

Rischio di infortunio agli *hamstring* nelle discipline di corsa veloce dell'atletica leggera

Sannicandro I., Di Molfetta D., Moscatelli F., Piccinno A.

Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive, Università di Foggia

1. Prestazione sportiva e rischio di infortunio

E' piuttosto difficile descrivere in cosa consista un infortunio sportivo perché, finora, la quantificazione degli infortuni sportivi ha risentito eccessivamente del punto di vista clinico: eziologia e diagnosi sono aspetti che hanno ancora un ruolo prioritario sia rispetto alla quantificazione della gravità di un infortunio, sia rispetto all'analisi di eventuali correlazioni tra tipologia di mezzi allenanti selezionati e tipologia di trauma (Sannicandro 2009). In alcuni studi, soltanto gli eventi che necessitano di cure mediche sono considerati infortuni (Schafle et al. 1990); in altri un infortunio, per essere considerato tale, deve determinare un intervento terapeutico e il riposo per almeno una settimana (Ekstrand, Gillquist 1983). Queste definizioni, essendo influenzate troppo dall'aspetto clinico, sono estremamente selettive per adeguarsi al punto di vista dell'atleta e dell'allenatore; dal punto di vista dell'atleta, l'aspetto fondamentale della maggior parte degli infortuni è legato agli effetti che questi provocano sulla prestazione agonistica e sulle sessioni di allenamento. Una definizione che maggiormente si adatta a questa problematica, spiega un infortunio come: "un evento sfavorevole che si realizza durante l'attività sportiva e provoca l'inabilità ad allenarsi o gareggiare normalmente" (Watson 1993). Gli infortuni vengono

classificati in base alla durata dell'assenza dalle sessioni di allenamenti e dagli incontri in quattro categorie:

1. Lievi (1/3 giorni di assenza);
2. Minori (4/7 giorni di assenza);
3. Moderati (8/28 giorni di assenza);
4. Maggiori (di 28 giorni di assenza).

Inoltre, al fine di delineare efficaci misure di prevenzione, sono state proposte le seguenti definizioni di causa di infortunio:

- Estrinseche: dovute ad un evento di estrema violenza, come un calcio o una caduta;
- Intrinseche: dovute alle sollecitazioni a cui un individuo è sottoposto.

Inoltre, una lesione, può essere considerata come "acuta" o "da sovraccarico": una lesione acuta è il risultato di un singolo, improvviso, evento traumatico; invece le lesioni da sovraccarico funzionale si sviluppano gradualmente, nel corso di un periodo prolungato d'impegno del segmento corporeo che poi risulterà infortunato (Sannicandro 2009). L'evento lesivo a livello muscolare costituisce uno degli infortuni traumatici più ricorrenti in ambito sportivo (Bisciotti 2009). Le conseguenze per lo sportivo, che ovviamente sono correlate all'entità della lesione, sono sempre sgradevoli e comportano la sospensione dell'attività agonistica. Il danno strutturale



della fibra muscolare può essere causato sia da una singola contrazione, sia dall'effetto cumulativo di una serie di contrazioni (Armstrong et al., 1991). Il meccanismo maggiormente correlato al danneggiamento della fibra risulterebbe la contrazione di tipo eccentrico (Armstrong 1990; Garret 1990). Il motivo del maggior rischio di infortuni durante contrazione eccentrica, è imputabile alla maggior forza registrabile durante questo tipo di contrazione rispetto alle contrazioni di tipo concentrico e isometrico. Infatti durante una contrazione eccentrica, la forza espressa dal distretto muscolare interessato è di ben tre volte maggiore rispetto a quella prodotta, alla stessa velocità, durante una contrazione concentrica. Inoltre, durante una contrazione eccentrica, risulterebbe anche maggiore la forza generata dagli elementi passivi del tessuto connettivo del muscolo sottoposto ad allungamento (Bisciotti 2009). Durante questo tipo di contrazione il muscolo è sottoposto a un fenomeno di *overstretching*, che



può determinare l'insorgenza di lesioni a livello dell'inserzione tendinea, della giunzione muscolo-tendinea, o di una zona muscolare resa fragile da un deficit di vascolarizzazione. E' interessante notare come i muscoli pluriarticolari siano quelli maggiormente esposti all'evento traumatico, proprio per il fatto di dover controllare, attraverso la contrazione eccentrica, il range articolare di due o più articolazioni (Warren et al., 2002). Inoltre è importante sottolineare che le fibre muscolari a contrazione rapida (FT), sono più esposte a danni strutturali rispetto a quelle a contrazione lenta (ST) (Warren et al., 2002; Friden, Lieber, 1992). Alcuni studi hanno dimostrato come nel corso della fase eccentrica del movimento, l'attività elettromiografia mostri un reclutamento preferenziale di fibre FT (Potvin 1997). Inoltre è doveroso sottolineare che l'insulto traumatico sia prevalentemente localizzato a livello della giunzione muscolo tendinea, a testimonianza del fatto che, in questa zona, come nel resto della porzione finale della fibra muscolare, si verifichi il maggior stress meccanico (Garrett 1990; Garrett et al., 1987; Lieber et al., 1991). In fine occorre sottolineare che, durante una contrazione di tipo eccentrico, la perfusione muscolare viene drasticamente diminuita con conseguente deficit funzionale del meccanismo aerobico, questo fa sì che il lavoro svolto sia di tipo prevalentemente anaerobico; questo determina sia un aumento della temperatura, dell'acidosi e una marcata anossia cellulare. Questi eventi metabolici si traducono in un'aumentata fragilità muscolare e in una possibile necrosi, sia a livello muscolare che del connettivo di sostegno (Middleton et al., 1994).

