

Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Scienze Biomediche per la Salute

Dottorato di ricerca in

Scienze Morfologiche

XXV ciclo

***Correlazione tra lunghezza muscolare e lesione mio  
tendinea dei muscoli ischio crurali  
nello sportivo***

Coordinatore: Prof.ssa Laura Vizzotto

Tutor: Prof.ssa Chiarella Sforza

**Francesco PELILLO**

Matricola: R08732

## **INDICE**

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>IL CICLO DEL PASSO</b>	<b>7</b>
<b>1.2</b>	<b>ANATOMIA DEI MUSCOLI ISCHIOCRURALI</b>	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>IL CONTROLLO MUSCOLARE DELL'ANCA E DEL GINOCCHIO</b>	<b>13</b>
<b>1.4</b>	<b>LE LESIONI MUSCOLARI</b>	<b>17</b>
<b>1.5</b>	<b>LE PROPRIETA' MECCANICHE DEL MUSCOLO SCHELETRICO</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>PAZIENTI E METODI</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>RISULTATI</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSIONE</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>ICONOGRAFIA</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUZIONE

Le lesioni dei muscoli ischio crurali sono molto comuni negli sportivi, specialmente dediti alla corsa veloce. Si tratta spesso di giovani adulti, sebbene si verificano in un'ampia fascia di età ed a qualsiasi livello di preparazione (1).

Il complesso muscolare degli ischio crurali è composto da tre muscoli, il bicipite femorale, il semitendinoso ed il semimembranoso. Si tratta di muscoli biarticolari che agiscono su anca e ginocchio eccetto il capo breve del bicipite femorale, che agisce solo sul ginocchio originando al terzo medio del femore.

In totale le lesioni degli ischio crurali sono la più frequente causa di astensione dalla pratica sportiva nel professionista (2) per un tempo medio di 8,3 giorni (3) con una percentuale di recidiva del 33% (4) nelle prime due settimane di ripresa dello sport (5). Nel 2006 Gabbe e collaboratori hanno evidenziato che le lesioni degli ischio crurali nello sportivo (National Football League Australiana) sono seconde per frequenza solo alle distorsioni di ginocchio (6).

Queste lesioni incorrono tipicamente durante la fase di terminal swing del passo e della corsa (7-8), in cui gli ischio crurali sono in contrazione eccentrica intensa (9) con allungamento parenchimale in catena cinetica aperta, sebbene Orchard abbia recentemente individuato anche nella early stance nello sprint una causa possibile di lesione (10).

Il tipo di sport e la velocità del gesto atletico influenzano molto il tipo di lesione a carico degli ischiocrurali, essendo tipica della corsa veloce la lesione della giunzione mio aponeurotica del bicipite femorale (11). Secondo Askling e coll. (12), in questa situazione l'assorbimento di energia prodotto dal rallentamento dell'estensione del ginocchio dell'arto in swing induce un allungamento soprattutto del capo lungo del bicipite esponendolo al rischio di rottura. Gli stessi autori hanno anche individuato una lesione tipica a carico del tendine prossimale del semimembranoso nel kick boxer o nel ballerino (12).

La suscettibilità degli ischiocrurali alla lesione è stata oggetto di studio negli anni. Si ritiene che il disequilibrio tra la funzione primariamente eccentrica degli ischiocrurali, rispetto a quella principalmente concentrica del quadricipite femorale, sia la base di tale fenomeno (Fig. 1).

Secondo Heiderscheit e coll (13), la debolezza muscolare, l'affaticamento e la scarsa flessibilità sono fattori determinanti nel rischio di rottura muscolare degli ischiocrurali. Cameron e coll (14) hanno postulato anche la correlazione tra la lesione muscolare degli ischiocrurali ed i difetti del controllo neuromuscolare del tronco.

Bradley e Portas hanno preso in considerazione il rischio di rottura muscolare in correlazione con l'ampiezza dei movimenti (Range Of Motion, ROM) del ginocchio nello stretching passivo degli ischio crurali nel calciatore, rilevando una correlazione diretta tra frequenza di lesione e brevità del ROM (15). E' inoltre noto che le proprietà di tali muscoli possano cambiare a seconda della loro lunghezza (16), sebbene non sia chiaro quali correlazioni possano stabilirsi tra tale parametro ed il rischio di rottura durante lo sforzo fisico. Recentemente Kumazaki e coll (17) hanno eseguito uno studio morfologico su cadavere delle lunghezze muscolari ed elettromiografico su soggetto sano in contrazione isometrica a vari angoli. Nel loro studio hanno correlato la maggior frequenza di lesione a carico del capo lungo del bicipite e del semitendinoso alla loro struttura anatomica di semipennati con un rapporto lunghezza fibre / lunghezza totale inferiore a

quella del capo breve del bicipite e del semimembranoso, di architettura differente e meno soggetti alla rottura. Associando i risultati elettromiografici di attivazione degli ischiocrurali a vari gradi di flessione, si deduce il massimo rischio di lesione a ginocchio esteso per il capo lungo del bicipite (62% delle lesioni) ed il semimembranoso (28%).

Lo scopo del presente studio è di valutare retrospettivamente il rapporto tra lesione muscolare e lunghezza muscolare in una popolazione omogenea di atleti valutando se vi sia correlazione tra il rischio di rottura e la brevità muscolare. A tale scopo è stato studiato l'angolo popliteo al ginocchio come indice di lunghezza e rigidità degli ischiocrurali correlando le misure goniometriche alle misure di lunghezza muscolare ecografiche. Si sono quindi correlate le misurazioni all'interno del gruppo di soggetti affetti da lesione degli ischiocrurali prima della lesione e dopo la lesione a tempi diversi, e tra questi ed una popolazione di controllo di atleti sani mai incorsi in pregresse lesioni.

## 1.1 IL CICLO DEL PASSO

Rappresenta la base del movimento umano. Attraverso il ciclo del passo infatti, il movimento armonico degli arti inferiori permette l'avanzamento anteriore del corpo. Lo studio del ciclo del passo ha da sempre suscitato molto interesse, dapprima con la sola osservazione, poi con l'ausilio delle riprese cinematografiche (18). Dagli anni '80 l'avvento della tecnologia optoelettronica ha permesso uno studio più approfondito del movimento umano. Il grande interesse per lo studio del movimento umano è stato da sempre dovuto alla consapevolezza che la definizione nei singoli particolari del cammino umano normale avrebbe permesso da una parte di approfondire le conoscenze sull'uomo e sulla sua fisiologia, dall'altra avrebbe aiutato alla comprensione delle anomalie ed aiutato a definirne meglio le strategie di correzione.

Il normale ciclo del passo (Figura 2) è caratterizzato dall'alternarsi dello scambio tra l'arto fisso di appoggio e l'arto sospeso che viene portato in avanti. Convenzionalmente il ciclo del passo è costituito da due fasi, quella di appoggio (*stance*) in cui il piede è in contatto con il terreno, e quella di oscillazione (*swing*) in cui l'arto è in fase di volo.

La fase di appoggio rappresenta circa il 60% del ciclo a velocità normale (cammino a 80 m/min) e tende a diminuire progressivamente con l'aumentare della velocità.

In totale il passo è divisibile in otto fasi, ciascuna con un preciso compito che, insieme, realizzano i tre compiti fondamentali dell'arto inferiore (19):

- 1) accettazione del carico
- 2) appoggio singolo
- 3) avanzamento

#### 1- ACCETTAZIONE DEL CARICO

Per ottemperare a tale funzione serve assorbire l'impatto, mantenere la stabilità e conservare la progressione. L'accettazione del carico è un momento critico considerando che si passa repentinamente dalla totale instabilità della fase di volo al contatto a terra.

Per l'accettazione del carico sono coinvolte due fasi:

##### 1-a CONTATTO INIZIALE (*initial contact*)

Copre fino al 2% dell'intero ciclo e rappresenta il contatto del piede al suolo.

##### 1-b RISPOSTA AL CARICO (*loading response*)

Successiva al contatto iniziale, arriva al 10% del ciclo ed è il periodo iniziale di doppio appoggio (Figura 2). Finisce quando inizia la fase di volo del piede della gamba opposta (passando quindi da doppio appoggio ad appoggio singolo). Funzionalmente la fase di risposta al carico permette di assorbire l'impatto, dare stabilità al carico e conservare la progressione.

## 2- APPOGGIO SINGOLO (*single support*)

Il periodo di appoggio singolo dell'arto in stance inizia quando comincia lo swing del contro laterale e termina con il suo appoggio successivo. Durante tale intervallo l'arto in carico sostiene tutto il peso corporeo sul piano sagittale e frontale e nello stesso tempo permette la progressione in avanti. In questo periodo si verificano due fasi del ciclo: l'appoggio intermedio e l'appoggio terminale.

### 2-a APPOGGIO INTERMEDIO (*mid stance*)

Copre dal 10 al 30% del ciclo del passo, per tutta la prima metà della fase di appoggio singolo.

### 2-b APPOGGIO TERMINALE (*terminal stance*)

Copre dal 30 al 50% dell'intero ciclo. Inizia con il sollevamento del tallone dell'arto incarico e termina con l'appoggio del contro laterale.

## 3- AVANZAMENTO DELL'ARTO

L'arto in oscillazione deve essere posizionato correttamente per poter avanzare e prepararsi al successivo contatto a terra. Servono quattro fasi del passo in questo importante passaggio.

