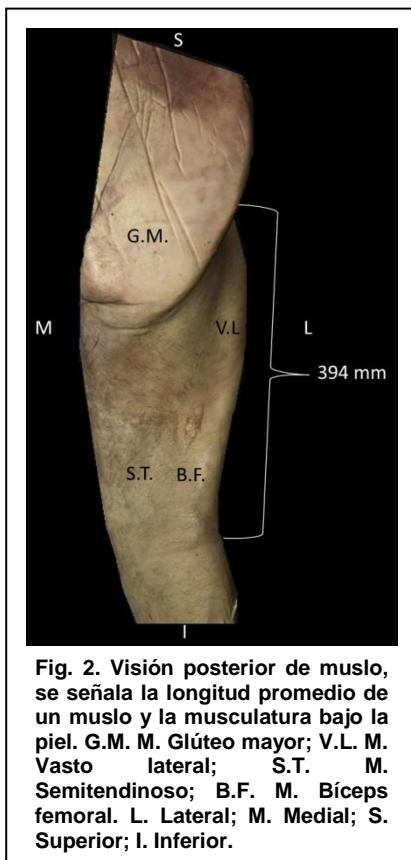
El estudio se realizó en 35 muslos pertenecientes a personas adultas cuya edad promediaba los 78,69 años ( $\pm 17,2$ ), de los cuales 17 correspondían al sexo masculino y 18 al sexo femenino (**tabla 1**). La longitud de estos muslos fue medida desde el trocánter mayor (localizado a nivel de la articulación coxofemoral) hasta la articulación de la rodilla, su longitud promedio fue de 394 mm ( $\pm 25,3$ ) con un rango desde 340 mm hasta 450 mm (**figura 2**).

**Tabla 1. Distribución de la muestra**

<b>Edad</b>	<b>Años</b>	<b>D.E.</b>
Media	78,69	$\pm 17,2$
Rango	44-94	
<b>Sexo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Masculino	17	48,6
Femenino	18	51,4
Total	35	100
<b>Lateralidad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Derecho	20	57,1
Izquierdo	15	42,9
Total	35	100

## 1.1. Piel

La piel del muslo era delgada, de carácter móvil en la cara posterior y medial, y muy fija por tejido conjuntivo en la cara lateral (**figura 2**).



## 1.2. Tejido celular subcutáneo

El tejido celular subcutáneo era de cantidad variable según el sujeto. Sin embargo, se identificó un patrón de distribución, en el cual se observó que la cantidad de tejido adiposo era más abundante en el extremo superior del muslo, específicamente en las caras medial y posterior. Esta última, en continuidad con la región glútea, fue donde mayor cantidad de tejido adiposo se observó, el cual se encontraba en un estado sólido y levemente licuado. El tejido adiposo disminuía gradualmente hacia distal, observándose una capa de consistencia compactada en el tercio inferior del muslo, sobre todo en las proximidades de la fosa poplítea. Dentro del tejido celular subcutáneo se observó, de manera constante, la vena safena mayor recorriendo la cara medial del muslo; además se observaron finos nervios cutáneos procedentes del nervio cutáneo femoral posterior. A nivel de fosa poplítea se observó la vena safena menor y los nervios cutáneos surales.

### **1.3. Fascia lata**

La Fascia lata se pudo apreciar al retirar el tejido celular subcutáneo. Esta presentó un aspecto fibroso y un color blanco nacarado, de consistencia firme e inelástica y muy adherida a la musculatura subyacente, marcando surcos a nivel de sus inserciones óseas (**figura 3**). Su textura era más suave en el extremo proximal que distal, lugar donde el tejido adiposo era más licuado y la lubricaba.

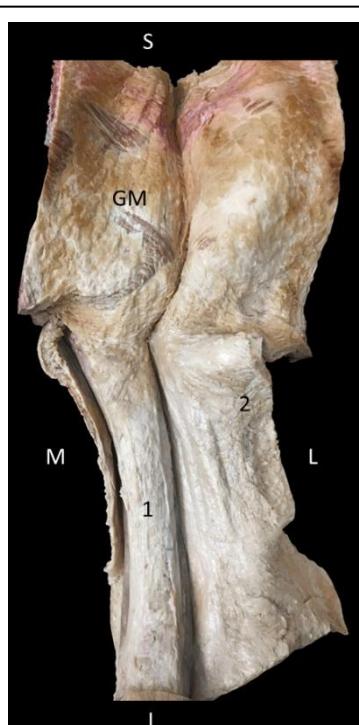
Por su superficie externa, en el tercio distal del muslo, se logró apreciar desdoblamientos fasciales para el nervio cutáneo sural medial, Fibular común y la porción terminal de la vena safena menor, así como un desdoblamiento fascial individual para los tendones distales del Bíceps femoral, Semitendinoso y Semimembranoso. En el caso de los tendones, estos desdoblamientos fasciales se confundían inferiormente con expansiones fibrosas que se proyectaban a la Fascia lata.

Al seccionar la Fascia lata se observó su superficie interna, permitiendo acceder a la musculatura del compartimento posterior del muslo. Durante este procedimiento se evidenció tejido conjuntivo extendido desde la cara interna de esta fascia hacia los vientres musculares y tendones, generando uniones íntimas con estas estructuras. Al continuar con la disección fue posible observar zonas en que la fascia llegaba al músculo para rodearlo; allí se pudo apreciar como se desdoblaba en dos hojas para envolverlo. Al seccionar parcialmente la Fascia lata conservando la parte que se desdoblaba para rodear al músculo, se generó artificiosamente un borde entre las dos hojas de desdoblamiento, cuyo contenido era adiposo. Estos bordes se evidenciaron en las caras mediales y laterales de los músculos Bíceps femoral, Semitendinoso y Semimembranoso.

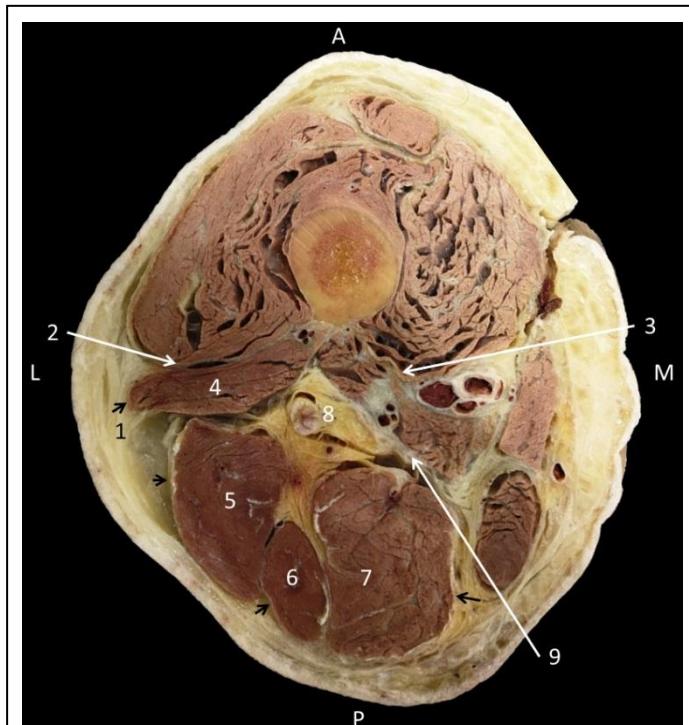
En el corte transversal de muslo se observó que la Fascia lata y el fémur formaban 3 compartimentos musculares, destacando la presencia de 2 tabiques intermusculares (lateral y medial) claramente definidos y ubicados posteriormente a los músculos vasto lateral y vasto medial (del cuádriceps femoral), evidenciando con claridad los compartimentos anterior y posterior del muslo. Adicionalmente, en la parte medial del compartimento posterior, se observaron los músculos aductores rodeados por un tejido conjuntivo laxo interpuesto entre este grupo muscular y los isquiotibiales, el cual separaba ambos grupos musculares, correspondiendo a un tabique intermuscular intermedio. A diferencia de los otros tabiques

intermusculares, este tabique era más delgado, no siendo una estructura fácilmente reconocible entre el tejido adiposo. En el compartimento posterior del muslo, entre las masas musculares envueltas por Fascia lata se observó un espacio relleno de tejido adiposo que contenía al nervio Ciático y pequeños vasos sanguíneos (**figura 4**).

Por último, entre las hojas de la Fascia lata se observaron infiltraciones de grasa disgregadas en torno a los músculos que envolvía.



**Fig. 3.** Visión posterior de muslo, se observa el compartimento posterior cerrado por la Fascia lata. GM. M. Glúteo mayor; 1. Fascia lata; 2. Piel rebatida con tejido celular subcutáneo. S. Superior; I. Inferior; L. Lateral; M. Medial.



**Fig. 4.** Corte transversal de muslo a nivel del tercio medio, se observa por inferior el compartimento posterior cerrado por la Fascia lata y las dependencias de ésta rodeando la musculatura. 1. Fascia lata; 2. Tabique intermuscular lateral; 3. Tabique intermuscular medial; 4. Cabeza corta del Biceps femoral; 5. Cabeza larga del Biceps femoral; 6. M. Semitendinoso; 7. M. Semimembranoso; 8. N. Ciático; 9. Tabique intermuscular intermedio. Las flechas negras señalan las vainas conjuntivas de cada vientre muscular. A. Anterior; P. Posterior; L. Lateral; M. Medial.

#### 1.4. Compartimento Posterior del Muslo

Contenidos en la Fascia lata se encontraron los músculos del compartimento posterior del muslo, organizados en dos planos y cada plano con dos vientres musculares. El plano superficial contenía la cabeza larga del Biceps femoral, situada lateralmente, y al Semitendinoso, situado medialmente. El plano profundo contenía la cabeza corta del Biceps

femoral lateralmente y al Semimembranoso medialmente. De esta manera la cabeza larga del Bíceps femoral se relacionaba profundamente con la cabeza corta y medialmente con el músculo Semitendinoso, con el cual compartía el mismo plano muscular; además, en el extremo proximal, el tendón de la cabeza larga se colocaba superficialmente respecto al tendón del Semimembranoso. El Semitendinoso se relacionaba profundamente con el Semimembranoso desde su inserción proximal hasta la distal y lateralmente, en el mismo plano, con la cabeza larga del Bíceps femoral. Por último, el Semimembranoso se relacionaba superficialmente con el Semitendinoso, lateralmente, en el mismo plano, con la cabeza corta del Bíceps femoral y en su extremo superior su tendón se relacionaba superficialmente con el tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral.

La visión posterior de este compartimento dejó en evidencia la disposición diferente de la cabeza larga del Bíceps femoral respecto al Semitendinoso y Semimembranoso. Desde esta perspectiva fue posible notar como la cabeza larga del Bíceps femoral cruzaba la línea media del muslo de superior a inferior y de medial a lateral para llegar a la cabeza de la fíbula, quedando en una posición oblicua respecto al Semitendinoso y Semimembranoso, que no cruzaban esta línea y se disponían mediales a ella (**figura 5**). Esto se debe a los diferentes puntos de inserción: para los tres músculos la inserción proximal era en la tuberosidad isquiática, sin embargo, la inserción distal del Bíceps femoral en la cabeza fibular hacía que éste músculo cruzara la línea media del muslo generando la posición ya mencionada, en tanto que la inserción tibial del Semitendinoso y Semimembranoso los dejaba posicionados verticalmente, quedando relativamente paralelos a la línea media del muslo (**figura 6**).

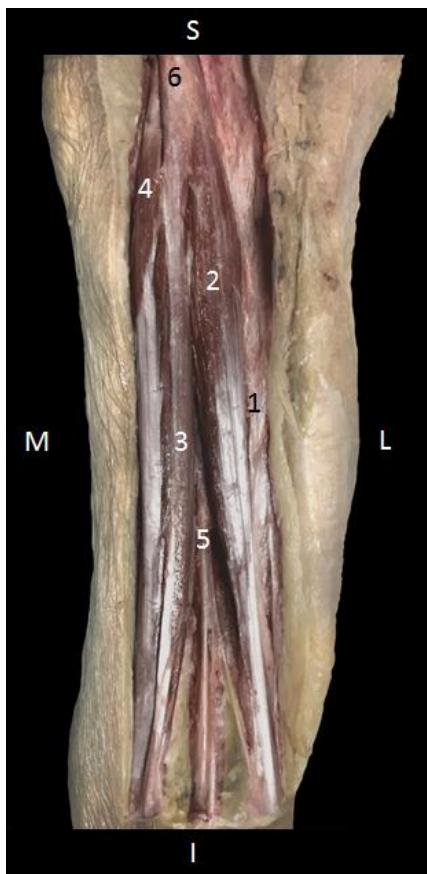


Fig. 5. Músculos del compartimento posterior del muslo. 1. Cabeza corta del Bíceps femoral; 2. Cabeza larga del Bíceps femoral; 3. M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso; 5. Bifurcación del nervio Ciático; 6. Tendón Conjunto Isquiotibial. M. Medial; L. Lateral; S. Superior; I. Inferior.

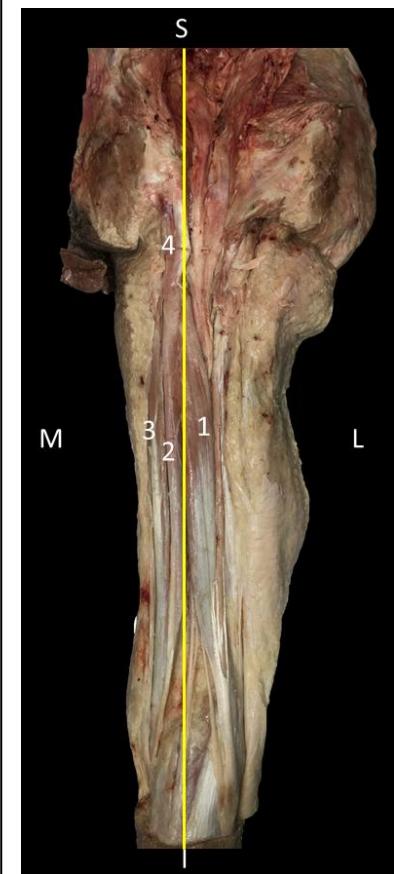


Fig. 6. Visión del compartimento posterior del muslo. La línea amarilla representa la línea media del muslo. 1. Cabeza larga del Bíceps femoral; 2. M. Semitendinoso; 3. M. Semimembranoso; 4. Tendón Conjunto Isquiotibial. M. Medial; L. Lateral; S. Superior; I. Inferior.

En el tercio proximal del compartimento posterior se observó la inserción de los músculos isquiotibiales en la tuberosidad isquiática, evidenciando variaciones en cuanto a la conformación del Tendón Conjunto Isquiotibial (se describe más adelante, en el apartado “Tendón Conjunto Isquiotibial”). Lateral al Tendón Conjunto Isquiotibial y al tendón proximal del Semimembranoso se observó al nervio Ciático, el cual se encontró en todos los casos como un solo nervio, sin variaciones de conformación ni de trayecto, acompañado por su arteria satélite colocada sobre su cara posterior. A este nivel el nervio Ciático se encontraba cubierto por un desdoblamiento de Fascia lata que procedía de la cabeza larga del Bíceps femoral y lo dejaba rodeado por tejido celuloadiposo.

En el tercio medio del muslo, los vientres musculares se encontraban envueltos por la Fascia lata y conectados entre sí por ella (**figura 7**). Alrededor de esta fascia se observó tejido adiposo

que rellenaba los espacios vacíos dejados por los músculos; Por uno de estos espacios centrales transitaba el nervio Ciático (**figura 8**).

En el tercio distal las inserciones no presentaron variaciones, encontrándose en la fosa poplítea una cantidad variable de grasa que ocultaba, en mayor o menor medida, los bordes mediales de los músculos y tendones que la delimitan, así como a los nervios Tibial y Fibular común. Los vasos Poplíteos se localizaron siempre profundos respecto al nervio Tibial.



Fig. 7. Musculatura del compartimento posterior del muslo. A. Muestra los músculos cubiertos por las hojas de desdoblamiento de la Fascia lata. B. Muestra los músculos sin Fascia lata, conservando la fascia de separación entre Semitendinoso y Semimembranoso. C. Muestra la hoja de desdoblamiento que genera separación muscular. Para las 3 imágenes: 1. M. Biceps femoral; 2. M. Semitendinoso; 3. M. Semimembranoso; 4. Hoja de desdoblamiento de la Fascia lata para revestimiento muscular.

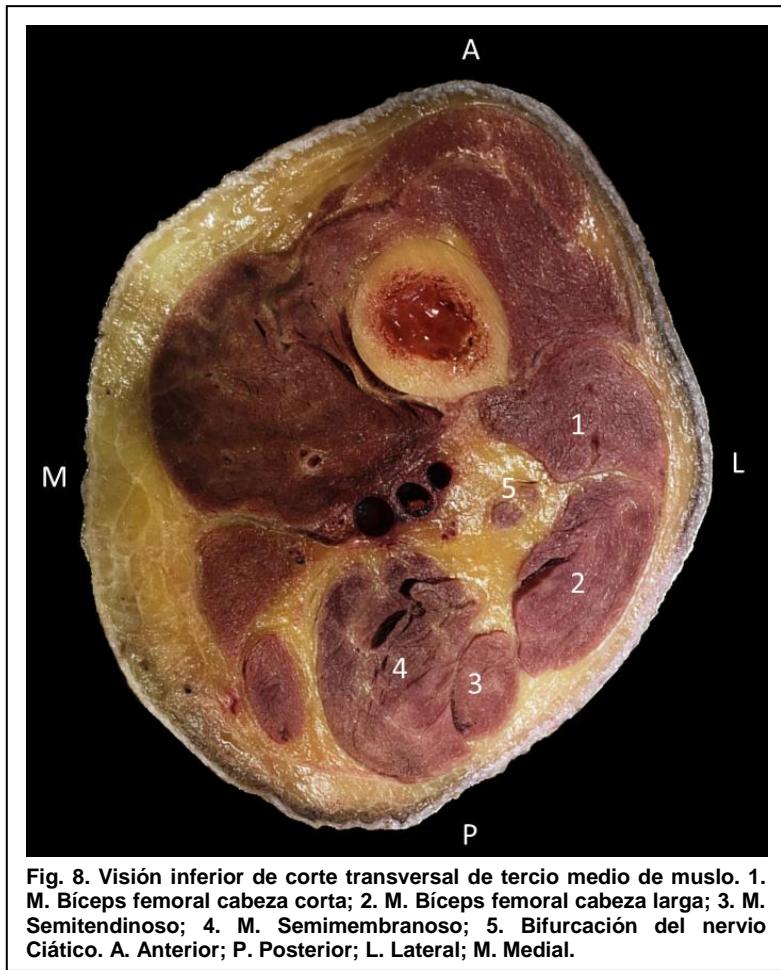
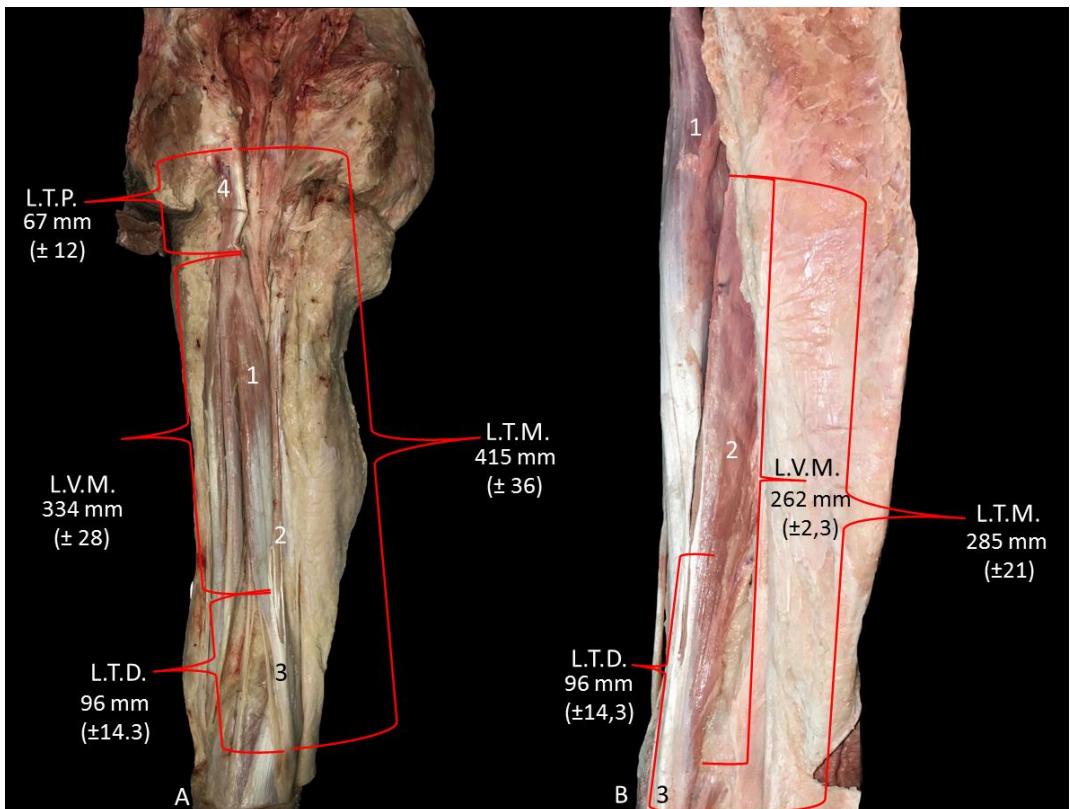


Fig. 8. Visión inferior de corte transversal de tercio medio de muslo. 1. M. Bíceps femoral cabeza corta; 2. M. Bíceps femoral cabeza larga; 3. M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso; 5. Bifurcación del nervio Ciático. A. Anterior; P. Posterior; L. Lateral; M. Medial.

### 1.5. Músculo Bíceps femoral

El músculo Bíceps femoral estaba compuesto por dos vientres musculares (llamados cabezas) que compartían un tendón distal. La cabeza larga se observó extendida entre la tuberosidad isquiática y la cabeza fibular, alcanzando una longitud total de 415 mm ( $\pm 36$ ); la cabeza corta se extendía desde la línea áspera del fémur hasta la cabeza fibular, alcanzando una longitud de 285 mm ( $\pm 21$ ). Este músculo se posicionaba lateralmente dentro del compartimento posterior del muslo, ocupando dos planos musculares: la cabeza larga superficialmente respecto a la cabeza corta, en el mismo plano que el músculo Semitendinoso; la cabeza corta profunda respecto a la cabeza larga, en el mismo plano del Semimembranoso (**figura 9**).



**Fig. 9.** En A se observa al músculo Biceps femoral desde la vista posterior del muslo y en B desde la vista lateral. A. 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. Cabeza corta del Biceps femoral; 3. Tendón distal del Biceps femoral; 4. Tendón Conjunto Isquiotibial. B. 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. Cabeza corta del Biceps femoral; 3. Tendón distal del Biceps femoral. Para ambas imágenes: L.T.M. Longitud Total del Músculo; L.T.P. Longitud Tendón Proximal; L.V.M. Longitud Vientre Muscular; L.T.D. Longitud Tendón Distal.

### 1.5.1. Cabeza larga del Biceps femoral

La cabeza larga del Biceps femoral se disponía superficialmente respecto a la cabeza corta, correspondiendo a un músculo fusiforme y de arquitectura paralela. Su viente muscular alcanzó en promedio una longitud de 334 mm ( $\pm 28$ ) y en la porción mayor del viente muscular un diámetro transversal de 32,9 mm ( $\pm 6$ ), un diámetro anteroposterior de 14,5 mm ( $\pm 4,2$ ) y un área de 44,7 mm<sup>2</sup> ( $\pm 18$ ) (**tabla 2**). Sus fibras musculares se disponían en el plano sagital, longitudinales y paralelas a sus tendones, apreciándose el extremo proximal del viente muscular más estrecho que el extremo distal. El extremo proximal del viente recibía, por su cara profunda y medial, fibras musculares procedentes del Semitendinoso antes de formar el Tendón Conjunto Isquiotibial. El extremo distal del viente tenía fibras musculares longitudinales que se continuaban con fibras tendinosas para formar el tendón distal. La longitud de esta unión miotendinosa distal era de 82,3 mm ( $\pm 23,8$ ) (**figura 10**).

**Tabla 2. Medidas de la cabeza larga del Bíceps femoral**

Milímetros (mm)	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Longitud total del músculo	350	490	415	36
Longitud vientre muscular	285	390	334	28
Área del vientre muscular ( $\text{mm}^2$ )	19,1	103,9	44,7	18
Longitud unión miotendinosa distal	25	160	82,3	23,8
Diámetro transversal del vientre muscular	22	54	32,9	6
Diámetro anteroposterior del vientre muscular	9	28	14,5	4,2

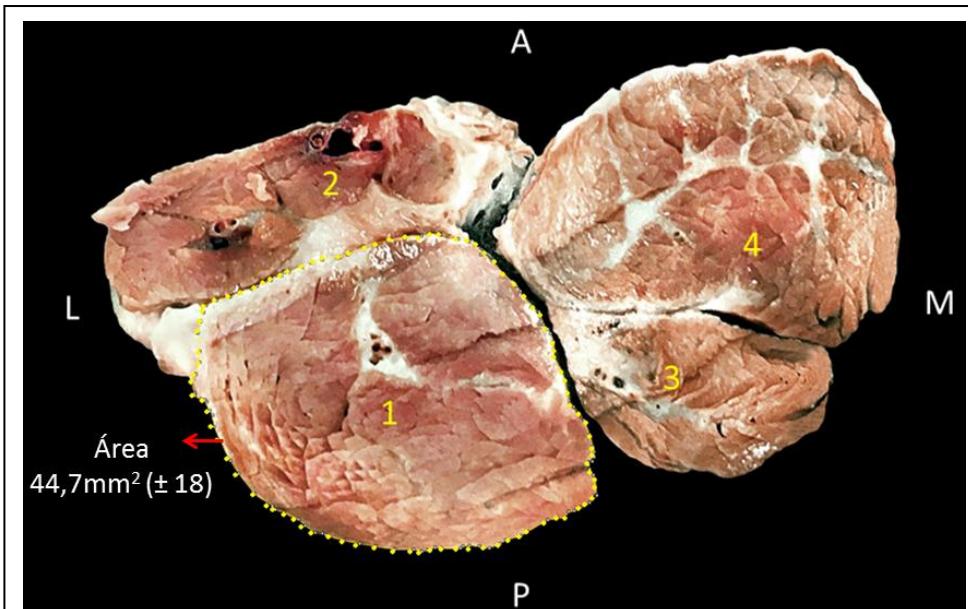


Fig. 10. Vista inferior de un corte transversal de los músculos isquiotibiales, la línea punteada representa la delimitación del área del BFcl y la flecha indica el tamaño de ésta. 1. Cabeza larga del Bíceps femoral; 2. Cabeza corta del Bíceps femoral; 3 M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso. A. Anterior; P. Posterior; L. Lateral; M. Medial.

El tendón proximal de la cabeza larga se relacionaba medialmente con el Semitendinoso, al cual se unía para formar el Tendón Conjunto Isquiotibial, y lateralmente con el nervio Ciático. Su forma era levemente cilíndrica y aplanada en el sentido anteroposterior. Su inserción en la tuberosidad isquiática era inferior y medial respecto al Semimembranoso y sus fibras se expandían mezclándose con fibras del ligamento sacrotuberoso. El tendón proximal se extendía distalmente hasta el tercio superior del vientre muscular en el 48,6% de los casos y hasta el tercio medio en el 51,4% de los casos (**tabla 3**).

**Tabla 3. Localización de los tendones respecto al vientre en la cabeza larga del Bíceps femoral**

Nivel de localización	Tercio Superior	Tercio Medio	Tercio Inferior	Total
Localización Tendón Proximal (n)	17	18	0	35
Porcentaje (%)	48,6	51,4	0	100
Localización Tendón Distal (n)	0	0	35	35
Porcentaje (%)	0	0	100	100

En el 100% de los casos se observó la presencia de tendones intramusculares en el vientre de la cabeza larga del Bíceps femoral, generados por engrosamientos de perimisio. Sin embargo, en ninguna muestra se encontró continuidad entre tendón proximal y tendón distal (**tabla 4**).

**Tabla 4. Estudio tendón intramuscular en la cabeza larga del Bíceps femoral**

	Frecuencia	Porcentaje
Presencia de tendón intramuscular	35	100
Tendón intramuscular continuo	0	0

### 1.5.2. Cabeza corta del Bíceps femoral

La cabeza corta del Bíceps femoral se disponía profunda respecto a la cabeza larga, en íntima relación lateral con la Fascia lata, en la cual se insertaba. Correspondía a un músculo fusiforme y de arquitectura semipeniforme. Sus fibras musculares se disponían en el plano sagital, de ellas, las superiores tenían una disposición longitudinal, a diferencia de sus fibras inferiores que se disponían oblicuamente entre el labio lateral de la línea áspera y el tendón distal. Su vientre muscular tuvo en promedio un diámetro longitudinal de 262 mm ( $\pm 23$ ) y en la porción mayor del vientre muscular un diámetro transversal de 23,7 mm ( $\pm 4,7$ ), un diámetro anteroposterior de 7,3 mm ( $\pm 2,8$ ) y un área de 29,6 mm<sup>2</sup> ( $\pm 11$ ) (**tabla 5**). El extremo distal del vientre tenía fibras musculares oblicuas que se continuaban con fibras tendinosas; La longitud de esta unión miotendinosa distal fue de 62 mm ( $\pm 28,4$ ) (**figura 11**).

**Tabla 5. Medidas de la cabeza corta del Bíceps femoral**

Milímetros (mm)	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Longitud total del músculo	240	325	285	21
Longitud vientre muscular	220	310	262	23
Área del vientre muscular (mm <sup>2</sup> )	10,5	58,3	29,6	11
Longitud unión miotendinosa distal	10	110	62	28,4
Diámetro transversal del vientre muscular	15	31	23,7	4,7
Diámetro anteroposterior del vientre muscular	4	15	7,3	2,8

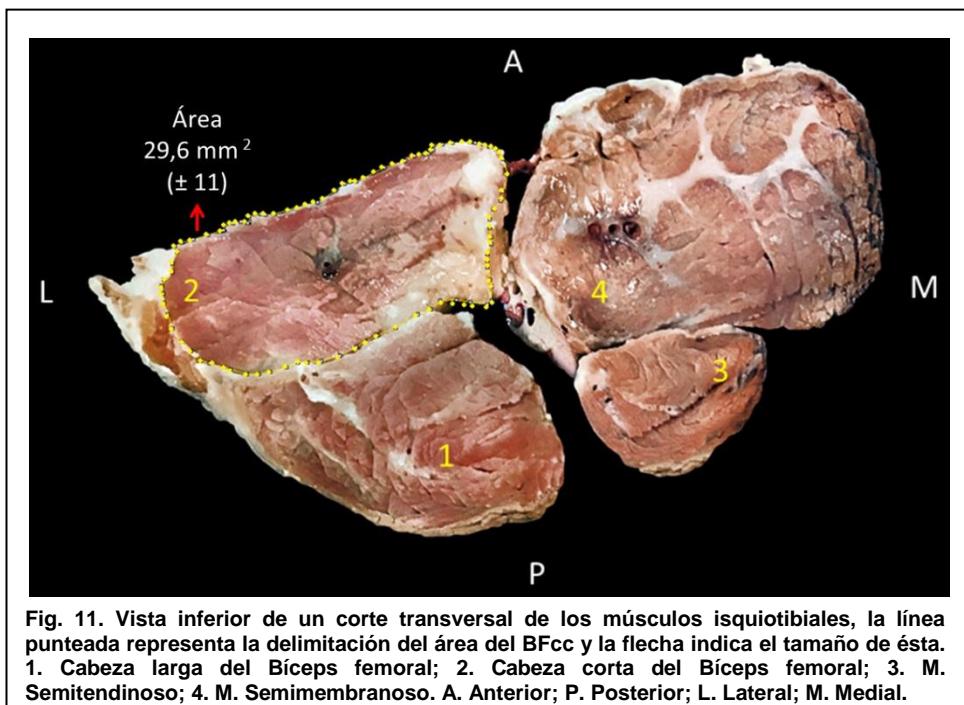


Fig. 11. Vista inferior de un corte transversal de los músculos isquiotibiales, la línea punteada representa la delimitación del área del BFcc y la flecha indica el tamaño de ésta.  
1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. Cabeza corta del Biceps femoral; 3. M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso. A. Anterior; P. Posterior; L. Lateral; M. Medial.

La cabeza corta se insertaba proximalmente a lo largo del labio lateral de la línea áspera y en la fascia lata mediante cortas fibras tendinosas, sin apreciarse en ella un tendón proximal bien definido y único como en los otros músculos. En el 100% de los casos se observó la presencia de tendones intramusculares generados por engrosamientos de perimisio. Sin embargo, en ninguna muestra se encontró continuidad entre el tendón proximal y el tendón distal (**tabla 6**).

**Tabla 6. Estudio tendón intramuscular en la cabeza corta del Biceps femoral**

	Frecuencia	Porcentaje
Presencia de tendón intramuscular	35	100
Tendón intramuscular continuo	0	0

#### Tendón distal del M. Biceps femoral

El tendón distal de la cabeza larga comenzaba a desarrollarse en el tercio inferior del viente muscular en una transición de fibra muscular a fibra tendinosa. Esta transición de fibras se extendía hasta el tercio inferior del muslo, a nivel del vértice de la fosa poplítea, formando un tendón aplanado que se unía por su cara profunda y lateral al tendón distal de la cabeza corta. El tendón distal de la cabeza corta se originaba en la cara superficial del viente muscular ocupando el tercio inferior de éste. Inicialmente era delgado para hacerse ancho hacia el final del muslo, siendo sus fibras superiores las primeras en incorporarse y las inferiores las últimas.

Una vez que se unían los tendones distales de ambos vientres musculares se formaba un tendón cilíndrico de 96 mm ( $\pm 14,3$ ) de longitud cuyas fibras profundas procedían del tendón de la cabeza corta y las superficiales del tendón de la cabeza larga. El tendón distal se originó en el 100% de los casos en el tercio inferior de ambos vientres musculares (**tabla 7**). Este tendón se insertaba en la cara lateral de la cabeza fibular y extendía fibras al cóndilo lateral de la tibia.

**Tabla 7. Longitud total del tendón distal del M. Bíceps femoral**

Longitud en milímetros (mm)	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tendón distal del Bíceps femoral	70	130	96	14,3

#### **Inervación y vascularización de la cabeza larga del Bíceps femoral**

La inervación de la cabeza larga del Bíceps femoral estuvo dada por el nervio Tibial, cuyos ramos accedieron al vientre muscular por la cara profunda del músculo. En el 71% de los casos observamos 1 nervio y en el 29% 2 nervios, lo que en promedio dio 1,29 ( $\pm 0,46$ ) nervios para este vientre muscular (**tabla 8**). El punto de penetración muscular del nervio fue variable: en el 61,7% de los casos penetró en el tercio superior del vientre muscular (**figura 12**), en el 11,8% lo hizo en el tercio medio del vientre muscular y en el 26,5% lo hizo entre el tercio superior y el medio (**tabla 9**).

**Tabla 8. Número de nervios para la cabeza larga del Bíceps femoral**

Número de nervios	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Nervios para la cabeza larga	1	2	1,29	0,46

**Tabla 9. Distribución de nervios para la cabeza larga del Bíceps femoral**

Punto de penetración nerviosa	Frecuencia	Porcentaje
Tercio superior	21	61,7
Tercio medio	4	11,8
Tercio inferior	0	0
Unión tercio medio y tercio superior	9	26,5
Unión tercio medio y tercio inferior	0	0
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>

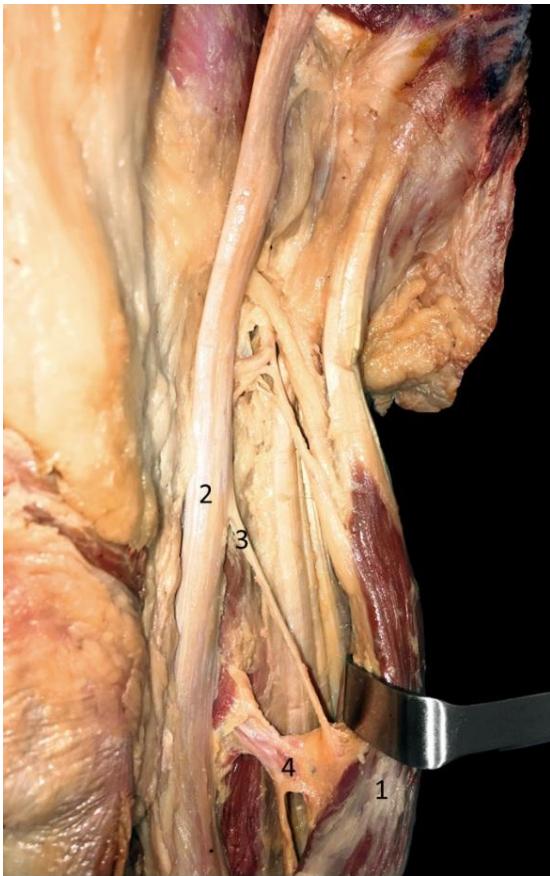


Fig. 12. Visión posterior y lateral de los isquiotibiales, se expone la inervación y vascularización de la cabeza larga del Bíceps femoral. 1. Cabeza larga del Bíceps femoral; 2. N. Ciático; 3. Nervio de la cabeza larga del Bíceps femoral; 4. Pedículo vascular.

La vascularización de la cabeza larga del Bíceps femoral procedió de 3 fuentes vasculares: de vasos Femorales profundos 3,03 ( $\pm 0,67$ ), de vasos Glúteos inferiores 0,74 ( $\pm 0,45$ ) y de vasos Poplíteos 0,26 ( $\pm 0,45$ ), dando una media de 4,03 pedículos vasculares para la cabeza larga del Bíceps femoral (**tabla 10**).

**Tabla 10. Número de pedículos vasculares para la cabeza larga del Bíceps femoral**

Fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0	1	0,74	0,45
Vasos Femorales profundos	2	4	3,03	0,67
Vasos Poplíteos	0	1	0,26	0,45
<b>Total</b>			<b>4,03</b>	

Para el 100% del aporte vascular de la cabeza larga del Bíceps femoral: el 75,29% ( $\pm$  11,20) era dado por los vasos Femorales profundos, el 18,19% ( $\pm$  11,71) por los vasos Glúteos inferiores y el 6,52% ( $\pm$  11,35) por los vasos Poplíticos (tabla 11).

**Tabla 11. Aporte vascular de la cabeza larga del Bíceps femoral**

Porcentaje de aporte vascular según fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0,00	33,33	18,19	11,71
Vasos Femorales profundos	50,00	100,00	75,29	11,20
Vasos Poplíticos	0,00	33,33	6,52	11,35
<b>Porcentaje Total</b>	<b>100,00</b>			

#### Inervación y vascularización de la cabeza corta del Bíceps femoral

La inervación de la cabeza corta del Bíceps femoral estuvo siempre dada por el nervio Fibular común; y en el 100% de los casos sólo por 1 nervio (tabla 12). Este nervio accedía al vientre muscular por su cara profunda y medial, aunque variaba el punto de penetración: en el 2,9% de los casos penetró por el tercio superior del vientre muscular, en el 64,7% lo hizo por el tercio medio (figura 13) y en el 32,4% lo hizo por el tercio inferior (tabla 13).

**Tabla 12. Número de nervios de la cabeza corta del Bíceps femoral**

Número de nervios	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Nervios de la cabeza corta	1	1	1,00	0

**Tabla 13. Distribución de nervios en la cabeza corta del Bíceps femoral**

Punto de penetración nerviosa	Frecuencia	Porcentaje
Tercio superior	1	2,9
Tercio medio	22	64,7
Tercio inferior	11	32,4
Unión tercio medio y tercio superior	0	0
Unión tercio medio y tercio inferior	0	0
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>



**Fig. 13.** Visión posterior de los isquiotibiales, se expone la inervación de la cabeza corta del Biceps femoral. 1. M. Biceps femoral cabeza corta; 2. N. Ciático; 3. Nervio de la cabeza corta del Biceps femoral; 4. N. Fibular común; 5. N. Tibial.

La vascularización de la cabeza corta del Biceps femoral procedió de 2 fuentes vasculares: de vasos Femorales profundos 1,82 ( $\pm 0,46$ ) y de vasos Poplíteos 1,03 ( $\pm 0,46$ ), dando una media de 2,85 pedículos vasculares para la cabeza corta del Biceps femoral (**tabla 14**).

**Tabla 14. Número de pedículos vasculares de la cabeza corta del Biceps femoral**

Fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0	0	0,00	0,00
Vasos Femorales profundos	1	3	1,82	0,46
Vasos Poplíteos	0	2	1,03	0,46
<b>Total</b>			<b>2,85</b>	

Para el 100% del aporte vascular de la cabeza corta del Bíceps femoral: el 64,95% ( $\pm$  15,18) era dado por los vasos Femorales profundos y el 35,05% ( $\pm$  14,18) por los vasos Poplíteos (**tabla 15**).

**Tabla 15. Aporte vascular de la cabeza corta del Bíceps femoral**

Porcentaje de aporte vascular según fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0,00	0,00	0,00	0,00
Vasos Femorales profundos	33,33	100,00	64,95	15,18
Vasos Poplíteos	0,00	66,67	35,05	14,18
<b>Porcentaje Total</b>	<b>100,00</b>			

## 1.6. Músculo Semitendinoso

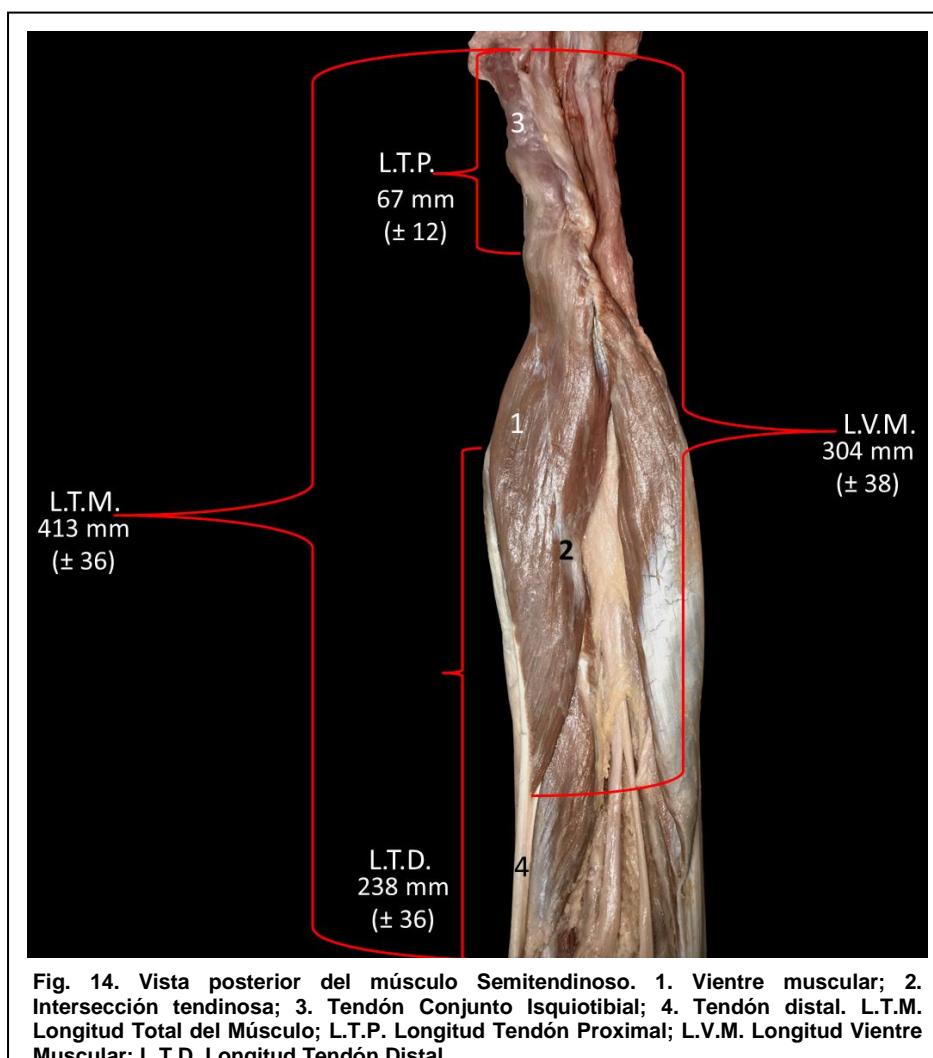
El músculo Semitendinoso se disponía superficialmente respecto al Semimembranoso y medialmente al Bíceps femoral. Correspondía a un músculo fusiforme y de arquitectura semipeniforme, extendido entre la tuberosidad isquiática y la tibia alcanzando una longitud promedio de 413 mm ( $\pm$  36). Su vientre muscular se observó más desarrollado en el extremo superior teniendo en promedio una longitud de 304 mm ( $\pm$  38), y en la porción mayor del vientre muscular un diámetro transversal de 26 mm ( $\pm$  5,9), un diámetro anteroposterior de 11,9 mm ( $\pm$  2,2) (**figura 14 y tabla 16**) y un área de 32,8 mm<sup>2</sup> ( $\pm$  12,2) (**figura 15 y tabla 16**).

En la cara superficial del vientre se observó una intersección tendinosa dispuesta oblicuamente, de superior a inferior y de medial a lateral, que en el 80% de los casos atravesaba completamente el vientre muscular midiendo 115,4 mm ( $\pm$  32); en el 20% restante era incompleta sin lograr atravesar completamente el músculo. Sin embargo, estuvo presente en el 100% de los casos (**tabla 17**). En relación a la intersección tendinosa fue posible observar una diferencia en la disposición de las fibras musculares: así, las fibras superiores a ésta se disponían longitudinales respecto al eje longitudinal del músculo para mantenerse así hasta la inserción en la tuberosidad isquiática; de estas fibras un grupo se dirigía lateralmente hacia la cabeza larga del Bíceps femoral antes de formar el Tendón Conjunto Isquiotibial. Las fibras inferiores a la intersección tendinosa se disponían en el plano frontal; Daban origen al tendón distal del músculo, llegando a éste con una disposición oblicua que se acentuaba mientras más baja era la fibra. El vientre muscular del Semitendinoso, por su cara profunda, se

conectaba a través de bandas fibrosas a la porción membranosa del músculo Semimembranoso.

En el extremo proximal del vientre muscular se observó la unión de los músculos Semitendinoso y cabeza larga del Biceps femoral, formando el Tendón Conjunto Isquiotibial. Al separar levemente los vientres musculares fue posible reconocer un tejido conjuntivo con disposición oblicua, dispuesto de superior a inferior y de medial a lateral, extendido entre ambas masas musculares que cubría la unión de ambos músculos. No se observó un tendón proximal claramente definido, como el de la cabeza larga del Biceps femoral (el extremo proximal del Semitendinoso es explicado en el apartado "Tendón Conjunto Isquiotibial").

El extremo distal del vientre muscular mostraba fibras musculares longitudinales que se disponían oblicuamente para unirse al tendón distal; La longitud de esta unión miotendinosa distal fue de 123 mm ( $\pm 30,8$ ).

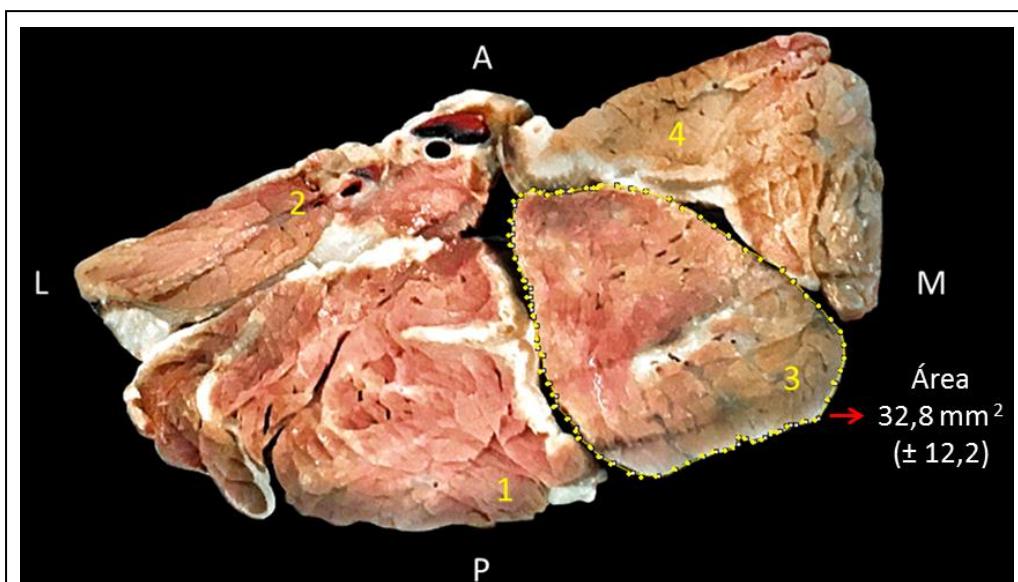


**Tabla 16. Medidas del M. Semitendinoso**

Milímetros (mm)	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Longitud total del músculo	340	480	413	36
Longitud del vientre muscular	250	375	304	38
Área del vientre muscular ( $\text{mm}^2$ )	13,0	59,4	32,8	12,2
Longitud de intersección tendinosa	30	170	115,4	32
Longitud unión miotendinosa distal	60	175	123	30,8
Diámetro transversal del vientre muscular	16	43	26	5,9
Diámetro anteroposterior del vientre muscular	9	17	11,9	2,2

**Tabla 17. Tipo de intersección tendinosa del M. Semitendinoso**

Intersección Total	80% (28/35)
Intersección Parcial	20% (7/35)
I.C. 95%	(6.8% - 33.4%)



El tendón distal del Semitendinoso se extendía superiormente hasta el tercio medio del vientre muscular en el 65,7% de los casos y hasta el tercio inferior en el 34,3% de los casos (**tabla 18**). En el 100% de los casos se observó la presencia de tendones intramusculares generados por engrosamientos de perimisio. Sin embargo, en ninguna muestra se encontró continuidad entre el tendón proximal y el tendón distal (**tabla 19**).

**Tabla 18. Localización de los tendones respecto al vientre en el M. Semitendinoso**

Nivel de localización	Tercio Superior	Tercio Medio	Tercio Inferior	Total
Localización Tendón Proximal (n)	35	0	0	35
Porcentaje (%)	100	0	0	100
Localización Tendón Distal (n)	0	23	12	35
Porcentaje (%)	0	65,7	34,3	100

**Tabla 19. Estudio tendón intramuscular Semitendinoso**

	Frecuencia	Porcentaje
Presencia de tendón intramuscular (n)	35	100
Tendón intramuscular continuo (n)	0	0

### Tendón distal del M. Semitendinoso

El tendón distal del Semitendinoso se originaba en la mitad inferior del músculo desde la cara medial del vientre muscular, recibiendo fibras musculares dispuestas oblicuamente. Localizado sobre el músculo Semimembranoso realizaba un trayecto descendente, que comenzaba como una membrana laminar que inferiormente se transformaba en un tendón cilíndrico, alcanzando una longitud media de 238 mm ( $\pm 36$ ) (tabla 20). Este tendón se insertaba en la parte superior de la cara medial de la tibia, posterior al tendón distal del músculo grácil.