2. Cenni di biomeccanica muscolare

I muscoli ischiocrurali sono 3 e sono situati nel lato posteriore della coscia:

- 1) Bicipite femorale
- 2) Semitendinoso
- 3) Semimembranoso

Azioni: Tutti e 3 sono coinvolti nella flessione del ginocchio e nell'estensione dell'anca ma a causa dei differenti punti d'inserzione, il bicipite femorale è responsabile della rotazione laterale della tibia mentre gli altri 2 muscoli sono responsabili dell'azione opposta di rotazione mediana della tibia.

Punti di origine ed inserzione: Tutti e 3 originano dalla tuberosità ischiatica. Tuttavia, le inserzioni sono

Tabella 1. Origini, inserzioni ed azioni dei 3 muscoli ischio crurali

Muscolo	Bicipite femorale	Semitendinoso	Semimembranoso
Origine	Capo lungo: tuberosità ischiatica Legamento sacrotuberoso Capo breve: linea	Tuberosità ischiatica	Tuberosità ischiatica
Inserzione	Testa della fibula Condilo tibiale laterale	Parte superiore della faccia mediale della tibia	Lato posteriore del condilo mediale della tibia
Azione	Flessione del ginocchio Estensione dell'anca Rotazione laterale della tibia sul femore	Flessione del ginocchio Estensione dell'anca Rotazione mediale della tibia sul femore	Flessione del ginocchio Estensione dell'anca Rotazione mediale della tibia sul femore

differenti, con il semitendinoso ed il semimembranoso ancorati sulla parte superiore della faccia mediale della tibia ed il bicipite femorale sul condilo laterale della tibia.

Caratteristiche: I 3 muscoli ischiocrurali sono biarticolati, ossia, attraversano 2 articolazioni (anca e ginocchio). Sebbene questo sia funzionalmente molto utile perché i muscoli possono influenzare 2 articolazioni diverse, le rende anche vulnerabili agli infortuni specialmente quando i muscoli sono completamente distesi e quando gli atleti effettuano arresti improvvisi o cambi di direzione (tabella 1).

2. Rischio di infortunio al distretto degli hamstring nelle discipline di corsa veloce.

Il rischio di infortunio agli hamstring caratterizza non solo i praticanti le discipline di corsa veloce di atletica leggera, ma anche tutti gli sportivi che ricorrono a tale gestualità nell'ambito del modello di prestazione.

Per tale ragione è possibile assumere informazioni significative, sia dal punto di vista epidemiologico che biomeccanico da tutti gli sport nel cui modello di prestazione assume rilevanza l'accelerazione (e la decelerazione).

Lesioni agli hamstring causate da sforzi sono comuni in sport che comprendono sprint e salti (Yeung et al., 2009; Woods et al., 2004; Arnason et al., 2004; Askling et al., 2003; Orchard, Seward, 2002; Bennell, Crossley, 1996).

Gli infortuni agli hamstring rappresentano il 50% di tutte le lesioni in sprinter (Arge 1985) e il 40% in giocatori di calcio (Ekstrand 1983).

Per comprendere l'entità del rischio di infortunio agli

hamstring, è opportuno considerare che tale trauma è considerato di natura multifattoriale: per cui, per affrontare nel modo più esaustivo ma sintetico il problema, è necessario descrivere tutti gli aspetti che, per motivi diversi, possono determinare una lesione muscolare agli ischiocrurali.

L'osservazione degli infortuni e la loro descrizione porta a concludere che tipicamente un infortunio avviene durante un'accelerazione o una corsa alla massima velocità (Sherry, Best, 2004; Woods et al., 2004). Gli ischiocrurali hanno una proporzione relativamente alta di fibre a contrazione rapida di tipo II che sono in grado di produrre grandi forze (Noonan, Garret, 1999; Garrett et al., 1984;). A causa della loro natura bi-articolare, gli ischiocrurali sono sensibili a traumi durante forti contrazioni eccentriche (Brockett et al., 2004). Si è visto che gli infortuni coinvolgono principalmente le fibre di tipo II dopo attività eccentriche intense come la corsa (Brockett et al., 2002; Lieber, Friden, 1988). Una forte contrazione eccentrica degli ischiocrurali avviene nella parte finale della fase di oscillazione della gamba nella falcata, quando gli stessi rallentano la flessione dell'anca e l'estensione del ginocchio (Montgomery et al., 1994); questa si pensa essere la situazione più comune di insorgenza degli infortuni (Verrall et al., 2001).