### 3-a PREOSCILLAZIONE (*pre-swing*)

Inizia al 50 e termina al 60% del passo e rappresenta la seconda metà del periodo di doppio appoggio. In pratica inizia dal contatto iniziale dell'arto

contro laterale al distacco delle dita dell'arto in carico. Tutti i movimenti di questa fase sono preparatori alla successiva oscillazione.

3-b OSCILLAZIONE INIZIALE (*initial swing*)

Dal 60 al 73% del ciclo. Inizia dal distacco da terra del piede in appoggio sino al momento in cui i due arti sono paralleli.

3-c OSCILLAZIONE INTERMEDIA (*mid swing*)

Dal 73 all'87%. Dal momento in cui gli arti sono paralleli a quando la tibia dell'arto in volo è perpendicolare al terreno.

3-d OSCILLAZIONE TERMINALE (*terminal swing*)

87%-100%. Termina con il contatto del piede con il terreno.

## 1.2 ANATOMIA DEI MUSCOLI ISCHIO CRURALI

I muscoli ischio-crurali (hamstrings nella terminologia anglosassone) sono tre: semimembranoso, semitendinoso e bicipite femorale. Hanno innervazione comune dal ramo tibiale del nervo sciatico eccetto il capo lungo del bicipite che è innervato dal ramo peroneale. Sono tutti bi-articolari eccezion fatta per il capo breve del bicipite femorale, che origina prossimalmente dal terzo medio –prossimale della diafisi femorale (Fig. 3-4). Sono muscoli estensori dell'anca (i bi articolari) e flessori del ginocchio. Sono muscoli attivi durante tutto il movimento (swing e stance) e stabilizzatori della pelvi durante la stazione eretta. La loro funzione principale nel cammino è di limitare la flessione dell'anca e l'estensione del ginocchio durante lo swing (specialmente la fase terminale) tramite la contrazione eccentrica.

-Semitendinoso: così detto per via della forma fusata del suo ventre e dal fatto che presenta un lungo tendine che inizia dal suo terzo medio. E' uno dei tre tendini della zampa d'oca e si inserisce alla regione metafisaria prossimale mediale anteriore di tibia con il semitendinoso ed il gracile.

-Semimembranoso: ampio muscolo nastriforme che si inserisce con un corto tendine, originato da una lunga struttura aponeurotica, alla superficie posteriore del condilo tibiale mediale formando tra l'altro il legamento

popliteo obliquo nella regione capsulare posteriore, importante stabilizzatore del ginocchio. A ginocchio flesso a 90° i semimuscoli (semitendinoso e semimembranoso) producono una lieve intrarotazione di tibia, circa 10°.

-Bicipite femorale: presente un capo lungo ed uno breve. Il primo è il bi articolare originando dalla tuberosità ischiatica, il secondo è il monoarticolare originando dal bordo laterale della linea aspra dal 1/3 medio-distale di femore. A ginocchio flesso a 90° extraruota la tibia. Il bicipite femorale è il maggior estensore dell'anca dei tre muscoli ischiocrurali.

### 1.3 IL CONTROLLO MUSCOLARE DELL'ANCA E DEL GINOCCHIO

In fase di contatto iniziale l'anca è generalmente flessa di circa 30°. Al contatto con il terreno la forza di reazione (GRF: Ground Reaction Force) che parte dal punto di contatto con il terreno (nel cammino normale, il calcagno) passa anteriormente all'anca inducendo sull'articolazione un momento esterno flessorio (Figg. 5-1, 5-2, 5-3, 5-4). Tale caratteristica impone la generazione di una contropinta estensoria per resistere al momento di flessione: a tale scopo si estrinseca l'azione dei muscoli estensori (ischio crurali, grande gluteo e grande adduttore). L'attività degli ischiocrurali ha utilità non solo per mantenere l'anca estesa (o meglio per non farne aumentare la flessione considerando la posizione di partenza in flessione di 30°), ma anche per contrastare la tendenza all'iperestensione del ginocchio imposta dalla GRF anteriore che esercita su di esso un momento estensorio. Immediatamente dopo la fase di contatto iniziale, il ciclo del passo prosegue con la risposta al carico. Durante tale fase di rotolamento, il complesso piede caviglia impone uno spostamento della GRF dietro al ginocchio. Tale nuova posizione produce un momento esterno flessorio all'articolazione.

In contemporanea, la GRF resta anteriormente all'anca. In questa fase il movimento all'anca è minimo, essendo prioritaria la stabilizzazione del tronco per il mantenimento della stazione eretta. In questa fase quindi gli

ischiocrurali partecipano alla flessione del ginocchio con la loro contrazione e contemporaneamente contrastano l'azione di cassetto anteriore sulla tibia assieme al legamento crociato anteriore, indotta dalla contrazione del quadricipite (in verità dei tre vasti in quanto il retto femorale resta inattivo per evitare di accentuare la flessione dell'anca).

In questo momento l'anca, sempre flessa di circa 30°, è sottoposta ad un potente momento flessorio dalla GRF anteriore, che viene contrastato da una contrazione intensa del grande gluteo e del grande adduttore (30% del massimale) mentre gli ischiocrurali mantengono un'attività meno intensa ma costante. Contemporaneamente a tali forze muscolari agiscono il medio e piccolo gluteo che stabilizzano la pelvi nella instabilità coronale. Durante la risposta al carico gli ischiocrurali non mantengono la propria attività in maniera uniforme, infatti il semimembranoso mostra un'attività protratta nel tempo laddove il bicipite femorale esaurisce molto prima la sua contrazione.

Progressivamente le attività muscolari all'anca ed al ginocchio diminuiscono durante l'appoggio intermedio, affidando la stabilità di tutto l'arto inferiore al controllo muscolare distale. La GRF progressivamente si porta anteriormente alle articolazioni tibiotarsica e del ginocchio, e posteriormente all'anca. In questa fase si verifica il toe off (il sollevamento del piede contro laterale) entrando di fatto nella fase di appoggio monopodalico.

Mentre il soleo (e successivamente anche i gemelli con la loro azione combinata sul ginocchio) controlla la flessione della tibia per contrastare il momento dorsiflessorio alla caviglia imposto dall'avanzare della GRF, l'anca si estende fino a ridurre la sua flessione da 30° a 10° più passivamente che attivamente (la GRF è posteriore all'articolazione producendo un momento estensorio sufficiente). La fase di stance prosegue con l'appoggio terminale: avviene una plantiflessione della caviglia in preparazione del toe off ed un avanzamento globale del tronco. Il complesso tricipitale stabilizza passivamente anca e ginocchio. La GRF passa anteriormente al ginocchio e dietro all'anca, ma progressivamente riduce il suo momento estensorio sul ginocchio passando posteriormente ad esso nella preoscillazione. Tale spostamento è preparatorio all'ampio movimento di flessione necessario nella fase di oscillazione per favorire la clearance del piede nell'avanzamento anteriore in appoggio sull'arto contro laterale (servono almeno 60° per effettuare lo stacco da terra del piede). L'anca resta pressoché estesa, il ginocchio si flette. Il capo breve del bicipite in questa fase è protagonista, con una contrazione costante per la flessione di ginocchio. L'anca prosegue la sua flessione sino a riportarsi attorno ai 30°. Si arriva nella fase di oscillazione terminale in cui gli ischiocrurali sono molto attivi per controllare la flessione dell'anca ed evitare l'estensione di ginocchio.

Con l'aumentare della velocità del cammino sino alla corsa veloce, il ciclo del passo diventa progressivamente più rapido (dalla durata media di 1 secondo

per un ciclo completo nel cammino, fino a 0,2 secondi nella corsa a 20 Km/h). Accelerando si verifica una progressiva riduzione della durata di entrambe le fasi (stance e swing) in maniera asimmetrica in quanto aumenta notevolmente il tempo di swing, riducendosi di conseguenza il tempo di appoggio. Ciò si correla in maniera diretta con la maggior suscettibilità alla lesione muscolare da parte degli ischiocrurali nella corsa (20) visto il notevole aumento delle velocità angolari nel ROM e con esse delle forze coinvolte (Fig. 6).

Se durante il cammino gli ischiocrurali sono attivi per circa il 10% del ciclo del passo (dal *terminal swing* all'*initial contact*), durante la corsa aumentano notevolmente il loro lavoro essendo sottoposti per almeno il 25% dello swing a contrazione eccentrica e restando attivi sino ad almeno il primo 50% della stance per estendere l'anca e flettere il ginocchio (in contrazione concentrica). In contemporanea il quadricipite femorale è attivo per frenare e controllare la flessione del ginocchio (Fig. 7).

## 1.4 LE LESIONI MUSCOLARI

Possono classificarsi in diversi modi, comunemente si dividono in due grandi categorie (21):

- 1) Lesioni da trauma diretto (contusione)
- 2) Lesioni da trauma indiretto (cedimento strutturale)

Lesioni da trauma diretto: si tratta degli effetti di una contusione sul tessuto muscolare. La loro gravità viene calcolata sulla base del ROM concesso:

- Lieve: ROM fino al 50%
- Moderata: ROM tra 33 e 50%
- Grave: ROM meno del 33%

Lesioni da trauma indiretto: si tratta delle lesioni parenchimali spesso con elongazione. Secondo la classificazione di Reid (1992) modificata:

- Lesione da esercizio fisico (DOMS: delayed onset muscular soreness)
- Lesioni da strappo:
  - Grado I: minima emorragia, lesione < 5%
  - Grado II: rottura parziale < 33%
  - Grado III: rottura totale o subtotale

L'imaging classicamente utilizzato per la diagnostica ed il monitoraggio delle lesioni muscolari si avvale sostanzialmente di due esami nella pratica clinica: l'ecografia e la Risonanza Magnetica (Fig. 8-9).