**Tabla 20. Longitud total del tendón distal del Semitendinoso**

Longitud en milímetros	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tendón distal del Semitendinoso	175	330	238	36

### Inervación y vascularización del Semitendinoso

La inervación del músculo Semitendinoso procedió, en todos los casos estudiados, del nervio Tibial. Este músculo recibía un nervio superior y otro inferior (figura 16). El nervio superior estuvo presente en el 100% de los casos: en el 94% se presentó como sólo 1 nervio y en el 6% como 2 nervios, que en promedio dio 1,06 ( $\pm 0,24$ ) nervios superiores para este vientre muscular. El nervio superior, en el 100% de los casos, ingresó al músculo por el tercio superior del vientre muscular, específicamente a nivel del tercio medio del Tendón Conjunto Isquiotibial por su cara profunda. El nervio inferior estuvo presente en el 100% de los casos: en el 97% se presentó como sólo 1 nervio y en el 3% como 2 nervios, que en promedio dio 1,03 ( $\pm 0,17$ ) nervios inferiores para este vientre muscular. El 2,9% de los nervios inferiores del

Semitendinoso penetraron al vientre muscular por su tercio superior, el 94,2% por el tercio medio y el 2,9% por el tercio inferior (**tablas 21, 22 y 23**).

**Tabla 21. Número de nervios del M. Semitendinoso**

Número de nervios	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Nervios superiores	1	2	1,06	0,24
	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Nervios inferiores	1	2	1,03	0,17

**Tabla 22. Distribución de nervios del M. Semitendinoso, nervio superior**

Punto de penetración nerviosa	Frecuencia	Porcentaje
Tercio superior	34	100
Tercio medio	0	0
Tercio inferior	0	0
Unión tercio medio y tercio superior	0	0
Unión tercio medio y tercio inferior	0	0
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>

**Tabla 23. Distribución de nervios del M. Semitendinoso, nervio inferior**

Punto de penetración nerviosa	Frecuencia	Porcentaje
Tercio superior	1	2,9
Tercio medio	32	94,2
Tercio inferior	1	2,9
Unión tercio medio y tercio superior	0	0
Unión tercio medio y tercio inferior	0	0
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>



**Fig. 16.** Visión posterior de los isquiotibiales, se expone la inervación y vascularización del M. Semitendinoso. A. 1. M. Semitendinoso; 2. N. Ciático; 3. Nervio superior del M. Semitendinoso; B. 1. M. Semitendinoso; 2. N. Ciático; 3. Nervio inferior del M. Semitendinoso; 4. Pedículo vascular.

La vascularización del Semitendinoso procedió de 3 fuentes vasculares: de vasos Femorales profundos 2,35 ( $\pm 0,69$ ), de vasos Glúteos inferiores 1,03 ( $\pm 0,30$ ) y de vasos Poplíteos 0,21 ( $\pm 0,48$ ), lo que dio una media de 3,59 pedículos vasculares para el músculo Semitendinoso (**tabla 24**).

**Tabla 24. Número de pedículos vasculares del M. Semitendinoso**

Fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0	2	1,03	0,30
Vasos Femorales profundos	1	4	2,35	0,69
Vasos Poplíteos	0	2	0,21	0,48
<b>Total</b>			<b>3,59</b>	

Para el 100% del aporte vascular del músculo Semitendinoso: el 65,80% ( $\pm$  9,89) era dado por los vasos Femorales profundos, el 29,81% ( $\pm$  9,28) por los vasos Glúteos inferiores y el 4,39% ( $\pm$  10,19) por los vasos Poplíticos (tabla 25).

**Tabla 25. Aporte vascular del M. Semitendinoso**

Porcentaje de aporte vascular según fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0,00	50,00	29,81	9,28
Vasos Femorales profundos	40,00	80,00	65,80	9,89
Vasos Poplíticos	0,00	40,00	4,39	10,19
<b>Porcentaje Total</b>	<b>100,00</b>			

#### **Origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral**

En el tercio superior del muslo y desde la cara interna de la Fascia lata se originaba un tejido conjuntivo de características laxas que cubría la unión del Semitendinoso con la cabeza larga del Bíceps femoral (figura 17). Al retirar dicho tejido se observó, en los 35 casos, cómo se realizaba la unión de ambos vientres musculares, evidenciando un grupo de fibras musculares de la parte lateral del viente muscular del Semitendinoso que conectaban con la cara profunda del viente muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral (figura 18). La amplitud de esta conexión de fibras entre el Semitendinoso y la cabeza larga del Bíceps femoral fue en promedio de 32 mm ( $\pm$  14), con un diámetro transversal de 10,9 mm ( $\pm$  5,3), un diámetro anteroposterior de 3,2 mm ( $\pm$  1,4) y un ángulo de penación de 9,5° ( $\pm$  1,5) (figura 19 y tabla 26). En 1 de los 35 casos estudiados (2,85%) las fibras que formaban este grupo eran de constitución tendinosa y no muscular, coincidiendo este hecho con que además su amplitud fue la menor (5 mm). El resto de fibras de la porción lateral del Semitendinoso que no se insertaban en la cabeza larga del Bíceps femoral, sino directamente en la tuberosidad isquiática, presentaban una disposición longitudinal y un trayecto ascendente hasta dicha tuberosidad.

**Tabla 26. Origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral**

Variable estudiada	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Amplitud del origen (mm)	5	72	32	14
Diámetro transversal del grupo fibrilar (mm)	4	32	10,9	5,3
Diámetro anteroposterior del grupo fibrilar (mm)	1	8	3,2	1,4
Ángulo de penación del grupo fibrilar (grados)	7	15	9,5	1,5



Fig. 17. Se observa la unión del Semitendinoso con la cabeza larga Biceps femoral antes de formar el Tendón Conjunto Isquiotibial. 1. Cabeza larga Biceps femoral; 2. M. Semitendinoso; 3. Tejido conjuntivo que cubre la unión muscular. S. Superior; I. Inferior; M. Medial; L. Lateral.

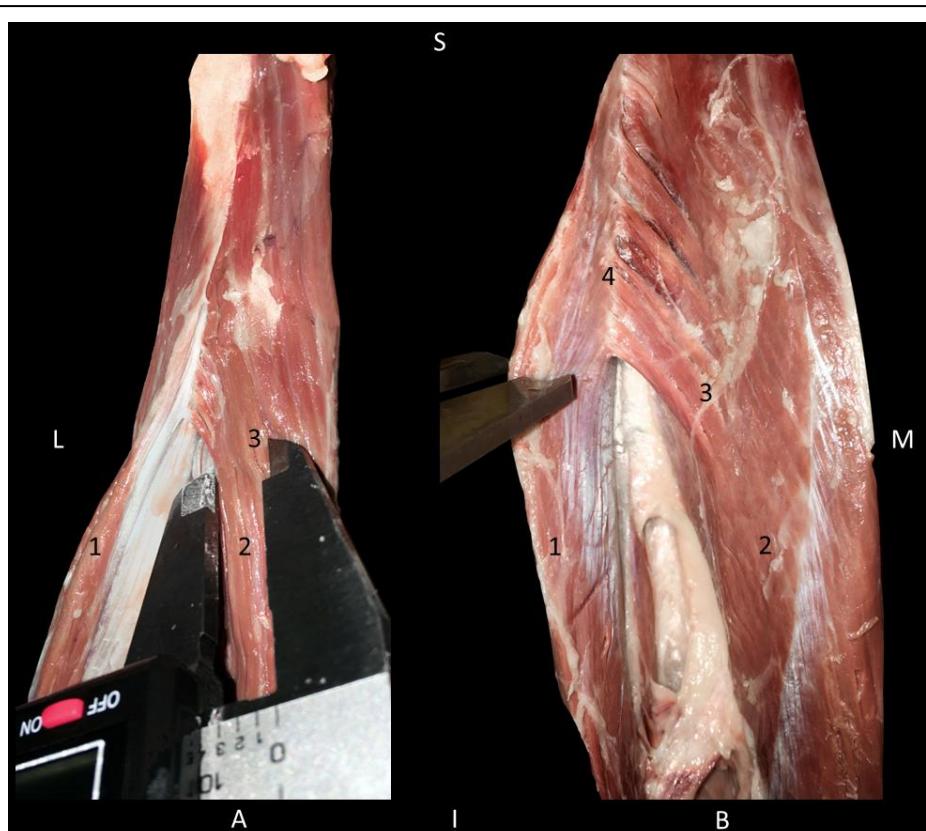


Fig. 18. Se observa el origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Biceps femoral antes de formar el Tendón Conjunto Isquiotibial. A. 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. M. Semitendinoso; 3. Fibras de origen del Semitendinoso a la cabeza larga del Biceps femoral. B. 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. M. Semitendinoso; 3. Fibras de origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Biceps femoral; 4. Origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Biceps femoral. S. Superior; I. Inferior; L. Lateral; M. Medial.

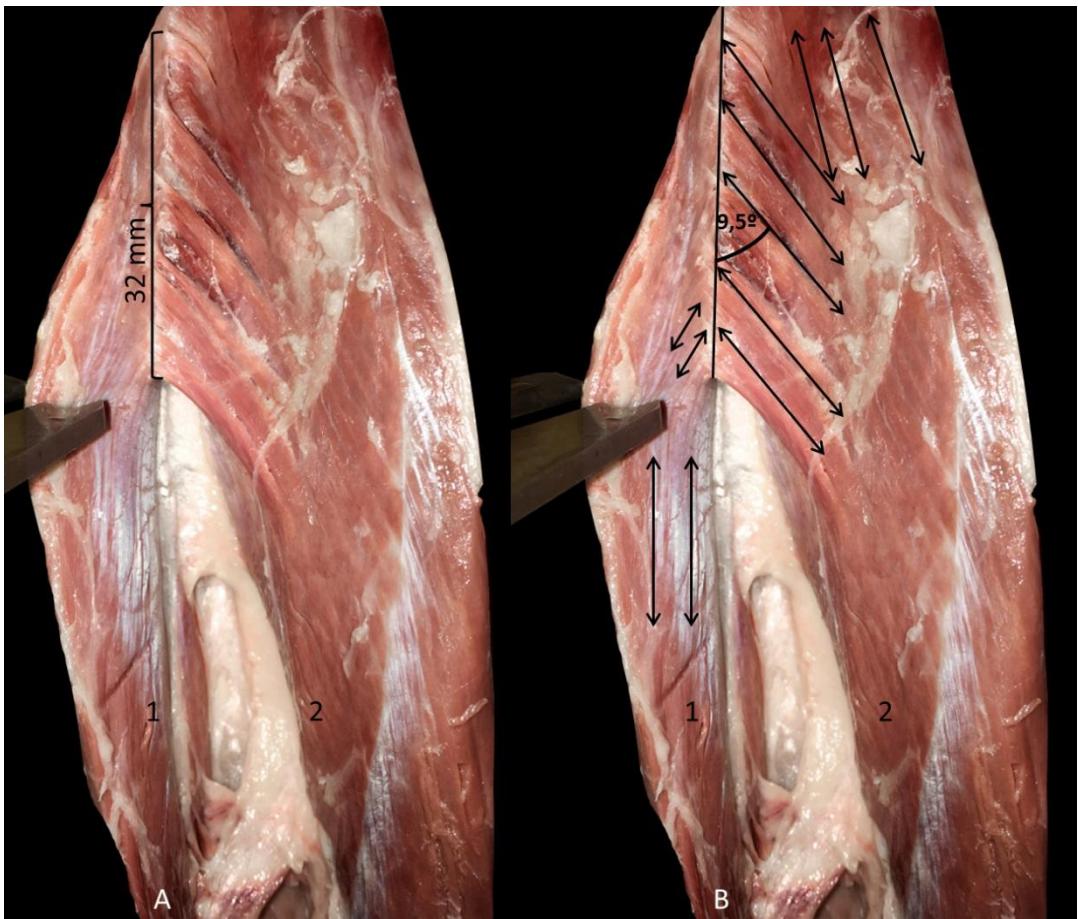
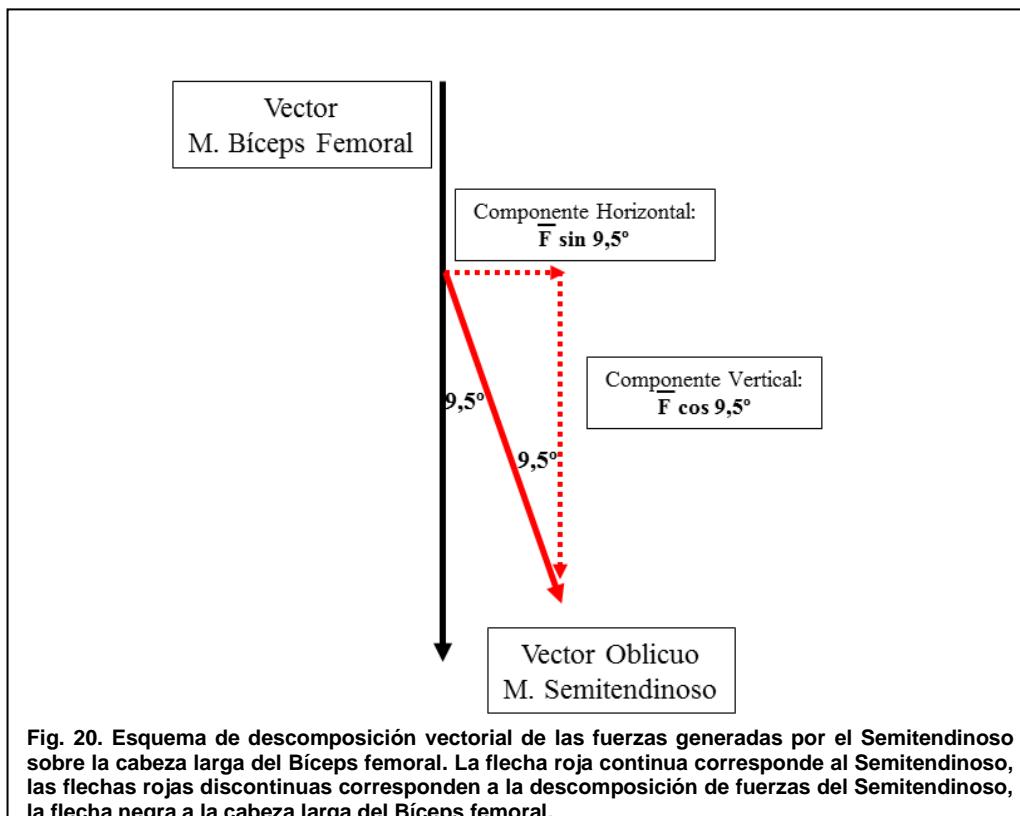


Fig. 19. Origen del M. Semitendinoso en la cabeza larga del Biceps femoral. A. Se observa el origen de las fibras musculares abarcando longitudinalmente 32 mm. B. Se observa, esquematizado con flechas, la disposición de las fibras y la dirección de tracción en que pueden trabajar. En A y B 1. Cabeza larga del Biceps femoral y 2. M. Semitendinoso. 9,5° representa la angulación con que se insertan las fibras del Semitendinoso en la cabeza larga del Biceps femoral, en la fotografía el ángulo está aumentado debido a la tracción de la pinza sobre el Biceps femoral.

Al generar la descomposición vectorial sobre la base de un vector principal que presenta un ángulo de 9,5°, el componente vertical será el principal componente de fuerza, ya que al considerar  $\bar{F}$  (fuerza) coseno 9,5°, el factor multiplicador se acerca a 1. Por el contrario, el componente horizontal  $\bar{F}$  seno 9,5° es el de menor magnitud, ya que su factor multiplicador se acerca a 0.

Para ilustrar la relación de los componentes musculares del origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral, se ha realizado la descomposición vectorial básica sobre un vector con 9,5º de dirección (**figura 20**).



Con el fin de ejemplificar el esquema anterior, si en una situación hipotética la fuerza tensil total que transmite el músculo Bíceps femoral fuese de 100 N, el cálculo de cada componente en base a los hallazgos descritos correspondería a:

- Componente Horizontal:  $100 \times (\sin 9,5) = 16,594 \text{ N}$
- Componente Vertical:  $100 \times (\cos 9,5) = 98,628 \text{ N}$

Esto determina que por lo tanto existirá un componente horizontal de menor magnitud, que realizará una tensión en sentido perpendicular al eje principal de acción de fuerza de la cabeza larga del Bíceps femoral.

## Observación microscópica del origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral

Utilizando la tinción Tricrómico de Masson, variante de Goldner, se estudió microscópicamente el origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral, observándose los elementos de la matriz de colágeno de color celeste-verdoso, los núcleos de fibroblastos de color rojo violáceo y el citoplasma celular de color rojo más tenue; las fibras musculares se ven de color rojo intenso, con núcleos oscuros.

En el corte transversal se observó la interacción de células musculares con el tejido tendinoso interpuesto entre ambos músculos, reconocible por la estrecha asociación de la célula muscular (rojo intenso) con el tejido tendinoso (celeste-verdoso).

En todas las muestras histológicas se observó, a un aumento de 200x, la presencia de fibras musculares asociadas a tejido tendinoso, comprobando que las fibras conjuntivas quedaban flanqueadas por tejido muscular procedente de ambos vientres musculares (**figura 21**). Luego, con aumento de 400x, se corroboró la presencia de uniones entre el tejido muscular del Bíceps femoral y el tejido conjuntivo procedente del Semitendinoso (**figura 22**).

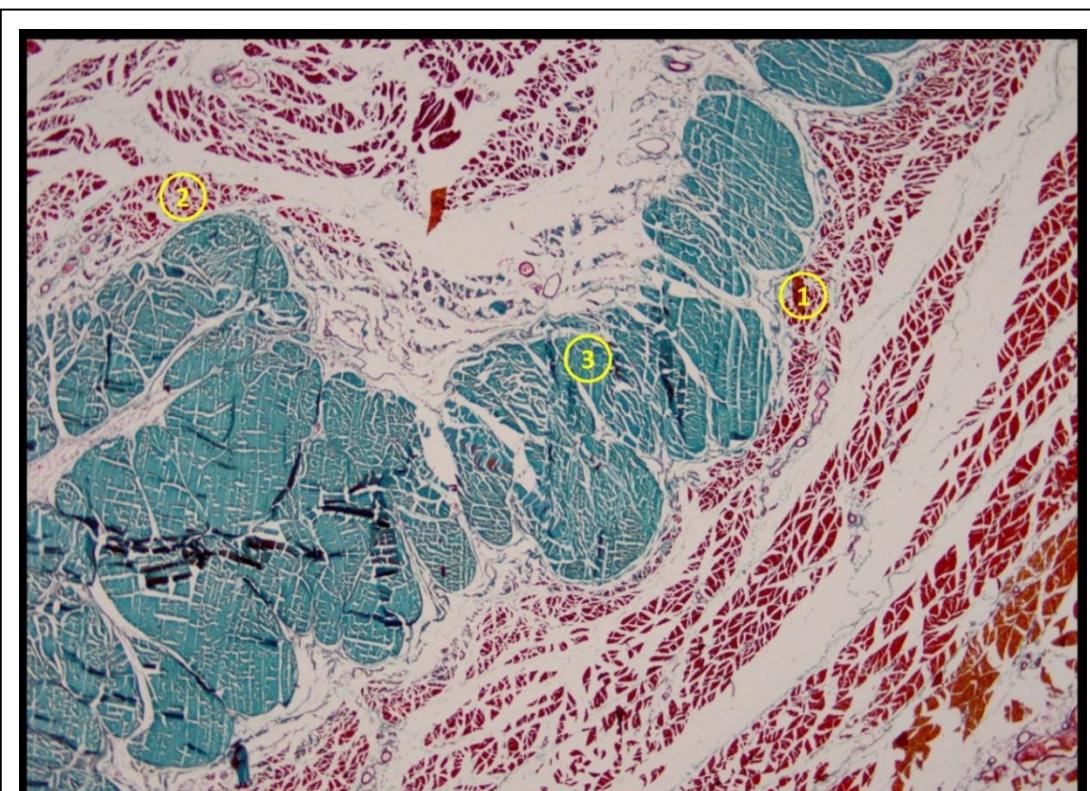


Fig. 21. Corte transversal a nivel del tercio inferior del Tendón Conjunto Isquiotibial, se observan los músculos isquiotibiales separados por tejido conjuntivo, tinción con Tricrómico de Masson, variante de Goldner, aumento de 200x. 1. M. Bíceps femoral; 2. M. Semitendinoso; 3. Tejido conjuntivo interpuesto entre ambos músculos.

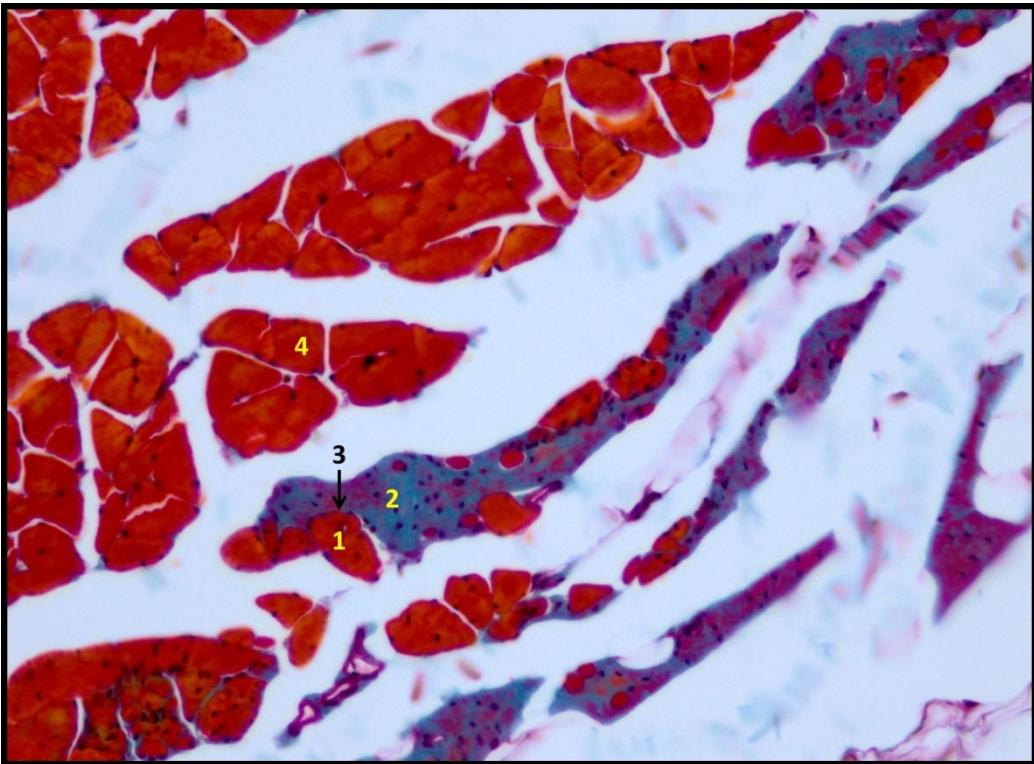


Fig. 22. Corte transversal de músculos isquiotibiales, tinción con Tricrómico de Masson, variante de Goldner, aumento de 400x. 1. Fibra muscular del M. Biceps femoral cabeza larga; 2. Tejido conjuntivo M. Semitendinoso; 3. Tejido conjuntivo envolviendo fibras musculares; 4. Fibras musculares del Semitendinoso.

### 1.7. Músculo Semimembranoso

El músculo Semimembranoso se situaba profundo al Semitendinoso, siendo un músculo fusiforme y de arquitectura semipeniforme. Extendido entre la tuberosidad isquiática y la tibia, alcanzando una longitud promedio de 403 mm ( $\pm 35$ ). Superiormente era laminar mientras que su vientre muscular se localizaba inferiormente, el cual tuvo en promedio una longitud de 302 mm ( $\pm 34$ ) antes de formar su tendón distal (**figura 23 y 24**). Este vientre muscular se encontraba más desarrollado en su parte inferior, teniendo en la porción mayor del vientre muscular un diámetro transversal medio de 26,4 mm ( $\pm 4,9$ ), un diámetro anteroposterior promedio 15,8 mm ( $\pm 3,6$ ) y un área promedio de 50,2 mm<sup>2</sup> ( $\pm 18,8$ ) (**tabla 27**). El extremo superior del vientre se relacionaba con una ancha membrana tendinosa que se disponía lateralmente respecto a él, la cual proximalmente terminaba estrechándose para formar el tendón proximal; la longitud promedio de esta unión miotendinosa proximal fue de 138,9 mm ( $\pm 40,6$ ). Distalmente el vientre aumentaba su calibre y se relacionaba medialmente con un grueso tendón, que recibía fibras musculares dispuestas en el plano frontal, con una

orientación oblicua respecto al eje mayor del músculo. La longitud media de esta unión miotendinosa distal fue de 169,5 mm ( $\pm 29,7$ ).

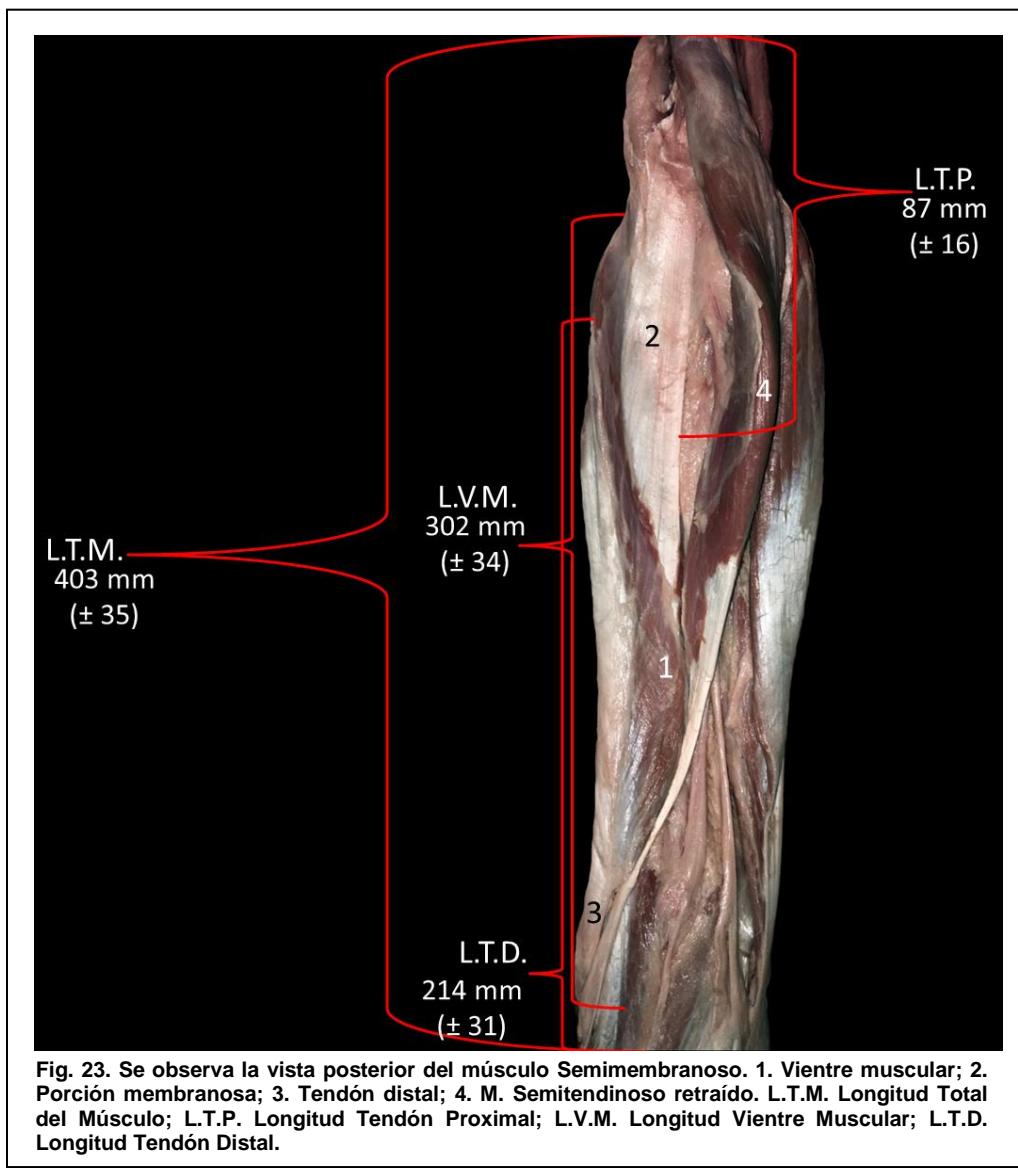


Fig. 23. Se observa la vista posterior del músculo Semimembranoso. 1. Vientre muscular; 2. Porción membranosa; 3. Tendón distal; 4. M. Semitendinoso retraído. L.T.M. Longitud Total del Músculo; L.T.P. Longitud Tendón Proximal; L.V.M. Longitud Vientre Muscular; L.T.D. Longitud Tendón Distal.

**Tabla 27. Medidas del M. Semimembranoso**

Milímetros (mm)	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Longitud total del músculo	320	460	403	35
Longitud del viente muscular	240	390	302	34
Área del viente muscular ( $\text{mm}^2$ )	28,6	106,6	50,2	18,8
Longitud unión miotendinosa proximal	80	280	138,9	40,6
Longitud unión miotendinosa distal	115	235	169,5	29,7
Diámetro transversal del viente muscular	18	36	26,4	4,9
Diámetro anteroposterior del viente muscular	9	24	15,8	3,6

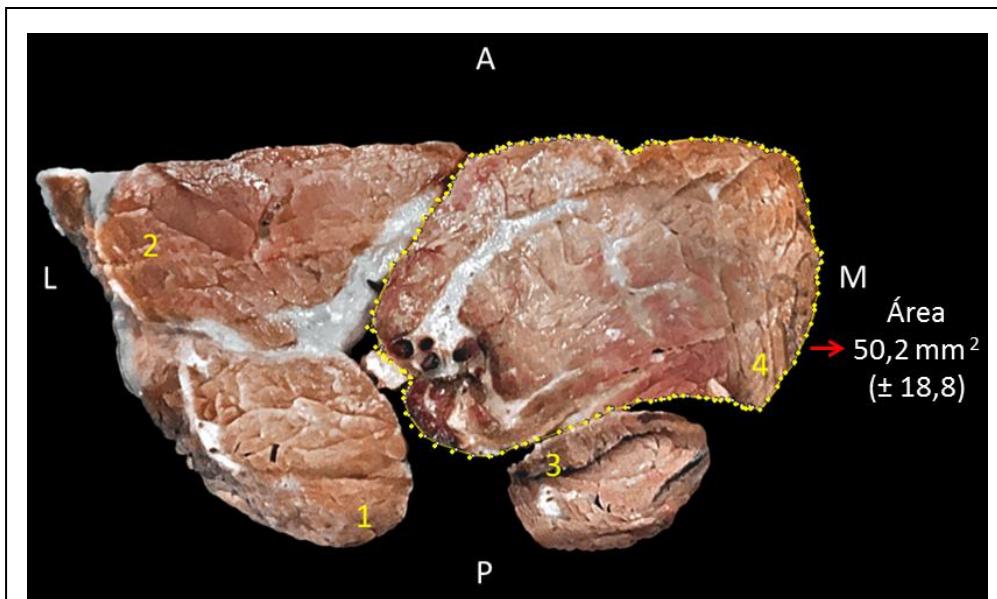


Fig. 24. Vista inferior de un corte transversal de los músculos isquiotibiales, la línea punteada representa la delimitación del área del SM y la flecha indica el tamaño de ésta. 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. Cabeza corta del Biceps femoral; 3 M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso. A. Anterior; P. Posterior; L. Lateral; M. Medial.

El tendón proximal del Semimembranoso se relacionaba superficialmente con el Tendón Conjunto Isquiotibial y lateralmente con el nervio Ciático. Su forma era levemente aplanada en el sentido anteroposterior y se hacía cilíndrico antes de insertarse en la tuberosidad isquiática. Distalmente se extendía hasta el tercio medio del vientre muscular en el 74,3% de los casos y hasta el tercio inferior en el 25,7% de los casos. El tendón distal del Semimembranoso se extendía superiormente hasta el tercio superior del vientre muscular en el 5,7% de los casos y hasta el tercio inferior en el 94,3% de los casos (**tabla 28**).

**Tabla 28. Localización de los tendones respecto al vientre en el Semimembranoso**

Nivel de localización	Tercio Superior	Tercio Medio	Tercio Inferior	Total
Localización Tendón Proximal (n)	0	26	9	35
Porcentaje (%)	0	74,3	25,7	100
Localización Tendón Distal (n)	2	0	33	35
Porcentaje (%)	5,7	0	94,3	100

En el 100% de los casos se observó la presencia de tendones intramusculares generados por engrosamientos de perimisio. Sin embargo, en ninguna muestra se encontró continuidad entre el tendón proximal y el tendón distal (**tabla 29**).

**Tabla 29. Estudio tendón intramuscular Semimembranoso**

	Frecuencia	Porcentaje
Presencia de tendón intramuscular (n)	35	100
Tendón intramuscular continuo (n)	0	0

### **Tendón distal del Semimembranoso**

El tendón distal se originaba de fibras procedentes de los 2/3 proximales de este músculo, las que dejaba de recibir solamente unos centímetros antes de insertarse. Este tendón tuvo una longitud media de 214 mm ( $\pm 31$ ) y se dirigía inferiormente para insertarse en la cara posterior del cóndilo tibial medial y cápsula articular (**tabla 30**).

**Tabla 30. Longitud total del tendón distal del M. Semimembranoso**

Longitud en milímetros	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tendón distal del Semimembranoso	165	270	214	31

### **Inervación y vascularización del Semimembranoso**

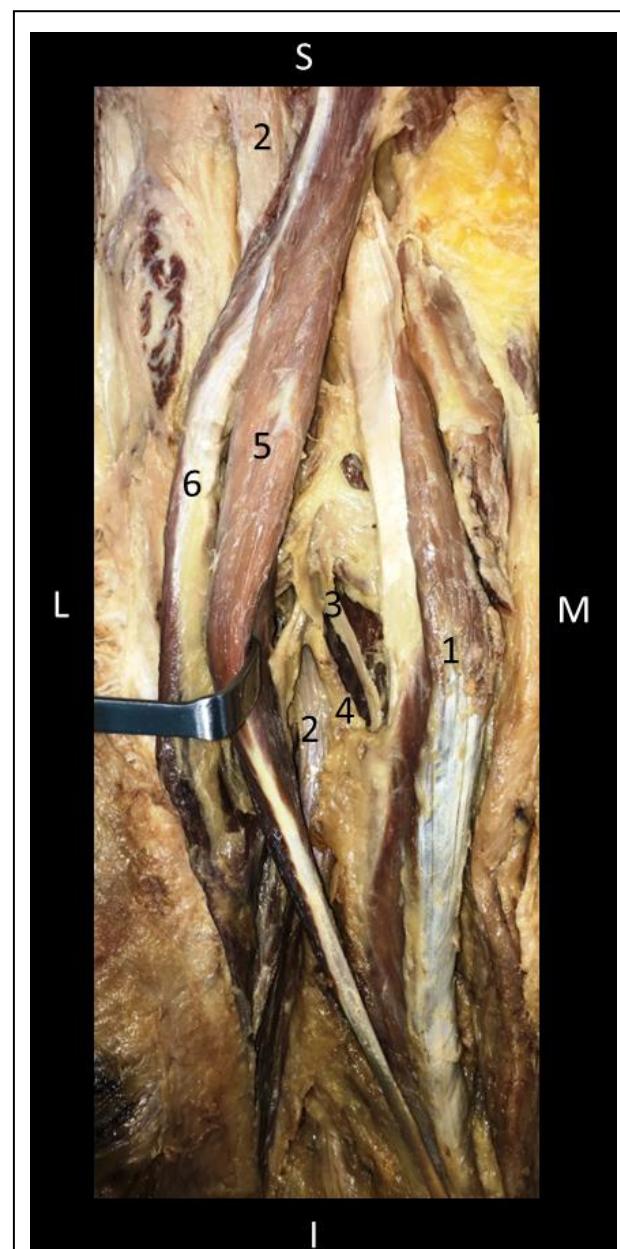
La inervación del músculo Semimembranoso provenía, en todos los casos, del nervio Tibial. Este músculo recibió 1 nervio en el 97% de los casos y 2 nervios en el 3%, que en promedio dio 1,03 ( $\pm 0,17$ ) nervios para este vientre muscular (**tabla 31**). El punto de penetración nerviosa en el vientre muscular fue 2,9% en el tercio superior, 50% en el tercio medio, 44,2% en el tercio inferior y 2,9% en la unión del tercio medio con el tercio superior (**figura 25 y tabla 32**).

**Tabla 31. Número de nervios del M. Semimembranoso**

Número de nervios	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Nervios del Semimembranoso	1	2	1,03	0,17

**Tabla 32. Distribución de nervios del M. Semimembranoso**

Punto de penetración nerviosa	Frecuencia	Porcentaje
Tercio superior	1	2,9
Tercio medio	17	50
Tercio inferior	15	44,2
Unión tercio medio y tercio superior	1	2,9
Unión tercio medio y tercio inferior	0	0
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>



**Fig. 25. Visión posterior de los isquiotibiales, se expone la inervación y vascularización del M. Semimembranoso.** 1. M. Semimembranoso; 2. N. Ciático; 3. Nervio del M. Semimembranoso; 4. Pedículo vascular; 5. M. Semitendinoso; 6. M. Biceps femoral cabeza larga. S. Superior; I. Inferior; L. Lateral; M. Medial.

La vascularización del Semimembranoso fue dada por 3 fuentes vasculares: de vasos Femorales profundos 2,88 ( $\pm$  0,88), de vasos Poplíticos 1,09 ( $\pm$  0,38) y de vasos Glúteos inferiores 0,06 ( $\pm$  0,24), con una media de 4,03 pedículos vasculares para el músculo Semimembranoso (**tabla 33**).

**Tabla 33. Número de pedículos vasculares del M. Semimembranoso**

Fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0	1	0,06	0,24
Vasos Femorales profundos	1	4	2,88	0,88
Vasos Poplíticos	0	2	1,09	0,38
<b>Total</b>			<b>4,03</b>	

Para el 100% del aporte vascular del músculo Semimembranoso: el 1,56% ( $\pm$  6,58) era dado por los vasos Glúteos inferiores, el 70,20% ( $\pm$  13,95) por los vasos Femorales profundos y el 28,24% ( $\pm$  12,29) por los vasos Poplíticos (**tabla 34**).

**Tabla 34. Aporte vascular Semimembranoso**

Porcentaje de aporte vascular según fuente vascular	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Vasos Glúteos inferiores	0,00	33,33	1,56	6,58
Vasos Femorales profundos	33,33	100,00	70,20	13,95
Vasos Poplíticos	0,00	66,67	28,24	12,29
<b>Porcentaje Total</b>			<b>100,00</b>	

## **1.8. Estudio comparativo de las características morfológicas de los músculos isquiotibiales**

En este apartado se compararon los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos en las variables estudiadas individualmente en cada músculo, incluyendo una descripción resumida de los resultados, una tabla comparativa con medidas de tendencia central y desviación estándar y una gráfica de columnas. Al lado de la gráfica se agregó el valor P cuando fue estadísticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ).

### **Diferencias morfológicas cualitativas de los músculos isquiotibiales**

Los isquiotibiales son músculos de forma fusiforme, pero con diferencias en su conformación y distribución de los componentes musculares y tendinosos.

El Bíceps femoral es el único músculo del grupo isquiotibial que tiene 2 cabezas conectadas por un tendón distal, además las fibras musculares de la cabeza larga tienen una arquitectura paralela respecto al tendón distal.

El músculo Semitendinoso tiene un tendón proximal de constitución variable, concentra su porción contráctil en el extremo superior y la porción tensil en el extremo inferior. Además, presenta una intersección tendinosa en su vientre muscular.

El músculo Semimembranoso tiene su vientre muscular situado entre una porción tendinosa de forma laminar localizada por superior, y un tendón distal de forma cilíndrica localizado por inferior. Además, su porción membranosa corresponde a la única estructura tendinosa de este tipo entre los isquiotibiales (**figura 26**).



**Fig. 26.** A. Visión posterior de los músculos isquiotibiales. B. Visión anterior de los músculos isquiotibiales. En A y B. 1. Tendón distal Semitendinoso; 2. Vientre muscular Semitendinoso; 3. Tendón Conjunto Isquiotibial; 4. Vientre muscular BFcl; 5. Vientre muscular BFcc; 6. Tendón distal Bíceps femoral; 7. Porción membranosa Semimembranoso; 8. Vientre muscular Semimembranoso; 9. Tendón distal Semimembranoso.

### Arquitectura muscular

Las fibras musculares de los isquiotibiales tienen diferente disposición para llegar a su tendón distal. En el Semitendinoso y Semimembranoso las fibras musculares abordan al tendón distal por su cara lateral, quedando dispuestas en el plano frontal, oblicuamente respecto al tendón. En cambio, en la cabeza larga del Bíceps femoral las fibras musculares abordan al tendón distal por la cara profunda, quedando dispuestas en el plano sagital y paralelas a su tendón. De acuerdo a esto, la arquitectura muscular del Semitendinoso y Semimembranoso es semipeniforme y la de la cabeza larga del Bíceps femoral es paralela (**figura 27**).

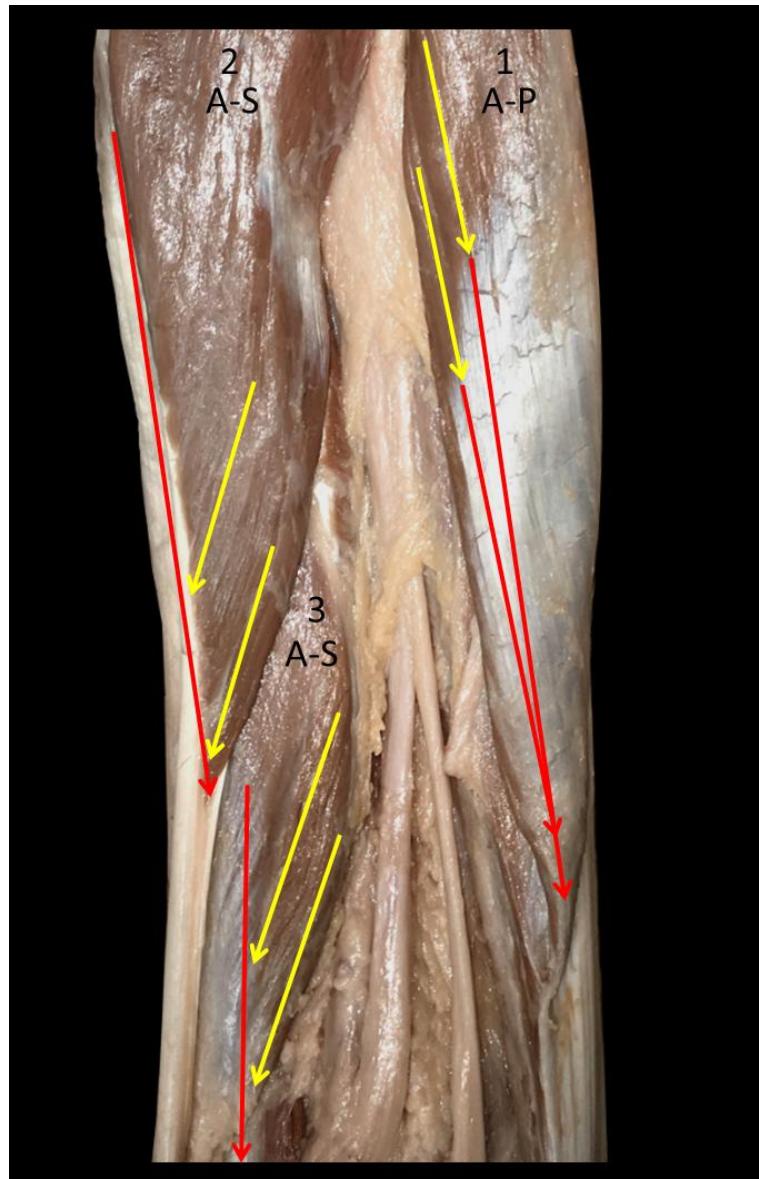


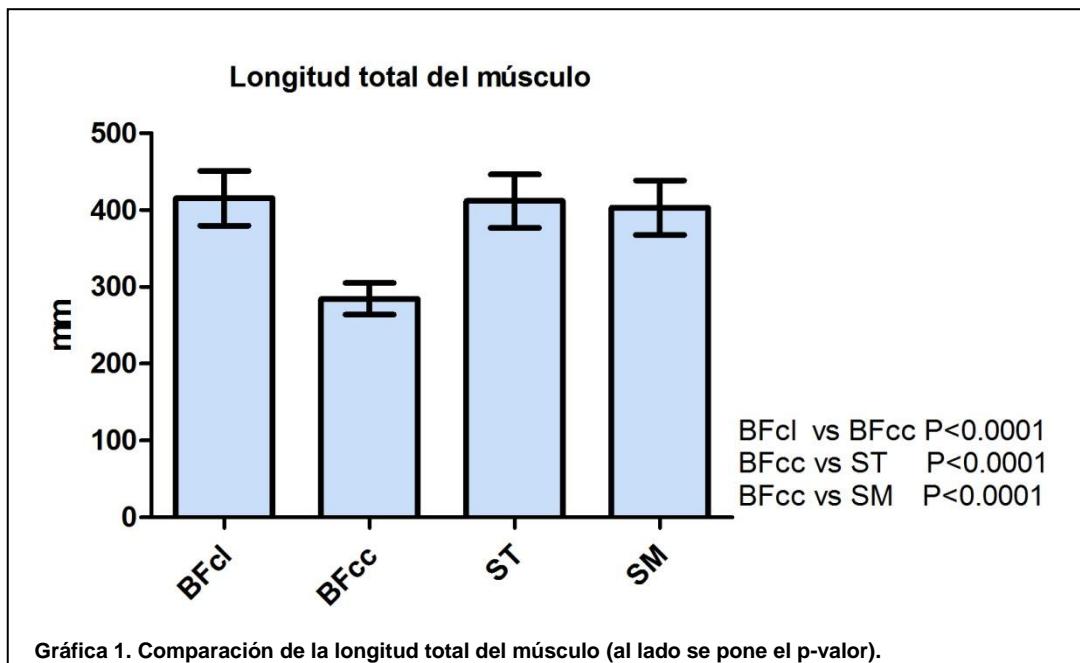
Figura 27. Comparación de arquitectura muscular respecto al tendón distal. 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. Semitendinoso; 3. Semimembranoso; A-S. Arquitectura Semipeniforme; A-P. Arquitectura Paralela. Las flechas rojas esquematizan la disposición de las fibras tendinosas. Las flechas amarillas esquematizan la disposición de las fibras musculares respecto al tendón distal.

### Longitud Total del Músculo

El músculo con mayor longitud fue la cabeza larga del Bíceps femoral, en tanto la cabeza corta del Bíceps femoral correspondió al músculo con menor longitud, observándose diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.0001$ ). De los músculos biarticulares, el Semimembranoso fue el músculo más corto, sin presentar diferencias estadísticamente significativas respecto a la cabeza larga del Bíceps femoral y el Semitendinoso (**tabla 35 y gráfica 1**).

**Tabla 35. Longitud total del Músculo**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	350	490	415	36
Cabeza corta del Bíceps femoral	240	325	285	21
M. Semitendinoso	340	480	413	36
M. Semimembranoso	320	460	403	35

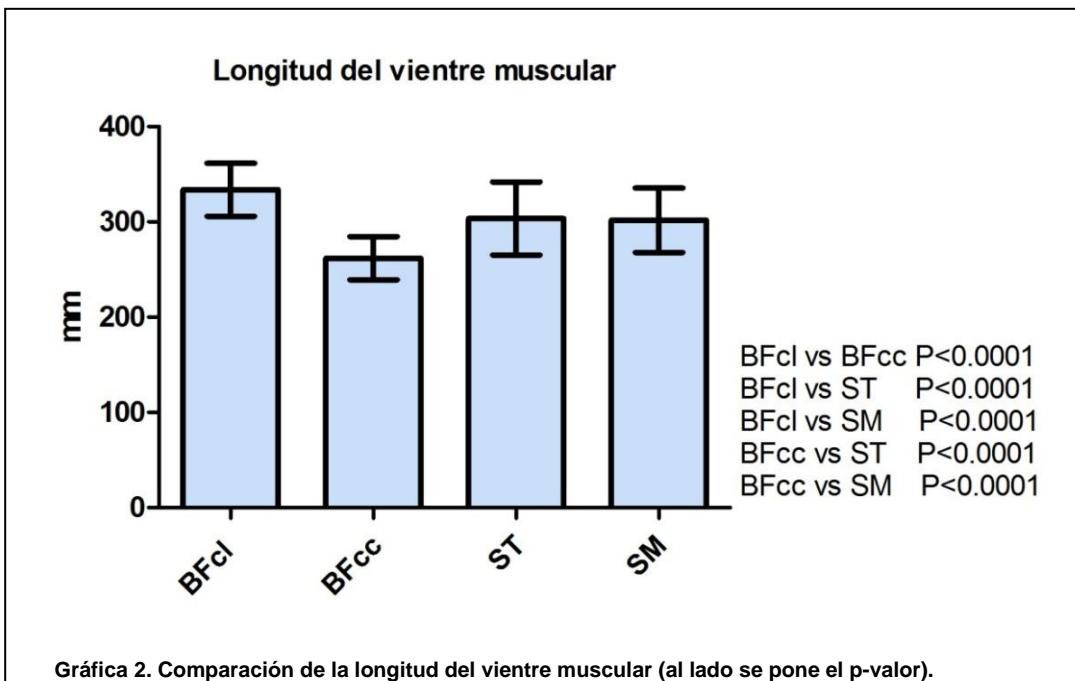


### **Longitud del Vientre Muscular**

En promedio, el músculo que tuvo el vientre muscular más largo fue la cabeza larga del Bíceps femoral, mientras que la cabeza corta tuvo el vientre muscular más corto, observando diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$ . De los músculos biarticulares, el músculo Semimembranoso tuvo el vientre muscular más corto, observándose diferencias estadísticamente significativas (**tabla 36 y gráfica 2**).

**Tabla 36. Longitud del vientre muscular**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	285	390	334	28
Cabeza corta del Bíceps femoral	220	310	262	23
M. Semitendinoso	250	375	304	38
M. Semimembranoso	240	390	302	34



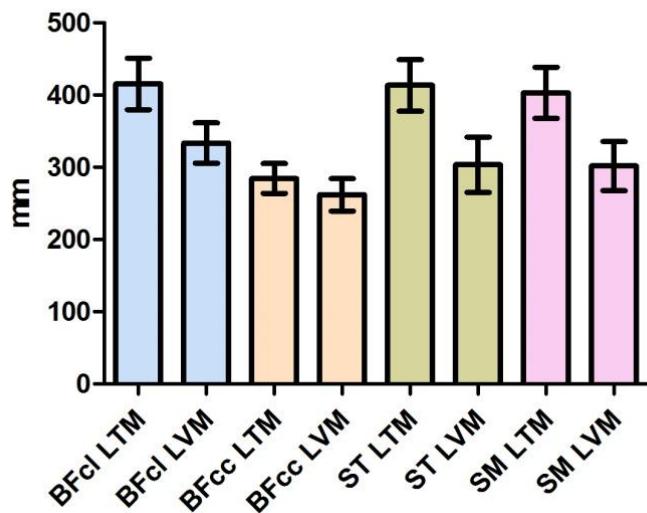
### Proporción del vientre muscular respecto a la longitud total del músculo

La cabeza corta del Bíceps femoral tuvo el vientre muscular proporcionalmente más largo respecto a la longitud total del músculo. De los músculos biarticulares, el vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral fue el que tuvo el vientre muscular proporcionalmente más largo, en tanto el músculo Semitendinoso fue el que tuvo el vientre muscular proporcionalmente más corto (**tabla 37 y gráfica 3**).

