

Rapporto fra forza, elasticità e stiffness in età evolutiva

Renato Manno

Istituto di Medicina e Scienza dello Sport - Coni Servizi

L'articolo costituisce la relazione alla "Convention dei tecnici di atletica leggera" (Ancona, 18-20 gennaio 2008)

Introduzione

L'azione del sistema muscolare nelle prestazioni di corsa, di salto e di lancio si compone di una rapida sequenza di allungamenti e accorciamenti. La prima parte è chiamata anche prestiramento, è seguita da una brevissima fase apparentemente statica (*coupling time*) e poi dall'accorciamento. L'accorciamento è il motore della prestazione in quanto è la causa dell'accelerazione del corpo o di un suo segmento con la conseguente proiezione del corpo o di un attrezzo, come avviene, ad esempio, nei lanci o nei salti.

La fase di prestiramento può anche essere definita, in forma più applicativa, "caricamento" o "frenata" a seconda dei punti di vista. In tale fase si creano le potenzialità meccanico-funzionali per la seguente contrazione che, a seconda dei valori raggiunti, determina la vera e propria azione di movimento e quindi la prestazione in senso sportivo. In atletica le prestazioni sono nella maggior parte dei casi interpretabili come fasi

complesse descritte dal Ciclo di Allungamento-Accorciamento o Stretch Shortening Cycle (SSC).

È evidente che per il suo meccanismo di azione lo SSC ingloba le caratteristiche di forza dell'atletica, anche se non solo queste. Per molti anni, a causa della mancanza di tecnologie adeguate e per

semplicità di rilievo, la prestazione di forza era rilevata prevalentemente con test di contrazione statiche o isometriche (Hettinger 1973). Poi progressivamente soprattutto per avvicinarsi alle condizioni concrete delle attività sportive lo si è rilevato anche in forme dinamiche, ad esempio contro un carico da superare registrando il valore massimale (1RM) (Wilson 2000), o misurando la massima altezza raggiunta in un salto verticale (Squat Jump SJ), sia con sistemi rudimentali (Test di Abalakov) sia con sistemi elettronici (Test di Bosco), con l'aggiunta del caricamento (Couter movement Jump CMJ). Questi rilievi o test, tuttora validi, indagano componenti specifiche che sono applicate per soddisfare esigenze di valutazione generale della prestazione.

La prestazione di SSC è co-



munque influenzata in modo notevole dalle capacità di forza del soggetto in quanto sia la frenata che la contrazione seguente richiedono notevoli capacità di reclutamento della forza in tempi minimi. A favorire le funzioni descritte sono le variazioni di lunghezza del complesso muscolo tendineo ed il ruolo dello Stretch Reflex (SR), cioè del riflesso da stiramento. La sequenza dello stiramento a carico di detto complesso eccentrico-concentrico porta da una accentuazione della prestazione che è superiore a quella prodotta in condizioni concentriche pure (Komi 2003) (Figura 1).

Nella pratica dell'allenamento è facile raccogliere l'incitazione ad essere più "stiff", in particolare quando si praticano i balzi o si esercita alla reattività nei rimbalzi, ad esempio, a ginocchia bloccate. Tale incitamento fa sostanziale riferimento ad una preparazione della muscolatura in fase di impatto in modo da avere una attivazione muscolare precedente al contatto e contenere così l'allungamento della muscolatura, aumentando così la stiffness, in condizioni eccentriche ed essere in condizioni ottimali per

la seguente veloce contrazione. Si ottiene così una breve deformazione e con restituzione dell'energia elastica accumulata in modo da provocare la conseguente fase di volo.