## 1.5 LE PROPRIETA' MECCANICHE DEL MUSCOLO SCHELETRICO

Nello studio delle lesioni muscolari degli ischiocrurali, è utile riassumere le principali caratteristiche reologiche del muscolo scheletrico che regolano e definiscono le sue proprietà meccaniche, quindi anche la sua resistenza.

Spesso negli articoli sulle lesioni muscolari si parla di "flessibilità muscolo-articolare" intendendo la capacità di movimento del complesso articolazione muscolo nel ROM totale (22). E' molto comune confondere tale proprietà con l'elasticità, che invece è la proprietà di un corpo, che subisce una deformazione causata da una forza esterna, di riprendere la forma ed il volume iniziali. In ambito fisiologico quindi l'elasticità muscolo-tendinea è la capacità dell'unità muscolo-tendinea (UMT) di allungarsi nel corso della fase eccentrica del movimento ed immediatamente dopo, grazie ad un'adeguata rigidità, poter passare ad una fase concentrica, restituendo sotto forma di lavoro meccanico, l'energia elastica potenziale accumulata nel corso della fase eccentrica.

L'elasticità muscolare è quindi il risultato di un giusto equilibrio tra rigidità ed allungamento del complesso muscolo tendineo, ed assume particolare importanza in tutti i movimenti che prevedano una fase eccentrica immediatamente seguita da una contrazione di tipo concentrico, ossia nel corso di un ciclo, allungamento-accorciamento (23).

Nel corso dell'allungamento muscolare si distinguono due fasi: la prima totalmente a carico dei miofilamenti acto-miosinici (facilmente elongabili), e la seconda a carico dei filamenti di titina, i principali responsabili dell'elongazione del sarcomero e quindi della resistenza all'allungamento o *"resting tension"*.

La titina è una proteina elastica di alto peso molecolare, da 2,5 a 3 dalton (24) che costituisce la terza classe di filamenti, oltre a quelli di actina e di miosina, all'interno del muscolo scheletrico e rappresenta circa il 10% della massa totale della miofibrilla (25). Ogni molecola di titina si estende dalla linea Z (ossia la parte finale del sarcomero) sino alla linea M (che costituisce la parte centrale del sarcomero stesso).

Grazie alla presenza della titina i filamenti di miosina mantengono la posizione centrale all'interno delle due linee Z anche quando il sarcomero è allungato, come durante lo stretching (Fig. 10).

La porzione di titina che si trova nella banda A (ossia l'area scura osservabile all'interno del sarcomero) si comporta come fosse rigidamente legata al miofilamento di miosina, mentre la regione della molecola di titina che è legata alla linea Z presenta un comportamento di tipo elastico (26).

Ciò implica quindi che durante l'allungamento varia solo la lunghezza della porzione di titina connessa alla stria Z (Fig. 11). Il comportamento meccanico della titina potrebbe forse in parte spiegare la particolare estensibilità, od al contrario la tipica rigidità, di alcuni gruppi muscolari.

Alcuni studi hanno dimostrato che il sarcomero può essere allungato sino al 150% della sua lunghezza di riposo (25) anche se è difficile registrare allungamenti del muscolo superiori al 140% (27). Quindi, gli elementi contrattili del muscolo, ossia i sarcomeri, non potrebbero ovviamente costituire un fattore limitante l'allungamento del muscolo stesso, quando quest'ultimo si trova in uno stato di rilassamento. In effetti, in tal senso il più importante fattore limitante sarebbe costituito dal tessuto connettivo che avvolge il muscolo nei suoi vari livelli di organizzazione architettonica (le fibre, i fasci e la totalità del ventre muscolare), ossia dall'endomysio, dal perimysio e dall'epimysio, sebbene non ci sia reale consenso sull'argomento (28). Secondo Trappe e coll (29) in seguito ad un lavoro di tipo eccentrico si verificherebbe un danneggiamento sia della titina, che della nebulina, una proteina ad alto peso molecolare implicata nella regolazione della lunghezza dei miofilamenti di actina e della desmina, proteina il cui compito sarebbe quello di mantenere i sarcomeri in parallelo (30).

Il muscolo possiede dei meccanismi di difesa dall'iper-elongazione, come gli organi tendinei del Golgi (OTG) ed i fusi neuro muscolari (FN). I primi sono organi di senso presenti nello spessore tendineo o alla giunzione muscolo-tendinea; consistono in un gruppo incapsulato di fibre tendinee riccamente innervate da fibre sensitive. Gli OTG risultano disposti in serie rispetto alle fibre muscolari e la loro funzione fisiologica è quella di rispondere alle variazioni di tensione del tendine causate dalla contrazione muscolare e,

meno efficacemente dagli stiramenti di tipo passivo, come ad esempio durante lo stretching (31). Intervengono per ridurre l'eccessiva tensione muscolare, attraverso il riflesso miotatico inverso, che si esplica attraverso un'azione inibitoria nei confronti della muscolatura agonista e di quella sinergica a quest'ultima ed una facilitazione della muscolatura antagonista (30). I fusi neuromuscolari sono invece costituiti da un fascio di sottili fibre striate specializzate che vengono definite intrafusali, le cui estremità sono inserite nella guaina delle comuni fibre muscolari circostanti. Le fibre intrafusali sono innervate da assoni motori di tipo gamma e presentano due estremità sensoriali afferenti, una primaria e l'altra secondaria.

Il fuso neuro-muscolare può essere considerato a tutti gli effetti come un recettore di tensione sensibile allo stiramento del muscolo che determina una risposta fasica ed una tonica così da poter rispondere sia ad un allungamento di tipo fasico , ossia dinamico, che di tipo tonico. Il riflesso miotatico da stiramento (stretch reflex), di cui i fusi sono responsabili, è una risposta muscolare di tipo contrattile, nei confronti di un repentino ed inaspettato aumento della lunghezza del muscolo, rivolta alla sua salvaguardia strutturale. Un ulteriore meccanismo di difesa muscolare è costituito dalla innervazione reciproca, che disattiva o ipoattiva un'antagonista durante il movimento dell'agonista.

La struttura connettivale del muscolo assume peso nella definizione delle sue proprietà reologiche. Il connettivo, infatti, rende conto del 41% della *stiffness* totale (laddove per esempio nella pelle le stime sono del 2% e nei tendini del 10%).

## 2. PAZIENTI E METODI

Si tratta di uno studio retrospettivo su 20 pazienti, seguiti dal 2005 al 2012 (Tabella 1) di cui 7 femmine (35%) e 13 maschi (65%). L'età media era di 28,5 anni, con un massimo di 35 ed un minimo di 22. L'altezza media dei soggetti era di 173,4 cm (168-183), il peso 66 Kg (61-74).

PAZIENTI	ETA' (anni)	Peso (Kg)	Altezza (cm)
1	22	61	170
2	23	65	168
3	26	70	174
4	22	73	183
5	25	74	177
6	28	62	168
7	35	62	171
8	34	64	170
9	29	63	174
10	32	64	176
11	30	74	178
12	25	71	172
13	30	68	174
14	32	61	173
15	27	62	170
16	32	68	174
17	33	67	175
18	27	63	174
19	30	61	176
20	28	67	171
MEDIA	28,5	66	173,4
SD	3,76	4.34	3,54

Tabella 1: i soggetti con lesione degli ischiocrurali ed i relativi dati antropometrici.

Si trattava in tutti i casi di atleti (10 specialmente 100-200 metri, 5 400 metri, 5 1500 metri). In tutti i casi, l'evento è stato acuto, durante la prestazione sportiva di gara, dopo un normale riscaldamento e dopo un normale periodo di allenamento. In tutti i casi si è trattata della prima lesione in soggetti senza precedenti lesioni muscolari a carico degli arti inferiori.

A titolo di controllo sono stati studiati 10 atleti (5 maschi e 5 femmine), di età media 25 anni (21-29), altezza media 172 cm (170-178), peso 64 Kg (60-71) senza pregressa lesione muscolare degli ischiocrurali e sottoposti a valutazione clinica del ROM ed ecografia (Tabella 2).

SOGGETTO	ETA'(anni)	Peso (Kg)	Altezza (cm)
1	21	60	170
2	22	63	172
3	25	66	172
4	29	71	173
5	27	70	178
6	22	60	170
7	26	65	170
8	29	63	173
9	22	61	171
10	27	61	171
MEDIA	25	64	172
SD	2,89	3.76	2,28

Tabella 2: i controlli sani con i relativi dati antropometrici

Nel gruppo dei pazienti il lato affetto era il sinistro in 8 pazienti (40%), il destro in 11 (55%) e bilaterale in 1 caso (5%). Il trattamento è stato per tutti Fisioterapico con riposo, bendaggio, crioterapia e successiva Riabilitazione.

In tutti i casi si è trattato di una lesione di II grado del SM (12 casi) e del CLBF (8 casi). Tutti i pazienti sono tornati alla pratica sportiva abituale dopo un periodo medio di riposo di 13,5 giorni (intervallo 11-21 giorni).

Tutti i soggetti dello studio sono stati valutati eseguendo due misurazioni: una goniometrica dell'angolo popliteo (Fig. 12) ed una ecografica (Fig. 13) per la misura della lunghezza dei muscoli interessati dalla lesione (Semimembranoso, SM e Capo Lungo del Bicipite Femorale, CLBF).