Infortuni agli ischiocrurali possono anche presentarsi all'inizio della fase di appoggio del piede nella corsa, quando l'attività degli stessi è alta (Orchard 2002). Questo tipo di infortunio è più comune tra atleti con modesta tecnica, ridotta forza del grande gluteo, in considerazione dell'azione che questo muscolo svolge quale estensore principale dell'anca nella corsa (Simonsen et al., 1985). Durante lo sprint,

gli ischiocrurali agirebbero come un trasduttore di potenza tra il ginocchio e l'articolazione dell'anca per contribuire ad estenderla. Il trasferimento di potenza infatti è essenziale nell'eseguire movimenti esplosivi come lo sprint (Gragoire et al., 1984). Alterazioni significative nei pattern di reclutamento durante la corsa veloce possono verificarsi a carico degli estensori dell'anca, con conseguente inibizione dell'attività del grande gluteo e incremento del carico per gli ischiocrurali, laddove il soggetto presenta una disfunzione a livello lombare (Vogt et al., 2003). L'inibizione dell'azione del grande gluteo durante lo sprint può infatti comportare per gli ischiocrurali un maggiore sforzo nell'azione di estensione dell'anca, piuttosto che operare nel loro ruolo di trasduttori, predisponendoli, pertanto, a potenziali infortuni. Con l'aumentare della velocità di corsa, la durata della fase di appoggio diminuisce (Mann, Hagy, 1980), il che comporta un controllo neuromuscolare pelvico-lombare maggiore per minimizzare il dispendio di energie e massimizzare l'efficienza della corsa. I muscoli erettori spinali lombari sono i più attivi durante le fasi iniziali dell'appoggio (Thorstensson et al., 1982) e può accadere che un deficit di forza o un'attivazione insufficiente di questi muscoli compromettano la stabilità funzionale intersegmentale lombare nella zona neutra. Il controllo del movimento intersegmentale attorno alla zona neutra è stato considerato come un parametro principale dell'instabilità funzionale della colonna (Panjabi 1992), se non altro perché il movimento degli arti inferiori necessita del controllo delle anche e della zona lombare. La zona neutra aumenta il suo arco di movimento come primo sintomo di insorgenza di un infortunio (Oxland, Panjabi, 1992). Per comprendere i rapporti funzionali tra i due distretti corporei in questione è utile conoscere i segni clini correlati con la lombalgia: a tal riguardo è stato osservato che l'attivazione ritardata (Hodges, Moseley, 2003), l'atrofia (Hides et al., 1996), l'affaticamento ed il mancato adattamento in termini di resistenza (Biedermann et al., 1991) del muscolo multifido sono stati riscontrati in soggetti con lombalgia, i quali evidenziavano una ridotta capacità di effettuare contrazioni coordinate per la stabilità della colonna nella zona neutra. Inoltre è stato dimostrato che in situazioni in cui è presente dolore al tratto lombare (Hodges et al., 2003), vi è un'attivazione ritardata del muscolo trasverso dell'addome (Hodges, Richardson, 1998). Questo



può causare una situazione in cui il bicipite femorale si contrae per stabilizzare il sistema della fascia toraco-lombare (TLF) in compensazione, il che aumenterebbe il rischio di infortunio (Hungerford et al., 2003).

Le anomalie nelle meccaniche pelvico-lombari sono state indirettamente considerate concause degli infortuni agli ischiocrurali. Una ridotta flessibilità del flessore dell'anca e del quadricipite è stata indicata come fattore di rischio per gli infortuni agli hamstring (Gabbe et al., 2005), così come è stato identificato rilevante fattore di rischio l'inclinazione unilaterale anteriore dell'ilio (Cibulka et al., 1986). A supporto delle relazioni tra tratto lombare ed incidenza di infortunio, osservando un gruppo di atleti con precedente storia di infortuni agli hamstring sono stati rilevati numerosi soggetti con evidente lordosi lombare, rispetto ad un gruppo di controllo composto da atleti senza storia di precedenti infortuni (Hennessey, Watson, 1993). Ancora, in uno studio prospettico, le lesioni ai muscoli della coscia (ischiocrurali, quadricipiti e adduttori) sono state collegate ad un'eccessiva lordosi lombare ed associate al sito dell'infortunio per inadeguata biomeccanica del movimento corretto (Watson 1995, 2001). L'autore ha concluso che gli atleti professionisti, i quali sono in grado di effettuare sprint molto intensi che determinano forti accelerazioni, hanno bisogno di compensare necessariamente i difetti posturali per ridurre il rischio di infortuni (Watson 2001).

L'anteroversione del bacino o lower crossed syndrome (Fig.1), determina una contrattura dei muscoli flessori dell'anca, dell'ereettore lombare, una modesta forza dei glutei associata a quella della

muscolatura addominale: il quadro biomeccanico può comportare uno spostamento in avanti del bacino che causa una maggiore flessione dell'anca e, conseguentemente una iperlordosi lombare, con un aumento del carico di lavoro sugli hamstring (Janda, 1996).