Gia Bosco (1992) nel descrivere le funzioni indagate dal test Drop Jump (DJ), e dai balzi ripetuti a ginocchia bloccate (Bosco-Vittori) sottolinea l'importanza della stiffness, che definisce come "la capacità neuromuscolare di sviluppare altissimi valori di forza durante il ciclo stiramento-accorciamento". Nella stiffness sono importanti il comportamento viscoelastico degli estensori, il riflesso miotatico o riflesso da stiramento, il comportamento dei propriocettori inibitori tendinei (Corpuscoli tendinei del Golgi). Tali componenti agiscono in sostanziale contemporaneità ed il loro esatto contributo è di difficile separazione. Esse sono allenabili con delle tecniche di rimbalzo, di balzi e salti in basso, esercizi la cui intensità è molto elevata, e se non sviluppata in modo razionale può dare luogo a traumi sia acuti che da sovraccarico funzionale (Bosco 1992). Al tempo stesso tali esercizi costitui-

scono un allenamento efficace che, inserito in una razionale preparazione, può indurre adattamenti specifici sulle strutture dell'apparato locomotore che sono preventivi degli infortuni e determinanti nella costruzione della efficienza motoria e sportiva.

Forza e stiffness ed elasticità

Per capire meglio i rapporti fra queste tre componenti è necessario richiamare alcuni concetti che, fra l'altro, hanno avuto una importante applicazione nel mondo dello sport alla fine degli anni 70, che hanno portato a visioni diverse da parte degli studiosi che se ne sono occupati.

Il modello del muscolo semplificato serve per comprendere quali sono i probabili meccanismi attivi della elasticità nel determinare la forza nella prestazione atletica, come descritto in molti lavori sia didattici che applicativi.

Concetto e definizione di stiffness e sue caratteristiche nel muscolo

La stiffness misura la "durezza" di un corpo cioè la sua resistenza all'allungamento che le forze che agiscono su di esso provocano, che, ad esempio, lo stirano, come schematizzato nella figura 2; il muscolo oppone una resistenza variabile che è diversa se il muscolo è rilasciato o attivo, come illustrato nella figura 3.

Nel caso del muscolo attivo la stiffness varia con il cambiare del-

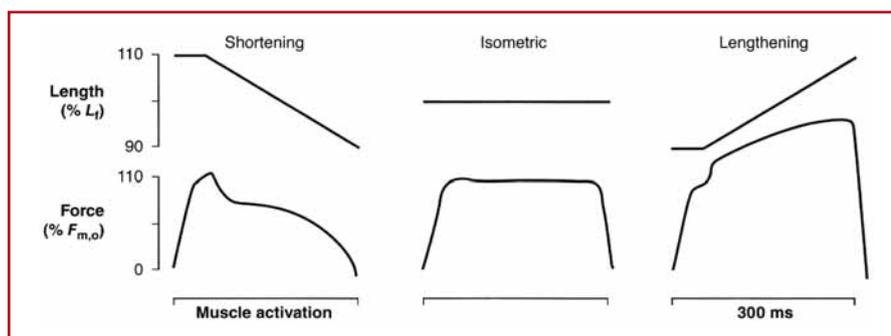


Figura 1 - Rapporti fra la lunghezza e la forza prodotta in un muscolo attivato in condizioni concentriche (a sinistra), condizioni isometriche (al centro) ed eccentriche (a destra).

la posizione dei ponti actomiosinici, modificando la tensione e facendo corrispondere ad una condizione microscopica; una condizione macroscopica, infatti i ponti actomiosinici hanno fasi di attacco diversamente favorevoli come descritto nella *figura 4*, ed in funzione di tale condizione meccanica hanno una diversa resistenza alla estensione. Il muscolo, a seconda di quanti sarcomeri ha in serie, ha una possibilità elevata di modificazione di lunghezza, producendo una elevata velocità di contrazione; se invece i sarcomeri sono schierati in parallelo e numerosi, produce una maggiore forza per somministrazione. Nel secondo caso ha una maggiore stiffness e minore velocità; nel primo l'inverso. Nella prestazione atletica serve una via di mezzo, soprattutto una maggiore elasticità che dipende dalla struttura muscolare e soprattutto dalla sua funzionalità.