La misura goniometrica dell'angolo popliteo è stata considerata indice della lunghezza e dell'estensibilità degli ischiocrurali. Tale valutazione è stata eseguita a 3-5-7-10-15-21 giorni dal trauma ed è stata confrontata alle misurazioni pre-lesione, disponibili per ogni atleta.

Contemporaneamente alla misurazione goniometrica, è stata eseguita una misura ecografica della lunghezza del SM e del CLBF dei soggetti di studio. Per evitare errori indotti da dolore o contrattura residuale, le misure ecografiche nei soggetti con lesione muscolare sono state eseguite all'ultimo follow-up in ventunesima giornata post lesione.

Nel gruppo dei controlli è stato eseguito un esame goniometrico dell'angolo popliteo ed un esame ecografico della lunghezza del SM e del CLBF.

Lo studio ecografico è stato eseguito dallo stesso operatore e con lo stesso macchinario (Accuson Antares – Siemens TM) con sonda lineare 7,5 Hz, in decubito prono a ginocchio ed anca estesi.

Sono state calcolate media e deviazione standard per il ROM articolare e la lunghezza dei muscoli. Il ROM articolare pre-lesione e la lunghezza dei muscoli sono stati correlati tra loro con un'analisi della correlazione lineare.

La soglia di significatività è stata posta al 5% ( $p < 0.05$ ).

### **3. RISULTATI**

Sono stati messi a confronto i dati inerenti le misurazioni goniometriche del ROM post lesionale in terza, quinta, settima, decima, quindicesima e ventunesima giornata rispetto ai valori pre-lesione. In tutti i casi si è osservata una netta riduzione dei valori angolari nel primo controllo post-trauma (3° giorno) rispetto ai valori di riferimento antecedenti il trauma. I successivi controlli hanno mostrato valori migliorativi del ROM (Tabella 3). Le misurazioni dei controlli sono riportate in Tabella 4, ed appaiono ben confrontabili con quelle dei pazienti pre-lesione.

ROM	PRE	3°	5°	7°	10°	15°	21°
PAZ 1	150	100	110	130	145	150	150
2	145	95	110	135	140	145	145
3	145	110	120	140	145	145	145
4	155	115	120	135	150	155	155
5	160	120	120	140	155	160	160
6	160	105	130	140	155	160	160
7	150	115	125	135	150	150	150
8	150	95	110	135	145	150	150
9	160	120	125	145	155	160	160
10	150	100	110	140	145	150	150
11	145	90	115	120	145	145	145
12	160	115	125	140	160	160	160
13	155	125	130	145	155	155	155
14	160	118	130	142	155	160	160
15	145	102	125	140	145	145	145
16	150	100	125	135	145	150	150
17	150	105	130	140	145	150	150
18	145	120	135	140	145	145	145
19	150	118	135	145	150	150	150
20	155	122	135	145	155	155	155
Media	152	109,5	123,3	138,4	149,3	152	152
SD	5,7	10,6	8,6	6,0	5,4	5,7	5,7

Tabella 3: ROM passivo pazienti con lesione dei muscoli ischio crurali durante il periodo di guarigione (tutti i valori sono in gradi)

Soggetto	ROM	LUNGHEZZA SM	LUNGHEZZA BF
1	160	37	35
2	155	34	36,5
3	160	39	35
4	165	36	32
5	145	37	34
6	155	35	35
7	160	37	34
8	150	38	36
9	155	35	34
10	150	35,5	36
Media	155,5	36,4	34,8
SD	6,0	1,5	1,3

Tabella 4: ROM passivo (gradi) e lunghezza muscolare (cm) nei controlli.

Nei soggetti con lesione muscolare la lunghezza media in ecografia di SM e CLBF variava da 35,9 cm (33-39 cm) per il SM a 35,3 cm (32-38,5 cm) per il CLBF (Tabella 5). Le misurazioni relative ai controlli sono riportate in tabella 4, ed anche in questo caso appaiono ben confrontabili (media SM 36,4 cm, media CLBF 34,8 cm).

PAZIENTE	SM	BF
1	33	32
2	33,5	32,5
3	35	36
4	38	38
5	39	38,5
6	37,5	36,5
7	35	34
8	36,5	38
9	34	33
10	37	36
11	34	33,5
12	39	38,5
13	36	35
14	37	36,5
15	38	35
16	34	32
17	37	35
18	35	36
19	33	34
20	36	35
Media	35,9	35,3
SD	1,9	2,1

Tabella 5: lunghezze muscolari nei pazienti con lesione degli ischio crurali (tutti i valori sono in cm)

La figura 14 [mettere numero progressivo giusto] mostra la relazione tra ROM articolare pre-lesione e lunghezza dei muscoli CLBF e SM nei pazienti con lesione dei muscoli ischio crurali. La figura 15 mostra i valori analoghi ottenuti nei soggetti di controllo.

E' stata trovata una correlazione significativa tra il ROM pre-lesione e la lunghezza del semimembranoso nel gruppo dei soggetti affetti da lesione muscolare ( $r = 0.491$ ,  $r^2 = 0.241$ ,  $p = 0.028$ ; retta  $Y = 0.165 X + 10.746$ ).

Una relazione analoga, al limite della significatività statistica, è stata trovata per il bicipite femorale ( $r = 0.423$ ,  $r^2 = 0.179$ ,  $p = 0.063$ ; retta  $Y = 0.153 X + 11.96$ ). Nel gruppo di controllo invece nessuna delle due lunghezze muscolari è risultata correlata al ROM articolare (SM:  $r = 0.07$ ,  $p > 0.05$ ; BF:  $r = -0.475$ ,  $p > 0.05$ ).

#### 4. DISCUSSIONE

Nel nostro studio le lesioni hanno interessato il SM in 12 pazienti ed il CLBF in 8 pazienti, in sostanziale accordo con Heiderscheit e coll (12). Le lesioni erano localizzate nel terzo medio alla giunzione mio aponeurotica in accordo con Askling e coll (10).

I risultati del presente studio mostrano una correlazione significativa tra il ROM pre-lesione e la lunghezza del semimembranoso nel gruppo dei soggetti affetti da lesione muscolare, ed una relazione al limite della significatività statistica per il bicipite femorale. Al contrario, nel gruppo di controllo nessuna delle due lunghezze muscolari è risultata correlata dal ROM articolare.

Tali dati avvalorano le conclusioni di Bradley e Portas che avevano dimostrato una correlazione tra lesione muscolare e brevità di ROM passivo del ginocchio nel calciatore.

La scarsa distensibilità muscolare passiva potrebbe quindi aumentare il rischio di rottura del semimembranoso e, probabilmente anche del bicipite femorale, nell'atleta così come nel calciatore, pur essendo due attività sportive differenti.

Durante la corsa tali muscoli sono chiamati ad un'attività gravosa dal punto di vista meccanico: essendo estensori d'anca e flessori di ginocchio, il semimembranoso e bicipite femorale sono sottoposti ad un lavoro meccanico differente in stance ed in swing. Raggiungono la massima elongazione in quest'ultima mentre si contraggono concentricamente nella prima (2).

Inoltre la significatività del risultato suggerisce la possibilità di applicazione delle misure ecografiche al training dello sportivo. Fino ad ora, infatti, nel panorama scientifico non sono presenti studi che utilizzino tale metodica come unico elemento di valutazione strumentale.

L'economicità, la non invasività, e la facilità di esecuzione di un esame ecografico potrebbero spingere all'uso di tale metodica durante il training standard. Tali caratteristiche si collegano in maniera diretta con le loro caratteristiche reologiche e la loro distensibilità passiva. La correlazione tra valori angolari di ROM e lesione muscolare stabilisce che nell'atleta come nel calciatore la distensibilità passiva muscolare rappresenta una caratteristica importante e protettiva sul rischio di lesione muscolare. A controprova di ciò l'assenza di significatività tra lunghezze muscolari e ROM nel gruppo di controllo, formato da sportivi che non hanno mai avuto problemi ai muscoli ischiocrurali.

Una seconda utilità dell'uso dell'ecografia è il monitoraggio del processo di guarigione della lesione, che di volta in volta può essere esaminato.

## 5. CONCLUSIONI

Il carico meccanico sugli ischio crurali risulta maggiormente gravoso in *terminal swing*, fase in cui vengono elongati per la maggior parte del tempo. In questo momento del ciclo di passo e nella corsa nell'atleta si verificano maggiormente le lesioni muscolari di questo distretto anatomico. La correlazione tra ROM e lesione muscolare aggiunge un'informazione utile per la preparazione atletica al fine di enfatizzare al massimo lo stretching muscolare durante la preparazione atletica.

Inoltre l'ecografia si è mostrata avere buona sensibilità nelle misurazioni in considerazione del fatto che i valori di lunghezza rilevati sono simili a quelli pubblicati da Kumazaki e coll (16) nelle misurazioni dopo espanto da cadavere.

Ciò rappresenta un punto di grande interesse: l'ecografia infatti potrebbe diventare un *useful tool* nella prevenzione e nel recupero post lesione.

Potrà essere utile estendere il presente studio ad un numero maggiore di atleti, valutando la possibilità di individuare un *golden standard* per le lunghezze muscolari a riposo rispetto ai dati antropometrici (specialmente l'altezza del soggetto e la lunghezza del femore).

Una informazione del genere potrebbe avere importanti ripercussioni qualora dimostrasse di essere realmente protettiva sull'infortunio.