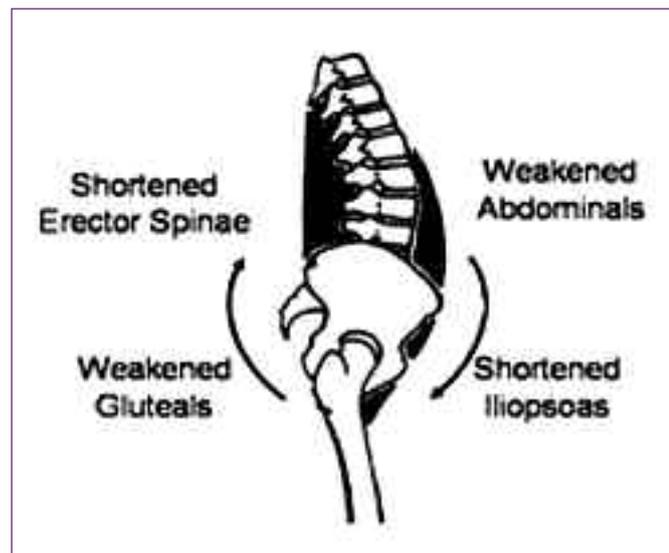


Figura 1

Le funzioni alterate dall'inclinazione dell'anca modificano anche la biomeccanica degli ischiocrurali ed influenzano gli innesti fasciali della parte superiore del busto (Leibenson, 2001). Questa situazione, fa contrarre maggiormente gli hamstring per compensare lo squilibrio e la modesta forza della muscolatura glutea nell'estensione dell'anca, e di conseguenza aumenta il rischio di trauma a carico degli hamstring. Alcuni ricercatori hanno dimostrato che migliorando le meccaniche pelvico-lombari, i muscoli ischiocrurali non lavorano più per compensare lo squilibrio derivante dalla colonna riducendo quindi il rischio di infortunio (Hoskins, Pollard, 2005). Anche l'eventuale presenza di un precedente infortunio nella storia sportiva del soggetto costituisce un fattore di rischio: sembrerebbe infatti che il fattore di rischio maggiore per le lesioni da sforzo sia rappresentato proprio da una precedente lesione (Lee et al., 2009; Croisier et al., 2008; Gabe et al., 2006).

Si pensa che i fattori di rischio associati alla recidiva di un infortunio siano, con tutta probabilità, già responsabili del primo infortunio (Croisier 2004). A seguito di una lesione, il tessuto muscolare è spesso incapace di rigenerarsi e ritornare allo stato pre-

infortunio (Connell et al., 2004).

In uno studio sono state presentate le prove di tessuto cicatriziale molti mesi a seguito del ritorno alla piena attività sportiva di un atleta (Silder et al., 2008). In particolare, la sostituzione del tessuto contrattile col tessuto connettivo della cicatrice potrebbe modificare i percorsi di trasmissione della forza (Huijing 2003). Diversi autori hanno inoltre suggerito che gli infortuni e il rischio del re-infortunio, possono dipendere dalla modesta forza degli hamstring e/o uno squilibrio tra quadricipite e bicipite femorale (Silder et al., 2010; Lee et al., 2009; Yeung et al., 2009; Croisier et al., 2008; Orchard et al., 1997).

Anche la coordinazione intermuscolare associata a squilibri di forza tra agonisti ed antagonisti rientra tra le possibili cause di infortunio. Un quadricipite troppo forte può incrementare di molto la velocità di estensione del ginocchio nella seconda metà di oscillazione della gamba, tale da imporre grandi carichi inerziali sui muscoli posteriori della coscia in allungamento attivo (Chumanov et al., 2007).

Diversi autori infatti sostengono che l'infortunio sia collegato a modesta forza e squilibrio nel rapporto ischiocrurali/quadricipite (Heiser et al., 1984; Christensen, Wiseman, 1972; Burkett, 1970).

A tal riguardo sono stati proposti vari rapporti di forza ischio-crurali/quadricipite; attualmente un ottimale rapporto flessori/estensori viene considerato tra il 50% e l'80% (Aagaard et al., 2000), anche se rimane ancora poco chiaro se uno squilibrio di forza sia una conseguenza dell'infortunio, una causa, o entrambi (Read, Bellamy 1990).

La ricerca sulla prevenzione degli infortuni propone inoltre differenti modalità di valutazione ricorrendo a diversi regimi di contrazione muscolare: in letteratura vi sono autori che propongono la valutazione della forza in concentrica o quella (più funzionale) in eccentrica (Aagaard et al., 1998).

Nel tentativo di identificare attraverso le valutazioni di forza soggetti con pregressi infortuni al distretto degli hamstring, in letteratura è emerso che la valutazione isocinetica in regime eccentrico sia più affidabile rispetto a quella in regime concentrico (Dauty et al., 2003).

Uno studio recente (Yeung et al., 2009) ha dimostrato che un forte squilibrio tra estensori e flessori del ginocchio (quadricipite/bicipite femorale), rilevato all'inizio della preparazione tramite strumentazione isocinetica, sembra costituire un fattore di rischio molto rilevante, ma che comunque può es-

sere ridotto seguendo un adeguato condizionamento muscolare (Croisier et al., 2002; Jonhagen et al., 1994).

Tra le possibili cause predisponenti un infortunio muscolare si annovera anche il ruolo del warm up:

Il warm up prima dell'inizio dell'attività è stato indicato quale fattore preventivo degli infortuni muscolari (Garrett 1996, 1990). Nonostante questo, le lesioni agli ischiocrurali sono state descritte anche in soggetti che avevano condotto un lungo riscaldamento (Verrall et al., 2003).