**Tabla 37. Proporciones del vientre muscular respecto a la longitud total del músculo**

Longitud media en mm	BFcl	BFcc	ST	SM
Longitud total del músculo	415 ( $\pm 36$ )	285 ( $\pm 21$ )	413 ( $\pm 36$ )	403 ( $\pm 35$ )
Longitud del vientre muscular	334 ( $\pm 28$ )	262 ( $\pm 23$ )	304 ( $\pm 38$ )	302 ( $\pm 34$ )
Proporción vientre muscular/longitud total	80,50%	91,93%	73,60%	74,94%

**Proporción de longitud total del vientre muscular (LVM) respecto a la longitud total del músculo (LTM)**



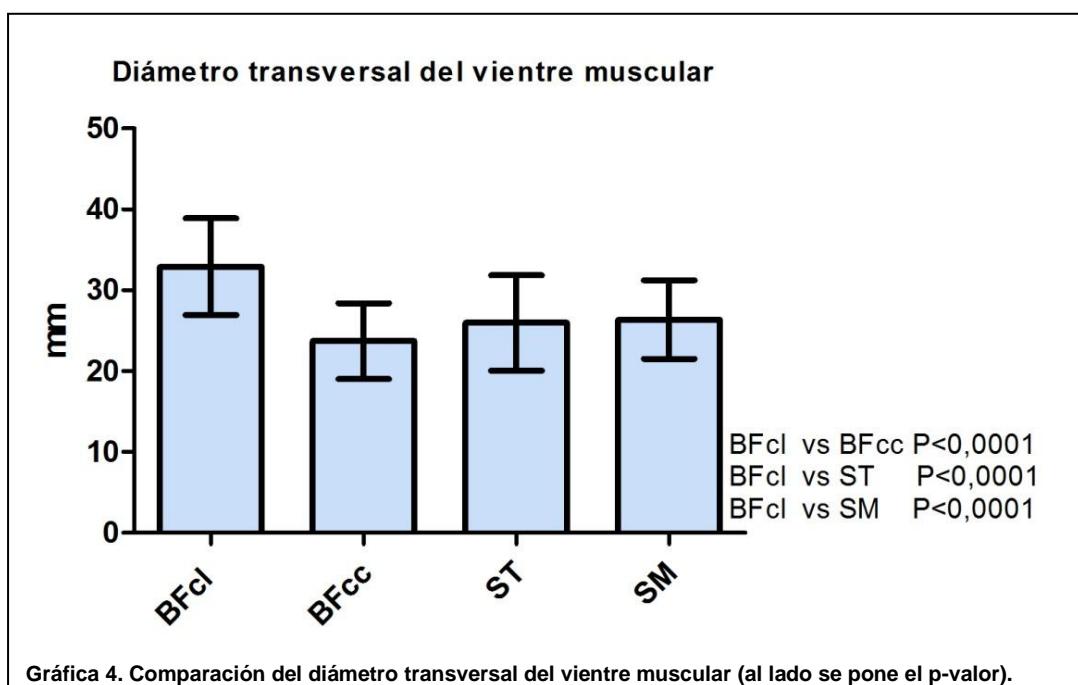
**Gráfica 3. Comparación de la proporción de longitud del vientre muscular respecto a la longitud total del músculo.**

### Diámetro Transversal del Vientre Muscular

El músculo que tuvo el mayor diámetro transversal de vientre muscular fue la cabeza larga del Bíceps femoral, en tanto la cabeza corta del Bíceps femoral tuvo el menor diámetro transversal. De los músculos biarticulares el Semitendinoso tuvo el diámetro menor, observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 38 y gráfica 4**).

**Tabla 38. Diámetro transversal del vientre muscular**

Diámetro en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	22	54	32,9	6,0
Cabeza corta del Bíceps femoral	15	31	23,7	4,7
M. Semitendinoso	16	43	26,0	5,9
M. Semimembranoso	18	36	26,4	4,9

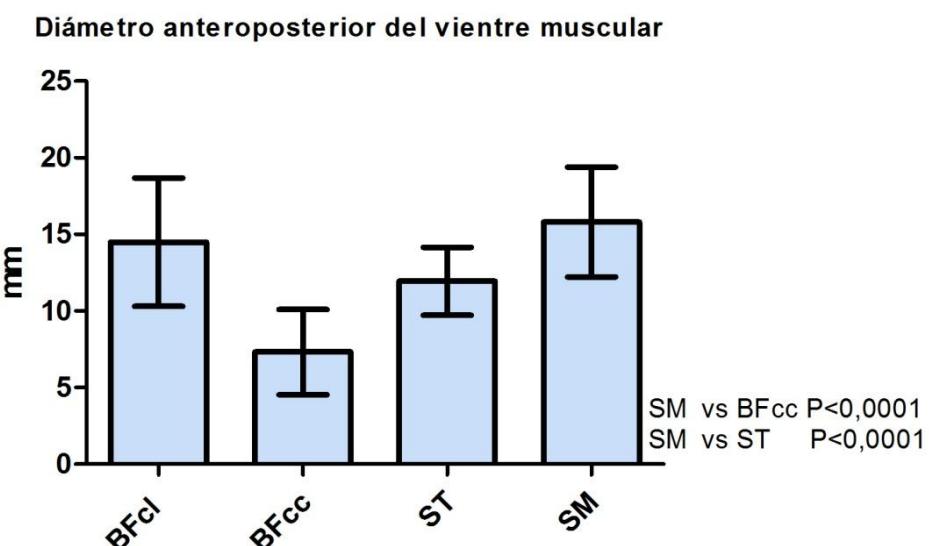


### Diámetro Anteroposterior del Vientre Muscular

En promedio, el músculo que tuvo el mayor diámetro anteroposterior del vientre muscular fue el Semimembranoso, mientras que la cabeza corta del Bíceps femoral tuvo el diámetro menor. De los músculos biarticulares el Semitendinoso tuvo el menor diámetro anteroposterior, observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 39 y gráfica 5**).

**Tabla 39. Diámetro anteroposterior del vientre muscular**

Diámetro en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	9	28	14,5	4,2
Cabeza corta del Bíceps femoral	4	15	7,3	2,8
M. Semitendinoso	9	17	11,9	2,2
M. Semimembranoso	9	24	15,8	3,6



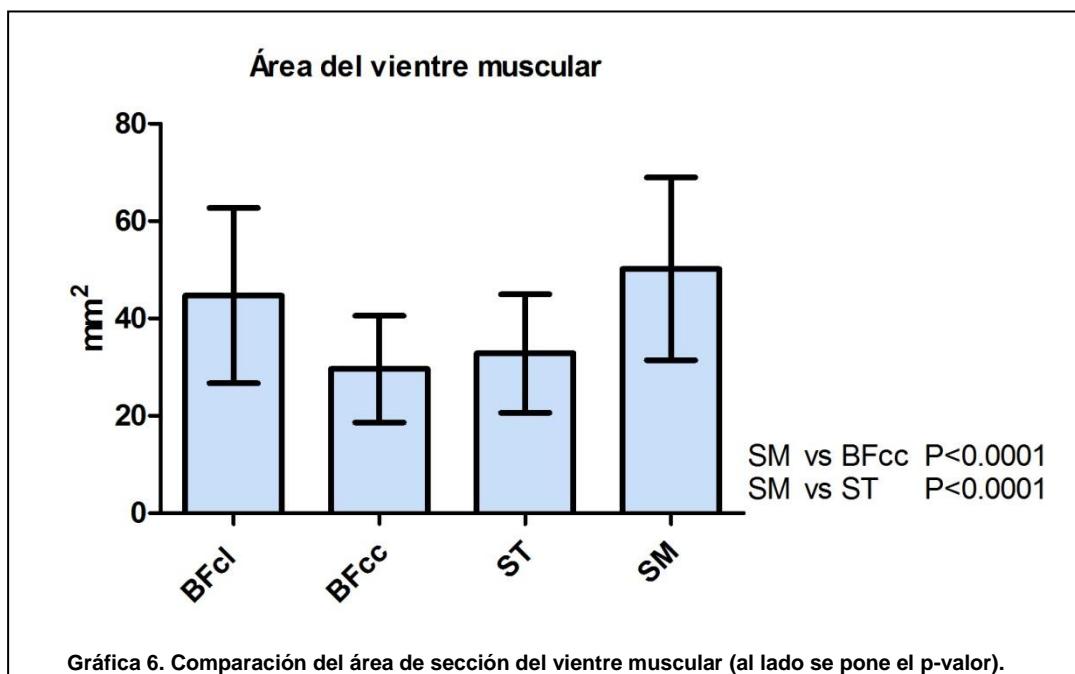
**Gráfica 5. Comparación del diámetro anteroposterior del vientre muscular (al lado se pone el p-valor).**

## Área de sección del Vientre Muscular

El músculo que tuvo mayor área de vientre muscular fue el Semimembranoso, y el que tuvo menor área fue la cabeza corta del Bíceps femoral. De los músculos biarticulares, el Semitendinoso fue el que tuvo menor área, siendo estas diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 40 y gráfica 6**).

**Tabla 40. Área de sección del Vientre Muscular**

Área en mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	19,1	103,9	44,7	18,0
Cabeza corta del Bíceps femoral	10,5	58,3	29,6	11,0
M. Semitendinoso	13,0	59,4	32,8	12,2
M. Semimembranoso	28,6	106,6	50,2	18,8



**Área media del vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral a nivel del tercio medio y tercio inferior del muslo.**

En el tercio medio del muslo el área del vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral fue en promedio de  $44,7 \text{ mm}^2$  ( $\pm 18$ ) y en el tercio inferior fue de  $12 \text{ mm}^2$  ( $\pm 5,2$ ), observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 41, figura 28 y gráfica 7**).

**Tabla 41. Área del vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral en 2 niveles diferentes del muslo**

Área en $\text{mm}^2$	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio medio	19,1	103,9	44,7	18
Tercio inferior	4,5	28,2	12	5,2

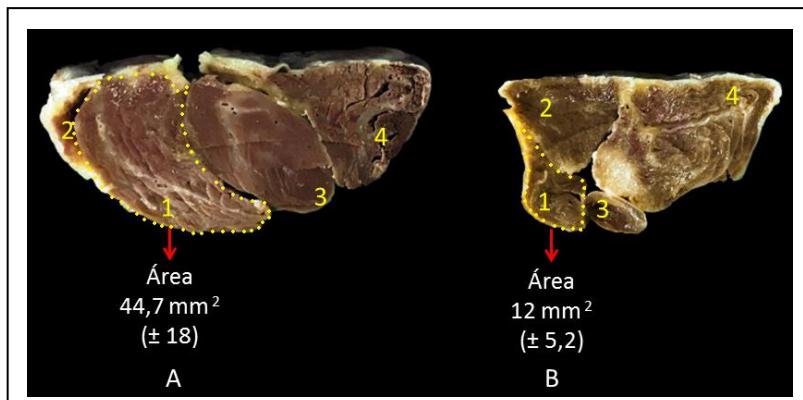
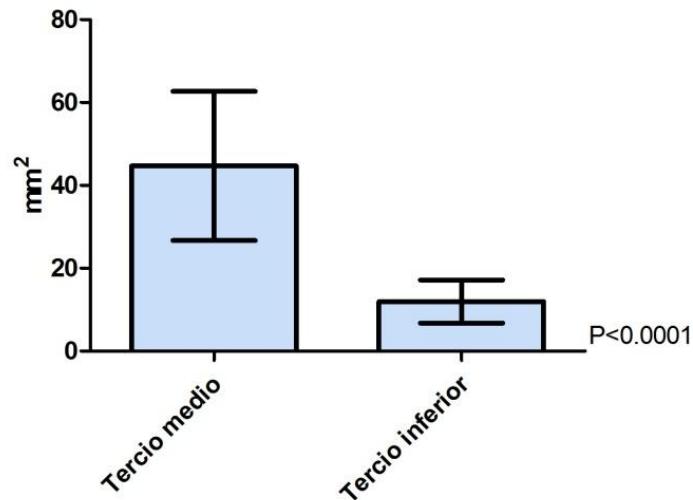


Fig. 28. Visión inferior de cortes transversales de la cabeza larga del Bíceps femoral. A corresponde a corte a nivel del tercio medio y B a nivel del tercio inferior, la línea punteada delimita las áreas de los vientres musculares estudiados y las flechas indican el tamaño de éstas. 1. Cabeza larga del Bíceps femoral; 2. Cabeza corta del Bíceps femoral; 3. M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso.

**Área del vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps Femoral en 2 niveles**



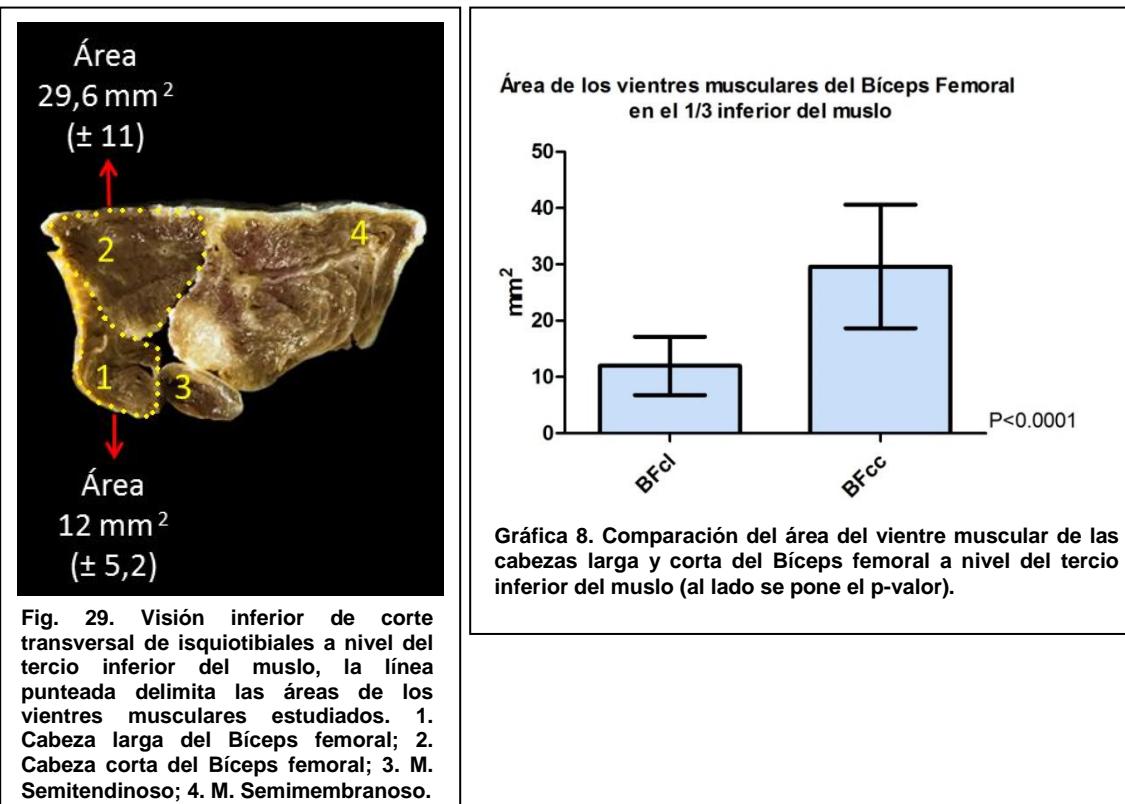
Gráfica 7. Comparación del área del vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral en el tercio medio e inferior del muslo (al lado se pone el p-valor).

## Área de los vientres musculares del Bíceps femoral a nivel del tercio inferior del muslo

En el tercio inferior del muslo el área media de los vientres musculares fue de  $12 \text{ mm}^2$  ( $\pm 5,2$ ) para la cabeza larga y de  $29,6 \text{ mm}^2$  ( $\pm 11$ ) para la cabeza corta, observándose diferencias de estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 42, figura 29 y gráfica 8**).

**Tabla 42. Área de los vientres musculares del Bíceps femoral en el 1/3 inferior del muslo**

Área en $\text{mm}^2$	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	4,5	28,2	12	5,2
Cabeza corta del Bíceps femoral	10,5	58,3	29,6	11

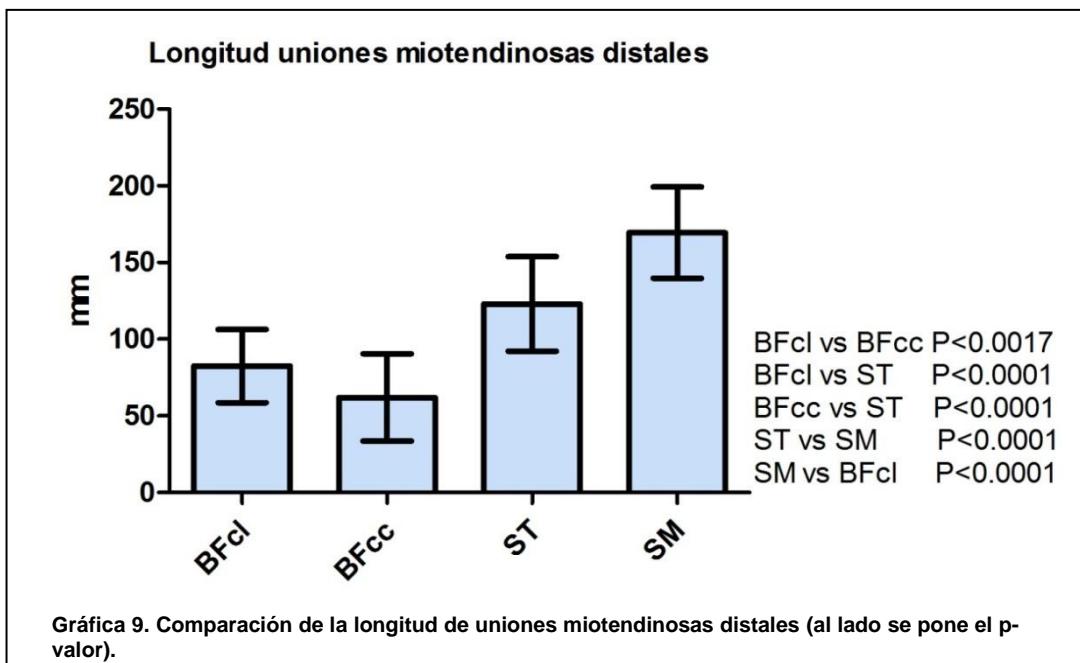


### Longitud de la unión miotendinosa distal

El músculo que tuvo la unión miotendinosa distal más larga fue el Semimembranoso, y el que tuvo la unión miotendinosa más corta fue la cabeza corta del Bíceps femoral. De los músculos biarticulares, la cabeza larga del Bíceps femoral tuvo la unión miotendinosa más corta, siendo estas diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 43 y gráfica 9**).

**Tabla 43. Longitud unión miotendinosa distal**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	25	160	82,3	23,8
Cabeza corta del Bíceps femoral	10	110	62	28,4
M. Semitendinoso	60	175	123	30,8
M. Semimembranoso	115	235	169,5	29,7

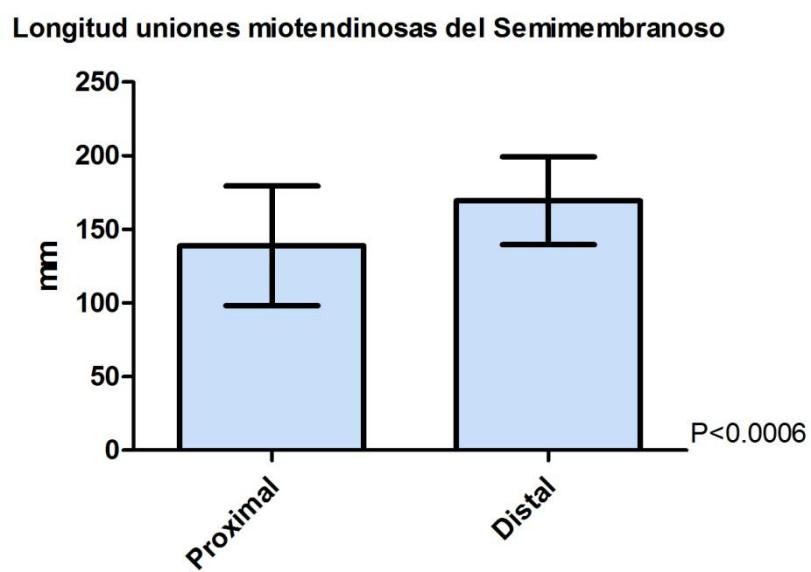


### Comparación entre unión miotendinosa distal y proximal del Semimembranoso

La unión miotendinosa distal del Semimembranoso fue mayor que la proximal, observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0006$  (**tabla 44 y gráfica 10**).

**Tabla 44. Longitud unión miotendinosa del Semimembranoso**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Unión miotendinosa proximal	80	280	138,9	40,6
Unión miotendinosa distal	115	235	169,5	29,7



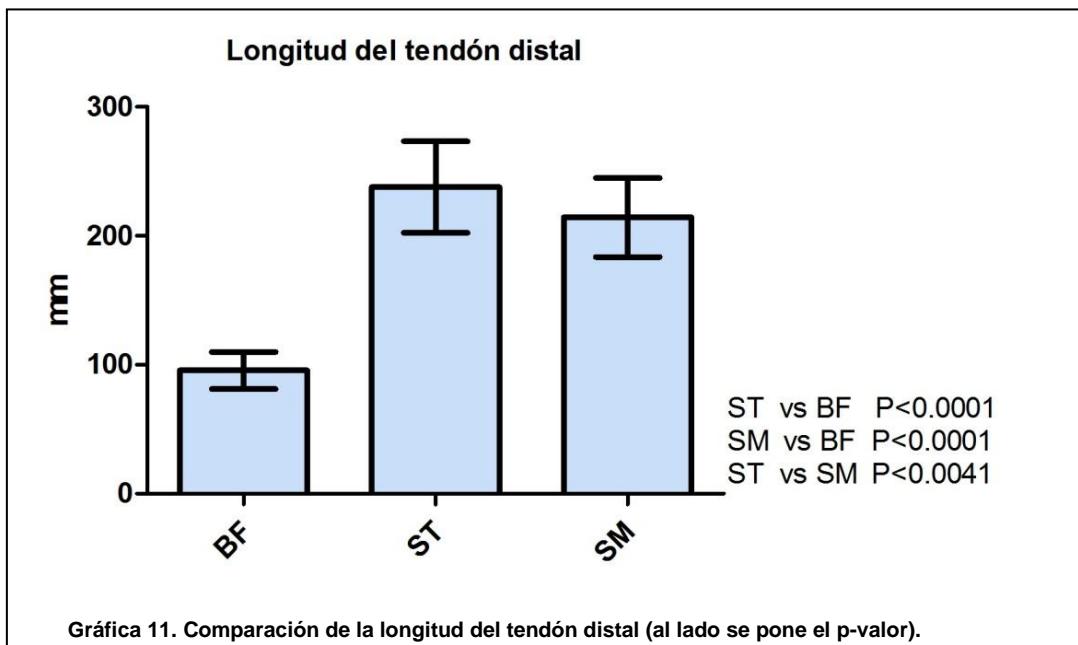
**Gráfica 10. Comparación de la longitud de las uniones miotendinosas del Semimembranoso (al lado se pone el p-valor).**

### Longitud del Tendón Distal

El tendón distal del Semitendinoso fue el más largo, mientras que el tendón distal del Bíceps femoral fue el más corto, siendo esta diferencia estadísticamente significativa  $p<0.0001$  (**tabla 45 y gráfica 11**).

**Tabla 45. Longitud Tendón Distal**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
M. Bíceps femoral	70	130	96	14,3
M. Semitendinoso	175	330	238	36
M. Semimembranoso	165	270	214	31



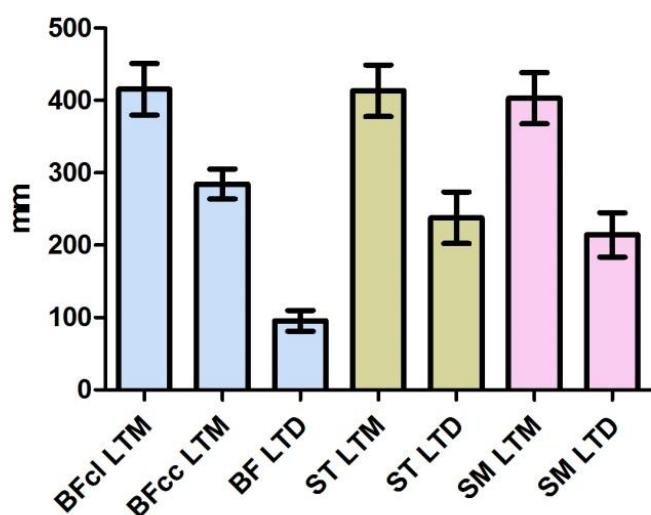
### Proporción del tendón distal respecto a la longitud total del músculo

El tendón distal del músculo Semitendinoso fue el tendón distal proporcionalmente más largo respecto a la longitud total del músculo, mientras que la cabeza larga del Bíceps femoral tuvo el tendón distal proporcionalmente más corto (**tabla 46 y gráfica 12**).

**Tabla 46. Proporciones del tendón distal respecto a la longitud total del músculo**

Longitud media en mm	BFcl	BFcc	ST	SM
Longitud total del músculo	415 ( $\pm 36$ )	285 ( $\pm 21$ )	413 ( $\pm 36$ )	403 ( $\pm 35$ )
Longitud del tendón distal	96 ( $\pm 14,3$ )	96 ( $\pm 14,3$ )	238 ( $\pm 36$ )	214 ( $\pm 31$ )
Proporción tendón distal/longitud total	23,13%	33,68%	57,63%	53,10%

**Proporcion de la longitud del tendón distal (LTD) respecto a la longitud total del músculo (LTM)**



**Gráfica 12. Comparación de la proporción de longitud del tendón distal respecto a la longitud total del músculo.**

### **Localización de los tendones respecto al vientre muscular**

El tendón proximal del Bíceps femoral se extendió mayoritariamente hasta el tercio medio del vientre muscular, el del Semitendinoso en el tercio superior y el del Semimembranoso se extendió mayoritariamente hasta el tercio medio (**tabla 47**).

**Tabla 47. Porcentaje de localización del tendón proximal respecto al vientre muscular**

Tendón proximal	Tercio Superior	Tercio Medio	Tercio Inferior
Cabeza larga del Bíceps femoral	48,6	51,4	0
M. Semitendinoso	100	0	0
M. Semimembranoso	0	74,3	25,7

El tendón distal del Bíceps femoral se extendió desde el tercio inferior del vientre muscular, el del Semitendinoso se extendió mayoritariamente desde el tercio medio y el del Semimembranoso se extendió mayoritariamente desde el tercio inferior (**tabla 48**).

**Tabla 48. Porcentaje de localización del tendón distal respecto al vientre muscular**

Tendón distal	Tercio Superior	Tercio Medio	Tercio Inferior
M. Bíceps femoral	0	0	100
M. Semitendinoso	0	65,7	34,3
M. Semimembranoso	5,7	0	94,3

### **Continuidad entre tendón proximal y tendón distal**

En el total de muestras estudiadas ningún músculo presentó continuidad entre el tendón proximal y el tendón distal (**tabla 49**)

**Tabla 49. Continuidad de tendón intramuscular**

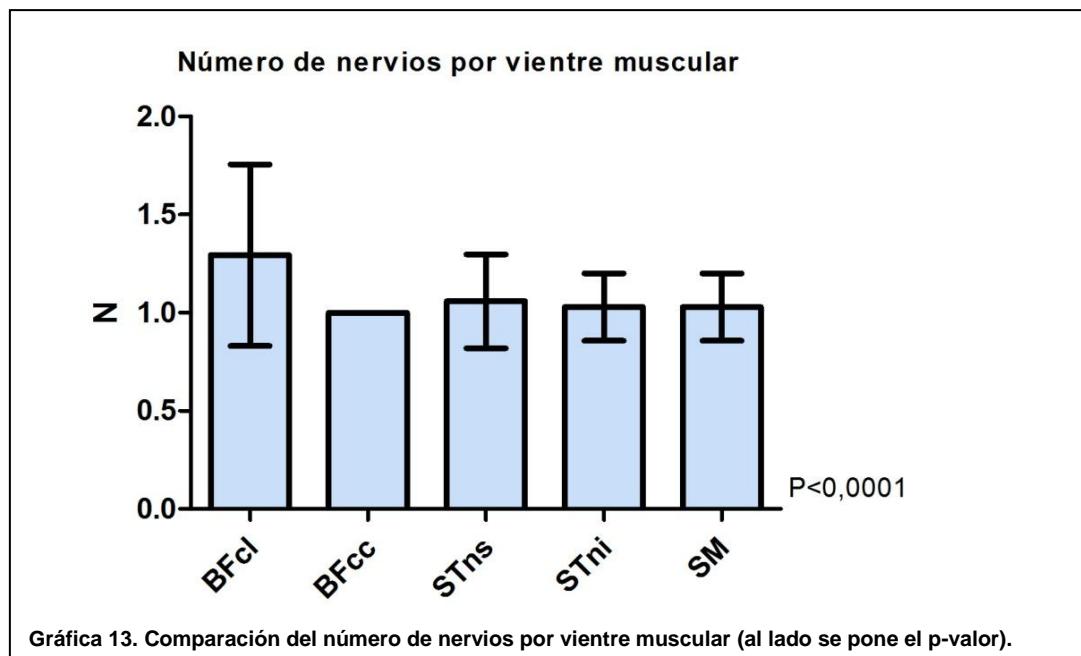
Porcentaje	B.F.C.L.	B.F.C.C.	M. ST.	M. SM.
Sí	0	0	0	0
No	100	100	100	100

### Comparación del número de nervios

En general los vientres musculares recibieron 1 nervio, con excepción del Semitendinoso que recibió 2 nervios independientes (**tabla 50 y gráfica 13**).

**Tabla 50. Comparación del número de nervios**

Nervio	Nº Nervios	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral	1,29	0,46
Cabeza corta del Bíceps femoral	1	0
M. Semitendinoso nervio superior	1,06	0,24
M. Semitendinoso nervio inferior	1,03	0,17
M. Semimembranoso	1,03	0,17



### **Localización del punto de penetración nerviosa en el vientre muscular**

El punto de penetración del nervio varió según el músculo. En la cabeza larga del Bíceps femoral el nervio penetró generalmente en el tercio superior, en la cabeza corta lo hizo en el tercio medio; el nervio superior del Semitendinoso lo hizo siempre en el tercio superior mientras que su nervio inferior generalmente ingresó por el tercio medio, y el nervio del Semimembranoso generalmente por el tercio medio (**tabla 51**).

**Tabla 51. Comparación del punto de penetración nerviosa en el músculo**

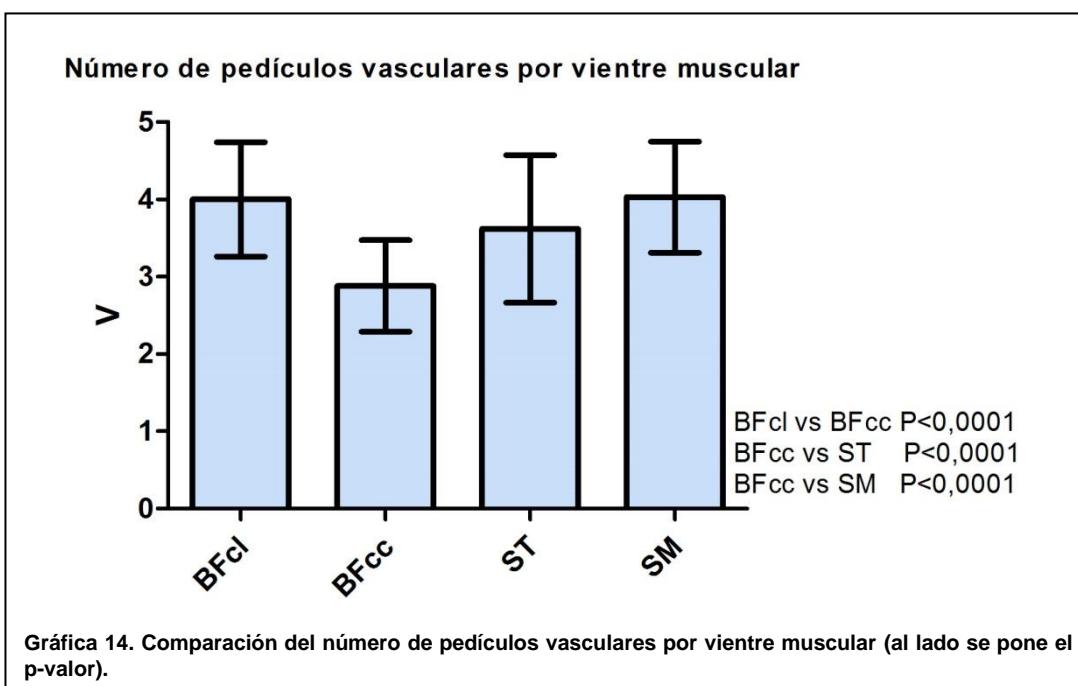
Punto de penetración nerviosa	(%) Tercio Superior	(%) Tercio Medio	(%) Tercio Inferior	(%) 1/3-2/3	(%) 2/3-3/3
Cabeza larga del Bíceps femoral	61,7	11,8	0	26,5	0
Cabeza corta del Bíceps femoral	2,9	64,7	32,4	0	0
M. Semitendinoso nervio superior	100	0	0	0	0
M. Semitendinoso nervio inferior	2,9	94,2	2,9	0	0
M. Semimembranoso	2,9	50	44,2	2,9	0

## Comparación del número de pedículos vasculares

Los músculos que recibieron la mayor cantidad de pedículos vasculares fueron el Semimembranoso y la cabeza larga del Bíceps femoral, siendo esta diferencia estadísticamente significativa en comparación con la cabeza corta del Bíceps femoral  $p<0.0001$  (**tabla 52 y gráfica 14**).

**Tabla 52. Media de vascularización muscular**

Músculo vascularizado	Glúteos inferiores	Femorales Profundos	Poplíteos	Total
Cabeza larga del Bíceps femoral	0,74	3,03	0,26	4,03
Cabeza corta del Bíceps femoral	0	1,82	1,03	2,85
M. Semitendinoso	1,03	2,35	0,21	3,59
M. Semimembranoso	0,06	2,88	1,09	4,03



### 1.9. Estudio comparativo por sexo

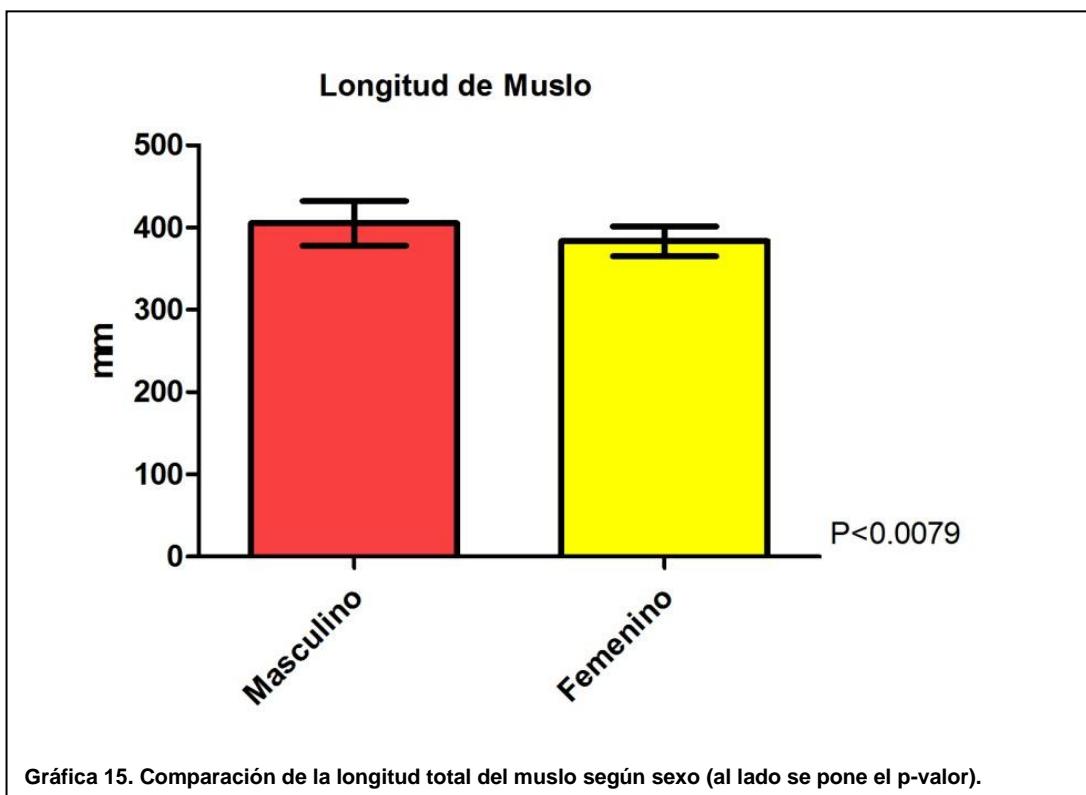
Se realizó un estudio comparativo separando la muestra por sexo. De la muestra total de 35 muslos, 17 correspondían a sexo masculino y 18 a sexo femenino, siendo la edad promedio de los hombres de 82,06 años ( $\pm 13,93$ ) y la edad promedio de las mujeres de 75,5 años ( $\pm 19,66$ ).

#### Longitud de muslo según sexo

En promedio la longitud del muslo fue mayor en el sexo masculino que en el femenino, observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0,0079$  (**tabla 53 y gráfica 15**).

**Tabla 53. Longitud de muslo según sexo**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Masculino	340	450	405,3	27,2
Femenino	350	410	383,3	18,2

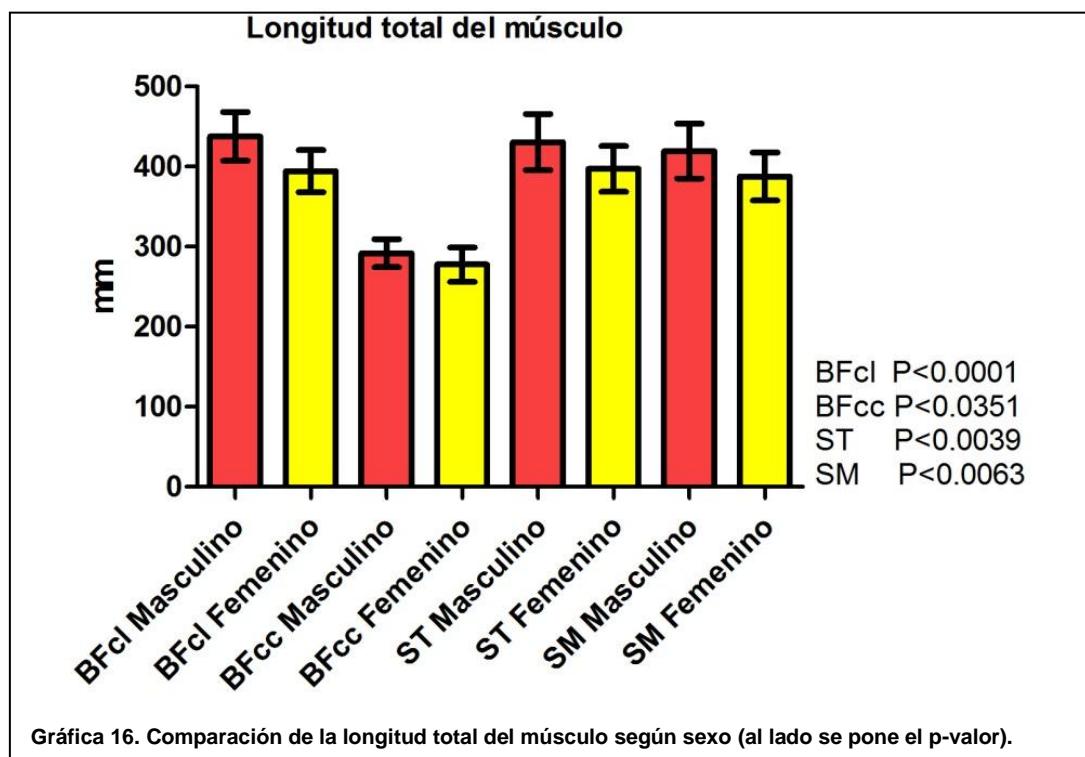


### Longitud total del músculo según sexo

En promedio todos los músculos fueron más largos en el sexo masculino que en el femenino, observándose diferencias estadísticamente significativas (**tabla 54 y gráfica 16**).

**Tabla 54. Longitud total del músculo según sexo**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	375	490	437,6	30,5
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	350	445	394,4	26,3
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	265	325	292,1	17,5
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	240	325	277,5	21,4
M. Semitendinoso Masculino	370	480	430,6	34,9
M. Semitendinoso Femenino	340	440	397,2	28,6
M. Semimembranoso Masculino	360	460	419,4	34,1
M. Semimembranoso Femenino	320	420	387,8	30,0

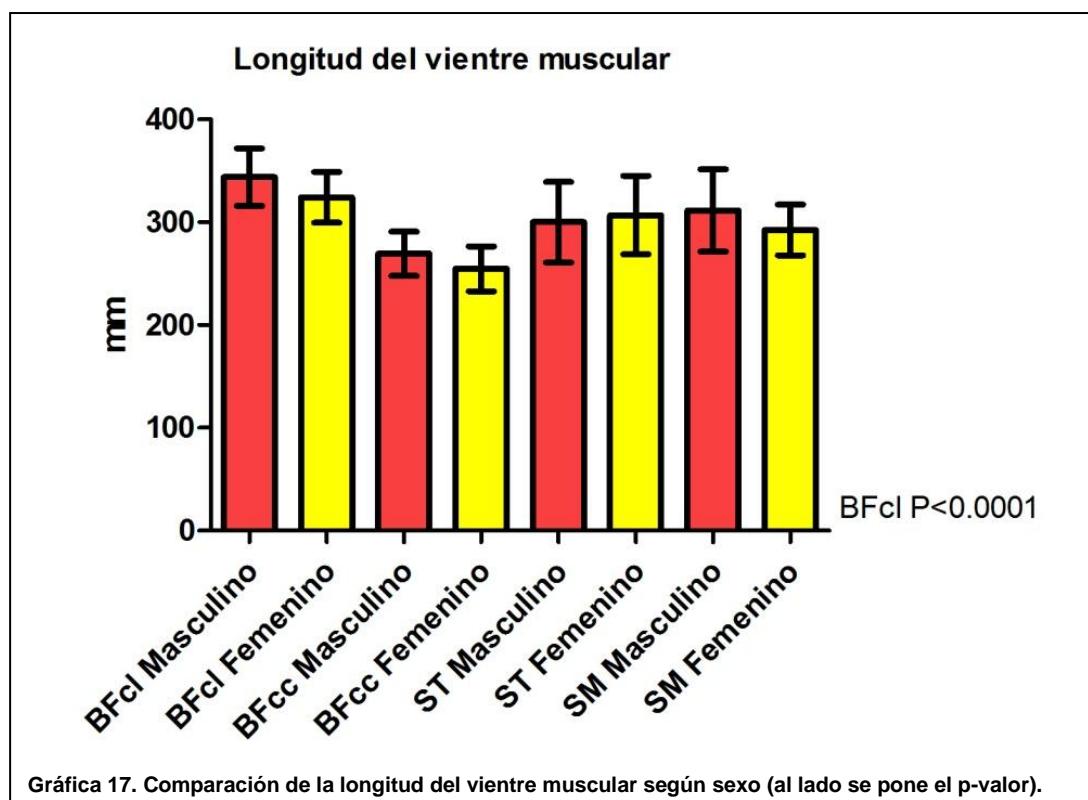


### Longitud del vientre muscular según sexo

Con excepción del Semitendinoso, en promedio los vientres musculares fueron más largos en el sexo masculino, observando diferencias estadísticamente significativas únicamente en la cabeza larga del Bíceps femoral ( $p<0,0001$ ) (**tabla 55 y gráfica 17**).

**Tabla 55. Longitud del vientre muscular según sexo**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	295	390	343,8	28,1
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	285	375	324,2	24,8
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	220	310	269,4	21,4
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	220	300	254,8	21,9
M. Semitendinoso Masculino	250	350	300	39,2
M. Semitendinoso Femenino	250	375	306,9	38,2
M. Semimembranoso Masculino	260	390	311,5	40,0
M. Semimembranoso Femenino	240	320	292,5	24,8



**Proporción de longitud de vientre muscular (LVM) respecto a la longitud total del músculo (LTM)**

Proporcionalmente los vientres musculares fueron más largos en el sexo femenino que en el masculino, representando un mayor porcentaje de la longitud total del músculo. La excepción se observó en la cabeza corta del Bíceps femoral (**tabla 56 y gráfica 18**).

**Tabla 56. Proporciones del vientre muscular respecto a la longitud total del músculo**

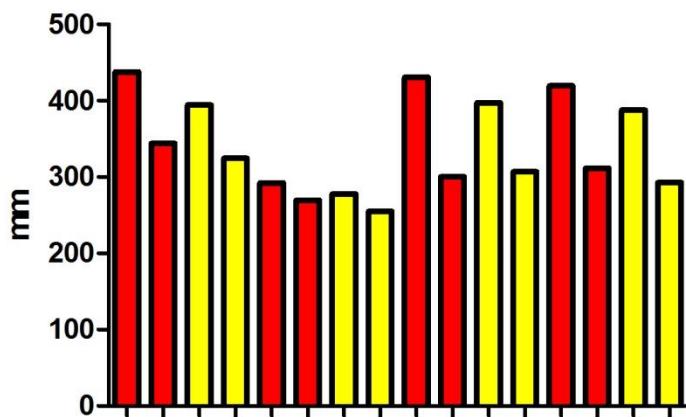
**Longitud media en mm**

<b>Sexo Masculino</b>	<b>BFcl</b>	<b>BFcc</b>	<b>ST</b>	<b>SM</b>
Longitud total del músculo	437,6 ( $\pm$ 30,5)	292,1 ( $\pm$ 17,5)	430,6 ( $\pm$ 34,9)	419,4 ( $\pm$ 34,1)
Longitud del vientre muscular	343,8 ( $\pm$ 28,1)	269,4 ( $\pm$ 21,4)	300 ( $\pm$ 39,2)	311,5 ( $\pm$ 40)
Proporción vientre muscular/longitud total	78,56%	92,23%	69,67%	74,27%

<b>Sexo Femenino</b>	<b>BFcl</b>	<b>BFcc</b>	<b>ST</b>	<b>SM</b>
Longitud total del músculo	394,4 ( $\pm$ 26,3)	277,5 ( $\pm$ 21,4)	397,2 ( $\pm$ 28,6)	387,8 ( $\pm$ 30)
Longitud del vientre muscular	324,2 ( $\pm$ 24,8)	254,8 ( $\pm$ 21,9)	306,9 ( $\pm$ 38,2)	292,5 ( $\pm$ 24,8)
Proporción vientre muscular/longitud total	82,20%	91,81%	77,27%	75,43%

**Proporción de longitud total de vientre muscular (LVM) respecto a la longitud total del músculo (LTM)**



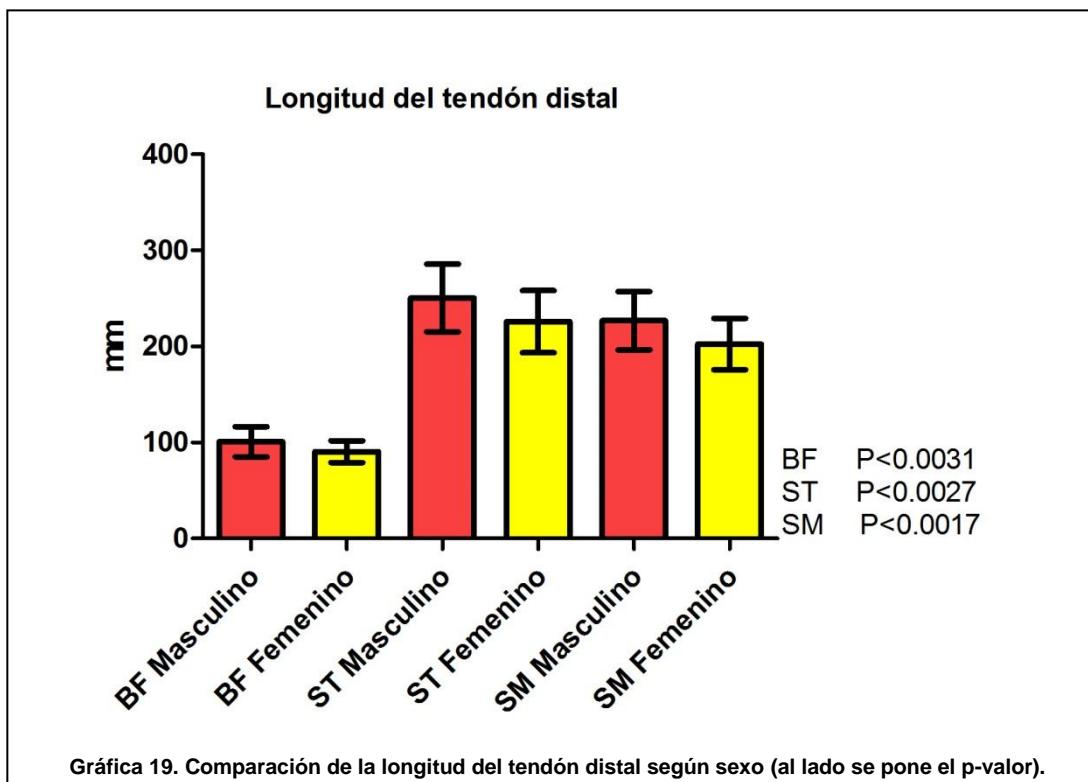
**Gráfica 18. Comparación de la proporción de vientre muscular respecto a la longitud total del músculo según sexo.**

### Longitud del tendón distal según sexo

En promedio todos los tendones distales fueron más largos en el sexo masculino, observándose diferencias estadísticamente significativas (**tabla 57 y gráfica 19**).

**Tabla 57. Longitud del tendón distal según sexo**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
M. Bíceps femoral Masculino	70	130	100,9	15,6
M. Bíceps femoral Femenino	70	110	90,6	11,2
M. Semitendinoso Masculino	180	330	250,6	35,3
M. Semitendinoso Femenino	175	310	225,8	32,2
M. Semimembranoso Masculino	190	270	226,8	30,3
M. Semimembranoso Femenino	165	250	202,5	26,6

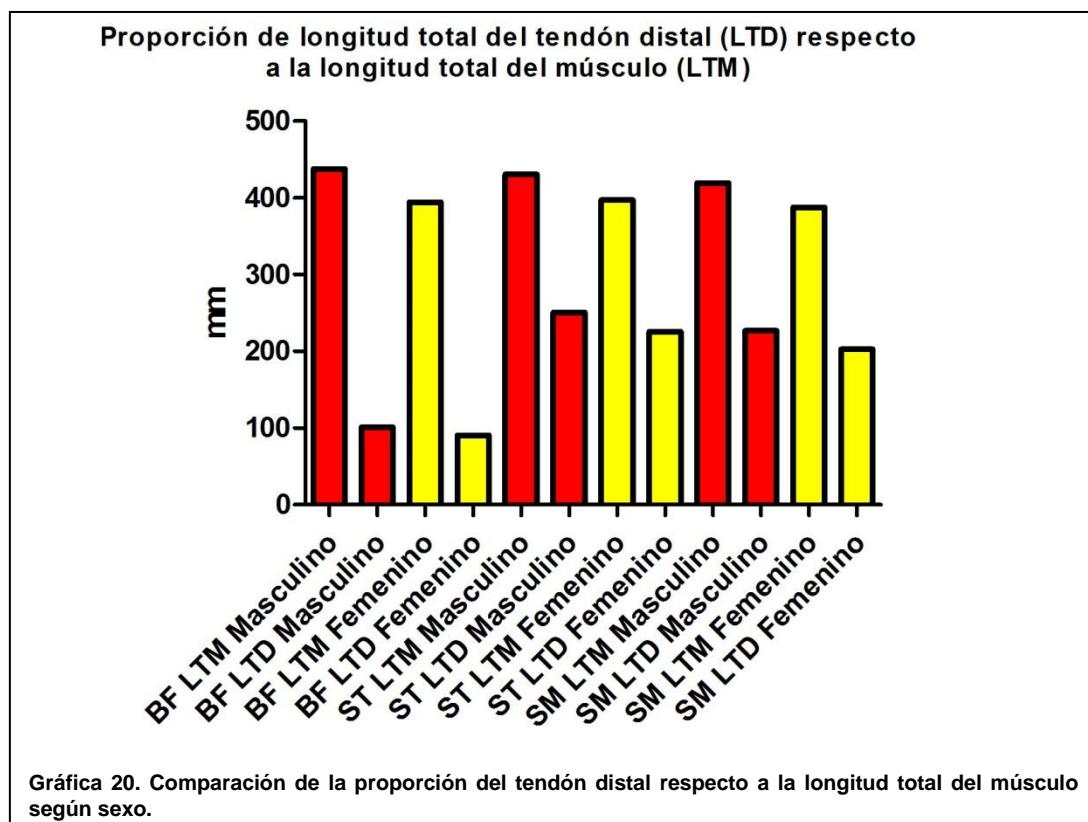


## Proporción de longitud del tendón distal (LTD) respecto a la longitud total del músculo (LTM)

Proporcionalmente los tendones distales fueron más largos en el sexo masculino que en el femenino, representando un mayor porcentaje de la longitud total del músculo (**tabla 58 y gráfica 20**).