Ridurre infatti la frequenza di tali lesioni muscolari nell'atleta professionista avrebbe un effetto sui giorni di assenza dall'attività sportiva dell'atleta con ovvi effetti dal punto di vista della performance oltre che economici.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1)** Benazzo F, Marullo M, Pelillo F, Indino C, Zanon G. Surgical management of chronic proximal hamstring tendinopathy in athletes: a 2 to 11 years follow up. *J Orthop and Traum* 2013 in press
- 2)** Chumanov E.S., Heiderscheit B.C., Thelen D.G. Hamstring musculotendon dynamics during stance and swing phase of high speed running. *Med Sci Sports Exerc* 2011, 43(3), 525-532
- 3)** Feeley B.T. Epidemiology of National Football League training camp injuries from 1988 to 2007. *The Am Journ Sport Med* 2008;36:1597-1603
- 4)** Hoskins WT, Pollard H. Injuries in Australian Rules Football: a review of literature. *The Academy of Chiropratics Orthopedists.* 2003;11:49-56
- 5)** Orchard J, Best TM. The management of muscle strain injuries: an early return versus the risk of recurrence. *Clin J Sport Med.*2002;12:3-5
- 6)** Gabbe BJ, Bennel KL, Finch CF. Why are older Australian football players at greater risk oh hamstring injury? *J Sci Med Sport.* 2006;9:327-333
- 7)** Garrett WE Jr. Muscle strain injuries. *Am J Sports Med.*1996;24:S2-8
- 8)** Chumanov ES, Schache AG, Heidercheit BC, Thelen DG. Hamstrings are most susceptible to injury during the late swing phase of sprinting. *Br J Sports Med* 2012;46:90
- 9)** Yu B, Queen RN, Abbey AN, Liu Y, Moorman CT, Garrett WE. Hamstrings muscle kinematics and activation during overground sprinting. *J Biomech* 2008;41:3121-3126
- 10)** Orchard JW Hamstrings are most susceptible to injury during the early stance phase of sprinting. *Br J Sports Med* 2012;46:88-89
- 11)** Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *Am J Sports Med.* 2007;35:197-206

- 12) Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging and recovery characteristics. *Am J Sports Med.* 2007;35:1716-1724
- 13) Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010;40(2):67-81
- 14) Cameron ML, Adams RD, Maher CG, Misson D. Effect of the HamSprint Drills training programme on lower limb neuromuscular control in Australian football players. *J Sci Med Sport* 2009;12:24-30
- 15) Bradley P.S. and Portas M.D. The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2007 Nov;21(4):1155-9
- 16) Kellis E, Galanis N, Natsis K, Kapetanios G. Muscle architecture variations along the human semitendinosus and biceps femoris (long head) length. *J Electromyogr Kinesiol* 2010;20:1237-1243
- 17) Kumazaki T, Ehara Y, Sakai T. Anatomy and physiology of hamstring injury. *Int J Sports Med* 2012;33:950-954
- 18) Shirai YF, Galante D, Bellocchio M, Sofrza C. Analisi del cammino: comparazione della cinematica tra terreno e *treadmill* Il Fisioterapista 2009;5:55-70
- 19) Perry J Gait analysis: normal and pathological function. Elsevier 1992
- 20) Agre JC. Hamstring injuries: proposed aetiological factors, prevention and treatment. *Sports Med* 1985;2:21-33
- 21) Ferrario A, Monti GB, Jelmoni GP Traumatologia e lesioni muscolari, 1999 Edi-Ermes
- 22) Bjorklund M, Hamberg J, Crenshaw G. Sensory adaptation after 2-week stretching regimen of the rectus femoris muscle. *Arch Phys Med Rehabil* 2001 82;1245-54
- 23) Bisciotti GN, Bertocco R, Gaudino C, Iodice PP. Insulto traumatico e deficit elastico muscolare. *Sport e Medicina* 2001;6:35-39
- 24) Maruyama K, Kimura S, Yoshidomi H, Sawada H, Kikuchi. Molecular size and shape of b-connectin, an elastic protein of striate muscle. *J Biochem* 1984;95(5):1423-1433

- 25)** Wang KR, McCarter J, Wright J, Beverly J, Ramirez-Michell R. Regulation of skeletal muscle stiffness and elasticity by titin isoforms: a test of the segmental extension model of resting tension. *Proceedings of the National Academy of Science* 1991; 88(6):7101-7105
- 26)** Whiting A, Wardale J, Trinick J. Does titin regulate the length of the muscle thick filaments? *J Molec Biol* 1989;205(1):263-268
- 27)** Wiemann K, Hahn K. Influence of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. *Int J Sports Med* 1997;18:340-346
- 28)** Magid A, Law DJ. Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscle. *Science* 1985;13,230(4731):1280-82
- 29)** Trappe TA, Carrithers JA, White F, Lambert CP, Evans WJ, Dennis RA. Titin and nebulin content in human skeletal muscle following eccentric resistance exercise. *Muscle Nerve* 2002;25(2): 289-292
- 30)** Lieber RL, Shah S, Friden J. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction *Clin Orthop* 2002;403:90-99
- 31)** Moore JC. The Golgi tendons organs: a review and update. *Am J Occup Ther* 1984;38(4):227-236

## ICONOGRAFIA

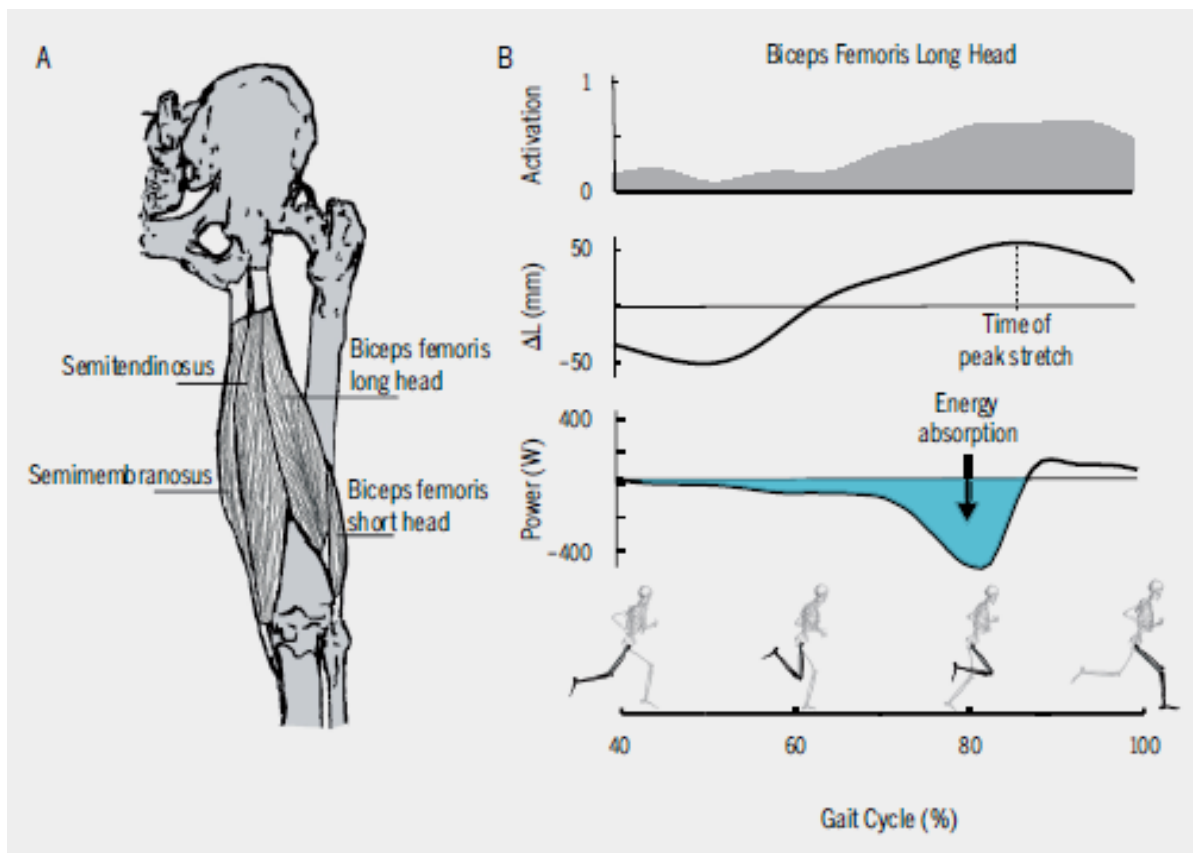


Fig 1: gli ischiocrurali. Nella fase di swing si verifica un allungamento (specie del capo lungo del bicipite, qui mostrato). Nel picco di assorbimento di energia (picco di allungamento in contrazione eccentrica), si verificano più spesso le rotture muscolari durante la corsa (da Heiderscheit BC et al Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation and injury prevention).