A seguito della fase di warm up si registra una diminuzione della rigidità muscolare e fasciale (Nooan et al., 1993; Strickler et al., 1990), in grado di aumentare la massima flessibilità, rendendo di conseguenza il muscolo più resistente agli allungamenti. Si è dimostrato che, un condizionamento iniziale, favorisce un aumento della flessibilità della colonna nel tratto lombare, pur se le posture assunte nella fase post warm up possono influenzare tale capacità: i miglioramenti ottenuti nel warm up, per esempio, possono essere annullati con soli 20 minuti in posizione seduta (Green et al., 2002). L'applicazione di impacchi caldi umidi, che dovrebbe simulare una situazione di riscaldamento, non ha dimostrato avere effetti sull'elasticità degli ischio crurali (Sawyer et al., 2003). Inoltre, studi sugli animali hanno dimostrato che un riscaldamento caratterizzato da contrazioni isometriche sia in grado di aumentare l'entità delle tensioni e degli allungamenti che il muscolo può assorbire prima di lesionarsi (Safran et al., 1988).

Tra gli altri fattori di rischio emerge anche l'importante ruolo della fatica muscolare. Infatti, secondo vari Autori, l'affaticamento muscolare può giocare un ruolo importante nella patogenesi degli infortuni agli ischiocrurali (Verrall et al., 2005, 2003; Hawkins, Fuller, 1999; Heiser et al., 1984). L'affaticamento muscolare è associato a fatica del sistema nervoso centrale e periferico, nonché a fattori metabolici locali (Wong et al., 1990; Robert, Smith, 1989). Questi includono la riduzione di glicogeno nelle fibre muscolari (Baldwin et al., 1999; Febbraio, Dancy 1999), l'aumento dell'attivazione neurale nei muscoli affaticati durante lo sprint (Nummela et al., 1994) e le alterazioni nei neurotrasmettitori e neuromodulatori del sistema nervoso centrale che alterano lo stato percettivo (Davis, Bailey, 2003; Newsholme et al., 1992). L'affaticamento degli ischiocrurali indotto da sforzi ripetuti di corsa veloce

massimale provoca, inoltre, una variazione significativa nella tecnica di corsa (Pinniger et al., 2000). Si conosce, inoltre, che l'affaticamento porta ad una ridotta propriocezione degli arti inferiori e della zona pelvico-lombare (Taimela et al., 1999), che potenzialmente può contribuire agli infortuni agli ischiocrurali attraverso un minor controllo neuromuscolare ed inappropriate contrazioni muscolari. Pur se condotte nell'ambito degli sport di squadra, altri ricerche hanno messo in luce i rapporti tra rischio di infortunio e fatica metabolica. In atleti professionisti (calciatori) della Premier League Inglese è stato effettuato un monitoraggio preciso, prendendo nota dell'istante in cui si manifestano gli infortuni durante le partite (Woods et al., 2004). E' stato osservato un notevole incremento degli infortuni verso la fine di ciascun tempo, il che suggerisce come l'affaticamento o i microtraumi ripetuti siano un fattore di rischio. L'osservazione di 30 club di calcio professionistici ha portato a risultati simili, con 2/3 delle lesioni agli ischiocrurali verificatisi verso la fine degli allenamenti o delle partite (Dadebo et al., 2004).

Un altro fattore di rischio da considerare è la flessibilità muscolare, pur se il ruolo di tale aspetto non è stato ancora completamente chiarito. Infatti, la mancanza di elasticità, non è stata sempre collegata al rischio di infortuni agli ischiocrurali. Esistono riscontri prospettici che pongono in relazione elasticità e rischio di infortunio nel calcio (Witvrouw et al., 2004, 2003), così come riscontri retrospettivi hanno messo in relazione la flessibilità muscolare di un gruppo di atleti, con la storia di infortuni progressivi (Jonhagen et al., 1994; Worrell et al., 1991). L'opportunità dell'osservazione scaturisce da alcuni rapporti tra flessibilità e prestazioni di rapidità-velocità: tanto più frequenti e violenti sarebbero i rimbalzi al suolo, i balzi e i cicli di stiramento-accorciamento (*stretch-shortening-cycle*), tanto maggiore deve essere la *compliance* dell'unità muscolo-tendinea consentendo a quest'ultima di immagazzinare e liberare gran parte dell'energia elastica accumulata (Witvrouw et al., 2004).

Infine, per concludere l'analisi sui fattori di rischio di infortunio nella corsa veloce, c'è da tenere presente l'esecuzione tecnica del gesto e la biomeccanica del movimento.

Il ruolo svolto dalla tecnica di corsa è stato citato raramente nella letteratura come fattore di rischio per gli infortuni agli hamstring. Sostanzialmente, un mec-

canismo comune di infortunio si innesca quando il corpo è inclinato in avanti cercando di mantenere o raggiungere una velocità maggiore effettuando grandi falcate (Orchard, 2002). Lo sbilanciamento eccessivo in avanti, determinato spesso anche dalla modesta forza del grande gluteo comporta l'aumento dell'inclinazione del busto: per via della natura bi-articolare degli ischiocrurali, la flessione del busto in avanti pre-dispone questo distretto muscolare ad espletare

la propria funzione biomeccanica aumentando la loro lunghezza.

Alla luce dei fattori di rischio elencati emerge una natura multifattoriale del rischio di infortunio agli hamstrings nelle discipline di corsa veloce dell'atletica leggera. Queste considerazioni impongono una serie di valutazioni iniziali ed in itinere per monitorare i rapporti tra flessibilità e forza, e tra i livelli di forza dei muscoli agonisti ed antagonisti che intervengono nell'azione di corsa.