**Tabla 58. Proporciones del tendón distal respecto a la longitud total del músculo**

<b>Longitud en mm</b>			
<b>Sexo Masculino</b>	<b>BF</b>	<b>ST</b>	<b>SM</b>
Longitud total del músculo	437,6 ( $\pm 30,5$ )	430,6 ( $\pm 34,9$ )	419,4 ( $\pm 34,1$ )
Longitud del tendón distal	100,9 ( $\pm 15,6$ )	250,6 ( $\pm 35,3$ )	226,8 ( $\pm 30,3$ )
Proporción tendón distal/longitud total	23,06%	58,20%	54,07%
<b>Sexo Femenino</b>	<b>BF</b>	<b>ST</b>	<b>SM</b>
Longitud total del músculo	394,4 ( $\pm 26,3$ )	397,2 ( $\pm 28,6$ )	387,8 ( $\pm 30$ )
Longitud del tendón distal	90,6 ( $\pm 11,2$ )	225,8 ( $\pm 32,2$ )	202,5 ( $\pm 26,6$ )
Proporción tendón distal/longitud total	22,97%	56,85%	52,22%

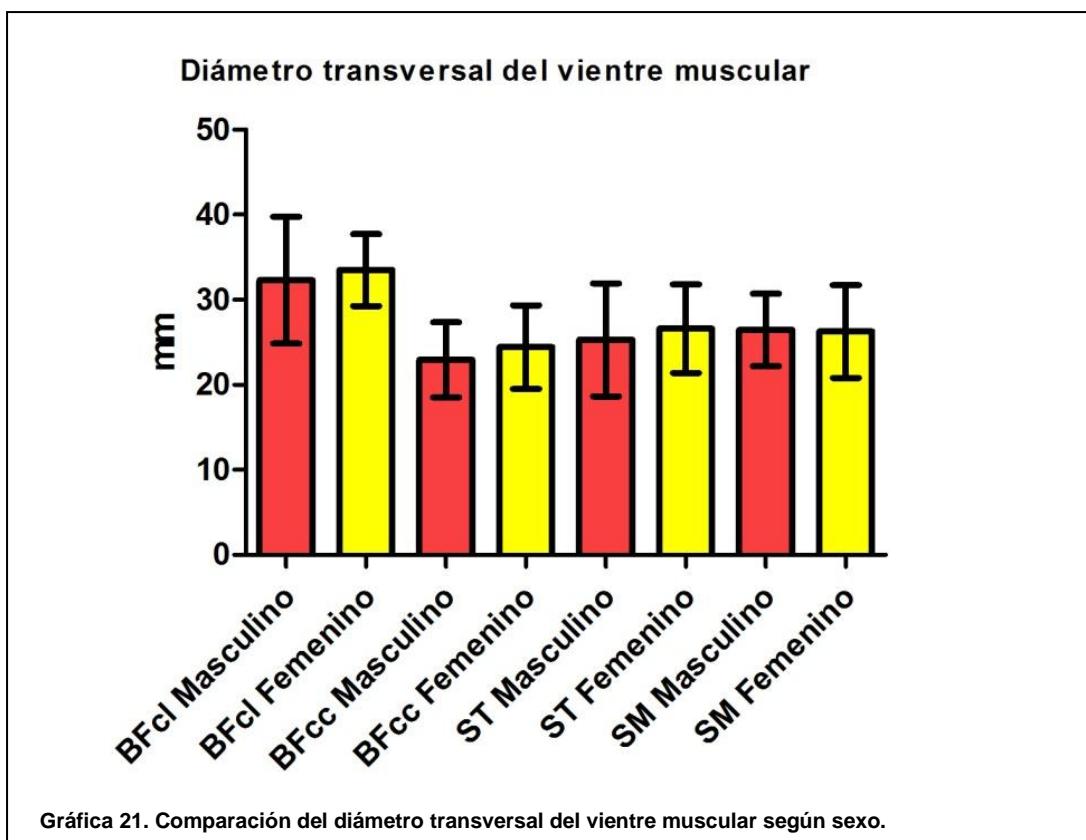


### Diámetro transversal del vientre muscular según sexo

Con excepción del Semimembranoso, en promedio el diámetro transversal del vientre muscular fue mayor en el sexo femenino que en el masculino, sin observarse diferencias estadísticamente significativas (**tabla 59 y gráfica 21**).

**Tabla 59. Diámetro transversal del vientre muscular según sexo**

Diámetro en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	22	54	32,29	7,5
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	26	40	33,5	4,2
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	16	31	22,94	4,4
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	15	31	24,44	4,9
M. Semitendinoso Masculino	16	39	25,29	6,6
M. Semitendinoso Femenino	19	43	26,61	5,2
M. Semimembranoso Masculino	20	36	26,47	4,3
M. Semimembranoso Femenino	18	35	26,28	5,5

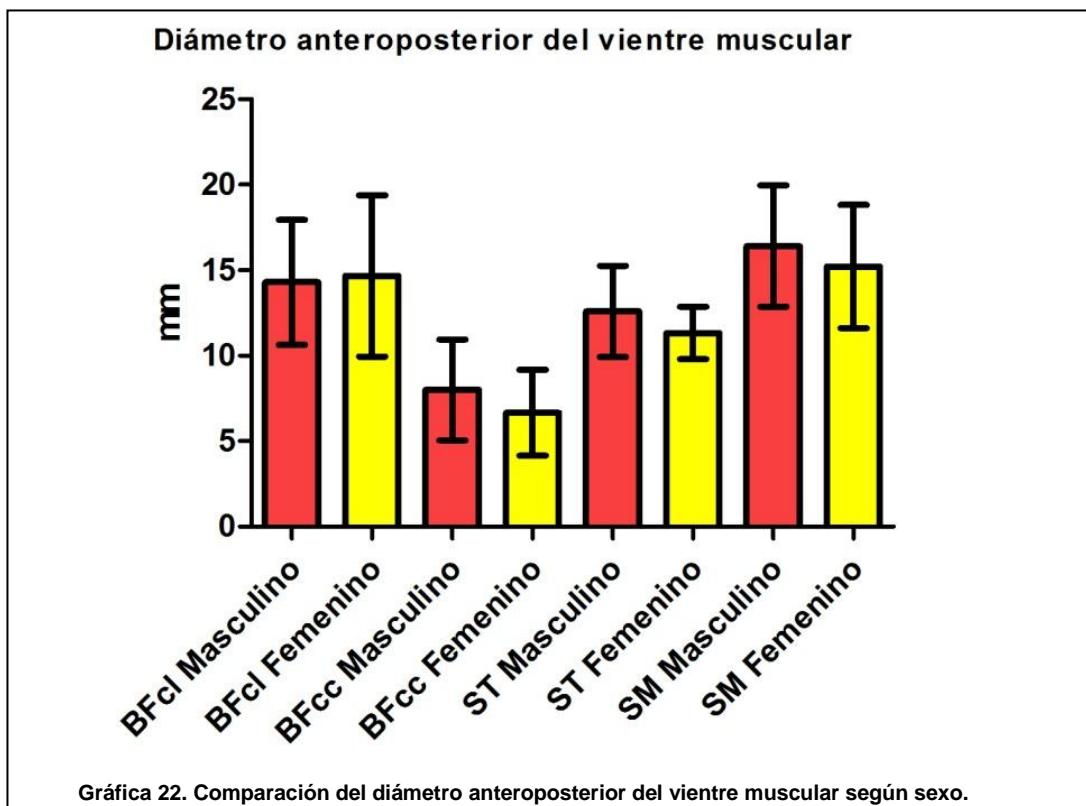


### Diámetro anteroposterior del vientre muscular según sexo

Con excepción de la cabeza larga del Bíceps femoral, en promedio el diámetro anteroposterior fue mayor en el sexo masculino respecto al femenino, sin observarse diferencias estadísticamente significativas (**tabla 60 y gráfica 22**).

**Tabla 60. Diámetro anteroposterior del vientre muscular según sexo**

Diámetro en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	9	21	14,29	3,65
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	10	28	14,67	4,73
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	5	15	8,00	2,96
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	4	13	6,67	2,52
M. Semitendinoso Masculino	9	17	12,59	2,67
M. Semitendinoso Femenino	9	14	11,33	1,53
M. Semimembranoso Masculino	10	23	16,41	3,55
M. Semimembranoso Femenino	9	24	15,22	3,61

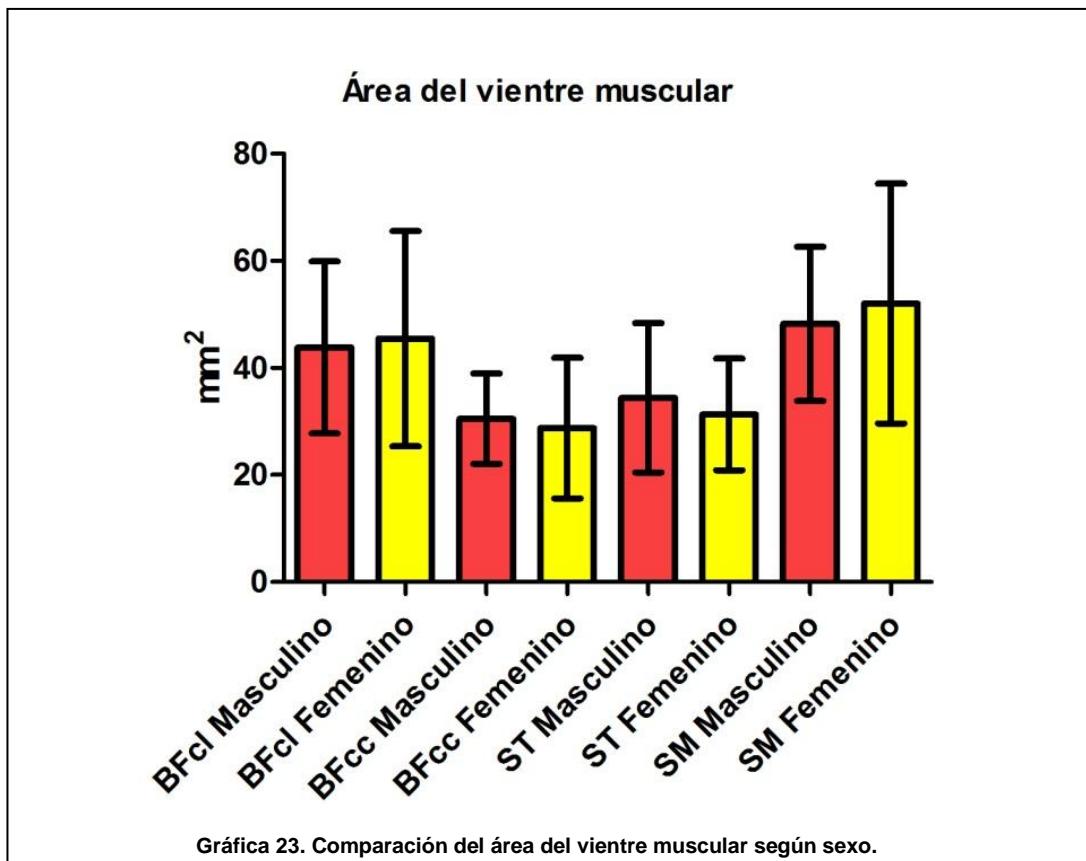


### Área de sección del vientre muscular según sexo

En promedio la mayor área de sección de vientre muscular se observó en el sexo femenino, sin observarse diferencias estadísticamente significativas (**tabla 61 y gráfica 23**).

**Tabla 61. Área del vientre muscular según sexo**

Área en mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	19,1	75,7	43,8	16,1
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	24,2	103,9	45,5	20,1
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	17,7	48,6	30,5	8,4
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	10,5	58,3	28,8	13,1
M. Semitendinoso Masculino	13,0	55,7	34,4	13,9
M. Semitendinoso Femenino	17,9	59,4	31,3	10,4
M. Semimembranoso Masculino	28,6	74,5	48,3	14,4
M. Semimembranoso Femenino	30,0	106,6	52	22,4

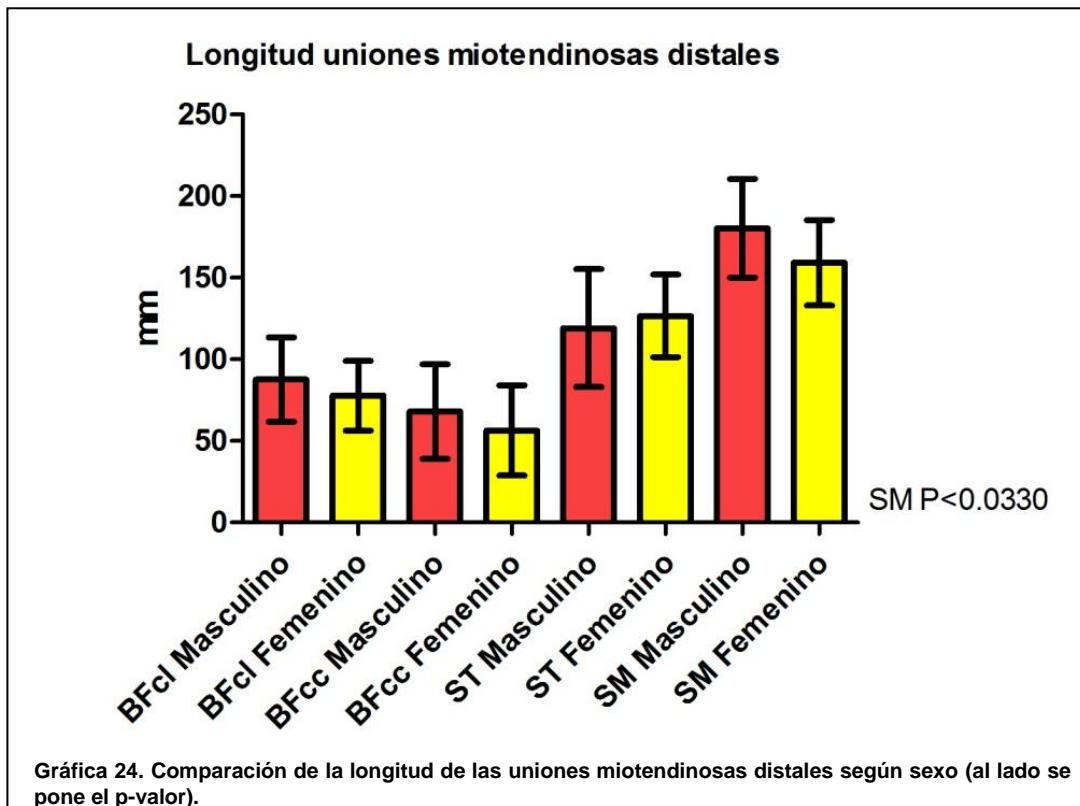


### Longitud de la unión miotendinosa distal según sexo

En promedio la unión miotendinosa distal más larga se observó en el sexo masculino y la más corta en el femenino, siendo la diferencia observada en el Semimembranoso estadísticamente significativa  $p<0,0330$  (**tabla 62 y gráfica 24**).

**Tabla 62. Longitud unión miotendinosa distal**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	45,0	160	87,7	25,9
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	25,0	115	77,8	21,4
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	20,0	110	67,9	28,9
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	10,0	100	56,4	27,5
M. Semitendinoso Masculino	60,0	175	119,0	36
M. Semitendinoso Femenino	90,0	175	126,7	25,4
M. Semimembranoso Masculino	145,0	235	180,4	30,2
M. Semimembranoso Femenino	115,0	200	159,2	26,1

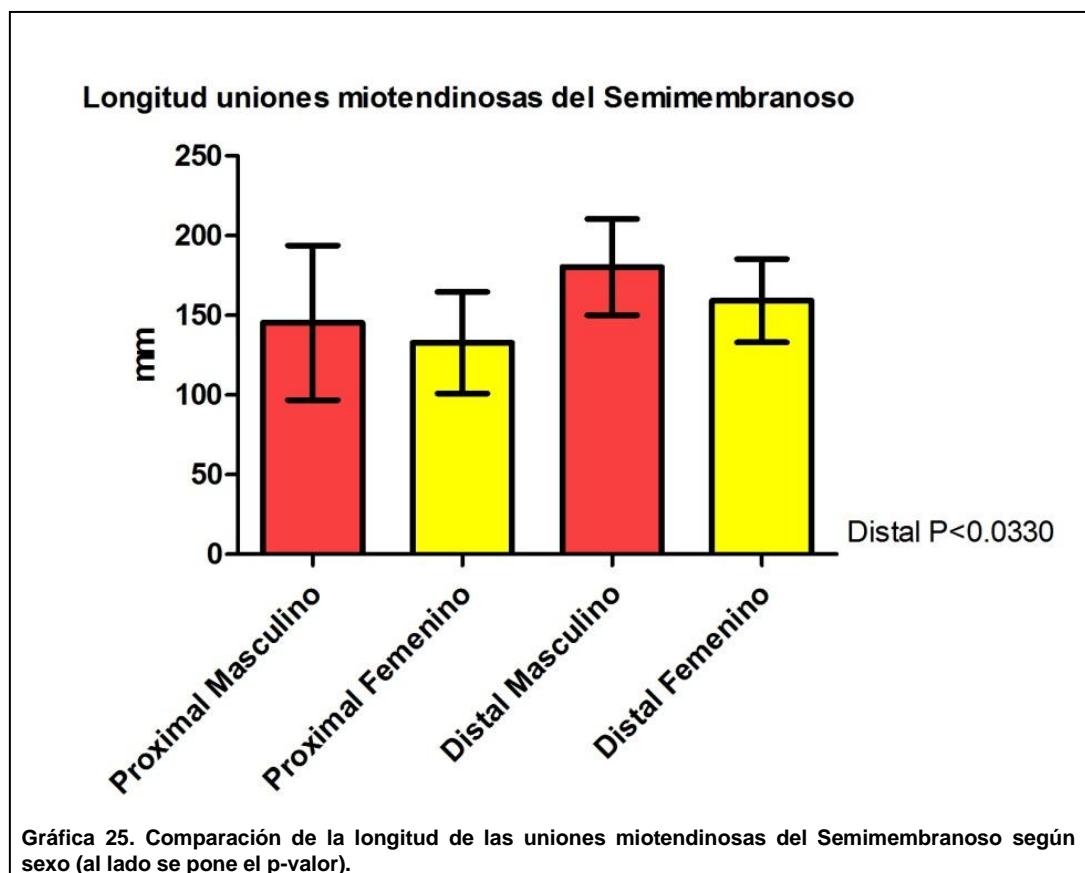


### **Comparación entre unión miotendinosa distal y proximal del Semimembranoso según sexo**

En promedio la unión miotendinosa distal masculina fue la más larga y la unión miotendinosa proximal femenina la más corta, siendo su diferencia estadísticamente significativa  $p<0,033$  (tabla 63 y gráfica 25).

**Tabla 63. Longitud uniones miotendinosas del Semimembranoso**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Proximal Masculino	80	280	145,3	48,5
Proximal Femenino	80	195	132,8	31,8
Distal Masculino	145	235	180,4	30,2
Distal Femenino	115	200	159,2	26,1

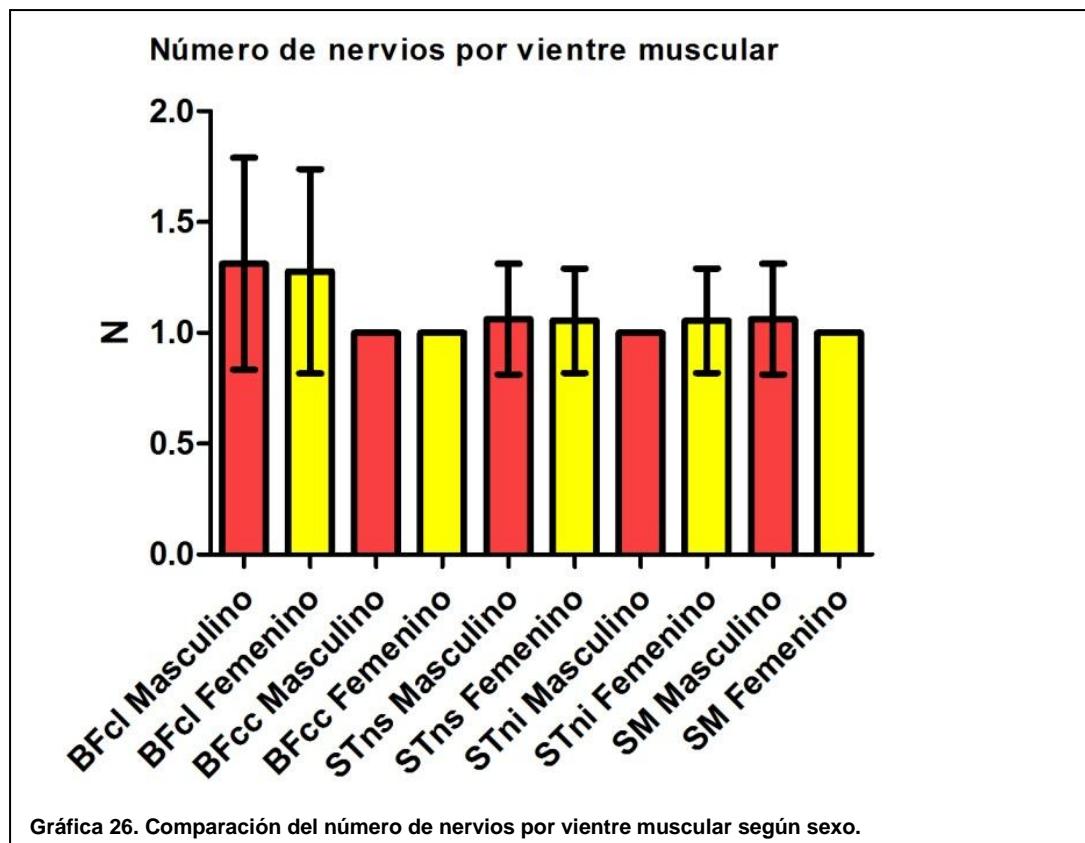


### Número de nervios por vientre muscular según sexo

En general el número de nervios por vientre muscular fue mayor en el sexo masculino respecto al femenino, sin observarse diferencias estadísticamente significativas (**tabla 64 y gráfica 26**).

**Tabla 64. Número de nervios por vientre muscular según sexo**

Media de número de nervios	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	1	2	1,31	0,48
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	1	2	1,28	0,46
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	1	1	1,00	0,00
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	1	1	1,00	0,00
M. Semitendinoso nervio superior Masculino	1	2	1,06	0,25
M. Semitendinoso nervio superior Femenino	1	2	1,06	0,24
M. Semitendinoso nervio inferior Masculino	1	1	1,00	0,00
M. Semitendinoso nervio inferior Femenino	1	2	1,06	0,24
M. Semimembranoso Masculino	1	2	1,06	0,25
M. Semimembranoso Femenino	1	1	1,00	0,00



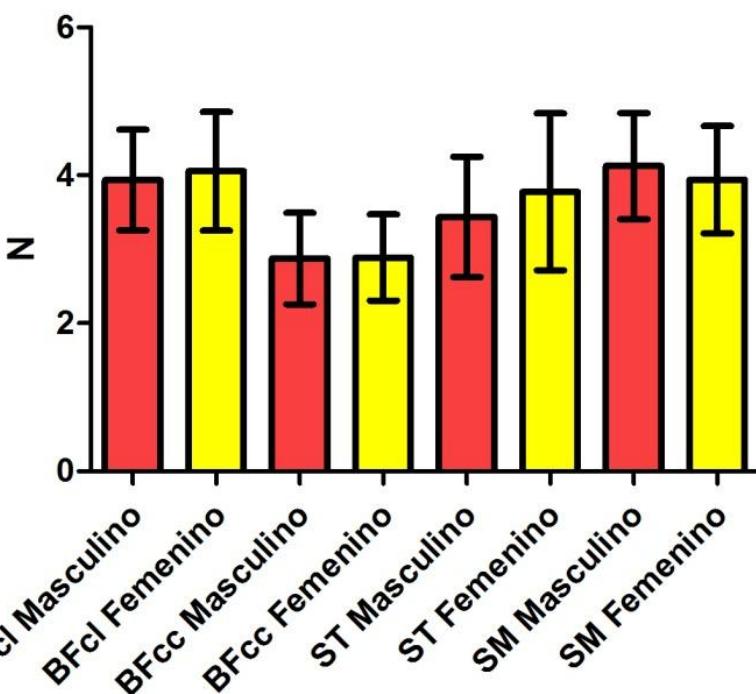
### Número de pedículos vasculares por viente muscular según sexo

Con excepción del músculo Semimembranoso, el número de pedículos vasculares fue mayor en el sexo femenino, sin observarse ninguna diferencia estadísticamente significativa (**tabla 65 y gráfica 27**).

**Tabla 65. Número de pedículos vasculares por viente muscular según sexo**

Número de pedículos vasculares	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Cabeza larga del Bíceps femoral Masculino	3	5	3,94	0,68
Cabeza larga del Bíceps femoral Femenino	3	5	4,06	0,80
Cabeza corta del Bíceps femoral Masculino	2	4	2,88	0,62
Cabeza corta del Bíceps femoral Femenino	2	4	2,89	0,58
M. Semitendinoso Masculino	2	5	3,44	0,81
M. Semitendinoso Femenino	3	7	3,78	1,06
M. Semimembranoso Masculino	3	5	4,13	0,72
M. Semimembranoso Femenino	2	5	3,94	0,73

**Número de pedículos vasculares por viente muscular**



**Gráfica 27. Comparación del número de pedículos vasculares según sexo.**

## 1.10. Tendón Conjunto Isquiotibial

El Tendón Conjunto Isquiotibial se encontraba formado por la unión proximal del tendón de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral y el músculo Semitendinoso, los cuales alcanzaban su inserción conjunta en la tuberosidad isquiática. La conformación de este tendón no era igual en todos los casos, presentando variaciones en cuanto a su morfología, tipo de inserción, organización y relaciones anatómicas.

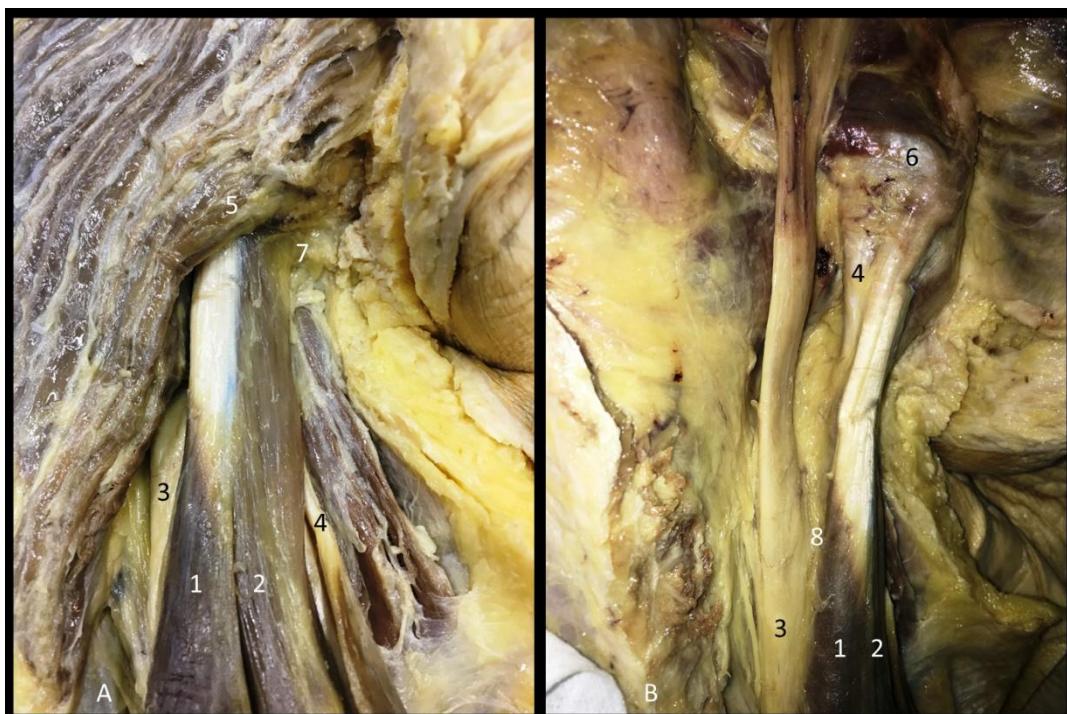


Fig. 30. A. Visión posterior del Tendón Conjunto Isquiotibial cubierto por el músculo glúteo mayor, se observan sus relaciones anatómicas. B Visión lateral del Tendón Conjunto Isquiotibial, se rebatió el músculo glúteo mayor para apreciar las relaciones anatómicas. 1. M. Bíceps femoral cabeza larga; 2. M. Semitendinoso; 3. N. Ciático; 4. Tendón del Semimembranoso; 5. M. Glúteo mayor; 6. Tuberosidad isquiática; 7. Tejido conjuntivo entre Tendón Conjunto Isquiotibial y M. Glúteo mayor; 8. Tejido conjuntivo entre Tendón Conjunto Isquiotibial y nervio Ciático.

### Conformación morfológica del Tendón Conjunto Isquiotibial

Al observar macroscópicamente el Tendón Conjunto Isquiotibial se pudo evidenciar la presencia de un tejido conjuntivo laxo procedente de la cara profunda del músculo glúteo mayor, el cual se disponía transversalmente, envolviendo al tendón, y extendiéndose hasta la región isquiática (**figura 30**). Una vez retirado este tejido fue posible reconocer la estructura anatómica del Tendón Conjunto Isquiotibial, en el cual se distinguieron dos tipos de

organización: una constituida por una unión músculotendinosa y la otra por la unión de dos tendones (**figura 31**).

En la conformación músculotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial observamos que la porción correspondiente a la cabeza larga del músculo Bíceps femoral presentaba una estructura tendinosa siempre (100% de los casos), mientras que la porción del Semitendinoso presentaba una estructura muscular en 32 de los casos (91,4%); En los otros 3 casos (8,6%) la estructura del músculo Semitendinoso fue completamente tendinosa, mediante un tendón corto que se encontraba en situación medial al tendón de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral (**tabla 66**).

**Tabla 66. Frecuencia de la conformación morfológica del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Tipo	Frecuencia	Porcentaje
Músculotendinoso	32/35	91,40%
Tendinoso	3/35	8,60%
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>

#### **Unión osteotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial, observación macroscópica**

Según cómo se conformaba estructuralmente el Tendón Conjunto Isquiotibial fue el tipo de inserción macroscópica. En 35 casos (100%) la cabeza larga del Bíceps femoral llegó a insertarse con fibras tendinosas a la tuberosidad isquiática, en tanto que el Semitendinoso, en 32 casos (91,4%), llegó hasta la tuberosidad isquiática con fibras musculares y en 3 casos (8,6%) lo hizo con fibras tendinosas (**tabla 67**). Estos 3 casos fueron de sexo masculino.

**Tabla 67. Frecuencia de la unión osteotendinosa macroscópica por músculo**

Tipo de Inserción	M. Semitendinoso	M. Bíceps femoral cl
Inserción musculotendinosa	32 (91,40%)	0 (0 %)
Inserción tendinosa	3 (8,60%)	35 (100%)
<b>Total</b>	<b>35 (100%)</b>	<b>35 (100%)</b>



Fig. 31. Visión posterior del Tendón Conjunto Isquiotibial. A) Conformación músculotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial. B) Conformación tendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial. 1. T. Bíceps femoral cabeza larga; 2. M. Semitendinoso; 3. Inserción del Tendón Conjunto Isquiotibial en la tuberosidad isquiática.

#### **Unión osteotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial, observación microscópica**

La unión osteotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial fue de tipo fibrocartilaginosa. La observación microscópica de la unión osteotendinosa permitió discriminar 4 componentes importantes de ésta: tejido tendinoso, fibrocartílago no calcificado, fibrocartílago calcificado y tejido óseo laminar.

El tejido tendinoso se reconoció por una matriz de aspecto fibrilar de tono celeste-verdoso y fibroblastos asociados, identificables porque su núcleo era alargado y compacto de ubicación periférica entre las fibras colágenas. La inserción del Tendón Conjunto Isquiotibial al tejido óseo era a través de un fibrocartílago que tenía un espesor promedio de 1,148 mm ( $\pm 0,715$ ); en este fibrocartílago se pudo discriminar dos zonas, una correspondiente a una porción calcificada asociada al tejido óseo y una porción no calcificada asociada al tejido tendinoso. Los condrocitos presentaron una morfología más redondeada formando una agrupación llamada

“grupos isógenos”, todo rodeado de matriz fibrocartilaginosa, tanto en la porción calcificada como no calcificada. La porción calcificada se reconoció por la tinción que adoptaba el fibrocartílago, de un color rojo mezclado con tonos azules. Esta porción media en promedio 0,542 mm ( $\pm$  0,435), en tanto que la porción no calcificada presentaba un color celeste verdoso y media en promedio 0,606 mm ( $\pm$  0,354) (**tabla 68**). El tejido óseo presentaba una matriz de aspecto laminar y osteocitos rodeados de matriz ósea (color rojo violáceo) (**figura 32**).

**Tabla 68. Longitud unión osteotendinosa del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Fibrocartílago calcificado	0,18339	1,63674	0,54188	0,43505
Fibrocartílago no calcificado	0,10291	1,30915	0,60613	0,35359
Fibrocartílago total	0,51457	2,94589	1,14801	0,71509
Porcentaje	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Porcentaje Fibrocartílago calcificado	26,80	86,67	45,70	17,57
Porcentaje Fibrocartílago no calcificado	13,33	73,20	54,30	17,03
Porcentaje Total			100,00	

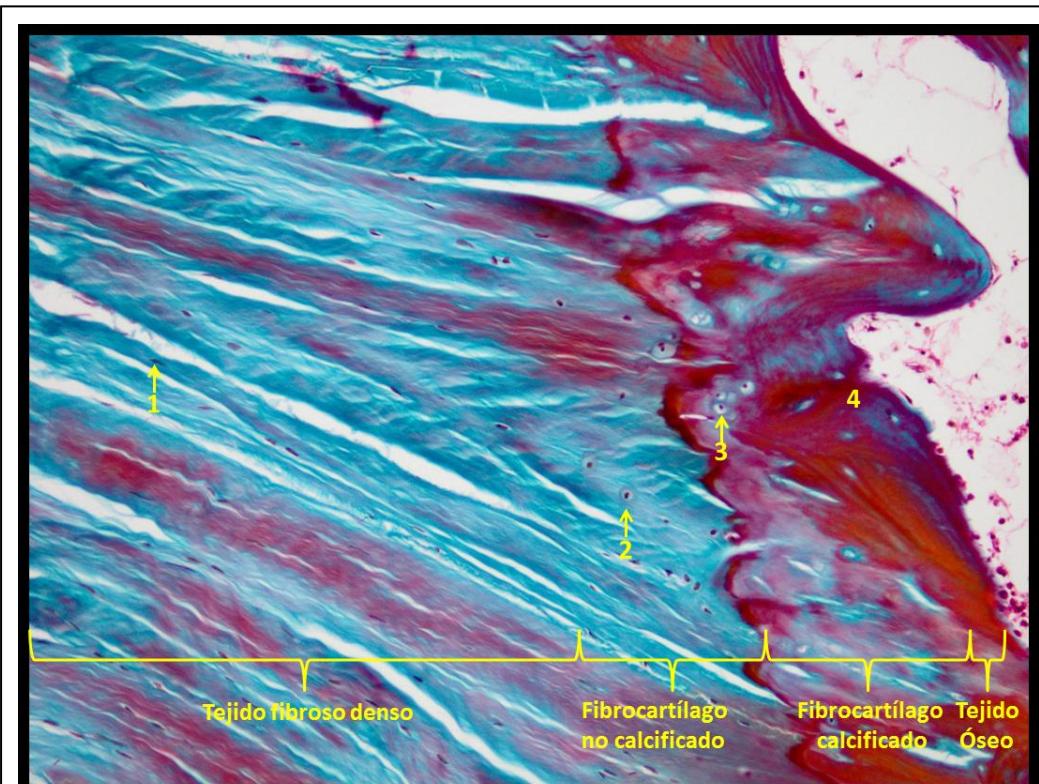


Fig. 32. Corte longitudinal del Tendón Conjunto Isquiotibial insertándose en la tuberosidad isquiática, tinción con Tricrómico de Masson, variante de Goldner, aumento de 200x. 1. Tejido conjuntivo denso regular del tendón, flecha señala núcleo de fibroblasto; 2. Porción no calcificada de fibrocartílago de inserción, flecha señala núcleo de condrocito; 3. Porción calcificada de fibrocartílago de inserción, flecha señala núcleo de condrocito; 4. Tejido óseo laminar de la tuberosidad isquiática.

### **Medidas del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Respecto a las mediciones macroscópicas realizadas en el Tendón Conjunto Isquiotibial, los resultados obtenidos fueron: longitud media 67 mm ( $\pm 1,2$ ), diámetro transversal medio del extremo superior 25,5 mm ( $\pm 4,3$ ), diámetro transversal medio central 21,7 mm ( $\pm 4,3$ ), y diámetro transversal medio del extremo inferior 26,8 mm ( $\pm 4,6$ ). Estos promedios tuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.0001$ ). El test de comparaciones múltiples de Tukey (con I.C. 95%) detectó que en promedio el diámetro transversal medio central fue significativamente menor ( $p<0.001$ ) que los otros dos promedios, los que a su vez no mostraron diferencias significativas entre sí.

Cabe destacar que en 28 de los casos estudiados (80%) el diámetro transversal medio central fue aproximadamente 2 mm menor a los diámetros de los extremos, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ( $p<0.001$ ). En 3 de los casos (8,6%) el diámetro transversal medio central fue 1 mm menor respecto al diámetro transversal medio del extremo superior; y en 4 casos (11,4%) el diámetro transversal medio central no presentó diferencias respecto a los extremos (**tabla 69 y figura 33**).

**Tabla 69. Medidas del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Milímetros (mm)	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Longitud	43	95	67	1,2
Diámetro transversal tercio superior	15	34	25,5	4,3
Diámetro transversal tercio medio	13	31	21,7	4,3
Diámetro transversal tercio inferior	17	37	26,8	4,6

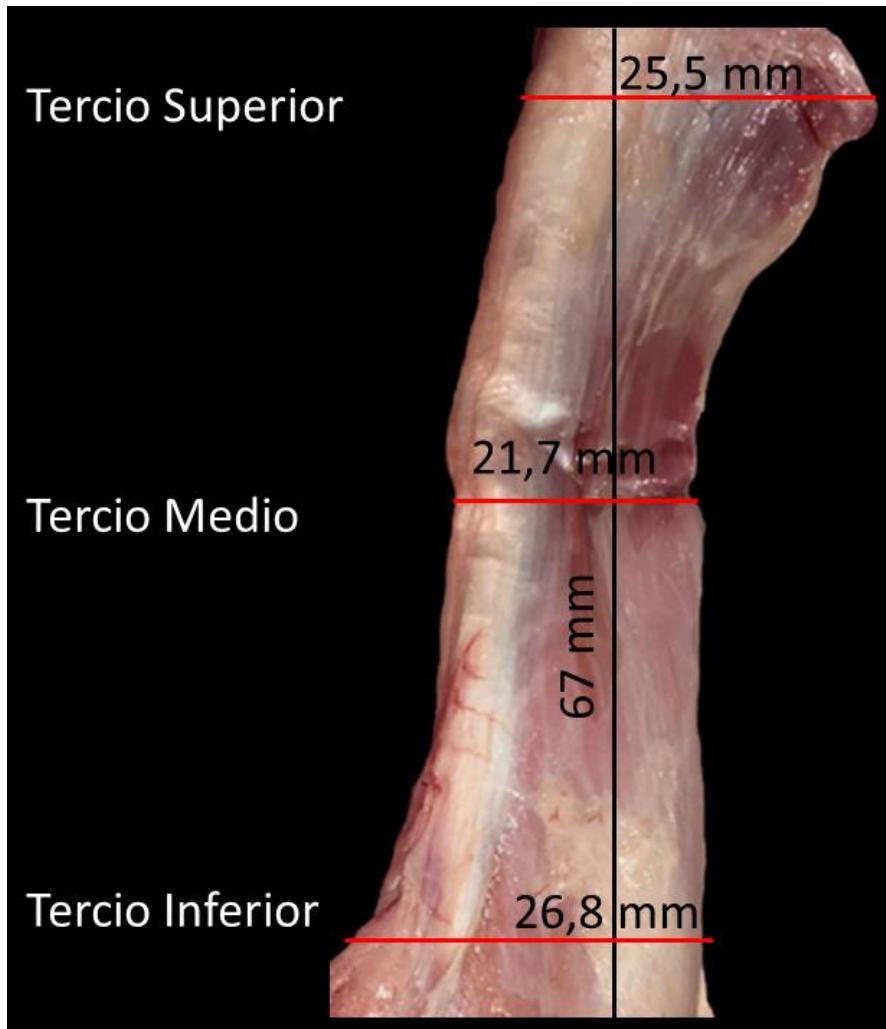


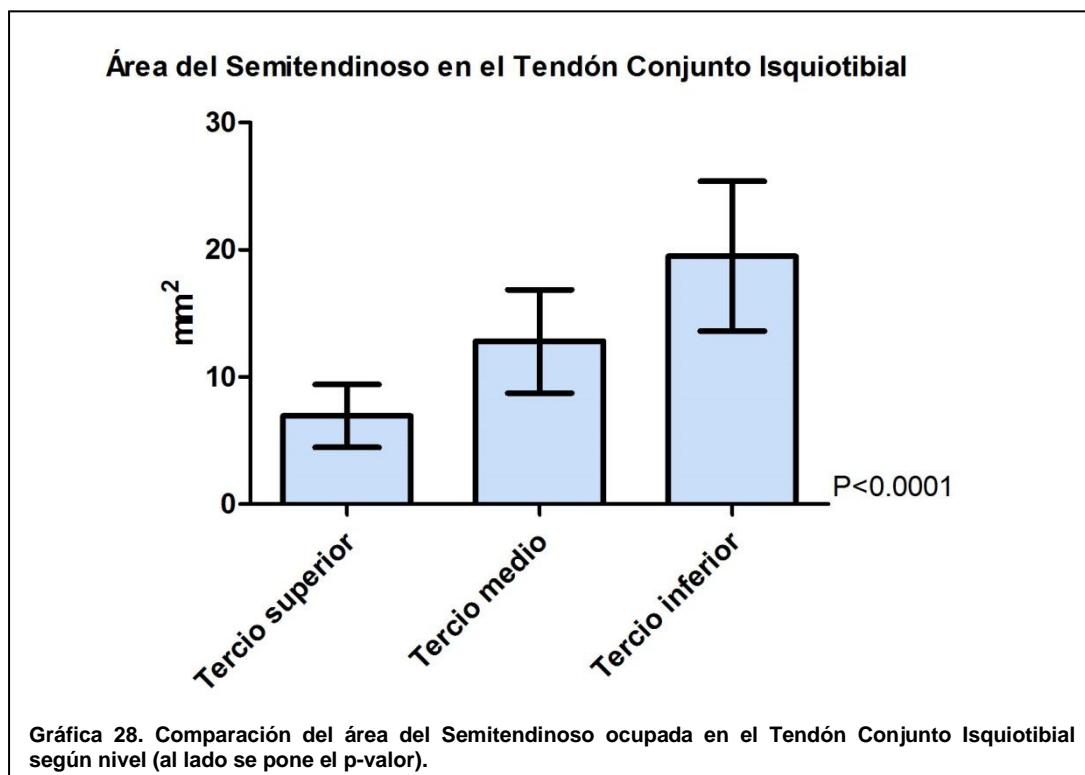
Fig. 33. Visión posterior del Tendón Conjunto Isquiotibial, se presentan los trazos de medición longitudinal y transversal con su respectivo resultado.

### Área del Semitendinoso dentro del Tendón Conjunto Isquiotibial

El Semitendinoso tuvo en promedio un área mayor en el tercio inferior del Tendón Conjunto Isquiotibial que disminuía progresivamente hasta el tercio superior. En el tercio inferior fue  $19,5 \text{ mm}^2 (\pm 5,9)$ , en el tercio medio  $12,8 \text{ mm}^2 (\pm 4,1)$  y en el tercio superior  $6,9 \text{ mm}^2 (\pm 2,5)$ , observándose entre todos los tercios diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (tabla 70 y gráfica 28).

**Tabla 70. Área media del Semitendinoso dentro del Tendón Conjunto Isquiotibial ( $\text{mm}^2$ )**

Tercio del Tendón Conjunto Isquiotibial	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior	3,2	12,3	6,9	2,5
Tercio medio	5,3	23,6	12,8	4,1
Tercio Inferior	11,0	32,8	19,5	5,9



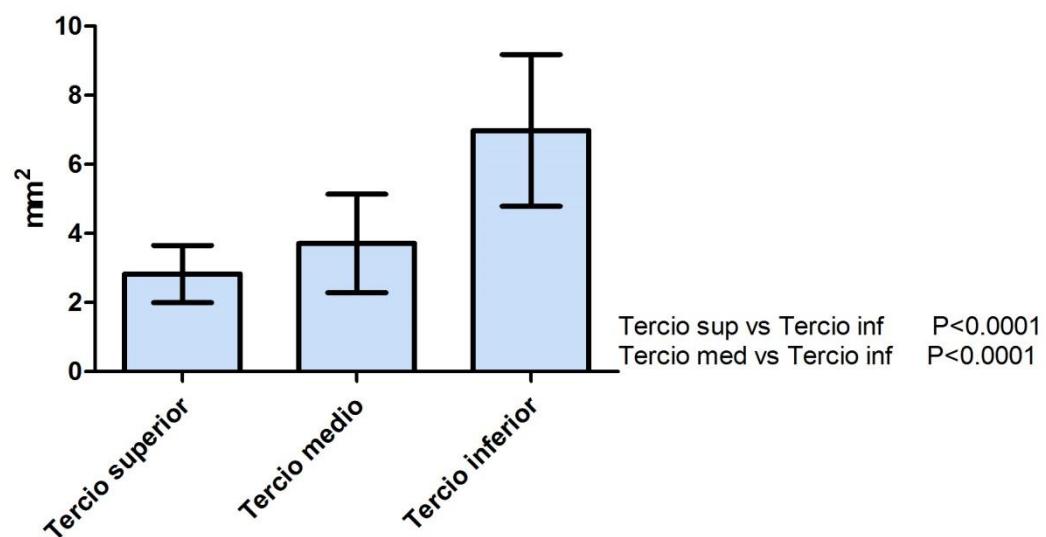
## Área del Bíceps femoral dentro del Tendón Conjunto Isquiotibial

El tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral tuvo en promedio un área mayor en el tercio inferior del Tendón Conjunto Isquiotibial que disminuyó progresivamente hasta el tercio superior. En el tercio inferior midió en promedio  $7 \text{ mm}^2 (\pm 2,2)$ , en el tercio medio  $3,7 \text{ mm}^2 (\pm 1,4)$  y en el tercio superior  $2,8 \text{ mm}^2 (\pm 0,8)$ , observándose diferencias estadísticamente significativas entre el tercio superior e inferior, y entre el tercio medio y tercio inferior  $p<0.0001$  (tabla 71 y gráfica 29).

**Tabla 71. Área del Bíceps femoral en el Tendón Conjunto Isquiotibial ( $\text{mm}^2$ )**

Tercio del Tendón Conjunto Isquiotibial	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior	1,2	4,8	2,8	0,8
Tercio medio	1,0	6,9	3,7	1,4
Tercio inferior	3,5	11,4	7,0	2,2

**Área del Bíceps femoral en el Tendón Conjunto Isquiotibial**



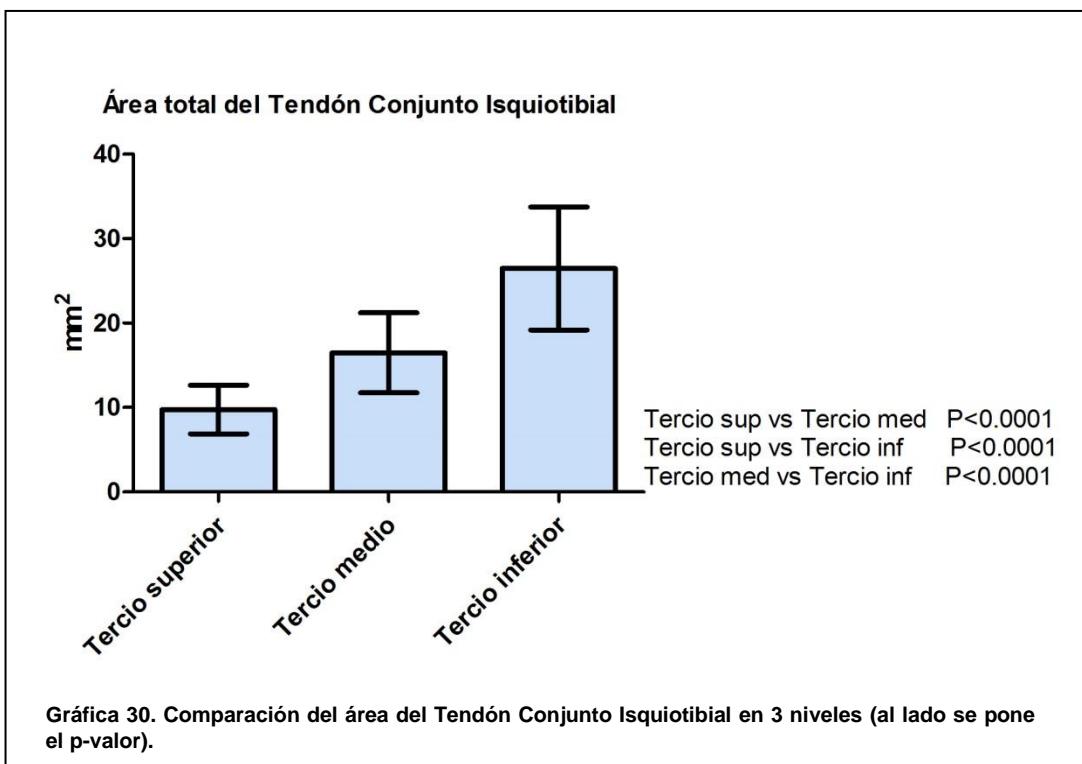
**Gráfica 29. Comparación del área ocupada por el Bíceps femoral en el Tendón Conjunto Isquiotibial según nivel (al lado se pone el p-valor).**

## Área Total del Tendón Conjunto Isquiotibial

El Tendón Conjunto Isquiotibial tuvo un área mayor en el tercio inferior que disminuyó progresivamente hasta el tercio superior. El área del tercio inferior midió en promedio 26,5 mm<sup>2</sup> ( $\pm 7,3$ ) de los cuales 19,5 mm<sup>2</sup> ( $\pm 5,9$ ) correspondieron al Semitendinoso y 7 mm<sup>2</sup> ( $\pm 2,2$ ) al Bíceps femoral. El área del tercio medio fue de 16,5 mm<sup>2</sup> ( $\pm 4,7$ ) de los cuales 12,8 mm<sup>2</sup> ( $\pm 4,1$ ) correspondieron al Semitendinoso y 3,7 mm<sup>2</sup> ( $\pm 1,4$ ) al Bíceps femoral y el área del tercio superior fue de 9,7 mm<sup>2</sup> ( $\pm 2,9$ ) de los cuales 6,9 mm<sup>2</sup> ( $\pm 2,5$ ) correspondieron al Semitendinoso y 2,8 mm<sup>2</sup> ( $\pm 0,8$ ) al Bíceps femoral. Se observaron diferencias estadísticamente significativas p<0.0001 (tabla 72 y gráfica 30).