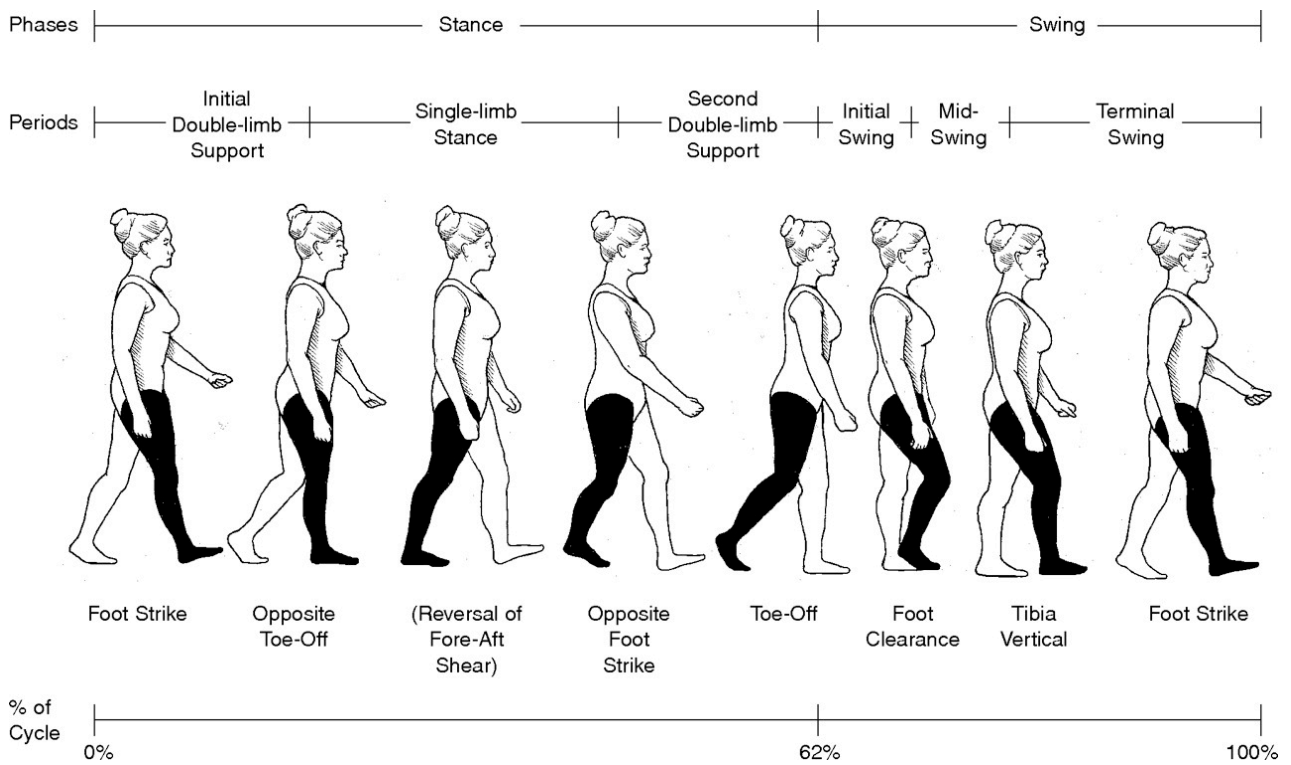


Fig 2: il ciclo del passo. Da Sutherland DH et al. Kinematics of normal human walking. Williams and Wilkins, 1994

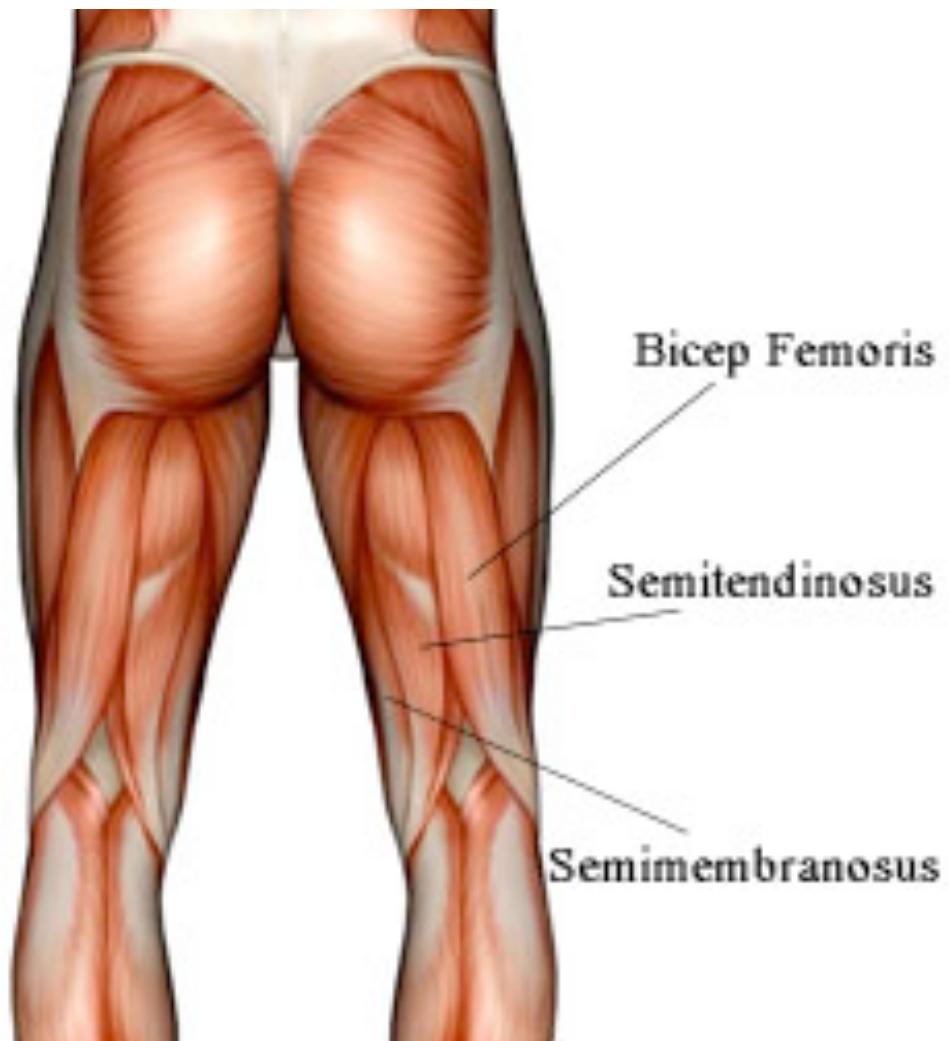
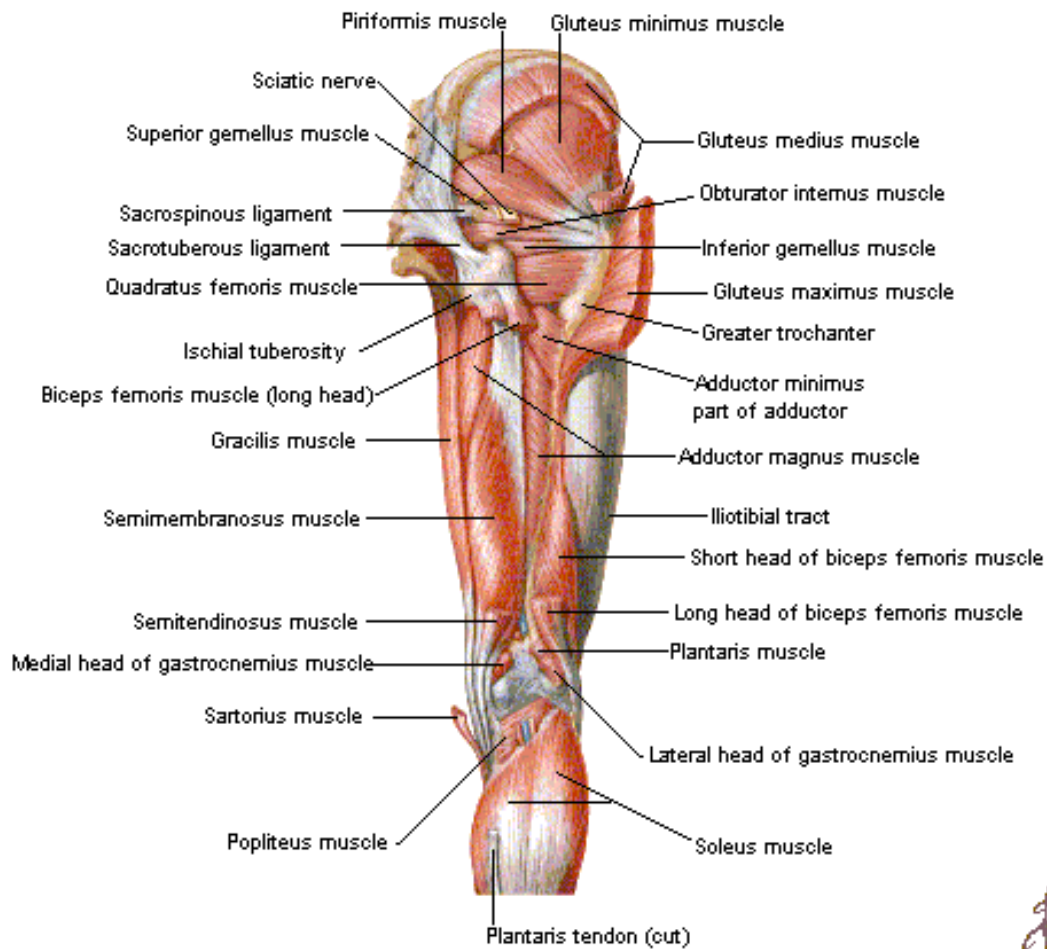


Fig 3: i muscoli ischio crurali. Da Puddu G Rehabilitation of sports injuries.

## Muscles of Hip and Thigh

### Posterior View - Deeper Dissection



*F. Netter M.D.*  
© CIBA-GEIGY

Fig 4: i muscoli ischio crurali. Da Netter Atlante di anatomia umana.