Bibliografia

- Agaard P., Simonsen E.B., Andersen J.L., Magnusson S.P., Bojse-Moller F., Dyhre-Poulsen P., Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension, *Scand J Med & Sci Sport.*, 10:58-67, 2000.
- Agaard P., Simonsen E.B., Magnusson S.P., Larsson B., Dyhre-Poulsen P., A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio, *The American Journal Of Sports Medicine*, 26(2):231-237;1998.
- Arge J.C., Hamstring injuries. Proposed aetiological factors, prevention and treatment, *Sports Med.*, 2:21-33, 1985.
- Armstrong R.B., Initial events in exercise induced muscular injury, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22:429-437, 1990.
- Armstrong R.B., Warren G.L., Warren A., Mechanism of exercise induced fiber injury, *Sports Medicine*, 12:184-207,1991.
- Arnason A., Sigurdsson S.B., Gudmundsson A., & all., Risk factors for injuries in football., *Am J Sports Med.*, 32:5S-16S;2004.
- Askling C., Karlsson J., Thorstensson A., Hamstring injury occurrence in elite soccer players after pre-seasons strength training with eccentric overload., *Scand J. Med. Sci Sports.*, 13:244-250;2003.
- Baldwin J., Snow R.J., Carey M.F., Febbraio M.A., Muscle IMP accumulation during fatiguing submaximal exercise in endurance trained and untrained man, *The American journal Physiology*, 277(1 Pt 2):R295-300;1999.
- Bennel K.L., Crossley K., Musculoskeletal injuries in track and field: incidence, distribution and risk factors, *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(3):69-75;1996.
- Biedermann H.J., Shanks G.L., Forrest W.J., Inglis J., Power spectrum analyses of electromyographic activity, Discrimination in the differential assessment of patients with chronic low-back pain, *Spine*, 16(10):1179-1184;1991.
- Bisciotti G.N., *Eziologia e biologia delle lesioni muscolari*, In: *Scienze & Sport, I quaderni per il preparatore atletico*, Milano, 42:45, Ottobre/Dicembre, 2009.
- Brockett C.L., Morgan D.L., Gregory J.E., Proske U., Damage to different motor units from active lengthening of the medial gastrocnemius muscle of the cat, *Journal of Applied Physiology*, 92(3):1104-1110;2002.
- Brockett C.L., Morgan D.L., Proske U., Predicting hamstring strain injury in elite athletes, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3):379-387;2004.
- Burkett L.N., Causative factors in hamstring strains, *Medicine and Science in sports and Exercise*, 2(1):39-42;1970.
- Christensen C., Wiseman D., Strength the common variable in hamstring strains, *Athletic Training*,7:36-40;1972.
- Chumanov, E.S., Heiderscheit, B.C., Thelen, D.G., The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *J. Biomech.*, 40:3555-3562, 2007.
- Cibulka M.T., Rose S.J., Delitto A., Sinacore D.R., Hamstring muscle strain treated by mobilizing the sacroiliac joint, *Physical Therapy*, 66(8):1220-3,1986.
- Connell, D.A., Schneider-Kolsky, M.E., Hoving, J.L., Malara, F., Buchbinder, R., Koulouris, G., Burke, F., Bass C., Longitudinal study comparing sonographic and MRI assessments of acute and healing hamstring injuries. *AJR Am. J. Roentgenol.* 183, 975-984,