Tabla 72. Área media Total del Tendón Conjunto Isquiotibial (mm<sup>2</sup>)

Tercio del Tendón Conjunto Isquiotibial	ST	BFcl	Total	D.E.
Tercio superior	6,9	2,8	9,7	2,9
Tercio medio	12,8	3,7	16,5	4,7
Tercio inferior	19,5	7,0	26,5	7,3



## Proporciones de los componentes del Tendón Conjunto Isquiotibial en tres niveles distintos

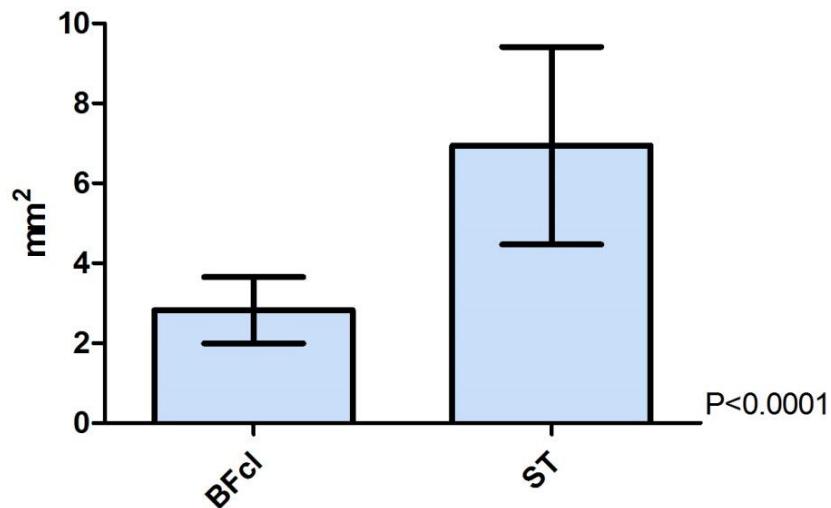
### Tercio superior

Del 100% del área total del tercio superior del Tendón Conjunto Isquiotibial ( $\bar{x}:9,7 \text{ mm}^2$ ) el Semitendinoso ocupó el 71,13% ( $\bar{x}:6,9 \text{ mm}^2$ ) y el Bíceps femoral el 28,87% ( $\bar{x}:2,8 \text{ mm}^2$ ). Observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 73 y gráfica 31**).

**Tabla 73. Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial en el Tercio Superior ( $\text{mm}^2$ )**

Área Tendón Conjunto Isquiotibial	ST	BFcl	Total	D.E.
Tercio superior ( $\bar{X}\text{mm}^2$ )	6,9	2,8	9,7	2,9

**Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial en el Tercio Superior**



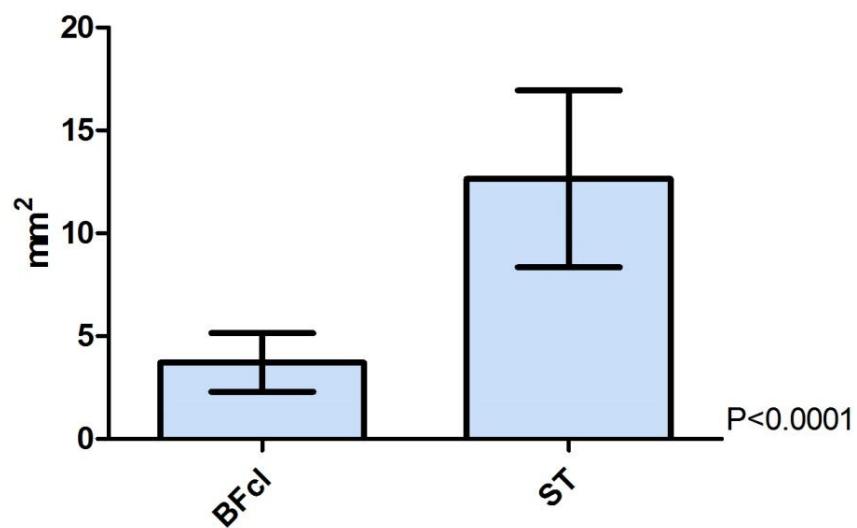
### Tercio medio

Del 100% del área total del tercio medio del Tendón Conjunto Isquiotibial ( $\bar{x}:16,5 \text{ mm}^2$ ) el Semitendinoso ocupó el 77,58% ( $\bar{x}:12,8 \text{ mm}^2$ ) y el Bíceps femoral el 22,42% ( $\bar{x}:3,7 \text{ mm}^2$ ). Observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 74 y gráfica 32**).

**Tabla 74. Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial en el Tercio Medio ( $\text{mm}^2$ )**

Área Tendón Conjunto Isquiotibial	ST	BFcl	Total	D.E.
Tercio medio ( $\bar{X}\text{mm}^2$ )	12,8	3,7	16,5	4,7

**Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial en el Tercio Medio**



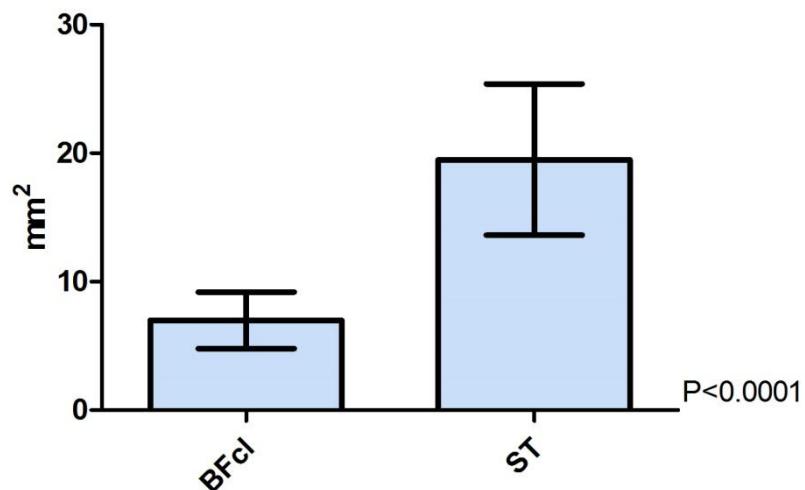
### Tercio inferior

Del 100% del área total del tercio inferior del Tendón Conjunto Isquiotibial ( $\bar{x}:26,5 \text{ mm}^2$ ) el Semitendinoso ocupó el 73,58% ( $\bar{x}:19,5 \text{ mm}^2$ ) y el Bíceps femoral el 26,42% ( $\bar{x}:7 \text{ mm}^2$ ). Observándose diferencias estadísticamente significativas  $p<0.0001$  (**tabla 75 y gráfica 33**).

**Tabla 75. Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial en el Tercio Inferior**

Área en $\text{mm}^2$	ST	BFcl	Total	D.E.
Tercio inferior ( $\bar{X}\text{mm}^2$ )	19,5	7,0	26,5	7,3

**Proporciones del Tendón Conjunto Isquiotibial en el Tercio Inferior**



**Gráfica 33. Comparación del área ocupada por el Bíceps femoral y Semitendinoso en el tercio inferior del Tendón Conjunto Isquiotibial (al lado se pone el p-valor).**

## Proporciones de los componentes del Tendón Conjunto Isquiotibial

El Tendón Conjunto Isquiotibial en general estuvo formado por el Semitendinoso en un 74,10% y por la cabeza larga del Bíceps femoral en un 25,90% (**tabla 76 y figura 34**).

**Tabla 76. Proporciones de los componentes del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Tercio del Tendón Conjunto Isquiotibial	ST (%)	BFcl (%)	Total
Tercio superior	71,13	28,87	100
Tercio medio	77,58	22,42	100
Tercio inferior	73,58	26,42	100
<b>Promedio general</b>	<b>74,10</b>	<b>25,90</b>	<b>100</b>

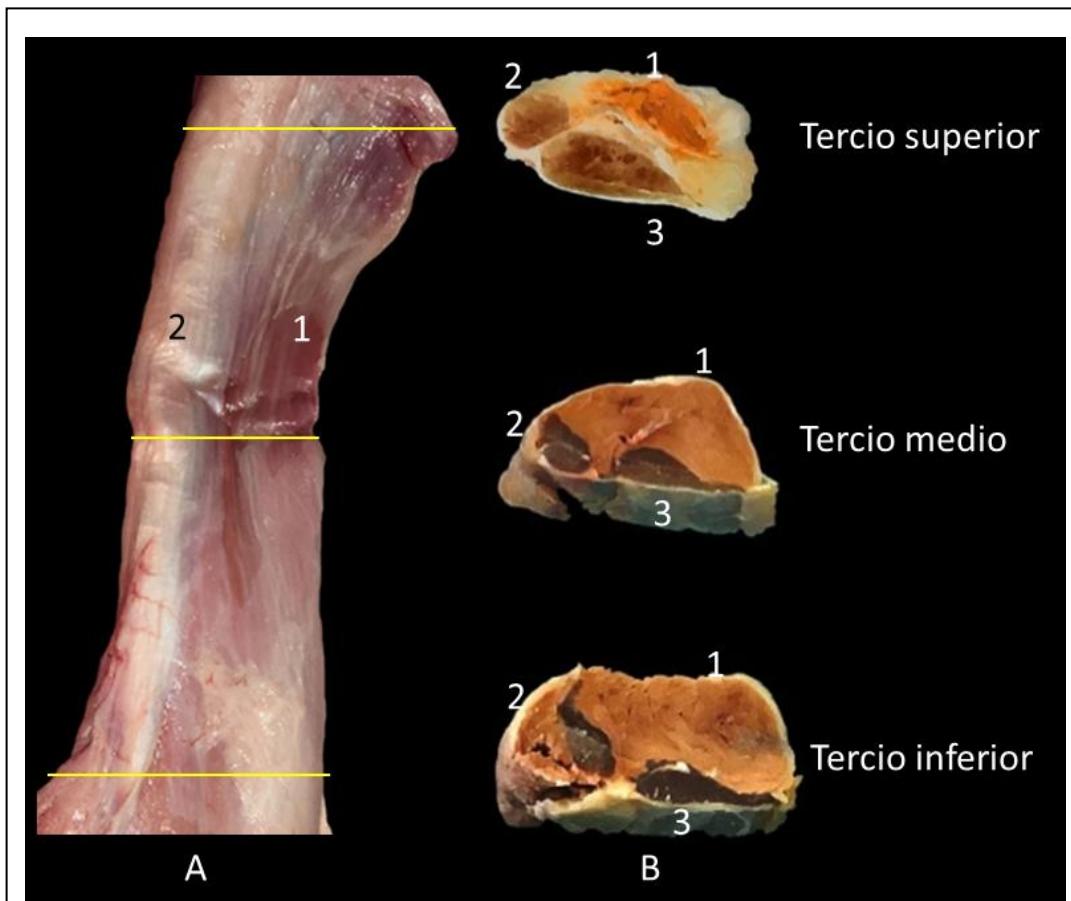


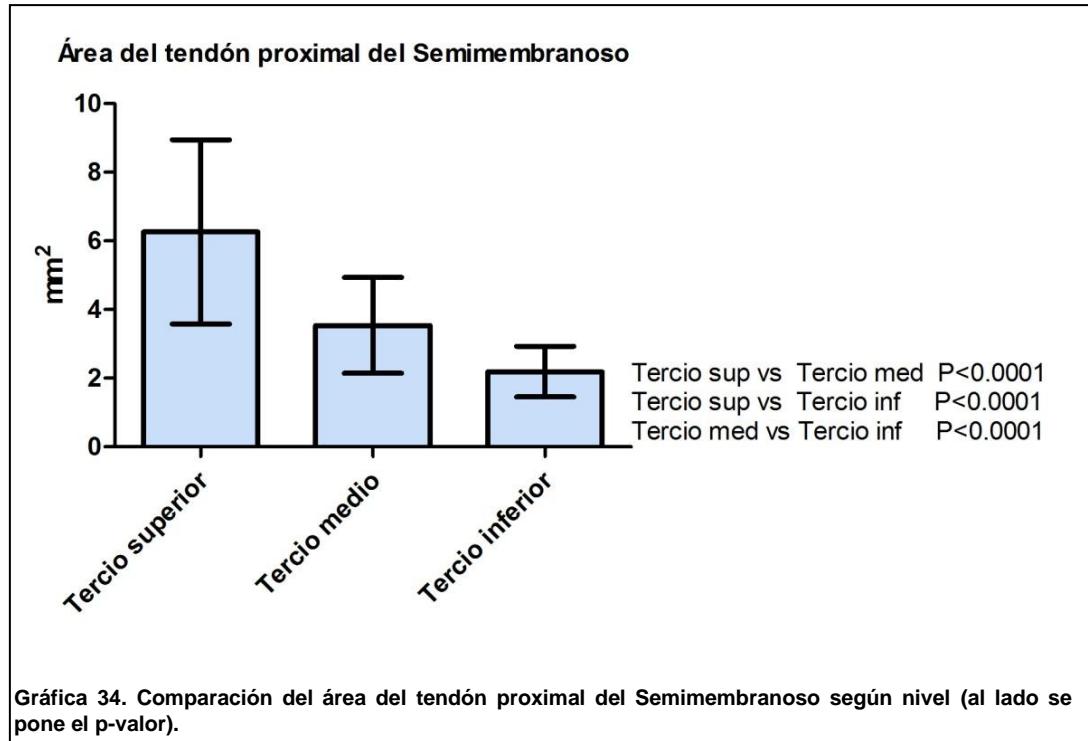
Fig. 34. A. Visión posterior del Tendón Conjunto Isquiotibial. 1. Músculo Semitendinoso; 2. Tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral. Las líneas amarillas representan el nivel de corte transversal mostrado en B. B. Visión inferior de 3 cortes transversales de Tendón Conjunto Isquiotibial a nivel del tercio superior, medio e inferior. 1. Semitendinoso; 2. Bíceps femoral cabeza larga; 3. Semimembranoso.

## Área del tendón proximal del Semimembranoso

El tendón proximal del Semimembranoso tuvo un área menor en el tercio inferior que aumentó progresivamente hasta el tercio superior. El tercio inferior midió en promedio  $2,2 \text{ mm}^2 (\pm 0,7)$ , el tercio medio  $3,5 \text{ mm}^2 (\pm 1,4)$  y en el tercio superior  $6,3 \text{ mm}^2 (\pm 2,7)$ , observándose diferencias estadísticamente significativas entre todos ellos  $p<0.0001$  (**tabla 77 y gráfica 34**).

**Tabla 77. Media de las áreas del tendón proximal del Semimembranoso ( $\text{mm}^2$ )**

Tercios del tendón proximal	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior	2,5	12,7	6,3	2,7
Tercio medio	1,8	9,1	3,5	1,4
Tercio inferior	0,8	3,6	2,2	0,7



### **Organización anatómica del Tendón Conjunto Isquiotibial y su relación con estructuras anatómicas vecinas**

Respecto a la disposición de las estructuras que conformaban el Tendón Conjunto Isquiotibial, en 27 casos (77,1%) (**tabla 78**) se observó que el tendón de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral se situaba lateralmente al tendón, o a las fibras musculares, del Semitendinoso. Sin embargo, en 8 casos (22,9%) las fibras musculares del origen del músculo Semitendinoso quedaban en la superficie del Tendón Conjunto Isquiotibial, dejando al tendón de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral completamente cubierto por estas fibras. En esta situación, el tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral se encontraba en la profundidad de las fibras musculares, pero siempre en situación lateral, lo cual se podía comprobar por palpación. También se comprobó en estos casos que la unión de ambos músculos, a nivel del tercio proximal del muslo ( $67 \pm 12$  mm desde la inserción isquiática), determinaba un entrecruzamiento de las fibras del Semitendinoso en la superficie del Tendón Conjunto Isquiotibial, quedando el tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral anterior respecto al Semitendinoso (**figura 35**).

Otro dato a destacar es la relación del Tendón Conjunto Isquiotibial con el nervio Ciático. Así, en todos los casos estudiados, el nervio se encontraba lateral a este tendón, cubierto por un tejido conjuntivo de disposición transversal procedente de la fascia del Bíceps femoral, distinto del tejido extendido entre el glúteo mayor y la parte proximal del Tendón Conjunto Isquiotibial. Esta conexión permitía movilizar al nervio cuando se traccionaba del tendón. Una vez superada esta relación, el nervio cruzaba profundamente al vientre muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral, dónde también se comprobó la presencia de un tejido conjuntivo laxo que les unía.

El Tendón Conjunto Isquiotibial establecía también una relación de vecindad con el músculo glúteo mayor, cuando transcurría profundo a éste para insertarse en la tuberosidad isquiática, interponiéndose entre ambas estructuras un denso tejido conjuntivo celuloadiposo.

**Tabla 78. Situación del Semitendinoso respecto al tendón proximal del Biceps femoral**

	Frecuencia	Porcentaje
Si cubre	8	22,9
No cubre	27	77,1

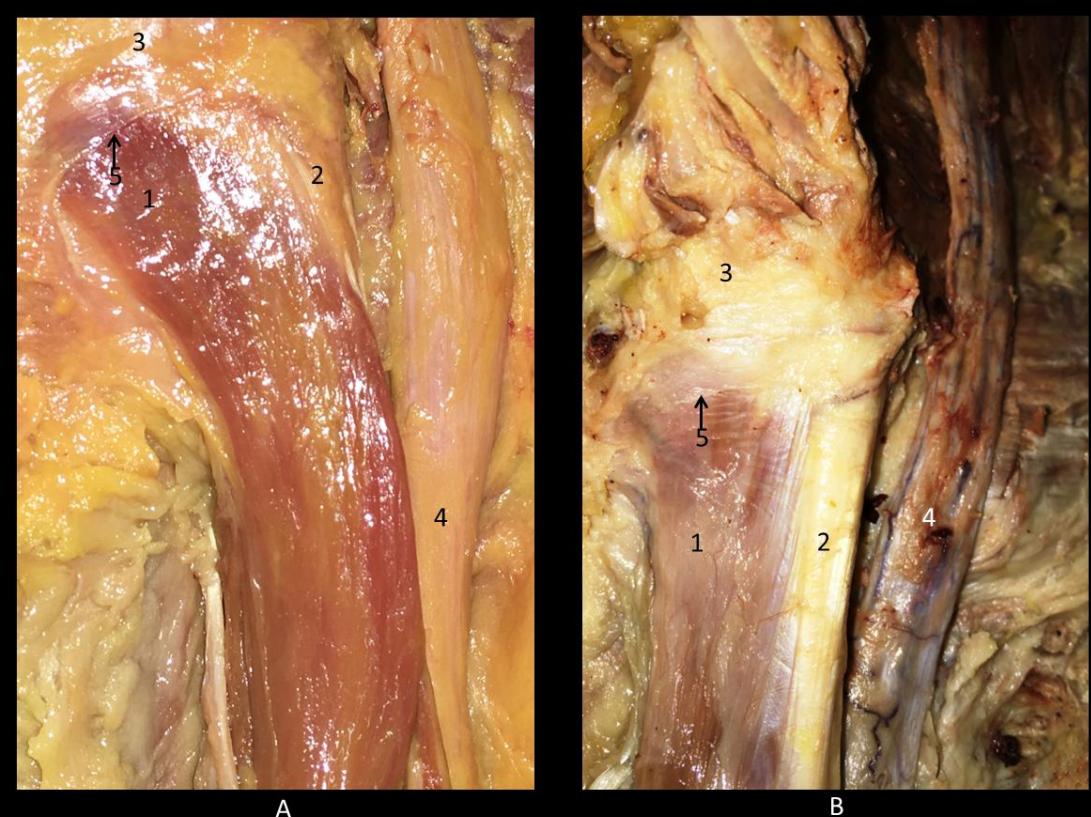


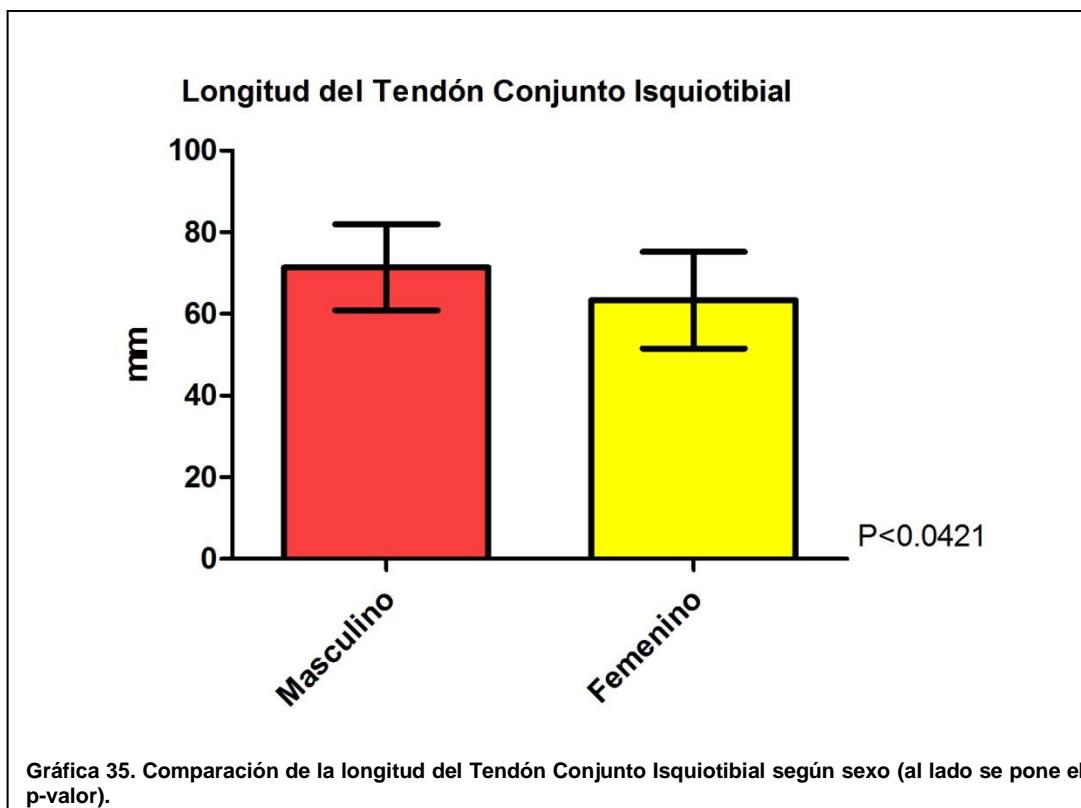
Fig. 35. Visión posterior del Tendón Conjunto Isquiotibial. A. Se observa las relaciones anatómicas que se establecen en la conformación del Tendón Conjunto Isquiotibial. En A se observa un tendón del Biceps femoral localizado anteriormente respecto al Semitendinoso. B. Se observa un tendón del Biceps femoral localizado lateralmente respecto al Semitendinoso. Para ambas imágenes: 1. M. Semitendinoso; 2. T. Biceps femoral cabeza larga; 3. Tuberosidad isquiática cubierta por tejido conjuntivo; 4. N. Ciático; 5. Se señala el tejido conjuntivo transversal seccionado que cubre al Tendón Conjunto Isquiotibial.

### **Longitud del Tendón Conjunto Isquiotibial según sexo**

En promedio el Tendón Conjunto Isquiotibial fue más largo en el sexo masculino que en el femenino, siendo esta diferencia estadísticamente significativa  $p<0,0421$  (**tabla 79 y gráfica 35**).

**Tabla 79. Longitud del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Longitud en mm	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Masculino	57	95	71,4	10,6
Femenino	43	81	63,4	11,8

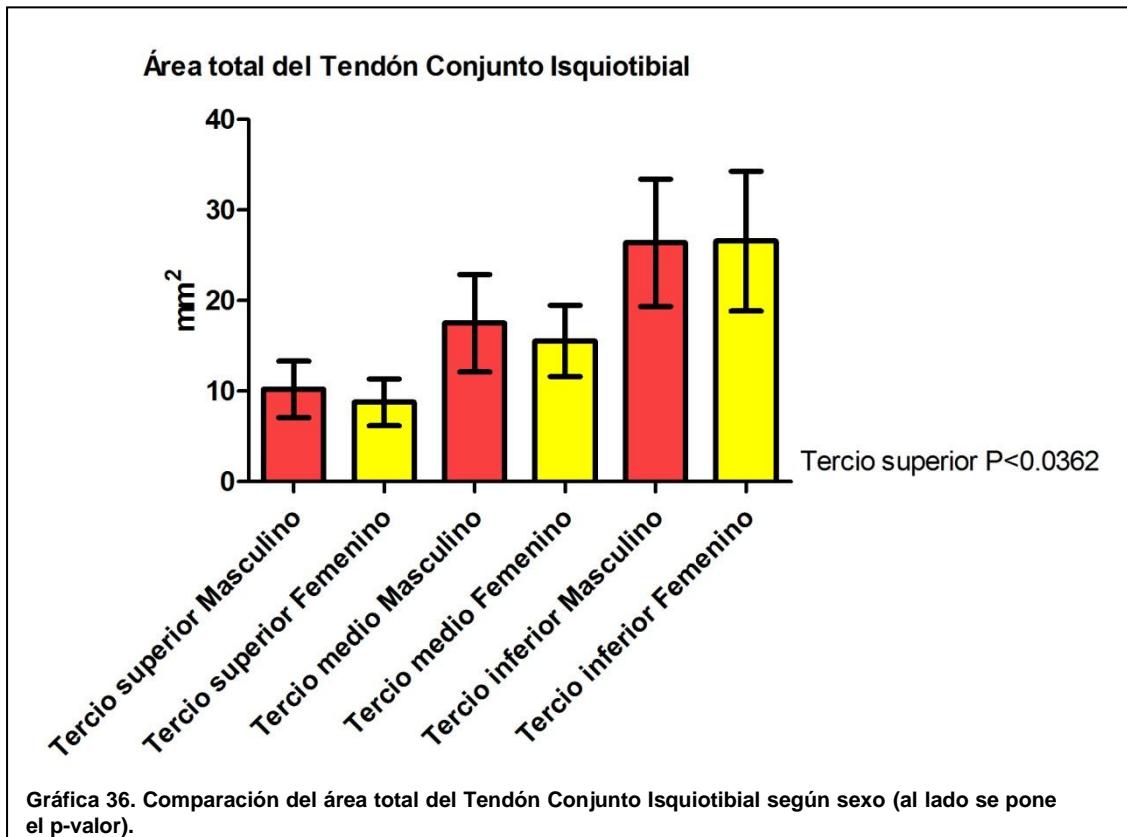


## Área total del Tendón Conjunto Isquiotibial según sexo

Con excepción del tercio inferior, en promedio el Tendón Conjunto Isquiotibial tuvo un área mayor en el sexo masculino que en el femenino, siendo estadísticamente significativa la diferencia observada en el tercio superior  $p<0,0362$  (**tabla 80 y gráfica 36**).

**Tabla 80. Área total del Tendón Conjunto Isquiotibial**

Área en mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior Masculino	6,9	16,2	10,8	2,9
Tercio superior Femenino	5,5	15,4	8,8	2,6
Tercio medio Masculino	11,3	29,9	17,5	5,4
Tercio medio Femenino	7,8	21,9	15,5	3,9
Tercio inferior Masculino	14,4	39,9	26,4	7
Tercio inferior Femenino	16,2	43,6	26,6	7,7



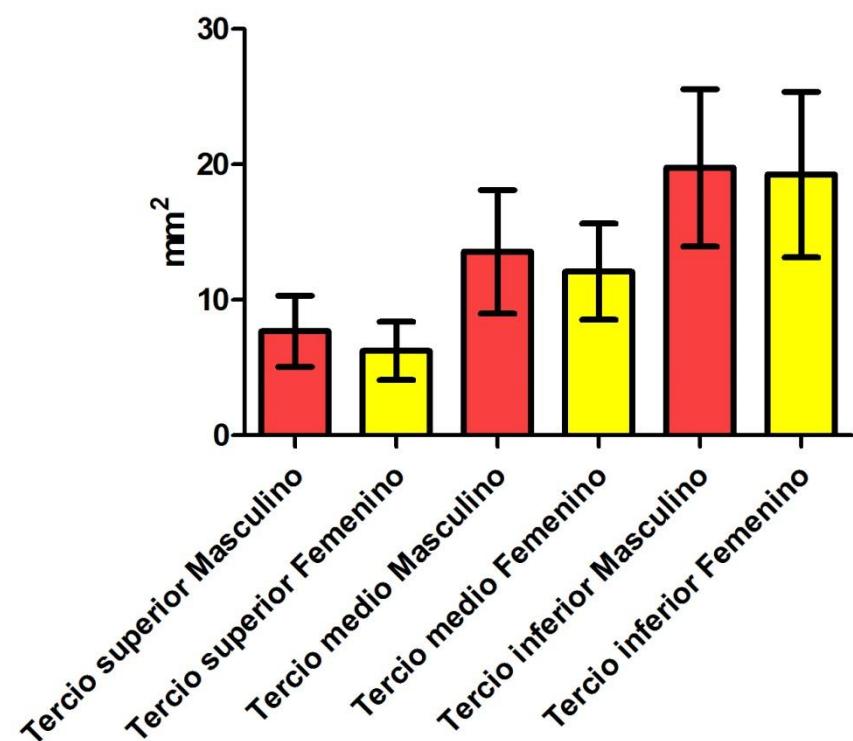
### Área del Semitendinoso en el Tendón Conjunto Isquiotibial en tres niveles según sexo

En promedio el Semitendinoso tuvo un área mayor en los 3 niveles medidos del Tendón Conjunto Isquiotibial en el sexo masculino respecto al femenino, sin observarse diferencias estadísticamente significativas (**tabla 81 y gráfica 37**).

**Tabla 81. Área del Semitendinoso en el Tendón Conjunto Isquiotibial**

Área en mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior Masculino	4,6	12,3	7,7	2,6
Tercio superior Femenino	3,2	11,4	6,2	2,1
Tercio medio Masculino	8,4	23,6	13,6	4,6
Tercio medio Femenino	5,3	18,1	12,1	3,5
Tercio inferior Masculino	11	32,8	19,8	5,8
Tercio inferior Femenino	11	32,3	19,3	6,1

**Área del Semitendinoso en el Tendón Conjunto Isquiotibial**



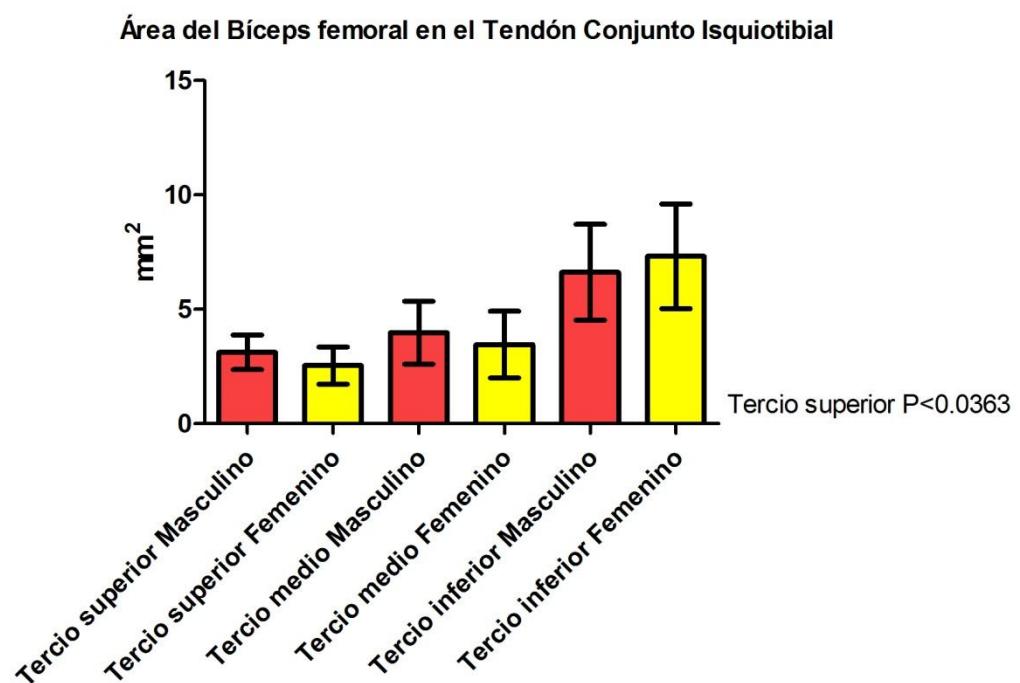
**Gráfica 37. Comparación del área del Semitendinoso en el Tendón Conjunto Isquiotibial según sexo.**

### Área del Bíceps femoral en el Tendón Conjunto Isquiotibial según sexo

Con excepción del tercio inferior, en promedio el Bíceps femoral ocupó un área mayor en el Tendón Conjunto Isquiotibial en el sexo masculino respecto al femenino, siendo esta diferencia estadísticamente significativa en el tercio superior  $p<0,0363$  (**tabla 82 y gráfica 38**).

**Tabla 82. Área del Bíceps Femoral en el Tendón Conjunto Isquiotibial**

Área en mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior Masculino	2	4,8	3,1	0,8
Tercio superior Femenino	1,2	4,3	2,5	0,8
Tercio medio Masculino	2,2	6,9	4	1,4
Tercio medio Femenino	1	6,8	3,5	1,5
Tercio inferior Masculino	3,5	10,4	6,6	2,1
Tercio inferior Femenino	3,9	11,4	7,3	2,3



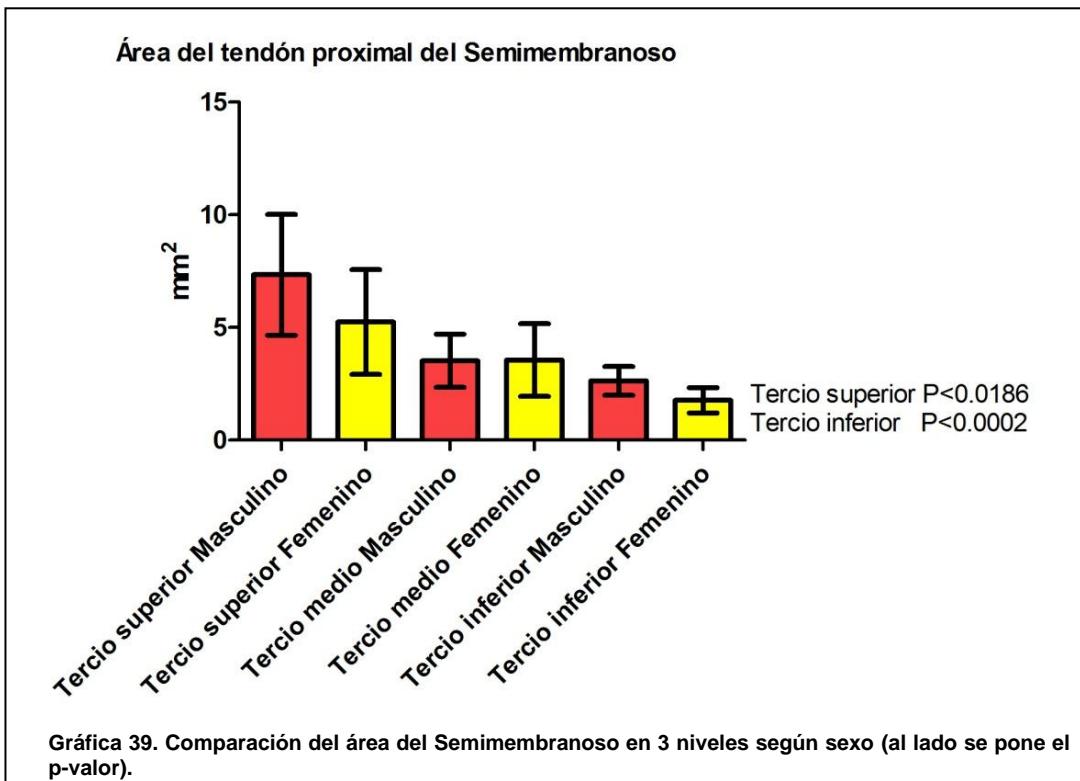
**Gráfica 38. Comparación del área del Bíceps femoral en el Tendón Conjunto Isquiotibial según sexo (al lado se pone el p-valor).**

### Área del tendón proximal del Semimembranoso según sexo

Con excepción del tercio medio, en promedio el Semimembranoso tuvo un área mayor en el sexo masculino respecto al femenino, siendo estas diferencias estadísticamente significativas en el tercio superior ( $p<0,0186$ ) y en el tercio inferior ( $p<0,0002$ ) (**tabla 83 y gráfica 39**).

**Tabla 83. Área del tendón proximal del Semimembranoso**

Área en mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Media	D.E.
Tercio superior Masculino	3,1	12,7	7,3	2,7
Tercio superior Femenino	2,5	12	5,2	2,3
Tercio medio Masculino	1,8	5,4	3,5	1,2
Tercio medio Femenino	1,8	9,1	3,6	1,6
Tercio inferior Masculino	1,5	3,6	2,6	0,6
Tercio inferior Femenino	0,8	2,5	1,8	0,6



### 1.11. Estudio del Tendón Intramuscular

En ningún músculo se observó un tendón intramuscular continuo que se extendiera entre el tendón proximal y el tendón distal (**figuras 36 y 37**).



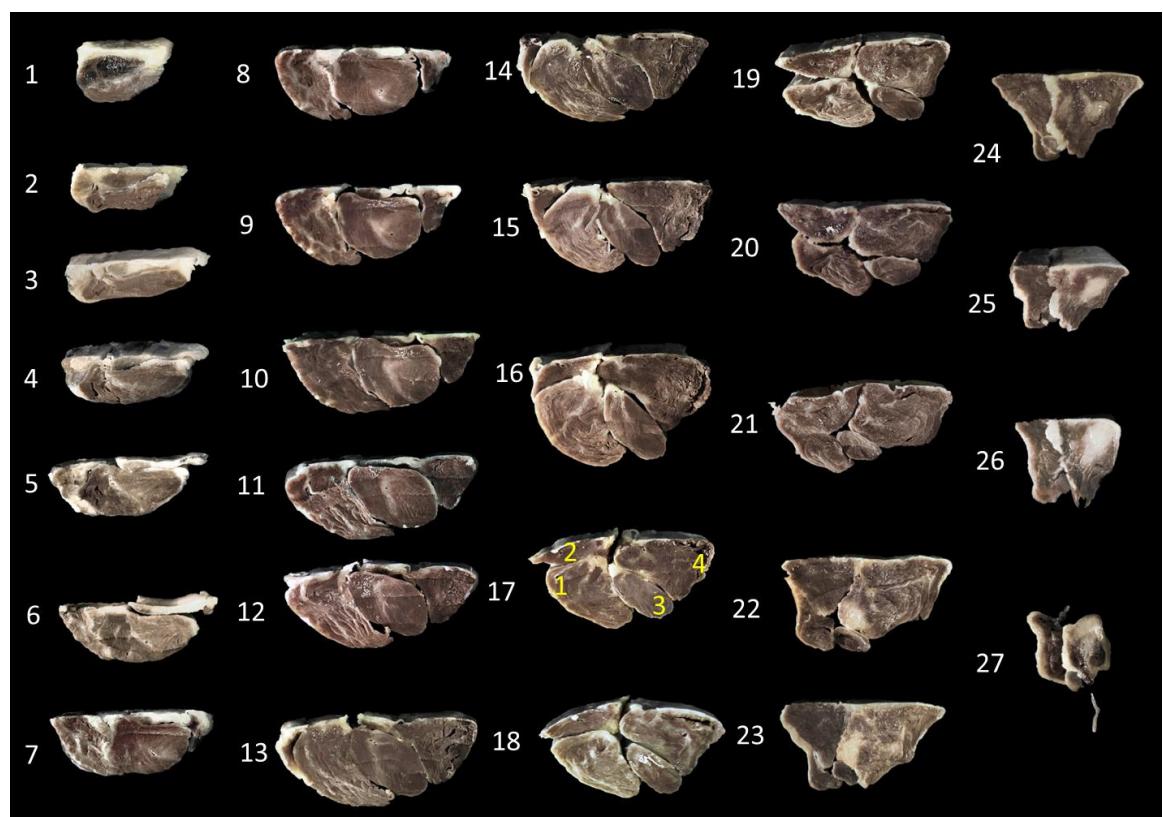


Fig. 37. Vista inferior de los cortes transversales del grupo isquiotibial ordenados secuencialmente. El 1 corresponde al primer corte del extremo proximal y el 27 al último corte del extremo distal. En el corte 17 se rotuló 1. Cabeza larga del Biceps femoral; 2. M. Cabeza corta del Biceps femoral; 3. M. Semitendinoso; 4. M. Semimembranoso.



DISCUSIÓN





## DISCUSIÓN

### 1. RELEVANCIA CLÍNICA

La lesión de los músculos isquiotibiales es la afección muscular más frecuente del miembro inferior en el deporte, en especial en aquellos que durante su ejecución hacen una flexión forzada de la cadera al mismo tiempo que una extensión de la rodilla, como en el *sprint*, chutar un balón o el salto (*De Smet & Best, 2000; Slavotinek, 2010*), afectando principalmente a la cabeza larga del Bíceps femoral (*Woods et al., 2004; Ekstrand et al., 2012; Crema et al., 2016*). Esta lesión obliga en muchos casos al deportista a una ausencia prolongada de la competición, que en promedio es de 18 días (*van der Horst et al., 2017*) y tiene un alto porcentaje de recidiva (12% - 32%) (*Croisier, 2004; Orchard et al., 2005; Elliott et al., 2011*). A los clubs les genera una mediana de 12 lesiones por temporada (*Servicios Médicos del Fútbol Club Barcelona, 2009*) y un costo promedio de \$AUD 245.842 (*Hickey et al., 2014*) en países como Australia durante el año 2012. Estas circunstancias han hecho que uno de los principales objetivos de los equipos médicos sea prevenirlas mediante una correcta planificación de la actividad física (*DeWitt & Vidale, 2014*), que prepare estas estructuras anatómicas para responder a las demandas del deporte. Para ello se hace necesario un mejor conocimiento anatómico de este grupo muscular que permita establecer factores de riesgo, así como protocolos preventivos y, en caso de lesión, tratarla de forma adecuada para evitar la recaída.

*Kuske et al. (2016)* realizaron una revisión sistemática sobre los patrones de desgarros musculares de isquiotibiales señalando que el 88,2% de las lesiones ocurre durante actividades deportivas, de las cuales 44,4% son en actividades deportivas con balón, 24,3% corriendo, 13,2% esquiando (en agua o nieve) y el 6,3% en deportes de contacto como las artes marciales; en tanto que el 11,1% ocurre en actividades no deportivas, como pueden ser los traumatismos directos durante accidentes de tránsito.

En relación a las lesiones ocurridas durante las actividades deportivas, no se debe omitir el factor “competencia”, siendo necesario diferenciar las actividades físicas competitivas de las no competitivas, ya que la competencia es un factor determinante de la intensidad con que se realiza un gesto deportivo y supone un riesgo de lesiones (*Andersen et al., 2003*). Se entiende que, al haber una competencia entre rivales de un nivel similar, el esfuerzo realizado puede llegar a límites máximos o incluso sobrepasarlos, lo que conlleva que las personas que

practican actividades competitivas *amateurs* estén sometidas a cargas de trabajo que aumentarán su riesgo de lesión. Del mismo modo en deportistas profesionales que entrenan diariamente y preparan su cuerpo para un deporte específico, el momento de la competencia comporta un mayor riesgo para su salud que el entrenamiento. Así lo demuestran las estadísticas de los juegos Olímpicos de Beijing 2008, donde el 72,5% de las lesiones ocurrieron durante las competiciones (*Junge et al., 2009*). Este hecho ha sido también refrendado por *Mueller-Wohlfahrt et al. (2013a)* quienes afirman que el 66% de las lesiones de isquiotibiales ocurren durante las competencias, aunque no se descarta que puedan producirse lesiones en los entrenamientos (*Dalton et al., 2015*).

La literatura consultada en este estudio muestra la alta prevalencia de las lesiones de la musculatura isquiotibial, que afectan sin distinción a deportistas de diferentes categorías. Son varios los casos de deportistas destacados que han sufrido lesión de isquiotibiales, entre ellos se puede mencionar a Usain Bolt. Reconocido como el velocista más rápido de la historia, en su última competencia profesional, la final del relevo 4x100 metros del Mundial de Londres 2017, sufrió un desgarro miotendinoso del Bíceps femoral izquierdo que le impidió terminar la competición, y así finalizó su carrera profesional (*Arribas, 2017*).

En el fútbol existe un numeroso grupo de jugadores de élite que han sufrido este tipo de lesión. Por ejemplo, Cristiano Ronaldo, el jugador portugués que en su momento fue el jugador más costoso de la historia, tuvo una rotura leve del Bíceps femoral izquierdo que lo alejó 2 semanas de la competencia (*AS, 2011*). Del mismo modo, pero con mayor complejidad fue el caso de Paul Pogba, futbolista francés que el año 2015 tuvo un desgarro del Bíceps femoral derecho que lo alejó 2 meses de los estadios, perdiéndose 12 partidos jugados por su club (Juventus FC de la Serie A), entre ellos los cuartos de final de la Liga de Campeones de la UEFA. Este mismo jugador, en agosto del año 2016, fue traspasado al Manchester United F.C. de Inglaterra por 117.000.000 de Euros, siendo el traspaso más costoso de la historia del fútbol hasta ese momento, volviendo a sufrir un desgarro isquiotibial en el muslo izquierdo en septiembre del año 2017 (*Castles, 2017*) que le impidió jugar los partidos de la fase de grupos de la Liga de Campeones de la UEFA y los últimos partidos con la selección de su país para clasificar a la Copa Mundial de Fútbol de Rusia 2018. Lionel Messi reconocido con múltiples galardones a nivel individual y colectivo también ha sufrido lesiones de sus isquiotibiales. De

hecho, se le reconoce como su punto débil, ya que el jugador argentino ha sufrido 9 lesiones en el Bíceps femoral: cuatro en el izquierdo y cinco en el derecho (*Martínez, 2013*). El jugador Ousmane Dembélé representa uno de los casos de impacto más negativo provocado por las lesiones de isquiotibiales en el deporte de élite. De origen francés, con 20 años, fue transferido al FC Barcelona de la liga española el 25 de agosto del año 2017, siendo reconocido como el fichaje más costoso en la historia del club hasta ese momento (*FC Barcelona, 2017a*). Procedente del Borussia Dortmund de Alemania (Bundesliga) tuvo un costo de \$105.000.000 de Euros más variables; pero el 16 de septiembre del 2017 sufrió un desgarro del Bíceps femoral izquierdo del cual tuvo que ser operado (*FC Barcelona, 2017b*), abandonando la competición hasta enero del año 2018 (106 días de baja). Esto fue un duro golpe que afectó en distintos aspectos a todos los involucrados: al jugador por quedar 4 meses fuera de competición en su nuevo club; al FC Barcelona que perdió al principal refuerzo de la temporada en delantera; y en lo económico, ya que generó dificultades para el club por retrasar la amortización del precio pagado por su nueva contratación. Además, el Borussia Dortmund también se vio afectado, pues dicho club debía recibir \$10.000.000 de Euros cuando el jugador completara 50 partidos jugados por el FC Barcelona (*Marca, 2017*), postergando este pago al menos por una temporada más de competición, lo que equivale a un año. Desde su llegada al FC Barcelona Dembélé ha tenido 8 lesiones hasta noviembre del año 2019, casi todas afectando a los músculos isquiotibiales, que se han traducido en 255 días de baja (*Tapounet, 2019*). En febrero del año 2020 Dembélé tuvo que ser operado nuevamente por un desgarro del tendón proximal del Bíceps femoral derecho, dando fin a la temporada competitiva (*Polo, 2020*). Debido al número y frecuencia de sus lesiones, y teniendo en cuenta su edad, 22 años, quizás en este caso se podría considerar, entre los factores de riesgo, un polimorfismo genético (*Pruna & Artells, 2015*).

De lo anteriormente expuesto se pone en evidencia que las lesiones musculares son las más frecuentes en deportistas que practican actividades de velocidad y con amplios rangos de movimiento del miembro inferior (*Freckleton & Pizzari, 2013; Fiorentino & Blemker, 2014; Wangensteen et al., 2017*). También es evidente que los músculos isquiotibiales son los músculos más afectados (*De Smet & Best, 2000; Ahmad et al., 2013; Sivasundaram et al., 2015*) y de ellos el músculo Bíceps femoral es el que se lesioná con mayor frecuencia,

especialmente su cabeza larga (*De Smet & Best, 2000; Hawkins et al., 2001; Koulouris & Connell, 2003; Entwistle et al., 2017*).

## 2. CONSIDERACIONES ANATÓMICAS

### 2.1. Compartimentos del muslo y Fascia lata

En relación a los aspectos anatómicos generales estudiados, vale recordar que los isquiotibiales corresponden a 3 músculos del compartimento posterior del muslo que movilizan las articulaciones de la cadera y la rodilla.

Estos músculos se encuentran cubiertos por la Fascia lata, estructura conjuntiva cuyas fibras de colágeno se disponen en sentido longitudinal y transversal. Las fibras longitudinales le otorgan gran resistencia para soportar tensiones mecánicas generadas por el sistema locomotor y las fibras transversales contienen la expansión muscular durante la contracción (*Benjamin & Ralphs, 1998; Eng et al., 2014*), por lo cual su respuesta mecánica dependerá de la dirección de la carga (*Szotek et al., 2012*).

Estas características han llevado a probar su utilidad mecánica como injerto. *Lempainen et al. (2007)* utilizaron la Fascia lata como autoinjerto para la reconstrucción tendinosa de una ruptura proximal de isquiotibiales, creando un colgajo músculo-tendinoso que reinsertaron en la tuberosidad isquiática; por su parte, *Lorbach et al. (2017)* la utilizaron como tejido de autoinjerto para la reconstrucción del ligamento patelofemoral medial. El éxito de estos resultados se debe a las similitudes mecánicas, químicas y ultraestructurales encontradas entre la Fascia lata y los tendones en general (*Derwin et al., 2008*).