Il muscolo ha caratteristiche di tipo viscoelastico e contrattile che possono essere difficilmente riprodotte, una modellizzazione che si avvicina è quella descritta nella *figura 6*, sia per le componenti in serie che in parallelo, con funzioni elastiche sia strutturali che contrattili con i relativi effetti sull'elasticità. Nella *figura 5 a e b* è descritta una condizione rappresentativa delle condizioni muscolari durante la contrazione con le relative attivazioni e reazioni elastiche della struttura.

Quando la funzionalità muscolare *in situ* agisce nelle azioni locomotorie diventa variabile, in funzione di numerose caratte-

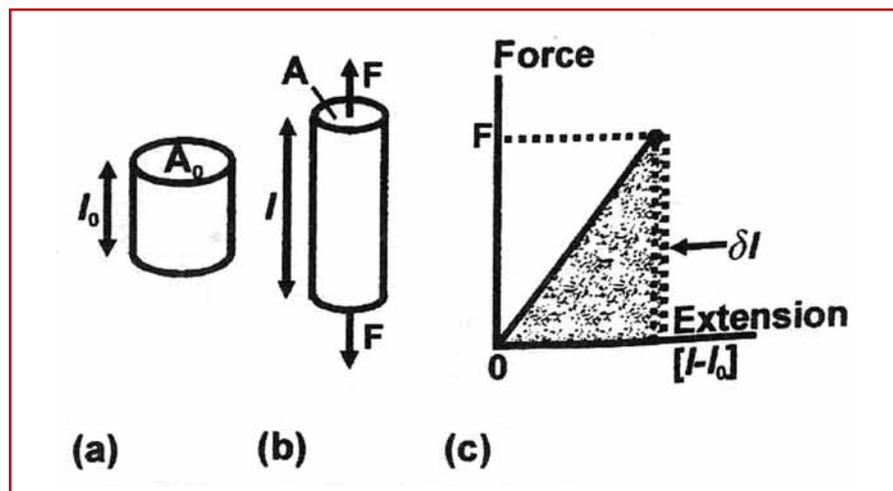


Figura 2 - Un cilindro di materiale elastico che viene stirato da una forza F e relativo sviluppo della forza con l'estensione del cilindro (da Alexander 1988).