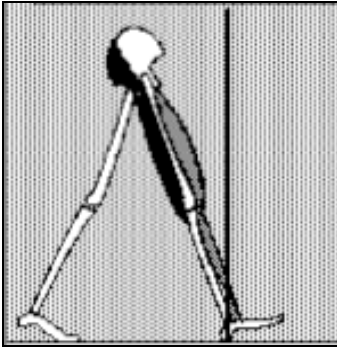


Fig. 5-1

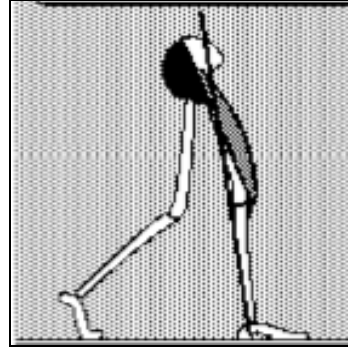


Fig. 5-2

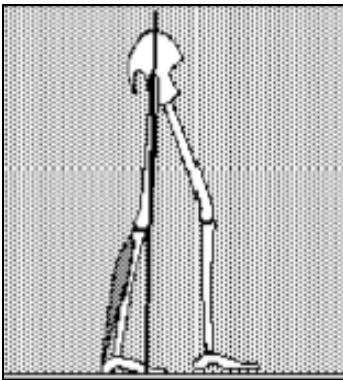
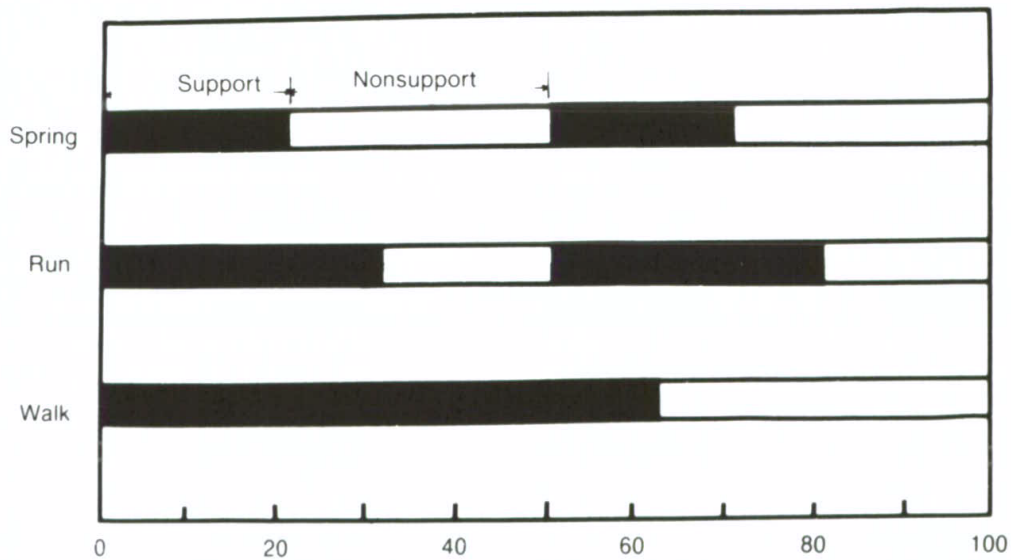


Fig. 5-3



Fig. 5-4

Fig. 5-1, 5-2, 5-3, 5-4: la Ground Reaction Force (GRF) nelle fasi di stance. *initial contact* (5-1), *loading response* (5-2), *mid-stance* (5-3), *terminal-stance* (5-4). Da Cerny, K. Pathomechanics of stance: Clinical concepts for analysis. Physical Therapy



% ciclo del passo

Fig 6: Con l'aumentare della velocità della corsa il periodo di sospensione (entrambi i piedi sollevati da terra) aumenta. Diminuisce il tempo di stance ed aumenta il tempo globale di swing e float (da Agre JC. Hamstring injuries: proposed aetiological factors, prevention and treatment)

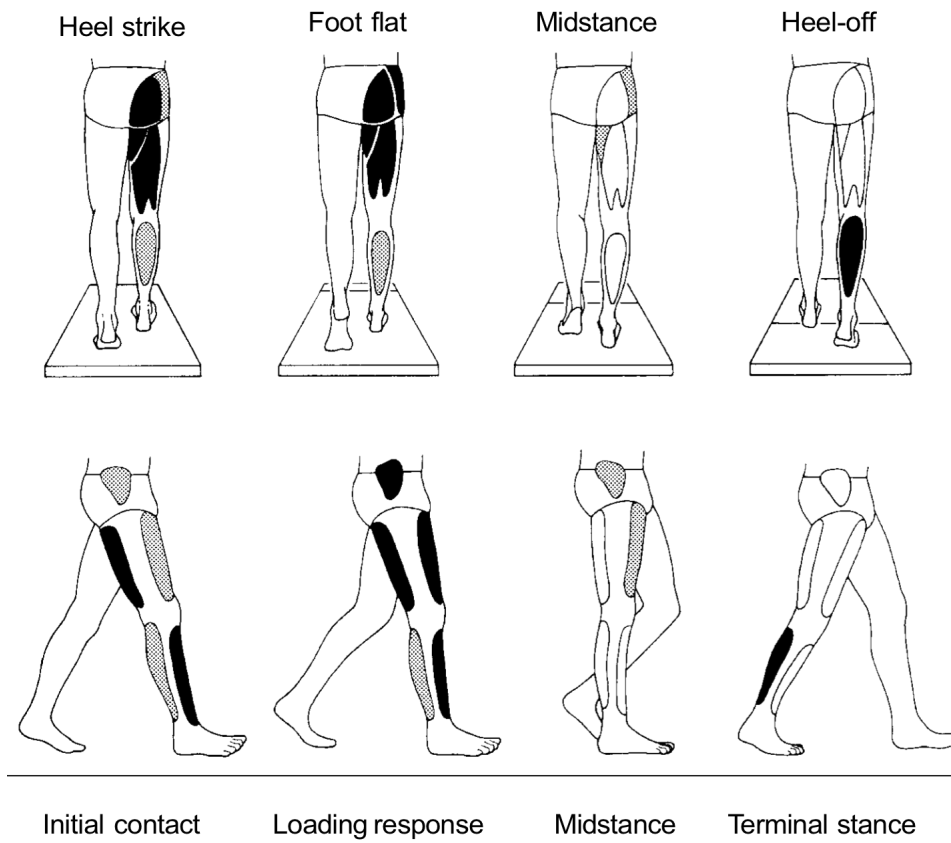


Fig 7: azione fasica delle principali masse muscolari coinvolte nel cammino, da Dynamics of human gait, Vaughan CL et al 2nd ed. 1999

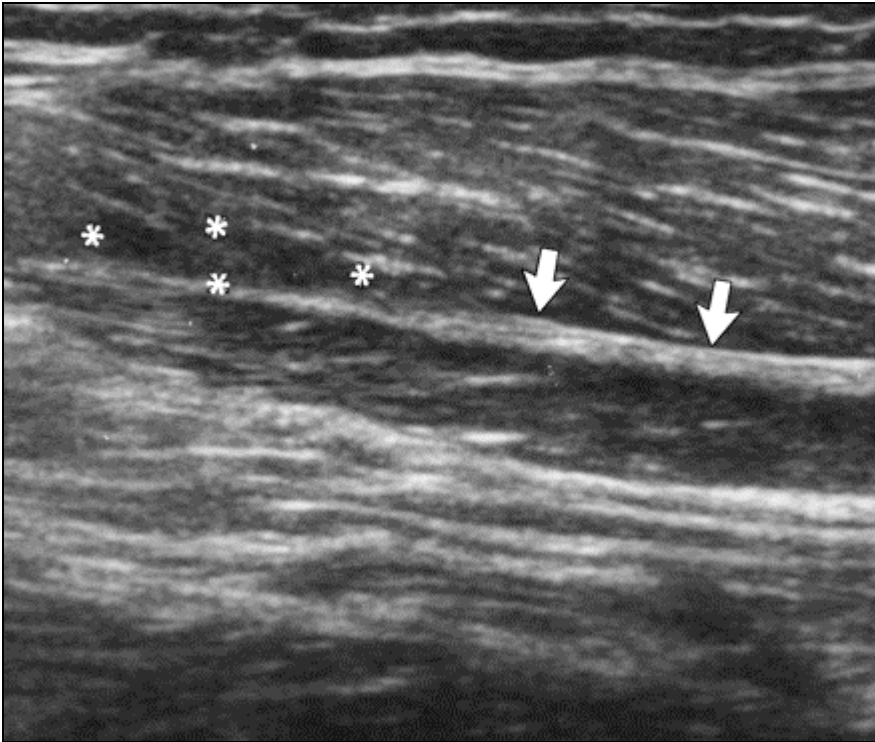


Fig 8: immagine ecografica di lesione di I° del capo lungo del bicipite  
Ematoma nel gap muscolare e distacco delle fibre dalla giunzione mio  
tendinea a carico del CLBF