Además de su destacado carácter mecánico, la Fascia lata cumple un rol fundamental en la delimitación del muslo, formando una vaina fibrosa que lo rodea y que a través de los tabiques intermusculares lateral y medial lo dividen en un compartimento anterior y otro posterior. En nuestro estudio hemos comprobado que el tabique lateral es notoriamente más grueso que el medial, estando este hecho de acuerdo con lo referido en tratados de anatomía consultados (*Testut & Latarjet, 1967; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*). Esta diferencia de grosor debe tener repercusión funcional. Así lo plantean *Stecco et al. (2013)* que describen este tabique como la continuación interna del tracto iliotibial, y por lo tanto responsable de transmitir

la fuerza realizada por el glúteo mayor que toma inserción en ella. Es decir, que el tabique intermuscular lateral está más desarrollado porque responde a una solicitud mecánica mayor que la recibida por el tabique intermuscular medial. Esta teoría, con sustento anatómico y mecánico, nos parece bastante razonable, y rememora a Lamarck que en el siglo XIX refiere que “la función crea al órgano”.

En el compartimento posterior del muslo hemos observado un tejido conjuntivo de aspecto laxo que se interponía entre los músculos de este compartimento y los del compartimento medial, formando un tabique que separaba ambos grupos musculares. Sin embargo, este tabique era más delgado que los otros, especialmente cuando se comparaba con el lateral. Esta observación concuerda con las descripciones realizadas por *Testut & Latarjet*, (1967), *Orts Llorca* (1985) y *Moore et al.* (2018) que describen un tercer tabique intermuscular en el muslo, el cual separa el compartimento medial del posterior. Por el contrario, este tercer tabique intermuscular no es señalado por *Goss* (1973), *Rouvière & Delmas* (2005) o *Standring* (2016). Este hecho puede justificarse en que estos autores utilizan únicamente los términos de la Terminología Anatómica Internacional (*Comité Federal sobre Terminología Anatómica*, 2001), en la cual solamente se hace referencia a 2 tabiques intermusculares en el muslo.

El ejemplo más gráfico de esta situación la hemos encontrado en el texto “Feneis Nomenclatura Anatómica Ilustrada” (*Dauber*, 2007), que está basado en la Terminología Anatómica Internacional. En este texto aparece un esquema de un corte transversal de muslo donde se organizan los músculos en 3 compartimientos, pero solo se describen los tabiques intermusculares lateral y medial. A pesar de esta discrepancia, este tabique es observado y utilizado en la práctica clínica, tanto en el ámbito traumatológico como radiológico, siendo descrito como “*septum intermuscular posterior*”. Así, por ejemplo, *Burghardt et al.* (2010) utilizaron este término en la descripción de un caso sobre síndrome compartimental. Sin embargo, la última edición en inglés de la Terminología Anatómica Internacional (*FIPAT*, 2019) tampoco considera esta estructura, lo que en nuestra opinión es necesario hacer, pues se observa en la disección y se usa en la práctica clínica.

En nuestro estudio también observamos los desdoblamientos conjuntivos procedentes de la cara interna de la Fascia lata, descritos por *Paturet* (1951) y *Moore et al.* (2018), que separaban y contenían individualmente a cada músculo. Debido a su rol compresivo y a su alta

resistencia mecánica (*Szotek et al., 2016*), estos desdoblamientos podrían favorecer la eficacia del trabajo muscular. Para una mejor comprensión de este hecho es necesario recordar que hay músculos, como la cabeza corta del Bíceps femoral o el glúteo mayor, que toman inserción en la fascia y traccionan de ella para movilizar un segmento. Lo mismo puede ocurrir con estos desdoblamientos conjuntivos, donde cada vientre muscular rodeado por las hojas internas procedentes de la Fascia lata podría traccionar de ella, tensándola desde su interior y generando un punto de apoyo fijo que posibilite la contracción de las fibras musculares de manera más eficiente. En relación a las infiltraciones de grasa observadas entre las hojas de la Fascia lata que envuelven a los músculos, es presumible que actúen como lubricante para disminuir el roce del tejido conjuntivo durante la contracción muscular.

También debemos tener presente la continuidad de la Fascia lata con las fascias de otras regiones, como la fascia glútea o la fascia crural, valorando su rol en la coordinación de la actividad muscular y como órgano propioceptivo (*Benjamin, 2009*).

## **2.2. Disposición de los músculos en el compartimento posterior del muslo**

De acuerdo a lo observado en este estudio y a lo descrito por autores de textos anatómicos clásicos y contemporáneos (*Paturet, 1951; Testut & Latarjet, 1967; Goss, 1973; Orts Llorca, 1985; Spalteholz, 1990; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016; Moore et al., 2018*) los músculos del compartimento posterior del muslo se pueden clasificar de dos maneras: en superficiales y profundos o en laterales y mediales.

Los músculos superficiales corresponden al Semitendinoso y a la cabeza larga del Bíceps femoral, y los profundos al Semimembranoso y a la cabeza corta del Bíceps femoral. La disposición superficial y profunda de los músculos isquiotibiales en el compartimento posterior del muslo no parece ser tan relevante como la disposición lateral y medial, basando esta afirmación en estudios funcionales de actividad electromiográfica y en estudios epidemiológicos.

Los resultados de los estudios funcionales realizados por *Morin et al. (2015)*, *Hansen et al. (2017)* y *van den Tillaar et al. (2017)* coinciden en que estos músculos tienen formas de trabajo diferente, siendo los isquiotibiales laterales los que tienen un rol más activo. Mientras que los resultados de los estudios epidemiológicos realizados por *Ekstrand et al. (2012)*, *Crema et al.*

(2016) y Wangensteen *et al.* (2017) coinciden en que la distribución de las lesiones se concentra principalmente en la cabeza larga del Bíceps femoral. Por lo tanto, al considerar ambos puntos de vista se puede inferir que los músculos más solicitados y que más se lesionan son los isquiotibiales laterales, y si esta observación se acota solamente a músculos biarticulares el resultado se reduce a la cabeza larga del Bíceps femoral. Una de las causas de esto podría ser la disposición de este músculo en el compartimento posterior del muslo.

Para justificar lo anterior podemos visualizar los músculos isquiotibiales posicionados en el compartimento posterior y trazar una línea longitudinal imaginaria extendida de superior a inferior que pase por la línea media del muslo. En esta representación se aprecia que la cabeza larga del Bíceps femoral tiene una disposición oblicua respecto a dicha línea, a la cual cruza de superior a inferior y de medial a lateral, en cambio, el Semitendinoso y el Semimembranoso se sitúan mediales y más paralelos a ella. Esta diferencia posicional se debe al recorrido que hace la cabeza larga del Bíceps femoral desde la tuberosidad isquiática hasta su inserción en la cabeza fibular, como se comprueba en la **figura 6**.

Esta disposición oblicua de la cabeza larga del Bíceps femoral puede influir directamente en su trabajo muscular, ya que es conocido que para realizar un movimiento en el plano anatómico lo ideal es que el eje de movimiento sea perpendicular al plano, como lo es el eje de una bisagra (Hamill *et al.*, 2015). En el caso que nos ocupa, el movimiento de flexión y extensión de cadera se realiza en el plano sagital mediante un eje transversal que pasa por la cabeza femoral (Kapandji, 2012). Teniendo en cuenta estos fundamentos, la cabeza larga del Bíceps femoral no está paralela a la línea media del muslo, y por lo tanto no queda en una posición ideal de trabajo (relación ideal de plano/eje), a diferencia del Semitendinoso y Semimembranoso. Por lo tanto, de los tres músculos isquiotibiales, es el Bíceps femoral el músculo que se posiciona más oblicuamente respecto a la línea media del muslo, perdiendo la relación de perpendicularidad que es la óptima para su trabajo, parámetros que son determinantes en un sistema de palancas (Nordin & Frankel, 2012). Esta situación conlleva a que la distribución interna de la fuerza muscular no sea equitativa entre las fibras musculares mediales y laterales dentro del vientre muscular. Debido a su disposición oblicua, la porción superior de la cabeza larga del Bíceps femoral, al unirse con el Semitendinoso para formar el Tendón Conjunto Isquiotibial se debe alinear con éste en relación al plano medio del muslo, curvándose en

sentido superior para llegar la tuberosidad isquiática, dando holgura a su tendón cuando la cadera y la rodilla están posición anatómica (ver **figura 6**). Este cambio de sentido determina que, durante la flexión de cadera con rodilla extendida, en la porción superior de la cabeza larga del Bíceps femoral, las fibras laterales de este músculo queden situadas en el lado cóncavo de la curva y por lo tanto más holgadas respecto a las fibras mediales que quedan en el lado convexo y por lo tanto más tensas. Este hecho resulta determinante en la distribución interna de la fuerza entre ambos grupos de fibras, quedando sometido el grupo medial de fibras a mayor tensión y por lo tanto a mayor riesgo de lesión. Este resultado es concordante con los de *Kellis et al. (2017)* que indican que hacer un ejercicio desde un ángulo mayor de flexión de cadera cerca de la extensión completa de la rodilla puede activar selectivamente la cabeza larga del Bíceps femoral.

Si se aplica lo anteriormente propuesto al *sprint*, en el que se realizan flexiones de cadera con extensiones de rodilla de amplio rango articular y a gran velocidad, se deduce que la cabeza larga del Bíceps femoral, al quedar posicionada más oblicuamente que los otros dos músculos, tenga una situación de desventaja mecánica posicional, ya que durante el trabajo muscular serán las fibras más mediales de la porción superior del vientre las que se encuentren sometidas a mayor tensión, en tanto las fibras más laterales serán menos solicitadas, distribuyendo disparmente el trabajo y el desgaste. Esto se podría ver aumentado por alteraciones posturales (*Schuermans et al., 2017*) como por ejemplo en personas que tengan una anteversión pélvica acentuada.

En los estudios de *Dolman et al. (2014)* se hace referencia a que la cabeza larga del Bíceps femoral requiere ejercer una fuerza proporcionalmente mayor durante el trabajo muscular excéntrico respecto a los músculos Semimembranoso y Semitendinoso, principalmente como consecuencia de tener que alargarse una distancia mayor dentro del mismo marco de tiempo. Además, *Higashihara et al. (2015)* señalan que la cabeza larga del Bíceps femoral tiene una activación electromiográfica significativamente mayor que los isquiotibiales mediales durante la fase final de la oscilación durante el *sprint*, lo que se relaciona con su grado de tensión mayor.

Estos resultados son coincidentes con nuestra propuesta y sugieren que la posición de la cabeza larga del Bíceps femoral dentro del compartimento posterior del muslo condiciona una forma de trabajo más exigente, que aumenta el riesgo de lesiones.

### 3. MÚSCULO BÍCEPS FEMORAL

En general los autores de textos anatómicos clásicos y contemporáneos comparten una percepción similar del músculo Bíceps femoral, describiéndolo como un músculo que posee 2 vientres musculares que se unen distalmente por un tendón común, y destacan que estos vientres poseen diferente inervación (*Paturet, 1951; Testut & Latarjet, 1967; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*).

En el tratado de anatomía de *Orts Llorca (1985)* se concibe desde una perspectiva evolutiva. Basándose en su desarrollo embriológico y en su localización dentro del compartimento, señala que la cabeza larga es un músculo ventral del muslo y por lo tanto comparable al Semitendinoso y Semimembranoso, mientras que la cabeza corta pertenece al grupo de los músculos dorsales de la cadera y sin duda a los glúteos, exemplificando esto con el *M. Tenuissimus* presente en mamíferos cuadrúpedos y que representa en ellos a la cabeza corta, por lo que desde el punto de vista filogenético y ontogenético son 2 músculos que terminan uniéndose para formar uno solo. De este modo justifica su diferente inervación, lo que también es referido en la obra *Tubbs et al. (2016)*.

En la misma línea *Branch & Anz (2015)* consideraron la unión miotendinosa distal del Bíceps femoral como anatómicamente compleja respecto a los otros isquiotibiales, debido a que los tendones de la cabeza larga y corta se unen con algunas fibras musculares individuales y se continúan discretamente con cada viente muscular. Esta consideración nos pareció muy interesante, especialmente al contrastarla con nuestras observaciones en las disecciones realizadas, así como los resultados obtenidos al medir las áreas de sus vientres musculares. Durante la disección se pudo constatar que el viente muscular de la cabeza larga del Bíceps femoral tuvo un área mayor en el tercio medio respecto al tercio inferior del muslo, lo cual parece razonable para cualquier músculo de morfología fusiforme, pero fue llamativo considerando que éste es un “Bíceps” y por lo tanto se debe unir a otro viente muscular para formar un tendón común. También observamos que la cabeza larga disminuía ostensiblemente su masa muscular antes de unirse a la cabeza corta, lo cual fue corroborado mediante la medición del área de sección del viente muscular en estos 2 niveles (**figuras 28 y 29**). Los resultados obtenidos nos dieron un área de sección media de  $44,7 \text{ mm}^2 (\pm 18)$  en el tercio medio y un área de sección media de  $12 \text{ mm}^2 (\pm 5,2)$  en el tercio inferior, lo que equivale a una

reducción del 73,2% de la masa muscular. Además, cuando hicimos la comparación de los dos vientres musculares en el tercio inferior del muslo (que corresponde al nivel donde ambos vientres musculares se unen), el área de la cabeza larga fue de  $12 \text{ mm}^2 (\pm 5,2)$  y el de la cabeza corta de  $29,6 \text{ mm}^2 (\pm 11)$ , es decir que el viente de la cabeza larga correspondió a un 40,5% respecto al viente de la cabeza corta y además con significación estadística ( $p<0,0001$ ). Otro aspecto a destacar, cuando realizamos el seguimiento hacia distal del viente muscular de la cabeza larga en los cortes transversales, fue evidenciar *in situ* cómo el epimisio de esta cabeza formaba una aponeurosis que se incorporaba gradualmente al tendón de la cabeza corta. Esta estructura conjuntiva quedaba localizada en la cara superficial y lateral de ese tendón, determinando que no existiera una fusión entre ambos vientres musculares, si no que la fusión fuera entre sus tendones (**figura 9 B**). Si este hecho se compara con lo que ocurre, por ejemplo, en el músculo bíceps braquial, se establecen diferencias muy evidentes, ya que en el brazo se observa una verdadera fusión de las masas musculares que da origen a un tendón distal procedente de ambas cabezas, y además ambas cabezas comparten la misma inervación. En contraposición, en el músculo Bíceps femoral las dos cabezas se mantienen separadas por tejido conjuntivo, sin fusionarse, y el tendón distal parece más propio de la cabeza corta que de la cabeza larga, además de tener diferente inervación. Así, las cabezas del Bíceps femoral adoptan una disposición “en tandem” y no se fusionan, mientras que sí lo hacen sus tendones distales para formar un tendón común.

Respecto a las fibras de los dos vientres musculares también se apreciaron diferencias en su disposición. El viente muscular de la cabeza larga es fusiforme, con sus fibras dispuestas paralelamente respecto a sus 2 tendones proximal y distal, diferente a lo observado en la cabeza corta, donde sus fibras se disponen oblicuamente respecto al tendón distal. Esta disposición fibrilar tiene una implicación funcional, tal como describe Watanabe *et al.* (2016), donde la cabeza larga del Bíceps femoral durante la flexión de la rodilla sería responsable de los movimientos veloces y con amplio rango articular, mientras que la cabeza corta aportaría principalmente el desarrollo de fuerza. De acuerdo a esta hipótesis, consideramos que la cabeza larga actuaría sobre la articulación de la rodilla como una “rienda” (o guía) que permite controlar la extensión de rodilla en la fase final de la oscilación durante el *sprint*, mientras que la cabeza corta actuaría como un estabilizador para la misma articulación durante las fases de

apoyo, como ha sido sugerido por *Espregueira-Mendes & da Silva (2006)*, *Soma et al. (2014)* y *Richards et al. (2016)*.

El estudio de antropología y de anatomía comparada realizado por *Kumakura (1989)*, sobre la función del Bíceps femoral durante la locomoción en primates, indicó que en marcha cuadrúpeda la cabeza larga tiene un rol propulsor y este cambia a un rol estabilizador en marcha bípeda, complementando el trabajo de la cabeza corta; este cambio puede ser atribuido a la posición de la cadera, a la que además estabiliza (*Leinonen et al., 2000*), modificándose la tensión del músculo y su función. Por lo tanto, la adquisición de la marcha bípeda a lo largo de la evolución de la especie humana podría haber modificado el rol de un músculo que, en la actualidad, es el que más se lesiona (mecanismo indirecto) en los deportes de velocidad y que tiene la tasa más alta de recidiva (*Hallén & Ekstrand, 2014*). Este hecho se debería presumiblemente, según *Schuermans et al. (2014)* a sus características morfológicas.

Respecto a la inervación de estos vientres, ambos son inervados por raíces procedentes de L5, S1 y S2, siendo S1 el nervio principal para los dos (*Spalteholz, 1990*; *Standring, 2016*; *Moore et al., 2018*). La diferencia de inervación se produce desde el punto de vista anatómico, siendo 2 nervios, el Tibial y el Fibular común los que conducen el impulso nervioso. Estudios funcionales han demostrado que el nervio Tibial conduce a una velocidad levemente mayor que el nervio Fibular común, 48 versus 42 metros por segundo respectivamente (*Singh et al., 2018*). Esto puede generar algún asincronismo en la conducción nerviosa de ellos, lo cual podría justificar algunas lesiones intrínsecas que se producen por descoordinación entre la capacidad adaptativa del músculo y la solicitud que se le demanda. Este hecho fue ya propuesto por *Koulouris & Connell (2005)* y *Beltrán et al. (2012)*.

Estas lesiones por asincronismo nervioso podrían ser más probables en personas que tengan historial de lesión muscular asociada a daño nervioso, puesto que se ha evidenciado una relación directa entre lesiones de musculatura isquiotibial y disminución de la velocidad de conducción nerviosa, siendo esta velocidad significativamente menor en la extremidad lesionada (*Kouzaki et al., 2017*). Debido a que los segmentos medulares que inervan a estos músculos son los mismos (L5 a S2 con raíz principal de S1), y lo que cambia es el nervio motor que transporta el impulso nervioso, el asincronismo debería estar condicionado por un factor que afecte directamente al nervio motor, antes o durante su ingreso al vientre muscular.

Otro aspecto a tener en cuenta en el músculo Bíceps femoral son sus posibles variaciones anatómicas. En este sentido se han descrito: independencia anatómica de sus dos cabezas, variaciones en el origen de la cabeza larga procedente de la pelvis, división de la cabeza corta en varios fascículos o incluso ausencia de la misma (*Testut, 1884; Tubbs et al., 2016*); sin embargo, en este estudio no se encontraron variaciones anatómicas para este músculo.

Por último, estos antecedentes invitan a reflexionar sobre la descripción tradicional de este músculo y sobre el concepto de “Bíceps femoral”, dando pie a la pregunta: ¿es correcto el término de “Bíceps femoral”? Consideramos que sí lo es desde el punto de vista anatómico, ya que son dos vientres musculares cuyos tendones distales se fusionan para formar un tendón común. Sin embargo, desde el punto de vista embriológico la respuesta es no, ya que cada vientre tiene un origen distinto. Finalmente, desde el punto de vista funcional consideramos que es relativamente un “ bíceps”, debido a que la cabeza corta se dedica exclusivamente a la rodilla mientras que la cabeza larga se dedica a la cadera y a la rodilla, quedando condicionado el trabajo muscular según sea la posición de estas articulaciones.

#### 4. MÚSCULO SEMITENDINOSO

El Semitendinoso es un músculo cuya morfología tiene como característica principal un vientre muscular que ocupa su mitad superior y un largo tendón distal que ocupa su mitad inferior (**figura 14**). El tendón distal corresponde además al más largo de los tendones de los músculos isquiotibiales, con diferencias estadísticamente significativas respecto a la longitud de los tendones distales del Semimembranoso y del Bíceps femoral ( $p<0,0041$ ). Estas características son las que le confieren su nombre, como bien lo mencionan *Testut & Latarjet (1967)*.

Los resultados de nuestro estudio muestran que este músculo tiene una longitud media total de 413 mm ( $\pm 36$ ), de los cuales 238 mm ( $\pm 36$ ) corresponden al tendón distal, lo que representa el 57,63% de la longitud media total del músculo, en tanto que su vientre muscular midió en promedio 304 mm ( $\pm 38$ ), equivalente al 73,6%. Es necesario aclarar que el vientre muscular y el tendón distal se superponen en el tercio medio del músculo, por lo que la suma de las longitudes descritas es superior a la longitud total del músculo.

La medida del vientre muscular obtenida en nuestro estudio fue similar a la descrita por *Vadgaonkar et al. (2018)*, cuyo resultado fue de 332 mm ( $\pm$  36); sin embargo, estos autores describieron una longitud del tendón distal de 154 mm ( $\pm$  31), lo que difiere significativamente de nuestros resultados. Para justificar esta discrepancia nos basamos en el método utilizado para su medición. Así, en nuestro trabajo se midió el tendón distal desde que se hizo visible dentro del músculo hasta que se insertaba distalmente, mientras que en el estudio citado la medición se realizó exclusivamente en la parte tendinosa, desde la región en la que ya no presentaba fibras musculares hasta su inserción distal. Teniendo en cuenta esta forma de medición, también la realizamos en nuestras preparaciones anatómicas, dando como resultado un valor de 117 mm ( $\pm$  27) el cuál se acerca más a lo descrito por *Vadgaonkar et al. (2018)*. Aun así, nosotros optamos por utilizar la medición que incluía al tendón con conexión a fibras musculares ya que la consideramos más relevante respecto a la importancia funcional y clínica de la unión miotendinosa.

La disposición de los componentes anatómicos de este músculo es interesante, ya que debido a su diminuto tendón proximal tiene el aparato contráctil localizado superiormente y el aparato tensil inferiormente. Esta disposición le diferencia anatómicamente del Biceps femoral y del Semimembranoso, debido a que funcionalmente el vientre se ve solicitado por un solo tendón localizado en su porción inferior, a diferencia de los vientres que quedan localizados entre 2 tendones y son solicitados por fuerzas tensiles en sus extremos superior e inferior.

La intersección tendinosa del vientre muscular del Semitendinoso es una característica que lo distingue. *Kellis & Balidou (2014)* observaron la presencia de la intersección tendinosa en el 92% de los casos, considerándola como un hito anatómico importante en este músculo, capaz de modificar su grosor muscular según la posición de la cadera y la rodilla. Según los resultados obtenidos por nosotros, el vientre muscular del Semitendinoso presenta una intersección tendinosa que lo cruza completamente en el 80% de los casos y de manera incompleta en el 20%. En el seguimiento que hicimos de esta intersección tendinosa en el interior del vientre muscular no apreciamos en ninguna de las muestras que dicha estructura se proyectara como un elemento que divide internamente al músculo. Sin embargo, al observar el vientre muscular desde su cara superficial, comprobamos que la intersección tendinosa representa un hito anatómico importante para diferenciar la disposición de las fibras

musculares. Así, las fibras musculares por encima de la intersección se disponen longitudinalmente, de ellas, las más laterales siguen hasta alcanzar la tuberosidad isquiática y las más mediales toman inserción en la cabeza larga del Bíceps femoral; esto no ocurría con las fibras musculares que quedaban inferiormente a la intersección tendinosa, las cuales se disponían oblicuamente, llegando de esta forma al tendón distal. Esta diferencia en la disposición de las fibras musculares permite inferir que este músculo posee un grupo de fibras superiores que se encargan principalmente de los movimientos amplios y veloces y otro grupo de fibras inferiores que realizan un trabajo más centrado en desarrollar fuerza, de acuerdo a lo planteado por *Watanabe et al.* (2016). Esta disposición fibrilar podría determinar un mayor trabajo de velocidad, siendo concordante con los estudios de trabajo muscular que señalan al Semitendinoso como el músculo con mayor velocidad de alargamiento respecto a los otros músculos del compartimento posterior del muslo (*Schache et al.*, 2012).

Respecto a la localización superior del vientre muscular del Semitendinoso, es posible que favorezca la estabilización de la pelvis en mayor medida que los otros músculos isquiotibiales. Debido a que la masa muscular del Semitendinoso alcanza la tuberosidad isquiática, se determina que el aparato contráctil quede sobre el punto de tracción, algo similar a lo que se observa en otros estabilizadores pélvicos, como en el músculo recto abdominal (*Narouei et al.*, 2018) que se inserta sobre el pubis. De hecho, *Messer et al.* (2018) probaron que el ejercicio nórdico (entrenamiento excéntrico de isquiotibiales en cadena cinética cerrada, es decir, dejando como segmento fijo los muslos y piernas y como segmento móvil el tronco) recluta preferentemente al Semitendinoso, mientras que la extensión activa de la cadera (cadena cinética abierta, es decir, dejando como segmento fijo el tronco y como segmento móvil muslos y piernas) recluta uniformemente todos los músculos isquiotibiales biarticulares, lo que indica una mayor actividad muscular por parte de este músculo para estabilizar la pelvis en el momento de descender el tronco. Este hecho determina que el aumento de la rigidez de los isquiotibiales pueda limitar el rango de inclinación pélvica anterior (*Kuszewski et al.*, 2018), afectando directamente al equilibrio antero-posterior de la pelvis, lo que generaría una perturbación en la coordinación de la musculatura estabilizadora de pelvis que induzca un estiramiento isquiotibial excesivo (*Chumanov et al.*, 2007), y por lo tanto un mayor riesgo de lesión. Una perspectiva opuesta ha sido sugerida por *Macdonald* (2017) señalando que la

estabilidad lumbar-pélvica juega un papel importante en la función muscular de los isquiotibiales. Además, y complementando lo anterior, *Fasuyi et al.* (2017) demostraron que la longitud de estos músculos se reduce significativamente en individuos con dolor lumbar; por lo tanto, en el momento de analizar el trabajo muscular de los isquiotibiales, no solo debe centrarse en el análisis del segmento muslo/pierna, sino que también se debe considerar el segmento tronco/muslo.

De lo anteriormente descrito es posible afirmar que la disposición de los componentes anatómicos (vientre muscular y tendón distal) del Semitendinoso lo hace diferente a los otros isquiotibiales, permitiéndole desempeñar un trabajo contráctil en su segmento superior y tensil en el inferior, lo cual además le otorgaría un rol más activo en el control postural respecto a los otros músculos del compartimento. Por esto resulta beneficioso entrenar la musculatura isquiotibial a diferentes velocidades excéntricas, aumentando así su fuerza, su elasticidad y su rendimiento funcional (*Stastny et al.*, 2018; *Álvarez-Yates & García-García*, 2020), y de este modo prepararla para desempeñarse adecuadamente sobre el miembro inferior y el tronco.

## 5. ORIGEN DEL SEMITENDINOSO EN LA CABEZA LARGA DEL BÍCEPS FEMORAL

La lesión de los músculos isquiotibiales ocurre al realizar el cambio de ritmo durante la carrera, en la fase de aceleración y también en actividades relacionadas con el salto (*Krommes et al.*, 2017).

Habitualmente se afecta la cabeza larga del Bíceps femoral siendo la localización de la lesión a una distancia de unos 67 mm distales a la tuberosidad isquiática (*Askling et al.*, 2007; *van der Made et al.*, 2015). Esta localización coincide exactamente con la ubicación encontrada en nuestro estudio donde se unen el Semitendinoso con la cabeza larga del Bíceps femoral para formar el Tendón Conjunto Isquiotibial. Este hallazgo hace presumir que esta conexión entre ambos músculos puede estar implicada en el origen de las lesiones que se observan en esta zona.

El estudio histológico que realizamos en nuestras 10 muestras permitió comprobar que las fibras del Semitendinoso que se originaban en la cabeza larga del Bíceps femoral lo hacían mediante fibras tendinosas cortas (**figuras 21 y 22**). Estas fibras conectaban con el epimisio del Bíceps femoral y por lo tanto podrían transmitir la fuerza de un músculo al otro. Este origen muscular no lo hemos encontrado referido en los textos de anatomía reconocidos por su detalla

descripción de inserciones musculares (*Paturet, 1951; Rouvière & Delmas, 2005*), aunque si en el tratado de anatomía humana del *Prof. Dr. F. Orts Llorca (1985)* que menciona que parte de las fibras del Semitendinoso pueden originarse en el tendón de la cabeza larga del Bíceps femoral, pero sin aportar mayores detalles morfológicos. En el actual y referente tratado de *Gray's Anatomy (Standring, 2016)* se describe una aponeurosis que conecta las caras adyacentes de estos dos músculos, aunque no hacen referencia al origen y/o inserción de la misma. Y en el tratado de anatomía de *Testut & Latarjet (1967)* se menciona que el Semitendinoso se origina en la cara posterior del isquion, dónde se confunde con la cabeza larga del Bíceps femoral, aunque en sus “variantes” no se hacen referencias a este hecho.

En contraposición, en la literatura especializada autores como *Woodley & Mercer (2005)* señalan que ocasionalmente se puede observar un origen del músculo Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral, considerando esta situación infrecuente. Sin embargo, los resultados de nuestro estudio demuestran que el músculo Semitendinoso tiene origen en la cabeza larga del Bíceps femoral en el 100% de los casos (**figura 18**). La disposición oblicua de dichas fibras determina un ángulo de 9,5° ( $\pm 1,5$ ) con el eje de la cabeza larga del Bíceps femoral, lo cual consideramos que debe tener una repercusión mecánica directa en la acción del Bíceps femoral. Así, si tenemos en cuenta la disposición longitudinal de las fibras de la cabeza larga del Bíceps femoral en su trabajo concéntrico y excéntrico, la tracción medial que generaría las fibras del Semitendinoso interferiría en la correcta función de este músculo, ya que, al contraerse ambos músculos, las fibras del Semitendinoso producirían una fuerza en cizalla sobre la cabeza larga del Bíceps femoral; Esta fuerza determinaría una deformación, tanto al tendón como a las fibras musculares de la cabeza larga del Bíceps femoral. Además, esta fuerza sería más riesgosa durante la contracción excéntrica, momento en el que las fibras se encuentran alargadas y tensas, y por lo tanto más vulnerables al desgarro por la tracción ejercida por el Semitendinoso.

Este mecanismo de lesión, propuesto a partir de nuestros hallazgos morfológicos, justificaría el hecho de que los desgarros de isquiotibiales ocurren por tensión excesiva (*Kendall & Eston, 2002*) y, en el caso de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral se producen durante la fase de contracción excéntrica (*Valente et al., 2013; Shambaugh et al., 2017*). Cabe destacar que en 1 de nuestros casos (2,85%) las fibras de origen del Semitendinoso eran de constitución

tendinosa y no muscular, siendo además el origen de menor amplitud (5 mm). En este caso, y teniendo en cuenta que el tendón es una estructura con mayor capacidad tensil que la fibra muscular, esta inserción tendinosa estaría traccionando sobre un área muscular más pequeña, y por lo tanto de menor resistencia, lo que aumentaría el riesgo de lesión.

Nuestros resultados muestran que las fibras del origen del Semitendinoso en la cabeza larga del Bíceps femoral presentan un diámetro transversal medio de 10,9 mm ( $\pm 5,3$ ) (procedentes de un vientre cuyo diámetro medio transversal es de 26 mm  $\pm 5,9$ ). El área ocupada por estas fibras tiene una amplitud media de 32 mm ( $\pm 14$ ), quedando dispuestas oblicuamente respecto a la cabeza larga del Bíceps femoral, formando un ángulo de 9,5° ( $\pm 1,5$ ) (**figura 19**). Por lo tanto, al analizar los componentes vectoriales de estas fibras, realizamos la descomposición de 2 vectores: un vector vertical, paralelo al eje principal de la cabeza larga del Bíceps femoral (componente primario), y el otro horizontal, perpendicular al eje principal de las fibras del Bíceps femoral (componente secundario). Así, el vector vertical tracciona del Bíceps femoral actuando sobre el acortamiento/alargamiento de sus fibras principales; esta acción, según coincida o no con el ciclo de contracción/elongación del Bíceps femoral, podría sumar o restar fuerza dependiendo de la dirección vectorial. Por el contrario, el vector horizontal provocaría una deformación perpendicular sobre las fibras del Bíceps femoral, lo que por una parte podría generar una acción ineficiente de las fibras verticales del Bíceps femoral, al ser tensadas en una dirección distinta de su eje de acción principal, y por otra parte, con la suficiente magnitud de fuerza, se podría generar una deformación plástica, producto de la fuerza en cizalla (deformación angular) en esta región, lo que se traduciría en una rotura del tejido muscular y/o del tejido conjuntivo local.

Cabe destacar la alta variabilidad de la aponeurosis proximal de la cabeza larga del Bíceps femoral como lo describieron *Evangelidis et al.* (2015), lo cual puede determinar que en algunos casos este origen del Semitendinoso ocurra sobre las fibras musculares del Bíceps femoral o sobre su aponeurosis proximal, influyendo directamente en la resistencia a la fuerza de cizalla generada en este músculo según sean las características del tejido, favoreciendo o no la incidencia de lesiones. Esta variabilidad se puede observar comparando la aponeurosis proximal de la cabeza larga del Bíceps femoral entre A y B de la **figura 18**.

Al generar la descomposición vectorial sobre la base de un vector principal que presenta un ángulo de 9,5°, el componente vertical será el principal componente de fuerza, ya que al considerar  $\bar{F}$  (fuerza) coseno 9,5°, el factor multiplicador se acerca a 1. Por el contrario, el componente horizontal  $\bar{F}$  seno 9,5° es el de menor magnitud, ya que su factor multiplicador se acerca a 0 (**figura 20**). Esto último nos lleva a concluir que, a mayor angulación en la dirección de las fibras de origen del Semitendinoso, mayor será la magnitud del componente horizontal sobre el punto de unión con la cabeza larga del Bíceps femoral, aumentando las probabilidades de rotura por deformación.

Estos hallazgos pueden ser relevantes para los deportistas de élite, especialmente los que realizan actividades de *sprint*, quienes desarrollan una hipertrofia muscular de los miembros inferiores; y como es sabido, la hipertrofia muscular aumenta los ángulos de penación (Kawakami *et al.*, 1993; Nóbrega *et al.*, 2017) lo cual podría aumentar el riesgo de lesión.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, tiene sentido que el mecanismo de lesión más frecuente sea el movimiento combinado de flexión de cadera con extensión de la rodilla, lo que genera, a nivel del grupo isquiotibial, una contracción excéntrica de la cabeza larga del Bíceps femoral, y en esas circunstancias este músculo es más vulnerable a la tracción por parte del Semitendinoso. Esto permite concluir que el origen muscular descrito en el presente trabajo es un factor de riesgo morfológico que puede estar implicado en las lesiones de la cabeza larga del músculo Bíceps femoral.

## 6. MÚSCULO SEMIMEMBRANOSO

El músculo Semimembranoso presenta características morfológicas diferenciales respecto a los otros músculos isquiotibiales. De ellas, la más destacada es su porción membranosa y laminar de la cual se origina el tendón proximal; además, y al contrario de lo que sucede en el músculo Semitendinoso, su vientre muscular está localizado inferiormente (**figura 23**). El tendón proximal se extiende desde la porción membranosa hasta la tuberosidad isquiática, insertándose lateral y posteriormente respecto al Tendón Conjunto Isquiotibial, de acuerdo con la descripción realizada por Sato *et al.* (2012).

Las mediciones perimetrales del área realizadas a 3 niveles (superior, medio e inferior) del tendón proximal del Semimembranoso nos demostraron una relación inversa respecto al área de sección del Tendón Conjunto Isquiotibial. El tendón proximal del Semimembranoso

incrementa su área superiormente, a diferencia del Tendón Conjunto Isquiotibial que la disminuye, como indican nuestros resultados. De acuerdo con estos resultados, el tendón del Semimembranoso mide, en el tercio inferior un área media de  $2,2 \text{ mm}^2$  ( $\pm 0,7$ ) v/s  $26,5 \text{ mm}^2$  ( $\pm 7,3$ ) del Tendón Conjunto Isquiotibial, en el tercio medio un área media es de  $3,5 \text{ mm}^2$  ( $\pm 1,4$ ) v/s  $16,5 \text{ mm}^2$  ( $\pm 4,7$ ) y en el tercio superior  $6,3 \text{ mm}^2$  ( $\pm 2,7$ ) v/s  $9,7 \text{ mm}^2$  ( $\pm 2,9$ ). Si bien el área del Semimembranoso no logró ser mayor que el área del Tendón Conjunto Isquiotibial, existe una relación inversa, en la que mientras uno disminuye el otro aumenta. Este hecho podría ser el resultado de una compensación natural del aparato tensil, causada por el poco desarrollo del tendón proximal del Semitendinoso, que en el 91,4% de los casos llega como una estructura muscular hasta la tuberosidad isquiática. Además, en todos los cortes transversales se observó que el tejido conjuntivo que rodea al Semitendinoso y a la cabeza larga del Bíceps femoral, a nivel del Tendón Conjunto Isquiotibial, no incluye al tendón proximal del Semimembranoso. Este tejido conjuntivo que se interpone entre ambas estructuras podría ser la causa de que ocurran avulsiones parciales en la tuberosidad isquiática de un tendón u otro, que además podría ser utilizado como plano de separación quirúrgica durante las cirugías de reparación de esta patología poco común (*Mizera et al., 2016*).

El vientre muscular del Semimembranoso se localiza entre la porción membranosa situada lateral y superiormente y el tendón distal ubicado inferior y medialmente; es decir, es un vientre muscular entre dos estructuras tendinosas morfológicamente distintas, una plana y laminar en la parte superior y otra cilíndrica en la parte inferior. Debido a lo anteriormente expuesto, la disposición de las fibras musculares superiores establece continuidad con las fibras tendinosas de la porción membranosa, quedando paralelas respecto al eje mayor del músculo a ese nivel, en tanto que las fibras musculares más inferiores se disponen oblicuamente y llegan de esta forma al tendón distal. De acuerdo a lo planteado por *Watanabe et al. (2016)* se podría interpretar que funcionalmente las fibras superiores del Semimembranoso son para los movimientos veloces y de amplio rango articular, mientras que las inferiores son para realizar trabajo de fuerza, lo que sería una característica común con el músculo Semitendinoso. Además, el hecho de que el vientre sea más desarrollado en la parte inferior del Semimembranoso podría entenderse como una forma de complemento con el Semitendinoso, cuyo vientre es más desarrollado en su extremo superior. Esta situación se puede comparar

con la del Bíceps femoral (recordando que no es igual debido a que la cabeza corta es mono articular), donde la cabeza larga sería equivalente al Semitendinoso ya que corresponde al vientre muscular superior y la cabeza corta sería equivalente al Semimembranoso que corresponde al vientre muscular inferior, generándose por parte de los vientres superiores el trabajo de velocidad y amplio rango articular y por parte de los vientres inferiores el trabajo de fuerza.

Según *Kumazaki et al. (2012)* el Semimembranoso comparte características similares con la cabeza larga del Bíceps femoral, como la longitud total del músculo, la longitud de las fibras musculares y la arquitectura muscular de tipo semipeniforme. Los resultados de nuestro estudio muestran que no existen diferencias significativas en relación a la longitud total del músculo y a la longitud de las fibras musculares entre ambos, lo cual está de acuerdo con el trabajo de *Kumazaki et al. (2012)*; sin embargo, no estamos de acuerdo con lo señalado por estos autores respecto a la arquitectura muscular semipeniforme, ya que observamos diferente disposición de las fibras respecto al tendón distal. Específicamente, las fibras musculares de la cabeza larga del Bíceps femoral terminan en la cara anterior (profunda) de su tendón distal, el cual se localiza central e inferiormente respecto al vientre muscular, quedando las fibras musculares dispuestas en plano sagital con un ángulo de penación que, según *Kellis et al. (2012)* mide en promedio  $13.46^\circ$  ( $\pm 2.88$ ) y según *Tosovic et al. (2016)*  $13.2^\circ$  ( $\pm 3.1$ ). En contraposición, el tendón distal del Semimembranoso se encuentra medial al vientre muscular y recibe a las fibras musculares solamente por su cara lateral, lo que determina que estas fibras se orienten en el plano frontal con un ángulo medio de penación de  $15.95^\circ$  ( $\pm 2.39$ ) (*Kellis et al., 2012*). La diferencia de planos en que se disponen las fibras de cada músculo modifica su arquitectura músculotendinosa, ya que las fibras de la cabeza larga del Bíceps femoral quedan orientadas en el mismo plano (plano sagital) en que su tendón distal realiza el movimiento de flexión-extensión de rodilla, en cambio las fibras del Semimembranoso quedan orientadas en un plano frontal, por tanto oblicuas respecto al tendón distal, es decir, las fibras musculares de ambos músculos tienen distinta disposición fibrilar para el mismo movimiento. En resumen, las fibras del Bíceps femoral se orientan paralelas al plano de movimiento durante la flexión-extensión de rodilla, mientras que las fibras del Semimembranoso se orientan oblicuas durante el mismo movimiento (**figura 27**).

Además, nuestros resultados indican que el músculo Semimembranoso es el que tiene el área muscular más grande respecto a los otros músculos del compartimento, alcanzando en promedio  $50,2 \text{ mm}^2 (\pm 18,8)$ , lo que sumado a un mayor ángulo de penación avala las afirmaciones de los estudios de trabajo muscular que señalan al Semimembranoso como el músculo más fuerte y que alcanza los mayores *peaks* electromiográficos durante el *sprint* y trabajos funcionales (*Schache et al., 2012; Ishøi et al., 2018*), acreditando además el rol de freno durante la rotación lateral de la pierna descrito por *Bejui et al. (1984)*.

## 7. MORFOLOGÍA Y FUNCIÓN

Las lesiones de músculos isquiotibiales son frecuentes en deportes que realizan *sprint* y en actividades que involucran amplios rangos de movimiento a alta velocidad sobre las articulaciones de la cadera y rodilla (*Wangensteen et al., 2017*).

*Woods et al. (2004)* documentaron 796 lesiones de isquiotibiales, de las cuales 749 fueron por tensiones musculares, correspondiendo el 53% al Bíceps femoral, el 19% de carácter inespecífico, el 16% al Semitendinoso y el 13% al Semimembranoso.

*Crema et al. (2016)* estudiaron la distribución anatómica de las lesiones agudas de los músculos isquiotibiales en 275 jugadores de fútbol. Sus resultados confirmaron que la cabeza larga del Bíceps femoral es la más afectada, representando el 56,5% de las lesiones. Estas cifras son mayores en los resultados de *Hogervorst & Vereecke (2014)*, quienes observaron que el Bíceps femoral se vio afectado en el 75% de las lesiones de isquiotibiales en una población de 222 casos, mientras que *Ekstrand et al. (2012)* observaron lesiones del Bíceps femoral en el 84% de los casos sobre una población de 180 deportistas.

Desde el punto de vista del trabajo muscular, el Bíceps femoral es un músculo que presenta dos vientres musculares. La cabeza larga es biarticular actuando sobre las articulaciones de la cadera y rodilla y sus fibras musculares tienen arquitectura paralela; en tanto que la cabeza corta es monoarticular actuando solamente sobre la articulación de la rodilla y sus fibras musculares son de arquitectura semipeniforme. Esta situación establece, en términos prácticos, que dos vientres musculares con diferente morfología comparten un tendón común que tracciona el mismo punto de inserción, haciendo que la cabeza larga trabaje movilizando 2 articulaciones mientras la cabeza corta moviliza una, es decir la cabeza larga tiene dos trabajos y la cabeza corta uno.

Distinto es lo que ocurre con los músculos Semitendinoso y Semimembranoso. Estos músculos, aunque tienen inserciones similares, sus tendones son independientes entre sí y por lo tanto también su mecánica de trabajo. Es decir, que en el grupo de músculos isquiotibiales, los vientres laterales realizan una contracción en conjunto para un movimiento en común, en tanto que los vientres mediales realizan una contracción independiente para un movimiento en común.

Los estudios de *Le Sant et al. (2015)* reportaron que la fuerza de cizalla de la cabeza larga del Bíceps femoral aumenta, al menos, dos veces cuando la cadera se flexiona entre 70° y 110° y tres veces a medida que la rodilla se extiende de 110° a 20°. Además, señalan que de los tres isquiotibiales la cabeza larga del Bíceps femoral es la que se ve sometida a mayor tensión.

Los estudios funcionales demuestran que los músculos isquiotibiales trabajan de manera diferente durante las distintas fases del *sprint*. Según *Schache et al. (2012)* durante la oscilación final el Bíceps femoral lo hace exhibiendo la mayor tensión, el Semitendinoso la mayor velocidad de alargamiento y el Semimembranoso generando la mayor potencia; los resultados electromiográficos de *van den Tillaar et al. (2017)* avalan estas afirmaciones.

*Hansen et al. (2017)* observaron que los isquiotibiales laterales trabajan más que los mediales durante las fases de apoyo, lo cual también es referido por *Higashihara et al. (2018)* cuyos resultados electromiográficos sobre la cabeza larga del Bíceps femoral y el Semitendinoso demostraron que durante el *sprint* las demandas funcionales de los músculos isquiotibiales mediales y laterales son diferentes según se encuentren en fase de apoyo o de oscilación.

Al revisar esta literatura queda de manifiesto que para una misma actividad los músculos isquiotibiales trabajan de manera diferente, contribuyendo en mayor o menor medida según sea el tipo de ejercicio. Además, que existe predominio de lesiones en la cabeza larga del Bíceps femoral, dejando en evidencia patrones epidemiológicos y funcionales que podrían encontrar explicación fundamentada por la morfología.

## 8. MORFOLOGÍA MUSCULAR

En general autores como *Goss (1973)*, *Standring (2016)* o *Moore et al. (2018)* describen que los músculos isquiotibiales son fusiformes, con superficies de inserción relativamente similares que les permiten realizar movimientos de extensión de cadera y flexión de rodilla. Sin embargo,

estos músculos tienen características morfológicas que les diferencian y que son bien reconocibles en una observación más detallada.

En una primera observación morfológica general se comprueba que el Bíceps femoral posee 2 cabezas, que el Semitendinoso tiene un vientre que se encuentra sólo superiormente y un largo tendón distal que representa aproximadamente la mitad de su longitud muscular total, mientras que el Semimembranoso tiene un vientre muscular central, más desarrollado inferiormente y posicionado entre un tendón laminar que se encuentra superiormente y un tendón cilíndrico inferiormente. Con estos aspectos ya es posible afirmar que los isquiotibiales comparten algunas características morfológicas y funcionales generales, pero son diferentes entre sí.

A continuación, realizaremos una discusión que compara las características morfológicas de estos músculos, mediante el análisis de los siguientes aspectos: vientres musculares, tendones, proporciones, inervación y vascularización y comparación por sexo (masculino o femenino), con el propósito de dar una visión integral al estudio morfológico de esta musculatura y que permita una mayor comprensión, como lo sugieren *Li & Syno* (2018).

### **8.1 Respeto a los vientres musculares**

Consultando la literatura se comprobó que la clasificación de los músculos analizados en este trabajo es algo que genera diferencias entre los autores de textos anatómicos. Quizás por ello en algunos casos los músculos son clasificados y en otros no. Por ejemplo, el Semitendinoso es un músculo generalmente considerado fusiforme y, en cambio el Semimembranoso frecuentemente no es clasificado, lo cual fue observado en los textos clásicos y contemporáneos consultados (*Paturet, 1951; Testut & Latarjet, 1967; Goss, 1973; Orts Llorca, 1985; Spalteholz, 1990; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016; Moore et al., 2018*).

Haremos hincapié en este punto, pues hemos notado “confusión” respecto a la terminología utilizada. Por tal motivo, consideramos que para poder clasificar los músculos estudiados, es necesario diferenciar la “forma muscular” de la “arquitectura muscular”. La forma considera al músculo en general, con vientre(s) y tendón(es), describiéndose músculos planos, fusiformes (vientre grueso y extremos delgados), rectos, cuadrados, triangulares, etc. (*Comité Federal sobre Terminología Anatómica, 2001; Rouvière & Delmas, 2005*). La arquitectura se refiere a la disposición que tienen las fibras musculares respecto al tendón y por lo tanto al vector de tracción, existiendo músculos cuyas fibras son paralelas al tendón, denominándose a este tipo

“arquitectura paralela” (también les llaman músculos fusiformes) y otros donde las fibras se disponen oblicuamente a él denominándose “arquitectura peniforme/semipeniforme/multipeniforme” según el número de fascículos que tenga el músculo (*Lieber & Fridén, 2000; Standring, 2016*). Por este motivo, es necesario mencionar que en un músculo fusiforme, sea de arquitectura paralela o peniforme, se forma ángulo de penación. Esto debido a que las fibras deben acomodarse, desde la posición que tengan en el vientre muscular, para llegar al tendón. Tener esto claro es fundamental, ya que hemos notado que en general se entiende que solamente las fibras de arquitectura semipeniforme establecen dicho ángulo. Prueba de lo que exponemos es la cabeza larga del Bíceps femoral, que teniendo arquitectura paralela, sus fibras forman un ángulo de penación respecto al tendón distal, el que ha sido medido y descrito por diversos autores, entre ellos *Kellis et al. (2012)* y *Tosovic et al. (2016)*.

Actualmente se acepta que los músculos de arquitectura paralela tienen una velocidad de acortamiento más rápida y su rango de movimiento es mayor; por el contrario, los músculos de arquitectura peniforme son de menor velocidad y de menor rango de movimiento, pero generan mayor fuerza (*Rouvière & Delmas, 2005; Watanabe et al., 2016*).

Citando textualmente a *Testut & Latarjet (1967)* “*en la apreciación de la acción mecánica de un músculo dado, deberá tenerse en cuenta, no solamente su volumen, sino también las relaciones de sus fibras con los tendones en que estas nacen o terminan*”. Por este motivo nos pareció necesario realizar la clasificación del vientre muscular para comprender mejor el comportamiento de cada músculo.

Según la forma observada en los vientres musculares y cómo se relacionaban sus fibras con los tendones se realizó la clasificación. El Semimembranoso, el Semitendinoso y la cabeza corta del Bíceps femoral se clasificaron como músculos fusiformes y de arquitectura semipeniforme, mientras que la cabeza larga del Bíceps femoral se consideró como músculo fusiforme y de arquitectura paralela (**figura 27**). En los vientres musculares semipeniformes se observó que la disposición de las fibras musculares superiores era paralela en relación al tendón o aponeurosis proximal, en tanto que las fibras inferiores se disponían oblicuas respecto al tendón distal, patrón que se asemeja a lo que *Rouvière & Delmas (2005)* describen como seudopeniformes. Del mismo modo se observó que cada uno de estos vientres tenía

características morfológicas específicas, que de acuerdo a *Kellis et al. (2012)* pueden influir en el aspecto funcional.

Respecto a la cabeza larga del Bíceps femoral: este vientre muscular recibe, por su cara profunda y medial, fibras musculares procedentes del Semitendinoso, lo que es atípico ya que ninguno de los otros músculos recibe una inserción de este tipo. Esta inserción muscular podría alterar su correcto funcionamiento aumentando el riesgo de lesión. Esta idea es realzada cuando se relaciona con los resultados de distribución y frecuencia de lesiones isquiotibiales descrita por *De Smet & Best (2000)*, quienes observaron que, de 11 lesiones de la cabeza larga del Bíceps femoral, 4 fueron en la unión miotendinosa proximal con lesión secundaria del Semitendinoso.

El Semitendinoso tiene su vientre muscular en el extremo superior, situándose sobre la tuberosidad isquiática en el 91,4% de los casos, e insertándose en ella a través de un fibrocártílago milimétrico ( $1,148 \text{ mm} \pm 0,715$ ) y no a través de un tendón como ocurre con la cabeza larga del Bíceps femoral y el Semimembranoso. Este hecho puede influir directamente en la mecánica de su vientre, que recibe la demanda tensil solamente en su extremo inferior a través de su tendón distal. Además, el vientre muscular del Semitendinoso presenta una intersección tendinosa que marca un hito en relación a la disposición de las fibras musculares: superiormente a la intersección las fibras se disponen longitudinalmente hasta la inserción en la tuberosidad isquiática, siendo paralelas al eje longitudinal del músculo; de modo opuesto las fibras localizadas por debajo de la intersección se hacen oblicuas y llegan, de esta forma, al tendón distal generando una extensa unión miotendinosa ( $\bar{x}:123 \text{ mm} \pm 30,8$ ) que corresponde a un punto de vulnerabilidad según lo propuesto por *Rubin (2012)* y también por *Jakobsen et al. (2017)*. Destacamos aquí que, si bien la unión miotendinosa más extensa corresponde a la unión miotendinosa proximal del Semimembranoso, sus fibras musculares se disponen longitudinales y paralelas al tendón mientras que en el Semitendinoso las fibras son oblicuas; es decir, el primero tiene una relación de trabajo con fibras paralelas y el segundo con fibras anguladas. Estas observaciones también concuerdan con el estudio hecho por *De Smet & Best (2000)* quienes reportaron que, de 3 lesiones en el Semitendinoso, 2 se localizaron en la unión miotendinosa distal y 1 en la parte proximal del vientre muscular.