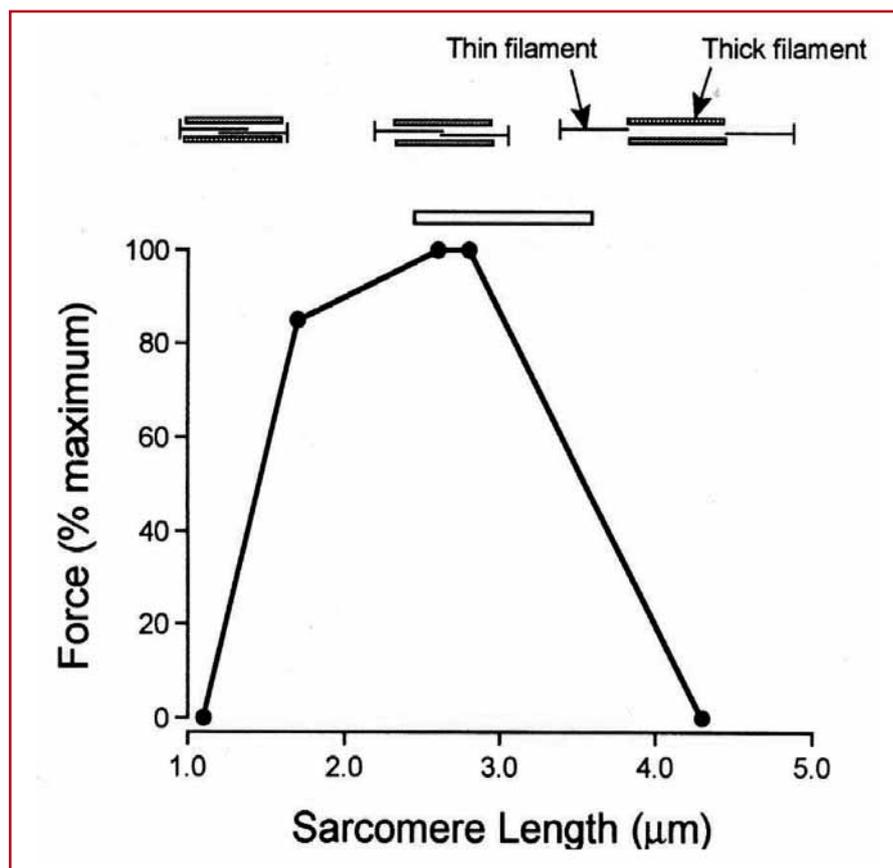


Figura 3 - Nella figura si evidenzia la forza che la fibra muscolare può esercitare in funzione della lunghezza del sarcomero.

ristiche, soprattutto a causa della sua composizione (muscolo-osteo-tendinea), delle sue componenti contrattili, della sua spe-

cializzazione funzionale (fibre veloci o lente), della sua regolazione nervosa in condizioni di performance, quali velocità, fatica, du-

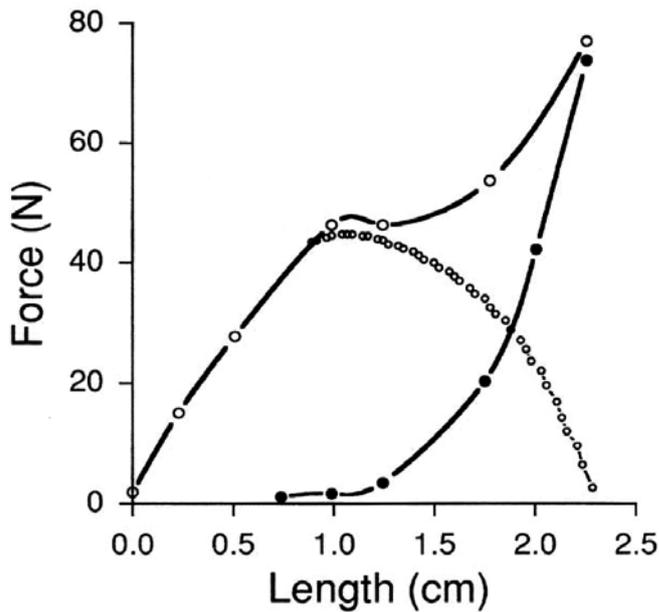


Figura 4 - Comportamento della fibra sottoposta ad una forza, e contributo specifico della parte attiva (contrattile) e della parte passiva, all'interno del totale. È possibile notare come la parte attiva (cerchi vuoti) partecipi nella prima fase, e la parte passiva nella seconda fase (cerchi pieni).

rata della contrazione o del ciclo di contrazioni, ed in funzione della coordinazione specifica, in particolare del tempismo di attivazione e della relativa anticipazione.

Fattori che influenzano la forza e la stiffness

Un muscolo contratto oppone una maggiore resistenza alla estensione, e la tensione che produce in condizioni di contrazione è direttamente proporzionale alla sua forza massima, opponendosi alla distensione; la forza prodotta dai muscoli non fa che aumentare la stiffness. Ovviamente però quando tali fenomeni sono concretamente realizzati nell'atleta, nei diversi movimenti e nelle performance sportive, dette fasi si susseguono in modo specifico e richiedono un impegno neuromuscolare e tecnico coordinativo che migliora con l'allenamento. Le andature di corsa si articolano, ad esempio, in una propulsione seguita da una fase di volo, la forza che estende il muscolo si produce in modo intenso ed in tempi molto brevi, gli angoli di spinta specifici condizionano la velocità di locomozione ed il comportamento del baricentro: l'aumento della stiffness si produce solo se la contrazione avviene in sincronia ed in risposta al "carico", mediante meccanismi fisiologici come la preattivazione ed il riflesso da stiramento che hanno la funzione di consentire tale risposta prestativa.