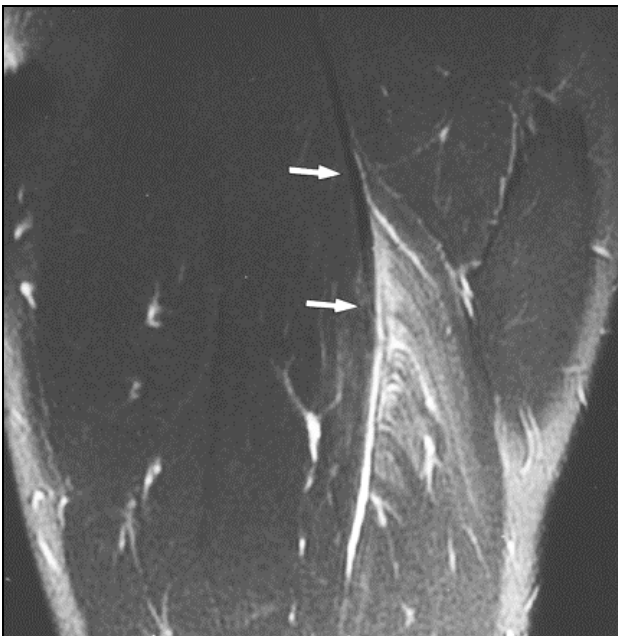


Fig 9: immagine RM di lesione di I° del capo lungo del bicipite. Le frecce  
indicano l'edema lesionale a carico del CLBF

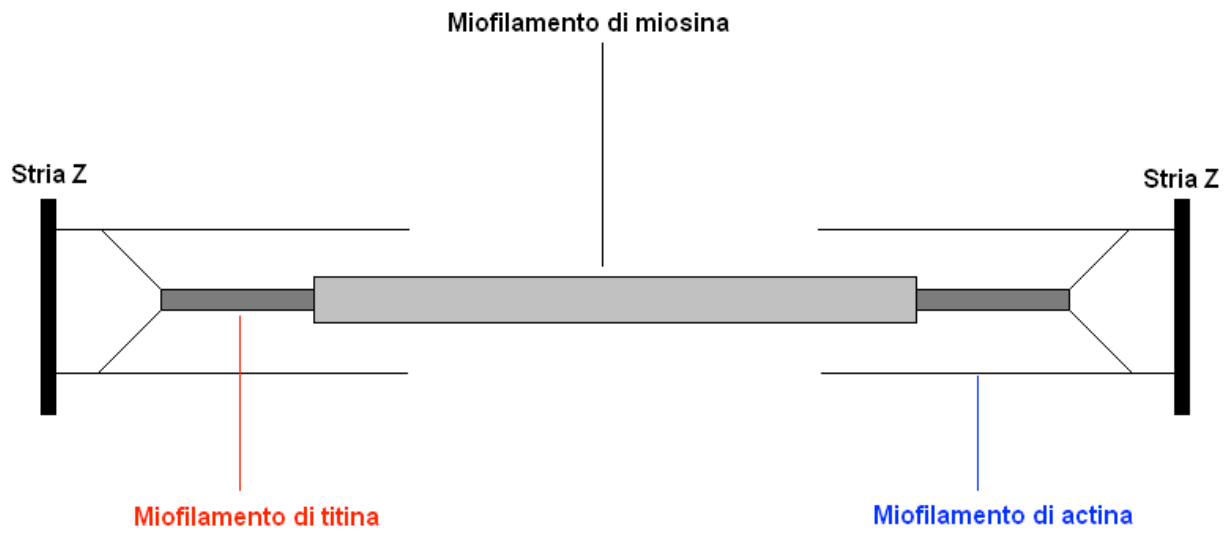


Figura 10: il sarcomero in funzione dei miofilamenti di miosina, actina e titina.

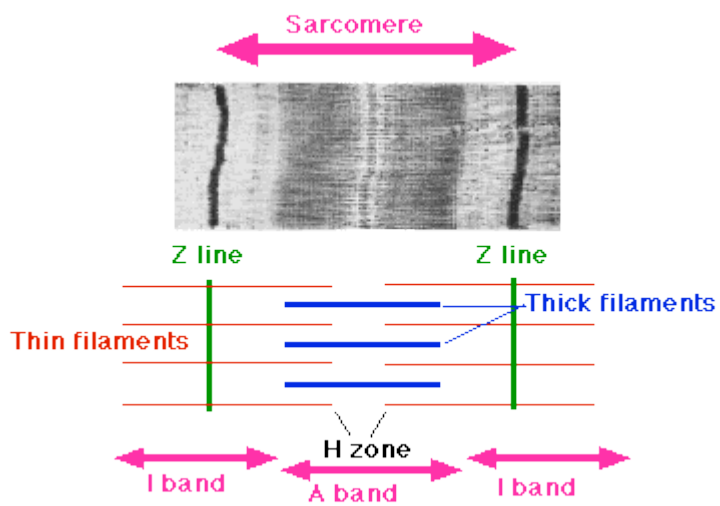


Figura 11: Il sarcomero



Figura 12: angolo popliteo misurato con anca flessa estendendo progressivamente il ginocchio



Figura 13: la misura ecografica in posizione prona ad anca e ginocchio esteso

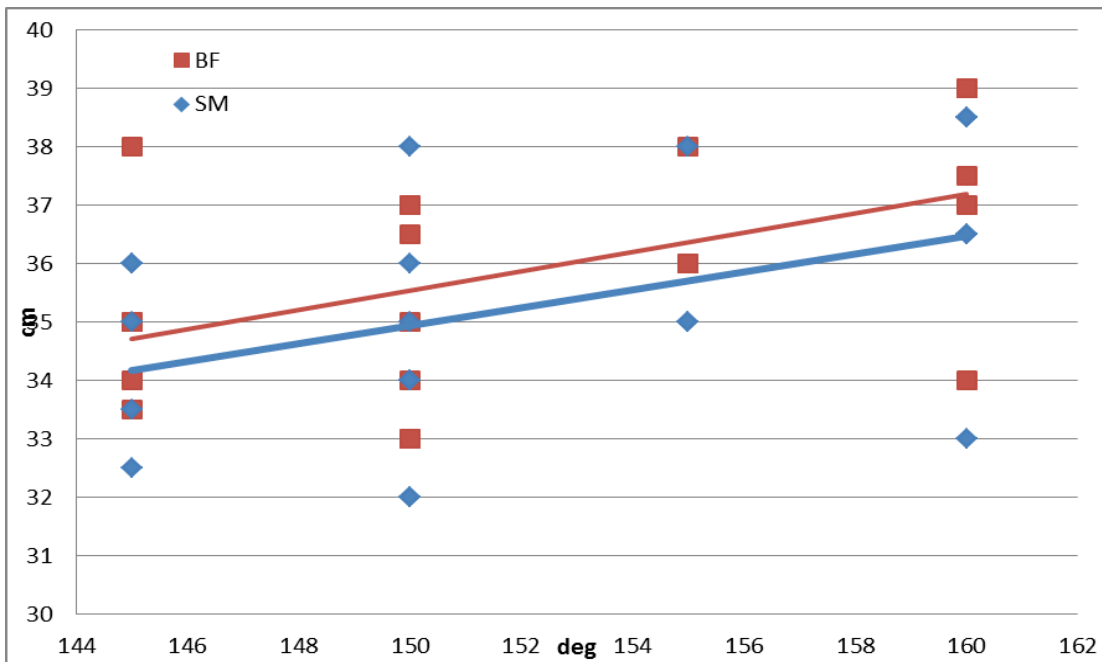


Figura 14: ROM articolare e lunghezza muscolare in 20 pazienti con lesione dei muscoli ischiocrurali. Sono riportate anche le relative rette di regressione.

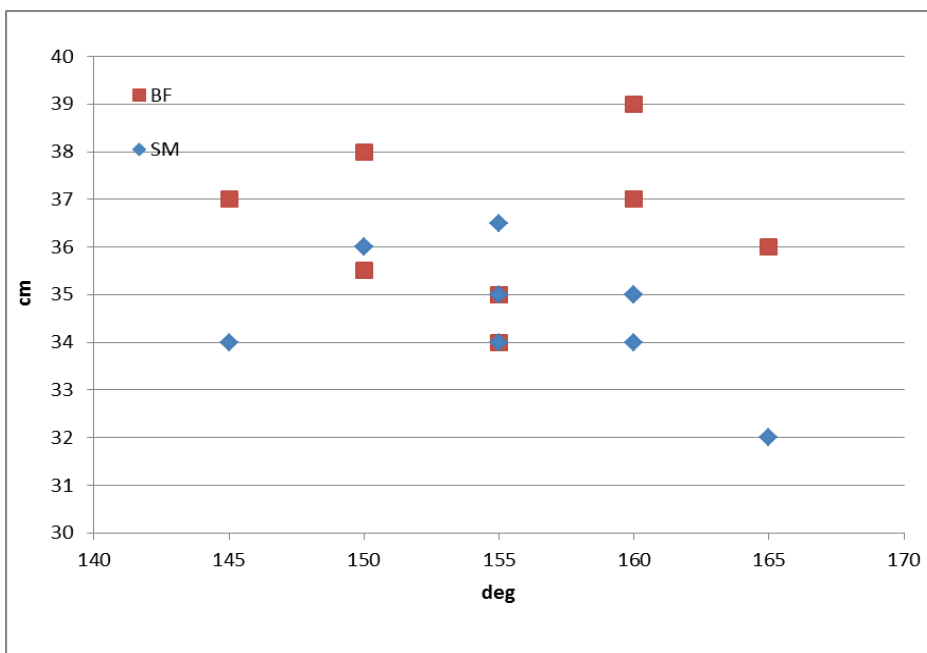


Figura 15: ROM articolare e lunghezza muscolare in 10 soggetti di controllo