El vientre muscular del Semimembranoso se encuentra centralmente entre su porción membranosa, situada lateral y superiormente, y el tendón distal, localizado inferior y medialmente. Es decir que es un vientre muscular entre dos estructuras tendinosas morfológicamente distintas: una plana y laminar proximal y otra cilíndrica distal. Su vientre se encuentra enrollado en hélice alrededor del Semitendinoso, lo cual le otorga capacidad elástica para contrarrestar los efectos de la fuerza sin contratiempos, evitando lesiones, siendo justamente éste el músculo isquiotibial que menos se lesionó (*Woods et al., 2004*).

En relación a los resultados del estudio comparativo se puede afirmar que la cabeza larga del Bíceps femoral es el que tiene la mayor longitud total ( $\bar{x}: 415 \text{ mm} \pm 36$ ) y además el que tiene la mayor longitud de vientre muscular ( $\bar{x}: 334 \text{ mm} \pm 28$ ), teniendo proporcionalmente el vientre muscular más largo (80.5%). Respecto al Semimembranoso, éste tiene el área mayor de vientre muscular ( $\bar{x}: 50,2 \text{ mm}^2 \pm 18,8$ ), sin embargo, de los músculos biarticulares, es el que tiene menor longitud total ( $\bar{x}: 403 \text{ mm} \pm 35$ ) y el que tiene menor longitud de vientre muscular ( $\bar{x}: 302 \text{ mm} \pm 34$ ). Por último, de los músculos biarticulares el Semitendinoso tiene el área de vientre muscular menor ( $\bar{x}: 32,8 \text{ mm}^2 \pm 12,2$ ). Estos resultados indican que en la cabeza larga del Bíceps femoral predomina la longitud y en el Semimembranoso predomina el área del vientre muscular, sin olvidar que también es el más corto de los músculos biarticulares.

De acuerdo a nuestros resultados, y a los de *Woods et al. (2004)* que señalan que la cabeza larga del Bíceps femoral es el músculo que más se lesionó y el Semimembranoso el que menos, es posible inferir que el músculo con el vientre más largo y con fibras musculares de arquitectura paralela es el más lesionado y el músculo con vientre muscular más corto, grueso y con fibras musculares de arquitectura peniforme, el menos lesionado.

## 8.2 Respeto a los tendones

Esta parte de la discusión se centra principalmente en los tendones distales, ya que los tendones proximales se discuten más adelante en el apartado de “Tendón Conjunto Isquiotibial”.

Entre los autores de textos anatómicos clásicos y contemporáneos existe consenso en la forma de los tendones distales. Sin embargo, no todos describen, o clasifican, la forma de cada uno de ellos. Por este motivo y de acuerdo a lo observado en nuestro estudio, el Bíceps

femoral posee un tendón distal cilíndrico, el Semitendinoso uno largo y cilíndrico y el Semimembranoso un tendón proximal aponeurótico y otro distal cilíndrico, lo cual coincide con la literatura consultada (*Paturet, 1951; Testut & Latarjet, 1967; Goss, 1973; Orts Llorca, 1985; Spalteholz, 1990; Rouvière & Delmas, 2005; Standing, 2016; Moore et al., 2018*). Estos resultados evidencian que la forma cilíndrica es común para todos, lo que para *Rouvière & Delmas (2005)* es una característica propia de los tendones de músculos fuertes, lo cual compartimos habiendo conocido el rol de esta musculatura en la locomoción. Bajo esta premisa hemos observado que estos tendones tienen diferencias que pueden influir en su funcionamiento, por lo que debemos discutirlas.

Como características morfológicas particulares de cada tendón se puede advertir que el tendón distal del Bíceps femoral se forma por un tendón aplanado procedente de la cabeza larga, y un tendón que inicialmente es delgado, pero aumenta su ancho mientras desciende, originado en la cabeza corta. Una vez que se unen los tendones distales de las dos cabezas se forma un tendón cilíndrico que transmite la fuerza de ambos vientres musculares, situación que tiene implicación funcional.

Durante los movimientos amplios de extensión de cadera con rodilla flexionada, la cabeza larga y corta alcanzan su máximo acortamiento. Por el contrario, durante los movimientos amplios de flexión de cadera con rodilla extendida ambas cabezas se alargan alcanzando su máxima tensión, exigiendo a sus respectivos tendones. Esta situación, de pasar de máximo acortamiento a máximo alargamiento, se da por ejemplo en el gesto técnico de chutar un balón de fútbol. También ocurre el caso en que se realiza flexión de rodilla con extensión de cadera leve, donde la cabeza larga se ve menos exigida mientras la cabeza corta realiza un trabajo normal, por ejemplo, durante el trote suave. Es indudable que ambas actividades corresponden a diferentes formas de trabajo; sin embargo, en términos de demanda funcional, la cabeza corta del Bíceps femoral deberá actuar en cualquiera de las dos, y específicamente su tendón distal. Este tendón, independientemente de la posición de la cadera, se verá solicitado siempre que haya un movimiento de rodilla, siendo su requerimiento y desgaste distinto respecto a los tendones distales del Semitendinoso y Semimembranoso, los cuales para ser exigidos dependerán de la posición de la cadera combinada con la de la rodilla. Por lo tanto, estos últimos dependerán de 2 articulaciones, mientras que el tendón distal del Bíceps femoral

depende sólo de una, que lo exigirá cada vez que se mueva, es decir, tendrá una demanda mayor.

Debido a esta situación de trabajo constante que tiene el Bíceps femoral, *Moore et al. (2018)* le han dado el calificativo de “*mula de carga*”, lo cual se debe tener presente en pacientes que hayan sido operados por avulsión del tendón distal del Bíceps femoral. En este sentido, al ser solicitado siempre que haya movimiento de rodilla, tendrá un mayor riesgo de volver a lesionarse, sobre todo durante el movimiento de extensión que es cuando más se producen estas lesiones (*Branch et al., 2018*).

Una característica morfológica particular del Semimembranoso corresponde a su porción membranosa, que además de ser laminar y ancha es la única de su tipo en los isquiotibiales. Esta característica le otorga al Semimembranoso una mayor superficie de tensión, capaz de generar una gran energía elástica que se puede recuperar al liberar la tirantez (*Standring, 2016*), lo cual está de acuerdo con los resultados de *Schache et al. (2012)* que afirman que, durante el *sprint*, el Semimembranoso actúa absorbiendo y generando la mayor potencia. El tendón distal del Semitendinoso tiene como característica morfológica principal su longitud, correspondiendo al tendón más largo ( $\bar{x}: 238 \text{ mm} \pm 36$ ), superando significativamente al tendón distal del Bíceps femoral ( $\bar{x}: 96 \text{ mm} \pm 14,3$ ), que es el más corto. Estos dos músculos fueron comparados por *Kellis (2016)* y sus resultados indican que la tensión general (activa y pasiva) de la cabeza larga del Bíceps femoral es mayor que la del Semitendinoso durante trabajos musculares de mayor excursión articular, y es más baja en excursiones más cortas, sugiriendo que el alargamiento pasivo del tendón/aponeurosis tiene un efecto importante sobre el comportamiento de estos vientres y puede contribuir a una diferente carga de fibras musculares y tejido tendinoso entre la cabeza larga del Bíceps femoral y el Semitendinoso.

Respecto a la longitud de las uniones miotendinosas, de los músculos biarticulares, el músculo que tiene la unión miotendinosa más larga es el Semimembranoso ( $\bar{x}: 169,5 \text{ mm} \pm 29,7$ ) y el que tiene la unión miotendinosa más corta es la cabeza larga del Bíceps femoral ( $\bar{x}: 82,3 \text{ mm} \pm 23,8$ ) ( $p<0,0001$ ). La cabeza corta del Bíceps femoral tiene la unión miotendinosa más corta de todas ( $\bar{x}: 62 \text{ mm} \pm 28,4$ ) y es monoarticular.

En relación a estas medidas, *Kellis (2017)* demostró que la extensión pasiva de la rodilla conduce a un aumento secuencial de la longitud de la unión miotendinosa y del fascículo, a la

vez que disminuye el ángulo de penación en la cabeza larga del Bíceps femoral. Con cada grado de aumento en la flexión de cadera, la longitud de la unión miotendinosa aumenta en aproximadamente un 7%. Estas respuestas adaptativas son apoyadas por *Alonso-Fernandez et al.* (2018), quienes probaron que el entrenamiento de fuerza excéntrico modifica la arquitectura del Bíceps femoral, cuya unión miotendinosa distal, según *Ono et al.* (2015), es la más susceptible de lesionarse durante la fase de contacto inicial del *sprint*, fase que combina simultáneamente flexión de cadera con la fuerza de reacción del suelo.

Los resultados de *Crema et al.* (2016) demostraron que la localización de las lesiones en la unión miotendinosa en la cabeza larga del Bíceps femoral y en el Semimembranoso predominan en su parte proximal. Sin embargo, las lesiones de la unión miotendinosa distal afectan con mayor frecuencia al Bíceps femoral. Los resultados de *Entwistle et al.* (2017) muestran que la lesión aislada de la unión miotendinosa distal de la cabeza larga representa el 51%, siendo la más común, mientras que la que involucra tanto a la cabeza larga como corta representa el 42%, y la que involucra solamente a la cabeza corta representa el 7% de los casos.

Estos antecedentes junto a nuestros resultados permiten inferir que la unión miotendinosa distal más corta de los músculos biarticulares es la más susceptible a lesionarse en ciertas fases del *sprint*. Sin embargo, también la evidencia científica muestra que esta estructura es morfológicamente modificable, lo que facilitaría la prevención de lesiones.

### **8.3. Proporciones de los músculos Isquiotibiales**

El estudio de longitud de los músculos isquiotibiales, realizado por *van der Made et al.* (2015), tiene resultados similares a los obtenidos en nuestro trabajo; y concluyeron que era difícil establecer un patrón de lesiones sólo en base a la longitud. Esta observación la consideramos acertada, al igual que consideramos que complementar el estudio de longitudes con las proporciones y organización de los elementos anatómicos que conforman estos músculos pueden desvelar mayor información para comprender la causa de las lesiones.

En nuestro estudio hemos comprobado que la longitud era similar para los tres músculos biarticulares; sin embargo, hemos observado diferencias en las proporciones de éstos, siendo la cabeza corta del Bíceps femoral la que presentaba el vientre muscular proporcionalmente

más largo respecto a la longitud total del músculo, ocupando el 91,93% de su longitud total. De los músculos biarticulares, la cabeza larga del Bíceps femoral es la que presentó el vientre muscular proporcionalmente más largo, con el 80,50% de la longitud total, mientras que el músculo Semitendinoso fue el que tuvo el vientre muscular proporcionalmente más corto, correspondiendo al 73,60% de la longitud total (**tabla 37 y gráfica 3**).

Respecto a los tendones distales, el tendón del músculo Semitendinoso fue el tendón distal proporcionalmente más largo respecto al vientre muscular, representando el 57,63% de la longitud total del músculo, y la cabeza larga del Bíceps femoral tuvo el tendón distal proporcionalmente más corto, correspondiendo al 23,13% de la longitud total (**tabla 46 y gráfica 12**).

De estos resultados se desprende que el Bíceps femoral presentó mayor cantidad de vientre muscular que de tendón en sus dos cabezas; en cambio, en los músculos Semitendinoso y Semimembranoso se observa un patrón más equilibrado, teniendo una composición más proporcionada entre tendón y músculo. Desde una perspectiva funcional se puede inferir que los músculos que tienen una mayor cantidad de masa muscular desempeñan un mayor trabajo contráctil, con mayor demanda energética y coordinación neuromuscular, mientras que los que tienen proporciones más equilibradas combinan el trabajo contráctil con el trabajo tensil. Así, estos músculos cuando se ven sometidos a una fuerza externa, pueden adaptarse progresivamente a la carga aplicada, manteniendo una relación lineal entre carga y estrés; y cuando esta fuerza se elimina pueden recuperar su longitud y forma originales, liberando la energía elástica acumulada (*Oatis, 2009*). Es decir, que las proporciones de los componentes anatómicos determinarán la forma en que trabaja un músculo.

Las proporciones de los músculos isquiotibiales vienen determinadas por la anatomía, que, sin embargo, pueden ser modificadas por el entrenamiento. *Presland et al. (2018)* estudiaron el efecto del entrenamiento excéntrico sobre la cabeza larga del Bíceps femoral, observando que tanto el entrenamiento excéntrico, tanto a bajo como a alto volumen, estimulan los aumentos en la longitud de sus fascículos, y la fuerza excéntrica de los flexores de la rodilla. Sin embargo, estas adaptaciones arquitectónicas vuelven a los niveles iniciales en las dos semanas posteriores al entrenamiento, pero manteniendo la fuerza excéntrica durante, al menos, cuatro semanas.

Por otra parte, *Ishøi et al.* (2018) afirmaron que el entrenamiento excéntrico produce mejoras pequeñas y medianas en el rendimiento del *sprint*, sin embargo, evidenciaron grandes aumentos en la fuerza y capacidad de los isquiotibiales durante el trabajo excéntrico. Es probable que los beneficios de este tipo de entrenamiento estén mediados, al menos en parte, por el aumento de longitud del fascículo de la cabeza larga del Biceps femoral y por la mejora de fuerza de los flexores de rodilla. Sin embargo, no todos los ejercicios tienen el mismo efecto. *Bourne et al.* (2017) demostraron que, durante las contracciones excéntricas, el ejercicio de extensión de cadera recluta de manera más selectiva a los isquiotibiales laterales, mientras que los ejercicios de flexión de rodilla reclutan preferentemente los isquiotibiales mediales. Por lo tanto, la selección de ejercicios que tengan beneficios comprobados en estas variables deben ser la base de protocolos efectivos para la prevención de lesiones. De acuerdo a esto un entrenamiento de fuerza enfocado en prevenir lesiones por distensión debería considerar el impacto de la selección de ejercicios sobre la activación muscular y el efecto de las intervenciones de entrenamiento sobre la arquitectura, la morfología y la función de los músculos isquiotibiales (*Bourne et al.*, 2018).

Por último, con estos resultados es posible afirmar que la distribución de los componentes musculares y las proporciones anatómicas son diferentes entre los isquiotibiales. Sin embargo, son variables modificables, por lo que se debe tener en cuenta cuáles ejercicios se deben realizar y cómo hacerlos para modificar correctamente lo que se requiere.

#### **8.4. Inervación y vascularización**

El patrón de distribución vasculonervioso de los músculos isquiotibiales es conocido y ha sido descrito por los textos anatómicos clásicos y contemporáneos (*Paturet*, 1951; *Testut & Latarjet*, 1967; *Rouvière & Delmas*, 2005; *Standring*, 2016) siendo bastante constante su inervación, presentando escasas variaciones anatómicas y describiéndose mayor variabilidad en la distribución vascular.

De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio, los nervios siempre estuvieron acompañados por un pedículo vascular, mientras que los pedículos vasculares, al ser más numerosos, no siempre estuvieron acompañados por un nervio. En cualquier caso, estos elementos ingresaron en sus respectivos vientres musculares por sus caras profundas.

En la bibliografía consultada se ha descrito una relación clínica estrecha entre los músculos isquiotibiales y el nervio Ciático. Así, en pacientes que han sufrido una lesión proximal de la musculatura isquiotibial se ha visto compromiso de este nervio, o de alguno de sus ramos, afectando directamente la conducción nerviosa. Orava (1997) describió el “síndrome isquiotibial” en el cual los pacientes relatan un “dolor ciático glúteo”, generado por tensión de bandas fibrosas postraumáticas o congénitas que irritan el nervio Ciático cerca del sitio de inserción de los músculos isquiotibiales en la tuberosidad isquiática. Sirva de ejemplo que la neuropatía crónica del nervio Ciático se asocia a lesiones proximales de los isquiotibiales, concretamente del Tendón Conjunto Isquiotibial, considerándose esta relación como parte del diagnóstico diferencial de esta neuropatía (Bucknor *et al.*, 2014). También se han descrito casos en deportistas de élite que han desarrollado neuropatía del nervio Ciático debido a lesiones de los músculos isquiotibiales después de realizar ejercicios de estiramiento (Shim *et al.*, 2013), encontrándose edema que comprometía a ambas estructuras. Esto se complementa con estudios radiológicos que han encontrado relación directa entre fibrosis muscular y engrosamiento del nervio Ciático (Pradat *et al.*, 2009). Estos hechos clínicos hacen considerar que la relación anatómica entre estas estructuras es más íntima de lo que se ha descrito hasta el momento y por lo tanto merece un estudio más detallado.

Los textos anatómicos consultados describen que la cabeza larga del Bíceps femoral recibe 1 nervio, al igual que el Semimembranoso, y que ambos nervios proceden del nervio Tibial. La cabeza corta también recibe 1 nervio, pero este procede del nervio Fibular común. El Semitendinoso marca la diferencia al recibir 2 nervios, uno superior y otro inferior (Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016).

Estudios más específicos sobre la inervación describen que la cabeza larga del Bíceps femoral recibe 1 nervio en el 97% de los casos (Elbarrany *et al.*, 2005), el Semitendinoso recibe 2 nervios en el 77% de los casos y 1 nervio en el 23% de los casos (Seidel *et al.*, 1996), la cabeza corta del Bíceps femoral recibe 1 nervio en todos los casos. El nervio Fibular común presenta un trayecto variable: en el 77% de los casos se localiza inmerso en un tejido adiposo localizado posterior y lateral al tendón del Bíceps femoral y en el 23% atraviesa un estrecho túnel graso entre el Bíceps femoral y la cabeza lateral del músculo gastrocnemio (Vieira *et al.*, 2007). Esta disposición es destacable en la disección, especialmente por el tejido adiposo que

lo rodea. La inervación del músculo Semimembranoso es por 1 nervio en el 64% de los casos y por 2 en el 36% restante, siempre procedentes del nervio Tibial (Olave, 2005).

Los resultados de nuestro estudio determinaron que la cabeza larga del Bíceps femoral recibió 1 nervio en el 71% de los casos y 2 en el 29% ( $1,29 \pm 0,46$ ) (**figura 12**); la cabeza corta del Bíceps femoral recibió 1 nervio en el 100% de los casos (**figura 13**); el Semitendinoso recibió 1 nervio superior en el 94% de los casos y 2 en el 6% ( $1,06 \pm 0,24$ ), y 1 nervio inferior en el 97% de los casos y 2 en el 3% restante ( $1,03 \pm 0,17$ ) (**figura 16**). Finalmente, el músculo Semimembranoso presentó 1 nervio en el 97% de los casos y 2 en el 3% restante ( $1,03 \pm 0,17$ ) (**figura 25**). Teniendo en cuenta estos valores, podemos afirmar que en la mayoría de los casos los vientres musculares reciben 1 nervio, con excepción del Semitendinoso que recibe 2. Respecto al lugar de ingreso del nervio en el viente muscular, se puede decir que varía según el músculo. En nuestros resultados el nervio de la cabeza larga del Bíceps femoral ingresa generalmente por el tercio superior (61,7%); en la cabeza corta lo hace por su tercio medio (64,7%); el nervio superior del Semitendinoso lo hace siempre por el tercio superior, a nivel del Tendón Conjunto Isquiotibial (100%), mientras que el nervio inferior generalmente ingresa por el tercio medio (94,2%), siendo estos resultados concordantes con los obtenidos por Olave & Braga (2003). Por último, el nervio del Semimembranoso generalmente ingresa al viente muscular por el tercio medio (50%) lo que también es señalado por Olave (2005) aunque también hay un número importante que lo hace por el tercio inferior (44,2%) (**tabla 51**). Destacamos también que estos resultados concuerdan plenamente con los resultados de An et al. (2010) y ocurre algo similar con los resultados de Rha et al. (2016). Sin embargo, con este último autor tenemos una diferencia respecto al nervio de la cabeza corta del Bíceps femoral, ya que ellos lo describen ingresando generalmente en el tercio inferior mientras que en nuestros resultados esto ocurre sólo en el 32,4% de los casos.

Respecto a esta inervación, Beltrán et al. (2012) sugieren posibles asincronismos. Sin embargo, nosotros consideramos que, en condiciones óptimas de salud, los nervios de estos músculos proceden de los mismos segmentos medulares, L5 a S2, con raíz principal S1 (Standring, 2016; Moore et al., 2018), por lo tanto, comparten las mismas raíces y lo que cambia es el trayecto del nervio motor que transporta el impulso nervioso y el lugar de penetración en el viente muscular. De acuerdo a esto, los problemas de asincronismo podrían

generarse si hubiese alguna afectación de los nervios motores que altere la velocidad de conducción nerviosa, por ejemplo, la causada por una lesión isquiotibial (*Kouzaki et al., 2017*), por diferencias en la velocidad de conducción (*Singh et al., 2018*) o por las variaciones anatómicas asociadas al número de nervios o lugar de penetración del vientre muscular, que como se observó en este estudio son frecuentes.

Esta distribución nerviosa realza la necesidad de saber identificar los músculos isquiotibiales mediante la palpación y contribuye a la localización de sus puntos motores.

Finalmente respecto a la inervación podemos decir que el conocimiento del número de nervios de un vientre muscular y el lugar por el que ingresan a éste facilita la aplicación de terapias; por ejemplo, para realizar punción seca de los puntos gatillo (*Dommerholt & Fernández, 2013*), o en la estimulación eléctrica muscular, ya que para conseguir la mejor respuesta de contracción y reclutamiento de fibras musculares se deben conocer estos puntos motores para la colocación de los electrodos (*Rodríguez, 2013*), o también para aplicar estimulaciones eléctricas adecuadas en determinadas patologías (*Liu et al., 1997*).

En relación a los pedículos vasculares (compuestos por arterias y venas) los textos anatómicos clásicos y contemporáneos (*Paturet, 1951; Testut & Latarjet, 1967; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016*) concuerdan que un músculo recibe suplemento vascular de diferentes fuentes, existiendo un número variable de ramificaciones que dependerá de la anatomía de cada persona.

La literatura especializada señala que la cabeza larga del Bíceps femoral recibe 4 pedículos vasculares, de los cuales uno siempre procede de la arteria glútea inferior que formará anastomosis con vasos intramusculares (*Elbarrany et al., 2005*). De hecho, su anatomía vascular relativamente constante permite considerarlo como donante para colgajos (*Cavadas et al., 2005*). *Tsetsonis et al. (2003)* realizaron disecciones anatómicas intramusculares en la cabeza corta del Bíceps femoral, evidenciando redes vasculares amplias y bien comunicadas procedentes de los vasos Femorales profundos, y sugieren que estos vasos anastomóticos por sí solos podrían dar el soporte vascular necesario para este músculo. En el músculo Semitendinoso el aporte vascular está dado por la arteria circunfleja femoral medial y la segunda arteria perforante (*Rab et al., 1997*), que dan lugar a anastomosis que irrigan la porción proximal de los isquiotibiales; en tanto que la irrigación del Semimembranoso procede

usualmente de todas las arterias perforantes, predominando la primera, mientras que otras veces predominan las ramas que se originan de la cuarta (*Standring*, 2016). En nuestros resultados observamos que el aporte sanguíneo para los isquiotibiales procedía de 4 fuentes que aportaban diferentes pedículos vasculares según el músculo. La vascularización de la cabeza larga del Biceps femoral procedió de 3 fuentes con diferentes porcentajes de aporte sanguíneo: de los vasos Femorales profundos (75,29%), de los vasos Glúteos inferiores (18,19%) y de los vasos Poplíticos (6,52%), con una media de 4,03 pedículos vasculares. La cabeza corta del Biceps femoral recibió aporte de los vasos Femorales profundos (64,95%) y de los vasos Poplíticos (35,05%), con una media de 2,85 pedículos vasculares. El Semitendinoso recibió aportes de los vasos Femorales profundos (65,80%), de los vasos Glúteos inferiores (29,81%) y de los vasos Poplíticos (4,39%), con una media de 3,59 pedículos vasculares. Y el músculo Semimembranoso que recibió un promedio de 4,03 pedículos vasculares, a partir de los vasos Femorales profundos (70,20%), de los vasos Poplíticos (28,24%) y de los vasos Glúteos inferiores (1,56%). La alta vascularización que reciben la cabeza larga del Biceps femoral y el Semitendinoso superiormente hacen que sus lesiones se acompañen de abundante edema a ese nivel, especialmente cuando afectan a las uniones miotendinosas proximales, según lo proponen *Crema et al.* (2016), lo cual podemos complementar agregando que existe presencia constante de los vasos que acompañan a los nervios cuando ingresan a sus respectivos vientres musculares.

De acuerdo a lo observado en este estudio, y al igual que otros autores consultados, el aporte vascular a un músculo procede de varias fuentes, las que pueden variar en origen o número. De estas posibles fuentes vasculares, los vasos circunflejos femorales mediales (procedentes de los Femorales profundos) son relevantes en la irrigación de la porción superior de los isquiotibiales, anastomosándose con los vasos Glúteos inferiores y con la primera arteria perforante de la Femoral profunda (*Rouvière & Delmas*, 2005; *Standring*, 2016). Por ello estos vasos son de interés para los especialistas que tratan este grupo muscular, debido a que, la vascularización de un tejido es el factor más importante para su reparación (*Urita et al.*, 2017) y existe una alta incidencia de lesiones de isquiotibiales (*van Dyk et al.*, 2018) que requiere la máxima vascularización disponible para recuperarse cuando se han lesionado.

Por estos motivos consideramos necesario que los profesionales de la salud dedicados al deporte tengan presente la variabilidad vascular de los isquiotibiales, tanto para el diagnóstico como para el tratamiento. Así, por ejemplo, *Papastergiou et al.* (2007) describieron un caso de dolor proximal por distensión isquiotibial que no mejoraba, para luego encontrar mediante resonancia magnética que el dolor era causado por una trombosis de la vena circunfleja femoral medial, debiendo modificar todo el plan de tratamiento. En el caso de los cirujanos esto también se debe tener en cuenta, ya que, al realizar intervenciones quirúrgicas en esta musculatura, se debe tratar de preservar la mayor cantidad de pedículos vasculares; así, la recuperación de un Tendón Conjunto Isquiotibial reinsertado en la tuberosidad isquiática será distinta si se preservan más o menos vasos durante la intervención quirúrgica. Además, en el caso de los fisioterapeutas permitirá aplicar de mejor manera las terapias de regeneración tisular.

Finalmente podemos afirmar que el patrón vasculonervioso de los músculos isquiotibiales es clínicamente relevante y debe ser conocido por los especialistas.

## **9. COMPARACIÓN POR SEXO**

Considerando que este trabajo estudia el sistema locomotor, es apropiado analizar aspectos relacionados con el sexo, fundamentalmente porque hombres y mujeres practicando un mismo deporte (fútbol) sufren diferentes tipos de lesiones (*Cross et al.*, 2013). Es sabido que el sexo del individuo determina diferencias en el grado de desarrollo muscular, esencialmente por la cantidad de hormona testosterona que induce a la hipertrofia de la fibra muscular (*Sinha-Hikim et al.*, 2003) y que se encuentra en mayor concentración en el sexo masculino, siendo un factor condicionante que diferencia a hombres y mujeres. En la mayoría de los resultados conseguidos en la comparación por sexo se obtuvieron datos esperables y atribuibles a las diferentes características sexuales; sin embargo, hay resultados donde se observaron diferencias que requieren de un mayor análisis.

En relación a las longitudes, la longitud del muslo es mayor en el sexo masculino con diferencias estadísticamente significativas ( $p<0,0079$ ). Esto determina que casi todas las variables dependientes de la longitud de muslo sean mayores en este sexo. Así todos los músculos fueron más largos en el sexo masculino, con diferencias estadísticamente

significativas, ocurriendo algo similar con la longitud de los vientres musculares, aunque en este caso solamente se observaron diferencias significativas en la cabeza larga del Bíceps femoral ( $p<0,0001$ ). Además, en esta variable, el Semitendinoso fue el único músculo que en el sexo femenino superó al masculino, aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa. En el caso de los tendones, todos fueron de mayor longitud en el sexo masculino respecto al femenino, con significación estadística.

Por su parte, generalmente en el sexo femenino los vientres musculares fueron proporcionalmente más largos que en el sexo masculino (**tabla 56 y gráfica 18**), así como todos los tendones distales fueron proporcionalmente más largos en el sexo masculino que en el femenino (**tabla 58 y gráfica 20**). Esto es llamativo si tenemos en cuenta que los hombres tienen mayor riesgo de lesiones de isquiotibiales (*Sattherthwaite et al., 1999; Edouard et al., 2016*), mientras las mujeres tienen mayor riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior (*Myklebust et al., 2003; Arendt & Dick, 2009*). Considerando que tanto los isquiotibiales como el ligamento cruzado anterior actúan limitando la hiperextensión de la rodilla, ¿podemos inferir que al tener las mujeres un vientre muscular proporcionalmente más largo, su musculatura será más holgada, y el ligamento cruzado anterior será más exigido para limitar la hiperextensión?. Y en el caso de los hombres, al tener tendones distales proporcionalmente más largos ¿ocurrirá la situación opuesta?, es decir, al tener una musculatura proporcionalmente más corta, ¿ésta tendrá un rol más activo para limitar la hiperextensión?. Estudios funcionales podrían responder estas preguntas, de todos modos, consideramos que las diferencias observadas en las proporciones musculares de cada sexo podrían relacionarse con los factores activos y pasivos que limitan la hiperextensión de rodilla y las lesiones asociadas a este movimiento.

En relación al desarrollo del vientre muscular, los resultados mostraron que el diámetro transversal fue mayor en el sexo femenino, con excepción del músculo Semimembranoso; por el contrario, el diámetro anteroposterior fue mayor en el sexo masculino. Sin embargo, en esta medición la excepción correspondió a la cabeza larga del Bíceps femoral. La medición del área demostró valores equitativos para ambos sexos, siendo necesario destacar que el mayor diámetro (sección) de vientre muscular lo presentó el músculo Semimembranoso femenino, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Aunque la significación estadística no dio validez a las diferencias relacionadas con el diámetro y con el área del vientre muscular, es llamativo que, en los resultados asociados al desarrollo muscular, las mujeres presentaran valores iguales o mayores al de los hombres, cuando lo esperable hubiese sido lo contrario (*Behan et al., 2018*). Una explicación a este hallazgo podría ser que, en las mediciones realizadas, el componente graso fuese mayor en el sexo femenino y, además, si la persona era poco activa, exista un componente de infiltración grasa. Teniendo en consideración que la pérdida de masa muscular es una consecuencia natural del envejecimiento (*Carvalho do Nascimento et al., 2018*), estos resultados podrían deberse a la edad de los individuos estudiados. Para la muestra total de este estudio, la edad media fue de 78,6 años, siendo de 75,5 años en el sexo femenino y de 82,06 en el masculino, con un diferencial de aproximadamente 7 años que podría tener influencia. Los resultados de *Storey et al. (2016)* reportaron que el volumen medio del vientre muscular es 3 veces mayor en hombres jóvenes que en hombres mayores; por lo tanto, la diferencia de desarrollo muscular por sexo observada en este estudio podría atribuirse a la diferencia de edad.

Respecto al Tendón Conjunto Isquiotibial, *Williams & Welch (2015)* afirmaron que la flexibilidad de éste da como resultado diferentes perfiles mecánicos entre hombres y mujeres. En los resultados de nuestro estudio se observó que los 3 casos (8,6%) donde la conformación del Tendón Conjunto Isquiotibial fue completamente tendinosa, pertenecieron a varones, lo cual, sin ser una cifra determinante, influye en la flexibilidad de las personas que tengan esta morfología.

Respecto a los diámetros de este tendón, la mayor magnitud se dio en el sexo masculino ( $p<0,0421$ ), lo cual está acorde con las longitudes estudiadas. En los cortes transversales se observó que el área total del Tendón Conjunto Isquiotibial, en el tercio medio y superior, fue mayor en el sexo masculino ( $p<0,0362$ ), mientras que en el tercio inferior fue mayor en el femenino, sin ser esta diferencia estadísticamente significativa. Al comparar los elementos que forman al Tendón Conjunto Isquiotibial, se observó que en el sexo masculino el Bíceps femoral ocupaba un área mayor en el tercio medio y superior ( $p<0,0363$ ), mientras que en el tercio inferior ésta área fue mayor en el sexo femenino. Además, el área ocupada por el Semitendinoso fue mayor en los 3 niveles del Tendón Conjunto Isquiotibial en el sexo masculino.

Respecto al tendón proximal del Semimembranoso, este presentó un área mayor en el sexo masculino, siendo estas diferencias estadísticamente significativas tanto en el tercio superior ( $p<0,0186$ ) como en el inferior ( $p<0,0002$ ), mientras que en el tercio medio el área fue mayor en el sexo femenino, pero sin tener un valor significativo. Estos resultados no señalan diferencias estadísticamente significativas de un sexo u otro, pero la diferencia de perfil mecánico, señalado por *Williams & Welch (2015)*, podría verse influenciada por el mayor desarrollo del tendón proximal del Semimembranoso, especialmente teniendo en consideración que en los 3 casos (8,6%) donde la conformación del Tendón Conjunto Isquiotibial fue completamente tendinosa se observó en el sexo masculino. Esto permite deducir que, al tener mayor componente conjuntivo, opondrá mayor resistencia en la flexión de cadera, lo que concuerda con lo observado por *Larruskain et al. (2017)*, en cuanto a que los hombres están más propensos a lesiones del Tendón Conjunto Isquiotibial que las mujeres en una misma actividad deportiva.

En relación a los pedículos neurovasculares, el número de nervios es mayor en el sexo masculino y el número de pedículos vasculares en el sexo femenino, aunque estas diferencias no son estadísticamente significativas, sin embargo podrían influir en problemas de asincronía muscular o cicatrización.

## **10. TENDÓN CONJUNTO ISQUIOTIBIAL**

En la literatura consultada comprobamos que hay poca información sobre la estructura morfológica del Tendón Conjunto Isquiotibial, siendo más frecuente encontrar descripciones de su inserción sobre la superficie del isquion. Cabe destacar que esta estructura anatómica de relevancia clínica, como es el Tendón Conjunto Isquiotibial, no tiene una denominación oficial en la terminología anatómica internacional (*Comité Federal sobre Terminología Anatómica, 2001*) y por ello tenemos que utilizar la nomenclatura de trabajos clínicos.

Nos parece relevante destacar el hallazgo observado en nuestro estudio sobre la constitución anatómica, presentando habitualmente una configuración músculotendinosa y no únicamente tendinosa; este hecho probablemente tiene implicaciones tanto funcionales como clínicas ya que las características mecánicas del tendón y del músculo son diferentes: el tendón es una estructura diseñada para resistir tensión en uno o múltiples ángulos de tracción, mientras que

las propiedades contráctiles del músculo le permiten alargar o acortar sus fibras (Neumann, 2010). Esta propiedad del músculo va en detrimento de su eficiencia tensil, lo cual es debido al diferente coeficiente de elongación que presentan estos tejidos. Oatis (2009) realizó una descripción biomecánica sobre la curva de estrés y fuerza de los tendones y ligamentos, afirmando que a la tensión inicial del tendón le sigue una fase elástica en la cual el tendón es capaz de adaptarse progresivamente a la carga aplicada, manteniendo una relación lineal entre carga y estrés. Así, cuando se elimina la fuerza de tracción, el tendón puede recuperar su longitud y forma original. A esta propiedad le podemos añadir que esa recuperación elástica sirve como energía para movilizar el segmento en movimiento, mientras que la respuesta mecánica del músculo estará regulada por el estímulo nervioso (Enoka, 2015) y por lo tanto dependerá de la capacidad de reclutamiento de fibras musculares en respuesta a dicho estímulo. Por este motivo, y desde el punto de vista mecánico, el comportamiento del Tendón Conjunto Isquiotibial será diferente si su constitución es tendinosa o músculotendinosa. Si la conformación es tendinosa, el tendón tendrá un trabajo de tensión más eficiente y por lo tanto palancas más competentes, mientras que, si la conformación es músculotendinosa, una parte del trabajo de tensión será reemplazado por trabajo contráctil, menos eficiente en términos mecánicos. Este hecho adquiere mayor valor, si se considera que el promedio de las áreas en los 3 niveles estudiados del Tendón Conjunto Isquiotibial, donde el Semitendinoso representó el 74,10% y el Bíceps femoral el 25,90%. Además, consideramos de interés señalar que observamos una inversión del tamaño del área del Tendón Conjunto Isquiotibial respecto al tendón proximal del Semimembranoso, ya que en la parte superior hubo mayor área del tendón Semimembranoso y menor área de los tendones que conforman el Tendón Conjunto Isquiotibial, ocurriendo lo opuesto en cortes más distales.

A esto se debe añadir que en los casos en que la conformación del Tendón Conjunto Isquiotibial es tendinosa, sus tendones se insertan en la tuberosidad isquiática, mientras que, si la conformación es músculotendinosa, sus fibras musculares son las que llegan a dicha tuberosidad, insertándose a través de un fibrocartílago. Este resultado también podría estar relacionado con las lesiones de avulsión que se observan con cierta frecuencia en adolescentes (Stevens et al., 1999; Beltran et al., 2012) cuando se combinan movimientos de hiperflexión de cadera con extensión de rodilla (van der Made et al., 2017).

Otro hallazgo de nuestro estudio es la presencia de un tejido conjuntivo dispuesto transversalmente cubriendo al Tendón Conjunto Isquiotibial. Este tejido quedaba muy adherido al tendón y ha sido descrito como un “retináculo” por Pérez-Bellmunt *et al.* (2015), quienes lo consideran como un factor de riesgo en los desgarros por adherencia. A esta descripción añadimos que, si la constitución del Tendón Conjunto Isquiotibial es músculotendinosa, posiblemente el riesgo de desgarro por una adherencia sea mayor, y más aún si consideramos que en el 22,9% de nuestros casos las fibras musculares del Semitendinoso ocupaban la cara superficial del tendón. Además, cuando el Semitendinoso se encuentra superficial a la cabeza larga del Bíceps femoral se debe tener presente la relación de proximidad que existe entre el músculo glúteo mayor y el Tendón Conjunto Isquiotibial. Sin embargo, por la cantidad de tejido conjuntivo celuloadiposo interpuesto entre ellos parece menos probable que en esta situación se generen lesiones por adherencia.

También se debe considerar la posibilidad de que un desgarro del Tendón Conjunto Isquiotibial comprometa al nervio Ciático, con el cual presenta conexión conjuntiva (Bucknor *et al.*, 2014), lo que puede originar síntomas neurológicos en el 28% de los casos (Wilson *et al.*, 2017), causando denervación de los músculos cuyas raíces nerviosas se hallen comprometidas (Aggen & Reuteman, 2010) y alteraciones de la sensibilidad. Igualmente, durante las reparaciones quirúrgicas se deben tener en consideración estas relaciones para no lesionar al nervio o algunos de sus ramos (Miller *et al.*, 2007).

De lo expuesto anteriormente se desprende que el conocimiento de la conformación morfoestructural del Tendón Conjunto Isquiotibial, así como de sus características funcionales y clínicas será de utilidad para el diseño de trabajos de prevención y para la atención de los pacientes lesionados que requieran algún tipo de reeducación funcional (Navandar *et al.*, 2018).

## **11. ESTUDIO DEL TENDÓN INTRAMUSCULAR**

Según describen autores clásicos y modernos de textos anatómicos (Paturet, 1951; Testut & Latarjet, 1967; Goss, 1973; Orts Llorca, 1985; Spalteholz, 1990; Rouvière & Delmas, 2005; Standring, 2016; Moore *et al.*, 2018) el tendón de un músculo, ya sea proximal o distal, se

conforma por la suma de sus cubiertas conjuntivas, endomisio, perimisio y epimisio, para insertarse en el hueso.

En relación a la continuidad entre tendón proximal y distal de todas las muestras estudiadas, ningún músculo presentó continuidad macroscópica entre el tendón proximal y el tendón distal. Para profundizar en este aspecto, realizamos cortes transversales de los músculos con el objetivo de identificar la extensión de los tendones tanto en superficie como en profundidad (**figuras 36 y 37**). Con esta metodología observamos en los tendones proximales que el tendón del Bíceps femoral se extendía inferiormente hasta el tercio medio del vientre muscular (51,4% de los casos), el del Semitendinoso hasta el tercio superior (100%, sin alcanzar nunca el tercio medio) y el del Semimembranoso hasta el tercio medio (74,3% de los casos) (**tabla 47**).

Respecto a los tendones distales, el tendón del Bíceps femoral se extendía desde su inserción, superiormente hasta el tercio inferior del vientre muscular (100% de los casos) en ambos vientres musculares, el del Semitendinoso hasta el tercio medio (65,7% de los casos) y el del Semimembranoso hasta el tercio inferior (94,3% de los casos) (**tabla 48**).

El hecho de no observar continuidad macroscópica entre el tendón proximal y distal nos parece lógico, considerando que el comportamiento muscular contráctil no podría ser correctamente ejecutado si existiese un tendón continuo entre ambos extremos, ya que la capacidad de acortamiento o estiramiento propia de la fibra muscular no sería posible o se vería alterada (*Neumann, 2010*). En relación a esto vale preguntarse, ¿qué pasaría con un tendón intramuscular continuo durante un acortamiento muscular completo?, ¿se acortaría o se plegaría?; aparentemente sería un tanto incómodo para el funcionamiento muscular la presencia de una estructura de este tipo. Del mismo modo, ¿qué pasaría con el tendón intramuscular continuo durante el estiramiento?; evidentemente se tensaría, pero, ¿existiría contracción excéntrica?; lo razonable es que no, o en el caso de existir se vería restringida a la capacidad elástica del tendón.

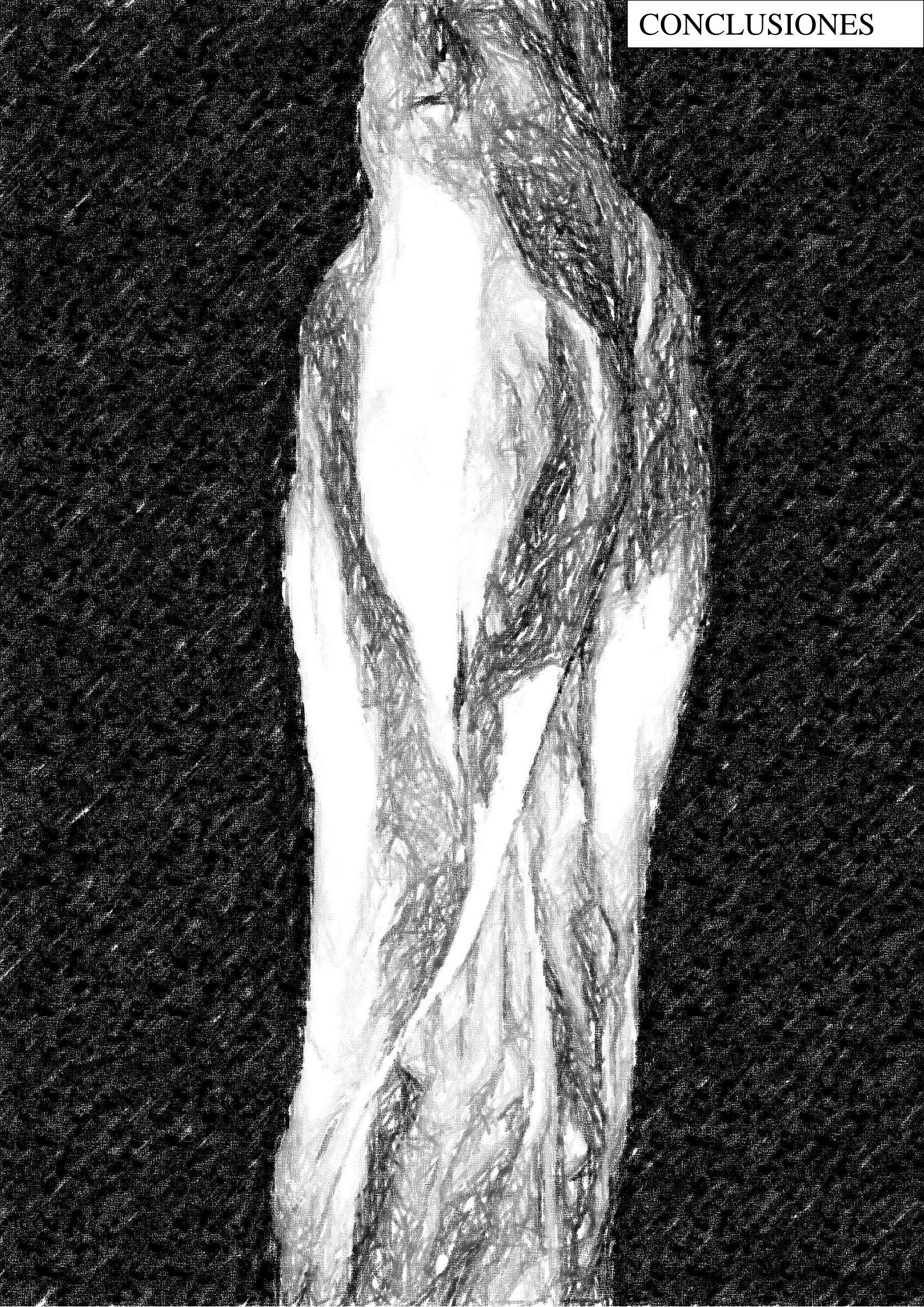
En relación al comportamiento mecánico del tejido conjuntivo intramuscular, *Raiteri (2018)* afirma que tiene una situación más compleja que la del tendón libre, y que experimenta un régimen de carga más exigente durante la contracción. Esto debido al abultamiento de las fibras musculares al contraerse, permaneciendo isovolumétricas mientras se produce la fuerza.

Esto provoca una modificación dinámica sobre la tensión de la aponeurosis, pues al aumentar la presión intramuscular aumentan las fuerzas transversales dentro del músculo, aumentando el ancho y reduciendo la tensión longitudinal del tejido conjuntivo.

También se deben considerar las propiedades viscoelásticas de la unidad musculotendinosa y los efectos que genera en ella el calentamiento previo a la competición. Según el estudio de *Magnusson et al. (2000)* el calentamiento y el funcionamiento continuo de esta unidad elevan la temperatura intramuscular, pero no influyen en la resistencia pasiva al estiramiento. Por otro lado, el estiramiento pasivo repetido tiene un efecto inmediato sobre la resistencia al estiramiento; sin embargo, el efecto no perdura después de 30 minutos de ejecución. Estos datos sugieren que la resistencia al estiramiento pasivo del músculo esquelético no se ve afectada por aumentos fisiológicos de la temperatura intramuscular, por lo cual los calentamientos que realizan los deportistas antes de competir deberían tener un enfoque hacia la tensión más que a la contracción.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto y, en el supuesto de que existiese macroscópicamente un tendón intramuscular continuo, deducimos que el comportamiento isquiotibial sería más parecido al de un tendón que al de un músculo.







## CONCLUSIONES

1. De la cabeza larga del músculo Bíceps femoral destacamos las siguientes características morfológicas observadas en nuestro estudio:
  1. a- Su vientre muscular es el que presentó una mayor longitud, representando el 80,50% de la longitud total del músculo, siendo el 73,60% en el músculo Semitendinoso y el 74,94% en el músculo Semimembranoso.
  1. b- Sus fibras musculares fueron las únicas de arquitectura paralela, mientras que en los otros músculos del grupo isquiotibial, la arquitectura fue semipeniforme.
  1. c- Se dispuso oblicuamente respecto a la línea media del muslo, a diferencia de los músculos Semitendinoso y Semimembranoso, que se situaron relativamente paralelos.
  1. d- En la cabeza larga del Bíceps femoral se originan fibras del Semitendinoso, a 67 mm de la tuberosidad isquiática, lugar que es referido como una zona frecuente de lesiones para este músculo.
2. Del músculo Semimembranoso destacamos las siguientes características morfológicas observadas en nuestro estudio:
  2. a- Su vientre muscular presentó la mayor área de sección, con una media de 50,2  $\text{mm}^2$ , mientras que el área de la cabeza larga del Bíceps femoral fue de 44,7  $\text{mm}^2$  y la del Semitendinoso de 32,8  $\text{mm}^2$ .
  2. b- De los músculos isquiotibiales biarticulares, su vientre muscular fue el de menor longitud.
  2. c- Fue el único músculo de este grupo que presentó un tendón proximal laminar.
3. Del músculo Semitendinoso destacamos las siguientes características morfológicas observadas en nuestro estudio:
  3. a- Su tendón distal fue el de mayor longitud, representando el 57,63% de la longitud total del músculo, siendo el 53,10% en el Semimembranoso y el 23,13% en el Bíceps femoral.
  3. b- Fue el único músculo del grupo de los isquiotibiales que recibió 2 nervios.
  3. c- Su vientre muscular se concentró en la mitad superior del músculo. Su origen en la tuberosidad isquiática fue mediante un fibrocartílago microscópico en el 91,4% de

los casos, el cual presentó un espesor de 1,148 mm. En el 8,6% restante, su origen fue tendinoso.

4. Cuando hemos relacionado los antecedentes epidemiológicos de las lesiones de los músculos isquiotibiales con los resultados obtenidos en nuestro estudio anatómico, concluimos que el músculo de mayor longitud, con mayor proporción de vientre muscular y con fibras de arquitectura muscular paralela se corresponde con el que más lesiones presenta, siendo este la cabeza larga del Bíceps femoral. En contraposición, el músculo de menor longitud, con la mayor área de sección muscular y con fibras de arquitectura muscular semipeniforme es el que menos lesiones presenta, siendo este el Semimembranoso.
5. El Tendón Conjunto Isquiotibial presentó una conformación morfológica variable, siendo músculotendinosa en el 91,4% y tendinosa en el 8,6% de los casos estudiados. Esta conformación puede tener implicación en su comportamiento biomecánico, siendo un factor de riesgo de lesiones.
6. En ninguno de los músculos estudiados se pudo comprobar continuidad macroscópica, tanto en superficie como en el interior de la masa muscular, entre el tendón proximal y el tendón distal. Este hecho corrobora, al menos macroscópicamente, que los tendones proximales y distales tienen diferentes extensiones y localizaciones en cada uno de los vientres musculares estudiados.
7. Los resultados de este estudio señalan que los músculos isquiotibiales presentan diferencias morfológicas entre sí, que determinan distintas características mecánicas. De acuerdo a esto, hipotéticamente, durante un movimiento específico un músculo podría tener un rol más o menos activo según las condiciones en que este se haga, aumentando o disminuyendo la posibilidad de lesionarse. Esto implica que la morfología isquiotibial podría constituir un factor de riesgo para las lesiones; si este fuera el caso, es un factor de riesgo que se puede modificar.

## **PROPUESTA DE FUTURO**

Este trabajo realizado tiene el propósito de aportar un mayor conocimiento de la anatomía de los músculos isquiotibiales, con el objetivo de ser útil a los profesionales que se dedican a preparar y/o a rehabilitar a deportistas que tengan riesgo o lesión de estos músculos. Además, los hallazgos de este trabajo pueden ser útiles para la enseñanza de la anatomía y como base de nuevas líneas de investigación, especialmente en el estudio de la arquitectura muscular, de las uniones miotendinosas, así como de la posible continuidad intramuscular de los tendones proximal y distal, todo ello relacionado con aspectos biomecánicos de los músculos isquiotibiales.