- 2004.
- Croisier, J.L., Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med.* 34, 681–695, 2004.
- Croisier, J.L., Forthomme, B., Namurois, M.H., Vanderthommen, M., Crielaard, J.M., Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am. J. Sports Med.*, 30:199–203, 2002.
- Croisier, J.L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., Ferret, J.M., Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am. J. Sports Med.* 36, 1469–1475, 2008.
- Dadebo B., White J., George K.P., A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England, *British Journal of Sports Medicine*, 38(4):388-94;2004.
- Dauty M., Potiron-Josse M., Rochcongar P., *Consequences and prediction of hamstring muscle injury with concentric and eccentric isokinetic parameters in elite soccer players*, Annales de Readaption et de Medicine Physique, 46(9):601-6;2003.
- Davis J.M., Bailey S.P., *Possible mechanism of central nervous system fatigue during exercise*, 29(1):45-47;2003.
- Ekstrand J., Gillquist J., Soccer injuries and their mechanism: a prospective study, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15:267-270, 1983.
- Febbraio M.A., Dancy J., Skeletal muscle energy metabolism during prolonged, fatiguing exercise, *Journal of Applied Physiology*, 87(6):2341-7;1999.
- Frieden J., Lieber R.L., Structural and mechanical basis of the exercise-induced muscle injury, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24:251-530, 1992.
- Gabbe B.J., Finch C.F., Bennel K.L., Wajswelner H., Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football, *British journal of Sports Medicine*, 39(2):106-10;2005.
- Gabbe, B.J., Bennell, K.L., Finch, C.F., Wajswelner, H., Orchard, J.W., Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 16, 7–13, 2006.
- Garrett W.E., Califf J.C., Bassett F.H.III., Histochemical correlates of hamstring injury, *Am J Sports Med.*, 2:98-103;1984.
- Garrett W.E., Jr., Muscle strains injuries: clinical and basic aspects, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4):436-43;1990.
- Garrett W.E., Muscle Strain injuries, *Am. J. Sports Med.*, 24:S2-S8;1996.
- Garrett W.E., Safran M.R., Seaber A.V., Biomechanical comparison of stimulated and non stimulated skeletal muscle pulled to failure, *Am.J. Sports Med.*, 15:448-454, 1987.
- Gragoire L., Veeger H.E., Huijing P.A., van Ingen Schenau G.J., Role of mono-and biarticular muscles in explosive movements, *International Journal of Sports Medicine*, 5(6):301-5;1984.
- Green J.P., Grenier S.G., McGill S.M., Low-back stiffness is altered with warm.up and bench rest: implications for athletes, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(7):1076-81;2002.
- Hawkins R.D., Fuller C.W., Aprospective epidemiological study on injuries in four English professional football clubs, *Br. J. Sports Med.*, 33:196-203;1999.
- Heiser T.M., Weber J., Sullivan G., Clare P., Jacobs R.R., Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players, *Am. J. Sports Med.*, 12:368-370;1984.
- Hennessey L., Watson A.W., Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury, *British Journal of Sports Medicine*, 27(4):243-6;1993.
- Hides J.A., Richardson C.A., Jull G.A., Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain, *Spine*, 21(23)2763-9;1996.
- Hodges P.W., Moseley G.L., Gabrielson A.H., Gandevia S.C., *Acute experimental pain changes postural recruitment of the trunk muscles in pain free humans*, Experimental Brain Research, 151:262-71;2003.
- Hodges P.W., Moseley G.L., Pain and motor control of the lumbo-pelvic region: effects and possible mechanism, *Journal of Electromyography and kinesiology*, 13(4):361-70;2003.
- Hodges P.W., Richardson C.A., Delayed postural contraction of transverses abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb, *Journal of Spinal Disorders*, 11(1):46-56,1998.
- Hoskins W.T., Pollard H.P., *Successful management of hamstring injuries in Australian Rules footballers: two case reports*, BMC Chiropractic and Osteopathy, 13:4;2005.
- Huijing, P.A., Muscular force transmission necessitates a multilevel integrative approach to the analysis of function of skeletal muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 31, 167–175, 2003.
- Hungerford B., Gilleard W., Hodges P., Evidence of al-

- tered lumbo-pelvic muscle recruitment in the presence of sacroiliac joint pain, *Spine* 5, 28(14):1593-600;2003.
- Janda V., *Evaluation of muscular imbalance*, In: Lieben-son C, editor., Rehabilitation of the spine, Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, p.97-112 (chapter 6);1996.
- Jonhagen, S., Nemeth, G., Eriksson, E., Hamstring injuries in sprinters, The role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility, *American Journal of Sports Medicine*, 22, 262-266, 1994.
- Lee, M.J., Reid, S.L., Elliott, B.C., Lloyd, D.G., Running biomechanics and lower limb strength associated with prior hamstring injury. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2009.
- Leibenson C., Self-treatment of mid-thoracic dysfunction: a key link the body axis, Part 1: Overview and assessment, *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 5(2):90-8;2001.
- Lieber R.L., Friden J., Selective damage of fast glycolytic muscle fibers with eccentric contraction of the rabbit tibialis anterior, *Acta Physiologica Scandinavica*, 133:587-8;1988.
- Lieber R.L., Woodburn T.M., Friden J., Muscle damage induced by eccentric contractions of 25% strain, *J. Appl. Physiol.*, 70: 2498-2507, 1991.
- Mann R.A., Hagy J., Biomechanics of walking, running, and sprinting, *The American Journal of Sports Medicine*, 8(5):345-50;1980.
- Middleton P., Trouve P., Puig P., *Etude critique des rapports agonistes/antagonistes concentriques chez le sportif*. Actualités en rééducation fonctionnelle. Masson Ed. 19° serie 18-21, 1994.
- Montgomery W.H. III., Pink M., Perry J., Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running, *The American Journal of Sports Medicine*, 22(2):272-8;1994.
- Newsholme E.A., Blomstrand E., Ekblom B., Physical and mental fatigue: metabolic mechanism and importance of plasma amino acids, *British Medical Bulletin*, 48(3):477-95;1992.
- Noonan T.J., Best T.M., Seaber A.V., Garrett W.E. Jr., Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior, *The American Journal of Sports Medicine*, 21(4):517-22;1993.
- Noonan T.J., Garrett W.E. Jr., Muscle strain injury: diagnosis and treatment, *The Journal of The American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 7(4):262-9;1999.
- Nummela A., Rusko H., Mero A., EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(5):605-9;1994.
- Orchard J., Biomechanics of muscle strain injury, *New Zealand Journal of Sports Medicine*, 30:92-8;2002.
- Orchard J., Mardsen J., Lord S., Garlick D., Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian football, *American Journal of Sports Medicine*, 25:81-85;1997.
- Orchard J., Seward H., Epidemiology of injuries in the Australian football league seasons, *British Journal of Sports Medicine*, 36:39-44;2002.
- Oxland T.R., Panjabi M.M., The onset and progression of spinal injury: a demonstration of neutral zone sensitivity, *Journal of Biomechanics*, 25(10):1165-72;1992.
- Panjabi M.M., The stabilizing system of the spine, Part II, Neutral zone and stability hypothesis, *Journal of Spinal Disorders*, 5:390-7;1992.
- Pinniger G.J., Steele J.L., Groeller H., Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function?, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3):647-53;2000.
- Potvin J., Effects of kinematics on surface EMG amplitude and frequency during fatiguing dynamic contractions, *J. Appl. Physiol.*, 82 (1): 144-151, 1997.
- Read M.T., Bellamy M.J., Comparison of hamstring/quadricipes isokinetic strength ratios and power in tennis, squash and track athletes, *British Journal of Sports Medicine*, 24(3):178-82;1990.
- Roberts D., Smith D., Biomechanical aspects of peripheral muscle fatigue, a review, *Sports Medicine*, 1:125-38;1989.
- Safran M.R., Garrett W.E. Jr., Seaber A.V., Glisson R.R., Ribbeck B.M., The role of warm-up in muscular injury prevention, *Am. J. Sports Med.*, 16:123-129;1988.
- Sannicandro I., *Rischio di infortunio e preparazione atletica nel calcio: valutazione e strategie di prevenzione*, Calzetti & Mariucci, 109-110, 2009.
- Sawyer P.C., Uhl T.L., Mattacola C.G., Johnson D.L., Yates J.W., Effects of moist heat on hamstring flexibility and muscle temperature, *Journal of Strength Conditioning Research*, 17(2):285-90;2003.
- Schafle M.D., Requa R.K., Pattorn W.L., Garrick J.G., Injuries in the 1987 National amateur volleyball tournament, *American journal of Sports Medicine*, 18:624-31, 1990.