## BIBLIOGRAFÍA

Aggen, P.D., Reuteman, P. (2010). Conservative rehabilitation of sciatic nerve injury following hamstring tear. *N Am J Sports Phys Ther.* 5(3): 143-154.

Ahmad, C.S., Redler, L.H., Ciccotti, M.G., Maffulli N., Longo, U.G., Bradley, J. (2013). Evaluation and management of hamstring injuries. *Am J Sports.* 41(12): 2933-2947.

Alonso-Fernandez, D., Docampo-Blanco, P., Martinez-Fernandez, J. (2018). Changes in muscle architecture of biceps femoris induced by eccentric strength training with nordic hamstring exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 28(1): 88-94.

Álvarez-Yates, T., García-García, O. (2020). Effect of a hamstring flexibility program performed concurrently during an elite canoeist competition season. *J Strength Cond Res.* 34(3):838-846.

An, X.C., Lee J.H., Im S., Lee, M.S., Hwang, K., Kim, H.W., Han, S.H. (2010). Anatomic localization of motor entry points and intramuscular nerve endings in the hamstring muscles. *Surg Radiol Anat.* 32(6): 529-537.

Andersen, T., Larsen, Ø., Tenga, A., Engebretsen, L., Bahr, R. (2003). Football incident analysis: a new video based method to describe injury mechanisms in professional football. *Br J Sports Med* 37: 226–232.

Arendt, E., Dick, R. (2009). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. *Am J Sports Med.*; 23(6): 694-701.

Arnlaug, W., Tol, J., Witvrouw, E., Van Linschoten, R., Almusa, E., Hamilton, B., Bahr, R. (2016). Hamstring reinjuries occur at the same location and early after return to sport. *Am J Sports Med.* 44(8): 2112-2121.

Arribas, C. (13 de agosto, 2017). Usain Bolt se lesiona en su posta y no finaliza el 4x100 del mundial de atletismo de Londres. El País. Recuperado de [http://elpais.com/deportes/2017/08/12/actualidad/1502549997\\_028889.html](http://elpais.com/deportes/2017/08/12/actualidad/1502549997_028889.html)

AS. (30 de noviembre, 2011). Las lesiones de Cristiano Ronaldo. Diario AS. Recuperado de [https://as.com/futbol/2011/11/30/mas\\_futbol/1322638021\\_850215.html](https://as.com/futbol/2011/11/30/mas_futbol/1322638021_850215.html)

Askling, CM., Tengvar, M., Saartok, T., Thorstensson, A. (2007). Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. Am J Sports Med. 35(2): 197–206.

Barroso, G., Thiele, E. (2011). Muscle injuries in athletes. Rev Bras Ortop. 46(4): 354-358.

Behan, F.P., Maden-Wilkinson, T.M., Pain M.T.G., Folland J.P. (2018). Sex differences in muscle morphology of the knee flexors and knee extensors. PLoS One. Jan 23;13(1): e0190903.

Bejui, J., Walch, G., Gonon, G., Carret, J., Neidhardt, J., Fischer, L. (1984). Anatomical and functional study on the musculus semimembranosus. Anat. Clin. 6(3): 215-223.

Beltran, L., Ghazikhanian, V., Padron, M., Beltran, J. (2012). The proximal hamstring muscle–tendon–bone unit: A review of the normal anatomy, biomechanics, and pathophysiology. Eur J Radiol. 81(12): 3772-3779.

Benjamin, M. (2009). The fascia of the limbs and back-a review. J Anat. 214(1): 1-18.

Benjamin, M., Ralphs, J.R. (1996). Tendons in health and disease. Man Ther. 1: 186-191.

Benjamin, M., Ralphs, J.R. (1998). Fibrocartilage in tendons and ligaments—an adaptation to compressive load. *J Anat.* 193(Pt 4): 481–494.

Benjamin, M., Toumi, H., Ralphs, J.R., Bydder, G., Best, T.M., Milz, S. (2006). Where tendons and ligaments meet bone: attachment sites ('enthuses') in relation to exercise and/or mechanical load. *J. Anat.* 208: 471–490.

Bonnel, F., Chevrel, J.P., Outrequin, G. (1991). *Anatomie Clinique, Les Membres.* París, France. Ed. Springer-Verlag.

Bourne, M.N., Opar, D.A., Williams, M.D., Shield, A.J. (2015). Eccentric knee flexor strength and risk of hamstring injuries in rugby union: A prospective study. *Am J Sports Med.* 43(11): 2663-2670.

Bourne, M.N., Timmins, R.G., Opar, D.A., Pizzari, T., Ruddy, J.D., Sims, C., Williams, M.D., Shield, A.J. (2018) An evidence-based framework for strengthening exercises to prevent hamstring injury. *Sports Med.* 48(2): 251-267.

Bourne, M.N., Williams, M.D., Opar, D.A., Al Najjar, A., Kerr, G.K., Shield, A.J. (2017). Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br J Sports Med.* 51(13): 1021-1028.

Branch, E.A., Anz, A.W. (2015). Distal Insertions of the biceps femoris: A quantitative analysis. *Orthop J Sports Med.* 21;3(9): 2325967115602255.

Branch, E.A., Loveland, D., Sadeghpour, S., Anz, A.W. (2018). A biomechanical assessment of biceps femoris repair techniques. *Orthop J Sports Med.* 6(1): 2325967117748891.

Brukner, P., Nealon, A., Morgan, C., Burgess, D., Dunn, A. (2014). Recurrent hamstring muscle injury: applying the limited evidence in the professional football setting with a seven-point programme. Br J Sports Med. 48(11): 929-938.

Bucknor, M.D., Steinbach, L.S., Saloner, D., Chin, C.T. (2014). Magnetic resonance neurography evaluation of chronic extraspinal sciatica after remote proximal hamstring injury: a preliminary retrospective analysis. J Neurosurg. 121(2): 408-414.

Burghardt, R., Siebenlist, S., Döbele, S., Lucke, M., Stöckle, U. (2010). Compartment syndrome of the thigh. A case report with delayed onset after stable pelvic ring fracture and chronic anticoagulation therapie. BMC Geriatr. 10: 51.

Carvalho do Nascimento, P.R., Poitras S., Bilodeau, M. (2018). How do we define and measure sarcopenia? Protocol for a systematic review. Syst Rev. 27;7(1): 51.

Castles, D. (17 de septiembre, 2017). Man Utd fear Pogba is 'out for 12 weeks'. The Times. Recuperado de <https://www.thetimes.co.uk/article/man-utd-fear-pogba-is-out-for-12-weeks-77jsnqn09>.

Cavadas, P.C., Sanz-Jiménez-Rico, J.R., Landin, L., Correa, J. (2005). Biceps femoris perforator free flap for upper extremity reconstruction: anatomical study and clinical series. Plast Reconstr Surg. 116(1): 145-152.

Chumanov, E.S., Heiderscheit, B.C., Thelen, D.G. (2007). The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. J Biomech. 40(16): 3555-3562.

Comin, J., Malliaras, P., Baquie, P., Barbour, T., Connell, D. (2013). Return to competitive play after hamstring injuries involving disruption of the central tendon. *Am J Sports Med.* 41(1): 111-115.

Comité Federal sobre Terminología Anatómica. (2001). Terminología Anatómica Internacional. Ed. Médica Panamericana. Madrid, España.

Crema, M.D., Godoy, I.R.B., Abdalla, R.J., de Aquino, J.S., Ingham, S.J.M., Skaf, A.Y. (2018a). Hamstring Injuries in professional soccer players: extent of MRI-detected edema and the time to return to play. *Sports Health.* 10(1): 75-79.

Crema, M.D., Guermazi, A., Reurink, G., Roemer, F.W., Maas, M., Weir, A., Moen, M.H., Goudswaard, G.J., Tol, J.L. (2017). Can a clinical examination demonstrate Intramuscular tendon involvement in acute hamstring injuries?. *Orthop J Sports Med.* 26;5(10): 2325967117733434.

Crema, M.D., Guermazi, A., Tol, J., Niu, J., Hamilton, B., Roemer, F. (2016). Acute hamstring injury in football players: Association between anatomical location and extent of injury—A large single-center MRI report. *J Sci Med Sport.* 19(4): 317-322.

Crema, M.D., Jarraya, M., Engebretsen, L., Roemer, F.W., Hayashi, D., Domingues, R., Skaf, A.Y., Guermazi, A. (2018b). Imaging-detected acute muscle injuries in athletes participating in the Rio de Janeiro 2016 Summer Olympic Games. *Br J Sports Med.* 52(7): 460-464.

Croisier, J.L. (2004). Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med.*; 34(10): 681-695.

Cross, K., Gurka, K., Saliba, S., Conaway, M., Hertel, J. (2013). Comparison of hamstring strain injury rates between male and female intercollegiate soccer athletes. Am J SportsMed. 41(4): 742-748.

Dalton, S.L., Kerr, Z.Y., Dompier, T.P. (2015). Epidemiology of hamstring strains in 25 NCAA sports in the 2009-2010 to 2013-2014 academic years. Am J Sports Med. 43(11): 2671-2679.

Dauber, W. (2007). Feneis Nomenclatura Anatómica Internacional. 5 ed. Barcelona, España, Ed. Elsevier Masson.

Delexrat, A., Bateman, J., Ross, C., Harman, J., Davis, L., Vanrenterghem, J., Cohen D.D. (2020). Changes in Torque-Angle Profiles of the Hamstrings and Hamstrings-to-Quadriceps Ratio After Two Hamstring Strengthening Exercise Interventions in Female Hockey Players. J Strength Cond Res. 34(2): 396-405.

Derwin, K.A., Baker, A.R., Spragg, R.K., Leigh, D.R., Farhat, W., Iannotti, J.P. (2008). Regional variability, processing methods, and biophysical properties of human Fascia lata extracellular matrix. J Biomed Mater Res A. 84(2): 500-507.

DeWitt, J., & Vidale, T. (2014). Recurrent hamstring injury: consideration following operative and non-operative management. Int J Sports Phys ther. 9(6): 798–812.

De Smet, A.A., Best, T.M. (2000). MR Imaging of the distribution and location of acute hamstring injuries in athletes. Am J Roentgenol. 174: 393-399.

de Visser, H.M., Reijman, M., Heijboer, M.P., Bos, P.K. (2012). Risk factors of recurrent hamstring injuries: a systematic review. Br J Sports Med. 46(2): 124-30.

Dolman, B., Verrall, G., Reid, I. (2014). Physical principles demonstrate that the biceps femoris muscle relative to the other hamstring muscles exerts the most force: implications for hamstring muscle strain injuries. *Muscles Ligaments Tendons J.* 17;4(3): 371-377.

Dommerholt, J., Fernández, C. (2013). Punción seca de los puntos gatillo, una estrategia clínica basada en la evidencia. Barcelona, España. Ed. Elsevier.

Drake, R., Volg, W., Mitchell, A. (2010). Gray Anatomía para estudiantes. Barcelona, España. Ed. Elsevier.

Dufour, M., Pillu, M. (2006). Biomecánica Funcional. Barcelona, España. Ed. Masson.

Eastwood, D. (2014). Hamstring injuries in a premier league football team MRI vs Clinical Diagnosis. *Br J Sports Med.* 48: 1581-1582.

Edouard, P., Branco, P., Alonso, J.M. (2016). Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *Br J Sports Med.* 50(10): 619-630.

Ekstrand, J., Häggglund, M., Waldén, M. (2011a). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med.* 39(6):1226-1232.

Ekstrand, J., Häggglund, M., Waldén, M. (2011b). Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med.* 45(7): 553-558.

Ekstrand, J., Healy, J., Waldén, M., Lee, J., English, B., Häggglund, M. (2012). Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br J Sports Med.* 46(2):112-117.

Ekstrand, J., Walden M., Hägglund, M. (2016). Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med.* 50(12): 731-737.

Elbarrany, W.G., Al-Hayani, A., Softa, S. (2005). The blood and nerve supply of the long head of the biceps femoris muscle; its possible use in dynamic neoanal sphincter. *West Afr J Med.* 24(4): 287-294.

Elliott, M.C., Zarins, B., Powell, J.W., Kenyon, C.D. (2011). Hamstring muscle strains in professional football players: a 10-year review. *Am J Sports Med.* 39(4): 843-50.

Eng, C.M., Pancheri, F.Q., Lieberman, D.E., Biewener, A.A., Dorfmann, L. (2014). Directional differences in the biaxial material properties of Fascia lata and the implications for fascia function. *Ann Biomed Eng.* 42(6): 1224-1237.

Entwistle, T., Ling, Y., Splatt, A., Brukner, P., Connell, D. (2017). Distal m<sup>ú</sup>sculotendinous T junction injuries of the biceps femoris: An MRI case review. *Orthop J Sports Med.* 5(7): 2325967117714998.

Enoka, R. (2015). Neuromechanics of Human Movement. 5 ed. Champaign, IL, EE.UU. Ed. Human Kinetics.

Ertelt, T., Gronwald, T. (2017). M. biceps femoris - A wolf in sheep's clothing: The downside of a lower limb injury prevention training. *Med Hypotheses.* 109: 119-125.

Ernlund, L., Vieira, L.A. (2017). Hamstring injuries: update article. *Rev Bras Ortop.* 52(4): 373-382.

Espregueira-Mendes, J. da Silva, M.V. (2006). Anatomy of the lateral collateral ligament: a cadaver and histological study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 14(3): 221-228.

Evangelidis, P., Massey, G., Pain, M., Folland, J. (2015). Biceps femoris aponeurosis size: A potential risk factor for strain injury?. *Med Sci Sports Exerc.* 47(7): 1383-1389.

Fasuyi, F.O., Fabunmi, A.A., Adegoke, B.O.A. (2017). Hamstring muscle length and pelvic tilt range among individuals with and without low back pain. *J Bodyw Mov Ther.* 21(2): 246-250.

FC Barcelona (26 de agosto, 2017a). Dembélé. Recuperado de [https://www.fcbarcelona.es/futbol/primer-equipo/plantilla/jugadores/2017-2018/ousmane-dembèle](https://www.fcbarcelona.es/futbol/primer-equipo/plantilla/jugadores/2017-2018/ousmane-dembеле).

FC Barcelona. (17 de septiembre, 2017b). Comunicado médico Ousmane Dembélé. FC Barcelona. Recuperado de <https://www.fcbarcelona.es/futbol/primer-equipo/noticias/2017-2018/comunicado-medico-ousmane-dembele>.

FIFPro World Players Union. (2013). Retrieved December 7, 2017. FIFPro. Recuperado de <http://www.fifpro.org/en/about-fifpro/about-fifpro>.

Fiorentino, N., Blemker, S. (2014). Músculotendon variability influences tissue strains experienced by the biceps femoris long head muscle during high-speed running. *J Biomech.* 47(13): 3325-3333.

FIPAT. Federative International Programme for Anatomical Terminology. (2019). Terminologia Anatomica. 2 ed. London, U.K. Disponible en: <https://fipat.library.dal.ca>

Flores, D.V., Mejía Gómez, C., Estrada-Castrillón, M., Smitaman, E., Pathria, M.N. (2018). MR Imaging of Muscle Trauma: Anatomy, Biomechanics, Pathophysiology, and Imaging Appearance. *Radiographics*. 38(1): 124-148.

Fokkema, T., de Vos, R.J., Bierma-Zeinstra, S.M.A., van Middelkoop, M. (2019). Opinions, Barriers, and Facilitators of Injury Prevention in Recreational Runners. *J Orthop Sports Phys Ther.* 23: 1-22.

Foreman, T., Addy, T., Baker, S., Burns, J., Hill, N., Madden, T. (2006). Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: A systematic review. *Phys Ther Sport.* 7: 101–109.

Freckleton, G., Pizzari, T. (2013). Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 47(6): 351-358.

Fukuda, A., Nishimura, A., Nakazora, S., Kato, K., Sudo, A. (2016). Entrapment of common peroneal nerve by surgical suture following distal biceps femoris tendon repair. *Case Rep Orthop.* 2016: 7909805.

García, C., Albaladejo, R., Villanueva, R., Navarro, E. (2015). Deporte de ocio en España: epidemiología de las lesiones y sus consecuencias. *Apunts Educación Física y Deportes.* 119: 62-70.

Goss, H. (1973). *Gray's Anatomy of the human body.* 29 ed. Philadelphia, EE.UU. Ed. Lea & Febiger.

Guex, K., Degache, F., Morisod, C., Sailly, M., Millet, G. (2016). Hamstring architectural and functional adaptations following long vs short muscle length eccentric training. *Front Physiol.* 7: 340.

Haberfehlner, H., Maas, H., Harlaar, J., Becher, J.G., Buizer, Al., Jaspers, R.T. (2016). Freehand three-dimensional ultrasound to assess semitendinosus muscle morphology. *J Anat.* 229(4): 591-599.

Hallén, A., Ekstrand, J. (2014). Return to play following muscle injuries in professional footballers. *J Sports Sci.* 32 (13): 1229-1236.

Hamill, J., Knutzen, K., Derrick, T. (2015). Biomechanical basis of human movement. Philadelphia, EE.UU. Ed Wolters Kluwer.

Hansen, C., Einarson, E., Thomson, A., Whiteley, R. (2017). Peak medial (but not lateral) hamstring activity is significantly lower during stance phase of running. An EMG investigation using a reduced gravity treadmill. *Gait Posture.* 57: 7-10.

Hawkins, R., Hulse, M., Wilkinson, C., Hodson, A., Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med.* 35(1): 43-47.

Hayashi, A., Maruyama, Y. (2005). Neurovascularized free short head of the biceps femoris muscle transfer for one-stage reanimation of facial paralysis. *Plast Reconstr Surg.* 115(2): 394-405.

Henderson, G., Barnes, C., Portas, M. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in english premier league soccer players. *J Sci Med Sport.* 13(4): 397-402.

Hickey, J., Shield, A., Williams, M., Opar, D. (2014). The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *Br J Sports Med.* 48(8): 729-730.

Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., Fukubayashi, T. (2015). Differences in activation properties of the hamstring muscles during overground sprinting. *Gait Posture.* 42(3): 360-364.

Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., Fukubayashi, T. (2018). Differences in hamstring activation characteristics between the acceleration and maximum-speed phases of sprinting. *J Sports Sci.* 36(12): 1313-1318.

Hogervorst, T., Vereecke, E. (2014). Evolution of the human hip. Part 2: muscling the double extension. *J Hip Preserv Surg.* 28;2(1): 3-14.

Ishøi, L., Hölmich, P., Aagaard, P., Thorborg, K., Bandholm, T., Serner, A. (2018). Effects of the Nordic Hamstring exercise on sprint capacity in male football players: a randomized controlled trial. *J Sports Sci.* 36(14): 1663-1672.

Jakobsen, J.R., Mackey, A.L., Knudsen, A.B., Koch M., Kjær, M., Krogsgaard, M. (2017). Composition and adaptation of human myotendinous junction and neighboring muscle fibers to heavy resistance training. *Scand J Med Sci Sports.* 27: 1547–1559.

Junge, A., Engebretsen, L., Mountjoy, M.L., Alonso, J.M., Renström, P.A., Aubry, M.J., Dvorak J. (2009). Sports injuries during the Summer Olympic Games 2008. *Am J Sports Med.* 37(11): 2165-2172.

Kapandji, Al. (2012). *Fisiología Articular Tomo 2.* 6 ed. Barcelona, España. Ed. Médica Panamericana.

Kawakami, Y., Abe, T., Fukunaga, T. (1993). Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J Appl Physiol* (1985). 74(6): 2740-2744.

Kellis, E. (2016). Biceps femoris and semitendinosus tendon/aponeurosis strain during passive and active (isometric) conditions. *J Electromyogr Kinesiol*. 26: 111-119.

Kellis, E. (2017). Biceps femoris fascicle length during passive stretching. *J Electromyogr Kinesiol*. 38: 119-125.

Kellis, E., Balidou, A. (2014). In vivo examination of the morphology of the tendinous inscription of the human semitendinosus muscle: gender and joint position effects. *J Morphol*. 275(1): 57-64.

Kellis, E., Galanis, N., Kapetanos, G., Natsis, K. (2012). Architectural differences between the hamstring muscles. *J Electromyogr Kinesiol*. 22(4): 520-526.

Kellis, E., Galanis, N., Kofotolis, N., Hatzi, A. (2017). Effects of hip flexion angle on surface electromyographic activity of the biceps femoris and semitendinosus during isokinetic knee flexion. *Muscles Ligaments Tendons J*. 18;7(2): 286-292.

Kellis, E., Galanis, N., Natsis, K., Kapetanos, G. (2010). Muscle architecture variations along the human semitendinosus and biceps femoris (long head) lenght. *J Electromyogr Kinesiol*. 20(6): 1237-1243.

Kendall, B., Eston, R. (2002). Exercise-induced muscle damage and the potential protective role of estrogen. *Sports Med*. 32(2): 103-123.

Knudsen, A.B., Larsen, M., Mackey, A.L., Hjort, M., Hansen, K.K., Qvortrup, K., Kjaer M., Krogsgaard, M.R. (2015). The human myotendinous junction: an ultrastructural and 3D analysis study. *Scand J Med Sci Sports.* 25(1): e116-123.

Koulouris, G., Connell, D. (2003). Evaluation of the hamstring muscle complex following acute injury. *Skeletal Radiol.* 32(10): 582-589.

Koulouris, G., Connell, D. (2005). Hamstring muscle complex: An imaging review. *Radiographics.* 25(3): 571-586.

Kouzaki, K., Nakazato, K., Mizuno, M., Yonechi, T., Higo, Y., Kubo, Y., Kono, T., Hiranuma, K. (2017). Sciatic Nerve Conductivity is Impaired by Hamstring Strain Injuries. *Int J Sports Med.* 38(11): 803-808.

Kraeutler, M.J., Fioravanti, M.J., Goodrich, J.A., Jesse, M.K., Garabekyan, T., Chadyammuri, V., Mei-Dan, O. (2019). Increased Prevalence of Femoroacetabular Impingement in Patients With Proximal HamstringTendon Injuries. *Arthroscopy.* 35(5): 1396-1402.

Krommes, K., Petersen, J., Nielsen, M.B., Aagaard, P., Hölmich, P., Thorborg, K. (2017). Sprint and jump performance in elite male soccer players following a 10-week Nordic Hamstring exercise Protocol: a randomised pilot study. *BMC Res Notes.* 10: 669.

Kumakura, H. (1989). Functional analysis of the biceps femoris muscle during locomotor behavior in some primates. *Am J Phys Anthropol.* 79(3): 379-391.

Kumazaki, T., Ehara, Y., Sakai, T. (2012). Anatomy and physiology of hamstring injury. *Int J Sports Med.* 33(12): 950-954.

Kuske, B., Hamilton, D.F., Pattle, S.B., Simpson, A.H. (2016). Patterns of Hamstring Muscle Tears in the General Population: A Systematic Review. *PLoS One.* 4;11(5): e0152855.

Kuszewski, M.T., Gnat, R., Gogola, A. (2018). The impact of core muscles training on the range of anterior pelvic tilt in subjects with increased stiffness of the hamstrings. *Hum Mov Sci.* 57: 32-39.

Larruskain, J., Lekue, J., Díaz, N., Odriozola, A., Gil, S. (2017). A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scand J Med Sci Sports.* 28(1): 237-245.

Le Sant, G., Ates, F., Brasseur, J.L., Nordez, A. (2015). Elastography study of hamstring behaviors during passive stretching. *PLoS One.* 29;10(9): e0139272.

Lee, J.W.Y., Mok, K.M., Chan, H.C.K., Yung, P.S.H., Chan, K.M. (2017). Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *J Sci Med Sport.* 21: 789-793.

Leinonen, V., Kankaanpää, M., Airaksinen, O., Hänninen, O. (2000). Back and hip extensor activities during trunk flexion/extension: effects of low back pain and rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 81(1): 32-37.

Lempainen, L., Kosola, J., Pruna, R., Puigdellivol, J., Sarimo, J., Niemi, P., Orava, S. (2018). Central tendon injuries of hamstring muscles: Case series of operative treatment. *Orthop J Sports Med.* 15;6(2): 2325967118755992.

Lempainen, L., Sarimo, J., Orava, S. (2007). Recurrent and chronic complete ruptures of the proximal origin of the hamstring muscles repaired with Fascia lata autograft augmentation. *Arthroscopy*. 23(4): 441.e1-5.

Li, L., Syno, M. (2018). Letter to the Editor: A functional MRI exploration of hamstring activation during the supine bridge exercise. *Int J Sports Med.* 39(5): 407.

Lieber, R.L., Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*. 23(11): 1647-1666.

Liemohn, W. (1978). Factors related to hamstring strains. *J Sports Med Phys Fitness*. 18(1): 71-76.

Linklater, J., Hamilton, B., Carmichael, J., Orchad, J., Wood, D. (2010). Hamstring Injuries: Anatomy, imaging, and intervention. *Semin Músculoskelet Radiol.* 14(2): 131-161.

Liu, H., Garret, W.E., Moorman, C.T., Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *J Sport Health Sci.* 1: 92-101.

Liu, J., Pho, R.W., Pereira, B.P., Lau, H.K., Kumar, V.P. (1997). Distribution of primary motor nerve branches and terminal nerve entry points to the forearm muscles. *Anat Rec.* 248(3): 456-463.

Lorbach, O., Haupert, A., Efe, T., Pizanis, A., Weyers, I., Kohn, D., Kieb, M. (2017) Biomechanical evaluation of MPFL reconstructions: differences in dynamic contact pressure between gracilis and Fascia lata graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 25(8): 2502-2510.

Macdonald, B. (2017). An investigation into the immediate effects of pelvic taping on hamstring eccentric force in an elite male sprinter - A case report. *Phys Ther Sport.* 28: 15-22.

Magnusson, S.P., Aagaard, P., Larsson, B., Kjaer, M. (2000). Passive energy absorption by human muscle-tendon unit is unaffected by increase in intramuscular temperature.

*J Appl Physiol* (1985). 88(4): 1215-1220.

Malliaropoulos, N., Bikos, G., Meke, M., Vasileios, K., Valle, X., Lohrer, H., Maffulli, N., Padhiar, N. (2018). Higher frequency of hamstring injuries in elite track and field athletes who had a previous injury to the ankle - a 17 years observational cohort study. *J Foot Ankle Res.* 26;11: 7.

Marca. (18 de septiembre, 2017). El Barça se ahorra 10 millones por la lesión de Dembélé. Marca. Recuperado de <http://www.marca.com/futbol/barcelona/2017/09/18/59bffd6446163f7d238b45eb.html>

Martínez, F. (11 de noviembre, 2013). Las lesiones de Leo Messi: El Bíceps femoral, su punto débil. Mundo Deportivo. Recuperado de [http://www.mundodeportivo.com/20131110/fc-barcelona/las-lesiones-de-leo-messi-el-biceps-femoral-su-punto-debil\\_54393969987.html](http://www.mundodeportivo.com/20131110/fc-barcelona/las-lesiones-de-leo-messi-el-biceps-femoral-su-punto-debil_54393969987.html).

Medina, D., Eirale, C., Tol, H., Weir, A. (2015). Chapter 2: Epidemiology. En: *Muscles Injuries Clinical Guide 3.0.* FCB.

Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction?. *Br J Sports Med.* 46(2): 81-85.

Messer, D.J., Bourne, M.N., Williams, M.D., Al Najjar, A., Shield, A.J. (2018). Hamstring Muscle Use in Females During Hip-Extension and the Nordic Hamstring Exercise: An fMRI Study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 23: 1-23.

Milanese, S., Eston, R. (2019). Hamstring injuries and Australian Rules football: over-reliance on Nordic hamstring exercises as a preventive measure?. *Open Access J Sports Med.* 23;10: 99-105.

Miller, S.L., Gill, J., Webb, G.R. (2007). The proximal origin of the hamstrings and surrounding anatomy encountered during repair. A cadaveric study. *J Bone Joint Surg Am.* 89(1): 44-48.

Miyamoto, N., Hirata, K. (2019). Moderate Associations of Muscle Elasticity of the Hamstring with Hip Joint Flexibility. *Int J Sports Med.* 40(11): 717-724.

Mizera, R., Harcuba, R., Kratochvíl, J. (2016). Avulsion of the proximal hamstring insertion. Case Reports. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 83(6): 418-420.

Moore, K.L., Dalley A.F., Agur, A.M.R. (2018). *Anatomía con orientación clínica.* 8 ed. Philadelphia, EE.UU. Ed. Wolters Kluwer.

Morin, J.B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., Mendiguchia, J. (2015). Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Front Physiol.* 6: 404.

Mueller-Wohlfahrt, H.W., Ueblacker, P., Hänsel, L., W., Garret, W. (2013a) *Muscle injuries in sports.* Ed. Thieme. New York, EE.UU.

Mueller-Wohlfahrt, H.W., Haensel, L., Mithoefer, K., Ekstrand, J., English, B., McNally, S., Orchard, J., van Dijk, C.N., Kerkhoffs, G.M., Schamasch, P., Blottner, D., Swaerd, L., Goedhart, E., Ueblacker, P. (2013b). Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. Br J Sports Med. 47(6): 342-350.

Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I.H., Skolberg, A., Olsen, O.E., Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. Clin J Sport Med. 13(2): 71-78.

Narouei, S., Imai, A., Akuzawa, H., Hasebe, K., Kaneoka, K. (2018). Hip and trunk muscles activity during nordic hamstring exercise. J Exerc Rehabil. 26;14(2): 231-238.

Navandar, A., Veiga, S., Torres, G., Chorro, D., Navarro, E. (2018). A previous hamstring injury affects kicking mechanics in soccer players. J Sports Med Phys Fitness. 58(12): 1815-1822.

Neumann, D. (2010). Kinesiology of the Músculoskeletal System. St Louis, EE.UU. Ed. Mosby Elsevier.

Neuschwander, T., Benke, M., Gerhardt, M. (2015). Anatomic Description of the Origin of the Proximal Hamstring. Arthroscopy. 31(8): 1518-1521.

Nóbrega, S.R., Ugrinowitsch, C., Pintanel, L., Barcelos, C., Libardi, C.A. (2017). Effect of resistance training to muscle failure versus volitional interruption at high- and low-intensities on muscle mass and strength. J Strength Cond Res. 32(1): 162-169.

Nordin, M, Frankel, V. (2012). Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. 4 ed. Philadelphia, EE.UU. Ed. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

Oatis, C. (2009). Kinesiology, The mechanics & Pathomechanics of Human Movement. Philadelphia, EE.UU. Ed Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

Olave, E. (2005). Inervación del músculo Semimembranoso. Int J Morphol. 23(4): 363-368.

Olave, E., Braga, M.T. (2003). Inervación del músculo Semitendinoso, biometría de sus ramos y localización de sus puntos motores. Int J Morphol. 21(2): 161-165.

Ono, T., Higashihara, A., Shinohara, J., Hirose, N., Fukubayashi, T. (2015). Estimation of tensile force in the hamstring muscles during overground sprinting. Int J Sports Med. Feb;36(2): 163-168.

Opar, D.A., Williams, M.D., Shield, A.J. (2013). Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. Sports Med. 1;42(3): 209-226.

Orava, S. (1997). Hamstring syndrome. Oper Techniques Sports Med 5: 143-149.

Orava, S., Kujala, U. (1995). Rupture of the ischial origin of the hamstring muscles. Am J Sports Med. 23(6): 702-705.

Orchard, J., Best, T.M., Verrall, G.M. (2005). Return to play following muscle strains. Clin J Sport Med. 15(6): 436-441.

Orts Llorca, F. (1985). Anatomía Humana. Tomo I. 6ta ed. Barcelona, España. Ed. Científico-Médica.

Papastergiou, S.G., Koukoulias, N.E., Tsitouridis, I., Natsis, C., Parisi, C.A. (2007). Circumflex femoral vein thrombosis misinterpreted as acute hamstring strain. Br J Sports Med. 41(7): 460-461.

Paturet G. (1951). Traité d'Anatomie Humaine. Tome II. Paris, France. Ed. Masson & Cie.

Pedersen, K.K., Madsen, M.K., Hvid L.G., Overgaard, K. (2019). Concentric strength training at optimal or short muscle length improves strength equally but does not reduce fatigability of hamstring muscles. Physiol Rep. 7(16): e14196.

Pérez-Bellmunt, A., Miguel-Pérez, M., Brugué, M.B., Cabús, J.B., Casals, M., Martinoli, C., Kuisma, R. (2015). An anatomical and histological study of the structures surrounding the proximal attachment of the hamstring muscles. Man Ther. 20: 445-450.

Philippon, M., Ferro, F., Campbell, K., Michalski, M., Goldsmith, M., Devitt, B., Wijdicks, C., LaPrade, R. (2015). A qualitative and quantitative analysis of the attachment sites of the proximal hamstrings. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 23: 2554–2561.

Polo, E. (12 de febrero, 2020). Oficial: Dembélé, operado, estará seis meses de baja. Recuperado de <https://www.mundodeportivo.com/futbol/fcbarcelona/20200211/473460866469/dembele-seis-meses-baja-operado.html>

Pradat, P., Bouche, P., Delanian, S. (2009). Sciatic nerve mononeuropathy: An unusual late effect of radiotherapy. Muscle Nerve. 40: 872–874.

Presland, JD., Timmins, R.G., Bourne, M.N., Williams, M.D., Opar, D.A. (2018). The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation. Scand J Med Sci Sports. 28(7): 1775-1783.

Pruna, R., Artells, R. (2015). Cómo puede afectar el componente genético la lesiónabilidad de los deportistas. Apunts Med Esport. 50(186): 73-78.

Puranen, J., Orava, S. (1988). The hamstring syndrome. A new diagnosis of gluteal sciatic pain. Am J Sports Med. 16(5): 517-521.

Rab, M., Mader, N., Kamolz, L.P., Hausner, T., Gruber, H., Girsch, W. (1997). Basic anatomical investigation of semitendinosus and the long head of biceps femoris muscle for their possible use in electrically stimulated neosphincter formation. Surg Radiol Anat. 19(5): 287-291.

Raiteri BJ. (2018). Aponeurosis behaviour during muscular contraction: A narrative review. Eur J Sport Sci. 18(8): 1128-1138

Rha, D.W., Yi, K.H., Park, E.S., Park, C., Kim, H.J. (2016). Intramuscular nerve distribution of the hamstring muscles: Application to treating spasticity. Clin Anat. 29(6): 746-751.

Ribeiro-Alvares, J.B., Marques, V.B., Vaz, M.A., Baroni, B.M. (2018). Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. J Strength Cond Res. 32(5): 1254-1262.

Richards, J., Selfe, J., Sinclair, J., May, K., Thomas, G. (2016). The effect of different decline angles on the biomechanics of double limb squats and the implications to clinical and training practice. J Hum Kinet. 10;52: 125-138.

Ripani, M., Continenza, M., Cacchio, A., Barile, A., Parisi, A., De Paulis, F. (2006). The ischiatic Region: Normal and MRI anatomy. *J Sports Med Phys Fitness*. 46(3): 468-475.

Rodríguez, J. (2013). Electroterapia en fisioterapia. 3 ed. Madrid, España. Ed. Médica Panamericana.

Roger, B., Guermazi, A., Skaf, A. (2017). Muscle Injuries in Sport Athletes: Clinical Essentials and Imaging Findings (Sports and Traumatology). Doha, Catar. Ed. Springer.

Ropak C.R, Bosco J.A. (2012). Hamstring injuries. *Bull NYU Hosp Jt Dis*. 70(1): 41-48.

Rouvière, H., Delmas, A. (2005). Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11 ed. Barcelona, España. Ed. Elsevier Masson.

Rubin, D.A. (2012). Imaging diagnosis and prognostication of hamstring injuries. *AJR Am J Roentgenol*. 199(3): 525-533.

Sallay, P.I., Friedman, R.L., Coogan, P.G., Garrett, W.E. (1996). Hamstring muscle injuries among water skiers. Functional outcome and prevention. *Am J Sports Med*. 24: 130-136.

Sattherthwaite, P., Norton, R., Larmer, P., Robinson, E. (1999) Risk factors for injuries and other health problems sustained in a marathon. *Br J Sports Med*. 33(1): 22-26.

Sato, K., Nimura, A., Yamaguchi, K., Akita, K. (2012). Anatomical study of the proximal origin of hamstring muscles. *J Orthop Sci*. 17(5): 614-618.

Schache, A.G., Dorn, T.W., Blanch, P.D., Brown, N.A., Pandy, M.G. (2012). Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* 44(4): 647-658.

Schuermans, J., Van Tiggelen, D., Danneels, L., Witvrouw, E. (2014). Biceps femoris and semitendinosus – teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *Br J Sports Med.* 48: 1599-1606.

Schuermans, J., Van Tiggelen, D., Palmans, T., Danneels, L., Witvrouw, E. (2017). Deviating running kinematics and hamstring injury susceptibility in male soccer players: Cause or consequence?. *Gait Posture.* 57: 270-277.

Seidel, P., Seidel, G., Gans, B., Dijkers, M. (1996). Precise localization of the motor nerve branches to the hamstring muscles: an aid to the conduct of neurolytic procedures. *Arch Phys Med Rehabil.* 77(11): 1157-1160.

Servicios Médicos del Fútbol Club Barcelona. (2009). Guía de Práctica Clínica de las lesiones musculares. Epidemiología, diagnóstico, tratamiento y prevención. Versión 4.5. Apunts Med Esport. 164: 179-203.

Shambaugh, B.C., Olsen, J.R., Lacerte, E., Kellum, E., Miller, S.L. (2017). A comparison of nonoperative and operative treatment of complete proximal hamstring ruptures. *Orthop J Sports Med.* 17;5(11): 2325967117738551.

Sharafi, B., Ames, E.G., Holmes, J.W., Blemker, S.S. (2011). Strains at the myotendinous junction predicted by a micromechanical model. *J Biomech.* 10;44(16): 2795-2801.

Shim, H.Y., Lim, O.K., Bae, K.H., Park, S.M., Lee, J.K., Park, K.D. (2013). Sciatic nerve injury caused by a stretching exercise in a trained dancer. *Ann Rehabil Med.* 37(6): 886–890.

Silder, A., Reeder, S., Thelen, D. (2010). The Influence of prior hamstring injury on lengthening muscle tissue mechanics. *J Biomech.* 26; 43(12): 2254–2260.

Singh, R., Yadav, S. K., Sood, S., Yadav, R. K., Rohilla, R. (2018). Evaluation of the Correlation of Magnetic Resonance Imaging and Electrodiagnostic Findings in Chronic Low Backache Patients. *Asian journal of neurosurgery.* 13(4): 1078-1083.

Sinha-Hikim, I., Roth, S.M., Lee, M.I., Bhasin, S. (2003). Testosterone induced muscle hypertrophy is associated with an increase in satellite cell number in healthy, young men. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 285(1): E197-205.

Sivasundaram, L., Matcuk, G., White, E., Hatch, G.F 3<sup>rd</sup>., Patel, D.B. (2015). Partial semitendinosus tendon tear in a young athlete: a case report and review of the distal semitendinosus anatomy. *Skeletal Radiol.* 44(7): 1051-1056.

Slavotinek, J.P. (2010). Muscle injury: the role of imaging in prognostic assignment and monitoring of muscle repair. *Semin Músculoskelet Radiol.* 14(2): 194-200.

Soma, M., Murata, S., Kai, Y., Nakae, H., Satou, Y. (2014). Activity of the femoral muscles during Toe-gripping Action. *J Phys Ther Sci.* 26(10): 1619-1621.

Spalteholz, W. (1990). *Atlas de Anatomía Humana, Tomo Segundo.* 14 ed. Barcelona, España. Ed. Labor.

Stamm, H., Lamprecht, M. (2001). *Big count: football 2000 worldwide: official FIFA survey.* Zurich.

Standring, S. (2016). *Gray's Anatomy. The anatomical basis of clinical practice.* 41 ed. London, U.K. Ed. Elsevier.

Stastny, P., Lehnert, M., Tufano, J.J. (2018). Muscle Imbalances: Testing and training Functional eccentric hamstring strength in athletic populations. *J Vis Exp.* 1;(135): 1-7.

Stecco, A., Gilliar, W., Hill, R., Fullerton, B., Stecco, C. (2013). The anatomical and functional relation between gluteus maximus and Fascia lata. *J Bodyw Mov Ther.* 17(4): 512-517.

Stevens, M.A., El-Khoury, G.Y., Kathol, M.H., Brandser, E.A., Chow, S. (1999). Imaging features of avulsion injuries. *Radiographics.* 19(3): 655-672.

Storey, R.N., Meikle, G.R., Stringer, M.D., Woodley, S.J. (2016). Proximal hamstring morphology and morphometry in men: an anatomic and MRI investigation. *Scand J Med Sci Sports.* 26(12): 1480-1489.

Sugiura, Y., Sakuma, K., Sakuraba, K., Sato, Y. (2017). Prevention of Hamstring Injuries in Collegiate Sprinters. *Orthop J Sports Med.* 17;5 (1).

Sun, Y., Wei, S., Zhong, Y., Fu, W., Li, L., Liu, Y. (2015). How joint torques affect hamstring injury risk in sprinting swing-stance transition. *Med Sci Sports Exerc.* 47(2): 373-380.

Szotek, S., Czogała, J., Ścigała, K., Marycz, K., Maksymowicz, K. (2012). The biomechanical and ultrastructural properties of human Fascia lata. *J Bodyw Mov Ther.* 16: 397–398.

Szotek, S., Dawidowicz, J., Eyden, B., Matysiak, N., Czogalla, A., Dudzik, G., Leśniewicz, A., Maksymowicz, K. (2016). Morphological features of Fascia lata in relation to fascia diseases. *Ultrastruct Pathol.* 40(6): 297-310.

Tapounet, R. (28 de noviembre, 2019). Dembélé 255 días lesionado. El Periódico. Recuperado de <https://www.elperiodico.com/es/barca/20191128/dembele-lesion-muscular-champions-7755186>

Terry, G.C., LaPrade, R.F. (1996). The biceps femoris muscle complex at the knee: its anatomy and injury patterns associated with acute anterolateral-anteromedial rotatory instability. Am J Sports Med. 24(1): 2-8.

Testut, L. (1884). Anomalies Musculaires, Chez L'Homme. Paris, France. Ed. G. Masson.

Testut, L., Jacob, O. (1979). Tratado de Anatomía Topográfica, Tomo Segundo. 4 ed. Barcelona, España. Ed. Salvat.

Testut, L., Latarjet, A. (1967). Anatomía Humana, Tomo Primero. 9 ed. Barcelona, España. Ed. Salvat.

Thelen, D.G., Chumanov, E.S., Best, T.M., Swanson, S.C., Heiderscheit, B.C. (2005). Simulation of biceps femoris músculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. Med Sci Sports Exerc. 37(11): 1931-1938.

Timmins, R. (2017). Biceps femoris architecture: the association with injury and response to training. Br J Sports Med. 51(6): 547-548.

Timmins, R., Bourne, M., Hickey, J.T., Maniar, N., Tofari, P.J., Williams, M.D., Opar, D.A. (2017). Effect of prior Injury on changes to biceps femoris architecture across an australian football league season. Med Sci Sports Exerc. 49(10): 2102-2109.

Timmins, R., Bourne, M., Shield, A., Williams, M., Lorenzen, C., Opar, D. (2016). Biceps femoris architecture and strength in athletes with a previous anterior cruciate ligament reconstruction. Med Sci Sports Exerc. 48(3): 337-345.

Timmins, R., Shield, A., Williams, M., Lorenzen, C., Opar, D. (2015). Biceps femoris long head architecture: A reliability and retrospective injury study. Med Sci Sports Exerc. 47(5): 905-913.

Toor, A.S., Limpisvasti, O., Ihn H.E., McGarry, M.H., Banffy, M., Lee, T.Q. (2019). The significant effect of the medial hamstrings on dynamic knee stability. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 27(8): 2608-2616.

Tosovic, D., Muirhead, J., Brown, J., Woodley, S. (2016). Anatomy of the long head of biceps femoris: An ultrasound study. Clin Anat. 29(6): 738-745.

Tsetsonis, C.H., Laoulakos, D.H., Kaxira, O.S., Katsieris, D.L., Kokkalis, G.A., Spiliopoulou, C.A. (2003). The biceps femoris short head muscle flap: an experimental anatomical study. Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg. 37(2): 65-68.

Tubbs, R.S., Caycedo, F.J., Oakes, W.J., Salter, E.G. (2006). Descriptive anatomy of the insertion of the biceps femoris muscle. Clin Anat. 19(6): 517-521.

Tubbs, R.S., Shoja, M.M., Loukas, M. (2016). Bergman's comprehensive encyclopedia of human anatomic variation. New Jersey, EE.UU. Ed. Wiley Blackwell.

Union of European Football Associations. (2017). UEFA Elite Club Injury Study. Report 2016/17.

Uruta, A., Funakoshi, T., Horie, T., Nishida, M., Iwasaki, N. (2017). Difference in vascular patterns between transosseous-equivalent and transosseous rotator cuff repair. J Shoulder Elbow Surg. 26(1): 149-156.

Vadgaonkar, R., Prameela, M.D., Murlimanju, B.V., Tonse, M., Kumar, C.G., Massand, A., Blossom, V., Prabhu, L.V. (2018). Morphometric study of the semitendinosus muscle and its neurovascular pedicles in south indian cadavers. Anat Cell Biol. 51(1): 1-6.

Valdivia, M., Vega-Macaya, F., Olguín P. (2017). Mechanical control of myotendinous junction formation and tendon differentiation during development. Front Cell Dev Biol. 5: 26.

Valente, M., Mancuso, F., Alecci, V. (2013). Isolated rupture of biceps femoris tendon. Músculoskelet Surg. 97(3): 263-266.

Valle, X., Tol, H., Hamilton, B. (2015). Muscle Injury Classification. From Muscle Injuries Clinical Guide 3.0.

van den Tillaar, R., Solheim, J.A.B., Bencke, J. (2017). Comparison of hamstring muscle activation during high-speed running and various hamstring strengthening exercises. Int J Sports Phys Ther. 12(5): 718-727.

van der Horst, N., Backx, F., Goedhart, E., Huisstede, B., HIPS-Delphi Group. (2017). Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. Br J Sports Med. 51(22): 1583-1591.

van der Made, A., Peters, R.W., Verheul, C., Maas, M., Kerkhoffs, G.M. (2017). Abduction in proximal hamstring tendon avulsion injury mechanism- A report on 3 Athletes. Clin J Sport Med. 1: 1-4.

van der Made, A., Wieldraaijer, T., Kerkhoffs, G., Kleipool, R., Engebretsen, L., van Dijk, C., Golanó, P. (2015). The hamstring muscle complex. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3: 2115–2122.

van Dyk, N., Bahr, R., Burnett, A.F., Verhagen, E., von Tiggelen, D., Witvrouw, E. (2018). No association between rate of torque development and onset of muscle activity with increased risk of hamstring injury in elite football. *Scand J Med Sci Sports*. 28(10): 2153-2163.

van Dyk, N., Bahr, R., Burnett, A., Whiteley, R., Bakken, A., Mosler, A., Farooq, A., Witvrouw, E. (2017). A comprehensive strength testing protocol offers no clinical value in predicting risk of hamstring injury: a prospective cohort study of 413 professional football players. *Br J Sports Med*. 0:1-9.

Verral, G.M., Slavotinek, J.P., Barnes, P.G., Fon, G.T., Spriggins, A.J. (2001). Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med*. 35(6): 435–439.

Vieira, R.L., Rosenberg, Z.S., Kiprovska, K. (2007). MRI of the distal biceps femoris muscle: normal anatomy, variants, and association with common peroneal entrapment neuropathy. *AJR Am J Roentgenol*. 189(3): 549-55.

Wang, J.H. (2006). Mechanobiology of tendon. *J Biomech*. 39(9): 1563-1582.

Wangensteen, A., Tol, J.L., Roemer, F.W., Bahr, R., Dijkstra, H.P., Crema, M.D., Farooq, A., Guermazi, A. (2017). Intra- and interrater reliability of three different MRI grading and classification systems after acute hamstring injuries. *Eur J Radiol*. 89: 182-190.

Watanabe, K., Otsuki, S., Hisa, T., Nagaoka, M. (2016). Functional difference between the proximal and distal compartments of the semitendinosus muscle. *J Phys Ther Sci.* 28: 1511-1517.

Wilson, T.J., Spinner, R.J., Mohan, R., Gibbs, C.M., Krych, A.J. (2017). Sciatic nerve injury after proximal hamstring avulsion and repair. *Orthop J Sports Med.* 5(7): 2325967117713685.

Williams, D.S., Welch, L.M. (2015). Male and female runners demonstrate different sagittal plane mechanics as a function of static hamstring flexibility. *Braz J Phys Ther.* 19(5): 421-428.

Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T., Cambier, D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. *Am J Sports Med.* 31(1): 41-46.

Woodley, S.J., Mercer, S.R. (2005). Hamstring muscles: Architecture and innervations. *Cells Tissues Organs.* 179(3): 125-141.

Woods, C., Hawkins, R., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., Hodson, A. (2004). The football association medical research programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 38(1): 36–41.

Worrell, T.W. (1994). Factors associated with hamstring injuries: an approach to treatment and preventative measures. *Sports Med.* 17(5): 338-345.

Zhong, Y., Fu, W., Wei, S., Li, Q., Liu, Y. (2017). Joint torque and mechanical power of lower extremity and its relevance to hamstring strain during sprint running. *J Healthc Eng.* 8927415.



## **ANEXO**



## **ANEXO 1**

### **Protocolo de extracción y corte de los músculos isquiotibiales**

- Disección de musculatura isquiotibial, se retira piel, Fascia lata, tejido adiposo y se cortan elementos neurovasculares.
- Separación e individualización de los músculos isquiotibiales del tejido disecado.
- Seguimiento de los tendones de cada músculo hasta su punto de inserción y corte en el punto más cercano a la inserción ósea.
- Extracción del grupo muscular isquiotibial y posicionamiento de éste en bandeja según relaciones anatómicas originales en el muslo.
- Dejar junto al grupo muscular el número de identificación de la muestra.
- Utilizando cuchilla con hoja de acero inoxidable de 29 cm de longitud se realizaron cortes transversales de 1 cm medido con regla.
- Mantener el conjunto de cortes en orden y sin separar hasta ser fotografiado.

## **ANEXO 2**

### **Protocolo Fotográfico de cortes transversales**

- Equipo iPhone 6S con cámara de 12 Mpx.
- Posicionar el iPhone en trípode dejando la cámara a 26 cm de altura sobre la muestra.
- Posicionar la muestra sobre mantel verde junto a letra “S” o “I” según se estuviera fotografiando la cara superior o inferior del corte.
- Poner el número identificador de la muestra bajo el corte.
- Enfocar un cuadro que muestre el corte, la letra “S” o “I” y el numero identificador de la muestra.
- Fotografiar primero la cara superior del corte e inmediatamente después la cara inferior.

### **ANEXO 3**

#### **Protocolo histológico para procesar muestras de microscopia óptica**

- Extracción de la muestra y conservación en Formaldehido al 10%.
- Desparafinar e hidratar hasta el agua destilada.
- Hematoxilina de Groat (filtrar antes de utilizar)..... 2-5 min.
- H<sub>2</sub>O corriente ..... 5 min bajo el grifo.
- Ponceau+Fucsina..... 5 min.
- H<sub>2</sub>O acética ..... Lavar.
- Orange G+Ác. Fosfomolíbdico ..... 5 min.
- H<sub>2</sub>O acética ..... Lavar.
- Verde luz ..... 5 min.
- H<sub>2</sub>O acética ..... Lavar.
- H<sub>2</sub>O corriente ..... Lavar.
- DAM:

#### **Resultado esperado:**

- Núcleo .....Azul marino.
- Músculo, citoplasma y queratina.....Rojo oscuro.
- Eritrocitos y algunos mucopolisacáridos .....Color calabaza.
- Colágeno .....Verde.