- Sherry M.A., Best T.M., A comparison of 2 rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains, *The Journal Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 34(3):116-25;2004.
- Silder A., Thelen D.G., Heiderscheit B.C., Effects of prior hamstring strain injury on strength, flexibility, and running mechanics, *Clinical Biomechanics* 25:681-686, 2010.
- Silder, A., Heiderscheit, B.C., Thelen, D.G., Enright, T., Tuite, M.J., MR observations of long-term musculotendon remodeling following a hamstring strain injury. *Skeletal Radiol.* 37, 1101-1109, 2008.
- Simonsen E.B., Thomsen L., Klausen K., Activity of mono and biarticular leg muscles during sprint running, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(5):524-32;1985.
- Strickler T., Malone T., Garrett W.E., The effects of passive warming on muscle injury, *The American Journal Of Sports Medicine*, 18(2):141-5;1990.
- Taimela S., Kankaanpaa M., Luoto S., The effects of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position, A controlled study, *Spine* 24(13):1322-7;1999.
- Thorstensson A., Carlson H., Zomlefer M.R., Nilsson J., Lumbar back muscle activity in relation to trunk movements during locomotion in man, *Acta Physiologica Scandinavica*, 116(1):13-20;1982.
- Verrall G.M., Slavotinek J.P., Barnes P.G., Fon G.T., Diagnostic and prognostic value of clinical findings in 83 athletes with posterior thigh injury: comparison of clinical findings with magnetic resonance imaging documentation of hamstring muscle strain, *The American Journal Of Sports Medicine*, 31(6):969-73;2003.
- Verrall G.M., slavotinek J.P., Barnes P.G., Fon G.T., Spriggins A.J., Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging, *Br. J. Sports Med.*, 35:435-439;2001.
- Verrall G.M., slavotinek J.P., Barnes P.G., The effect of sport specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players, *Br. J. Sports Med.*, 39:363-368;2005.
- Vogt L., Pfeifer K., Banzer W., *Neuromuscular control of walking with chronic low-back pain*, *Manual Therapy*, 8(1):21-8;2003.
- Warren G.L., Hulderman T., Jensen N., Physiological role of tumor necrosis factor α in traumatic muscle injury, *FASEB J.* 16: 1630-1632, 2002.
- Watson A.W., Sports injuries related to flexibility, posture, acceleration, clinical defects, and previous injury, in high-level players of body contact sports, *International Journal of Sports Medicine*, 22(3):222-5;2001.
- Watson A.W., Sports injuries in footballers related to defects of posture and body mechanics, *Journal of Sports medicine and Physical Fitness*, 35(4):289-94;1995.
- Watson A.W., Incidence and nature of sports injuries in Ireland: analysis of four types of sport, *American journal of Sport Medicine*, 21:137-43,1993.
- Witvrouw E., Danneels L., Asselman P., D'Have T., Cambier D., Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players, *American Journal of Sport Medicine.*, 31:41-46;2003.
- Witvrouw E., Mahieu N., Danneels L., McNair P., Stretching and injury prevention an obscure relationship, *Sport Medicine*, 34:443-449;2004.
- Wong R., Davies N., Marshall D., Allen P., Zhu G., Lopaschuk G., Montague T., Metabolism of normal skeletal muscle during dynamic exercise to clinical fatigue: in vivo assessment by nuclear magnetic resonance spectroscopy, *The Canadian Journal of Cardiology*, 6(9):395-7;1990.
- Woods C., Hawkins R.D., Maltby S., Hulse M., Thomas A., Hodson A., The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of hamstring injuries, *Br. Sports Med.*, 38:36-41;2004,
- Worrel T., Perrin D., Gansneder B., Gieck J., Comparison of isokinetic strength and flexibility measures between hamstring injured and non-injured athletes, *the Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 13(3):118-25;1991.
- Yeung S.S., Suen A.M.Y., Yeung E.W., A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor, *Br. S. sports Med.*, 43:589-594, 2009.