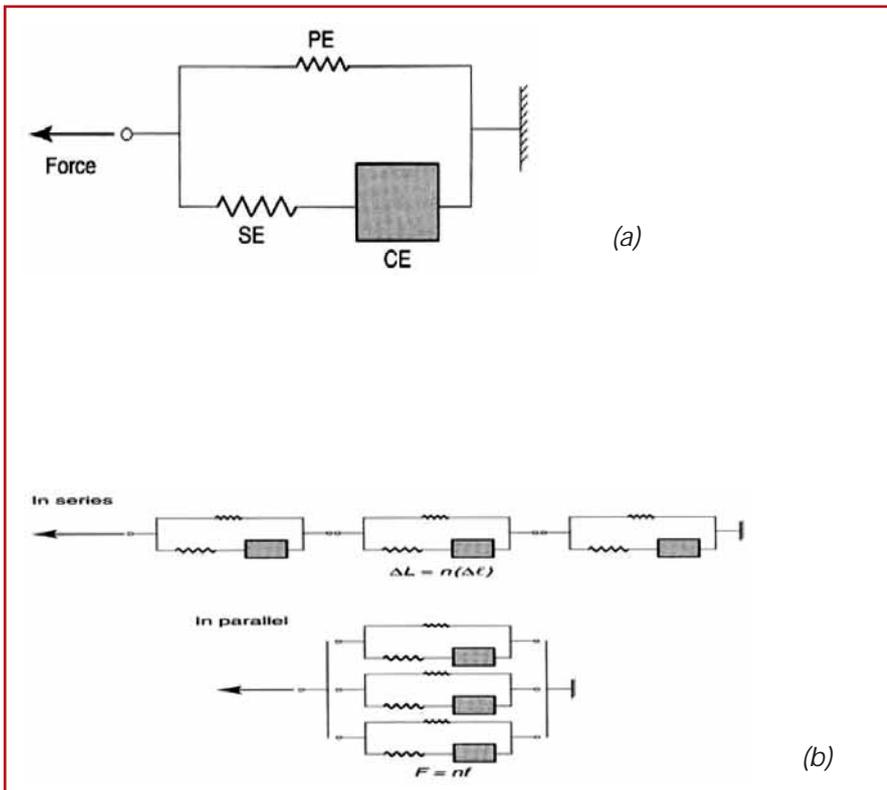


Figura 5 a e b - Il modello del muscolo di Hill, in serie (a) ed organizzato in parallelo (b). PE = elementi elastici in parallelo; SE = elementi elastici in serie; CE = elementi contrattili.



Sezione trasversa

Com'è noto la forza dipende prevalentemente dalla sezione trasversa anche perché, come già visto nella figura precedente, una maggiore superficie trasversa del muscolo include un numero più elevato di sarcomeri in parallelo e quindi sviluppa una trazione superiore. Studi oramai classici provano una relazione pressoché lineare fra diametro trasverso e forza (Ikai e Fukunaga 1970); a tali studi sono state fatte alcune eccezioni che non variano l'assunto principale (Hakkinen & Keskinen 1990). La sezione trasversa maggiore porta ad avere nelle trazioni una maggiore quantità di sarcomeri in parallelo che si sommano, aumentando la stiffness e l'elasticità. Come si vede nella figura 5, i sarcomeri in serie hanno un maggiore accorciamento, una maggiore velocità, ma una minore forza, come noto dalla curva forza-velocità. Ciò è anche confermato dalla analisi anatomico-funzionale che evidenzia

come che le fibre più lunghe sono più sottili mentre le fibre più spesse sono più corte (figura 7).

Pennazione del muscolo

Le singole fibre muscolari spesso non hanno un decorso parallelo al ventre muscolare, ma hanno una inclinazione variabile, detta "angolo di pennazione", che

può variare anche significativamente. Quando tale angolo è zero è longitudinale, ma nessuna singola fibra lo è. La pennazione può raggiungere i 30 gradi, però l'insieme del muscolo ha sostanzialmente una direzione longitudinale alla struttura aponeurotica-tendinea; l'angolo di pennazione ha lo scopo di aumentare

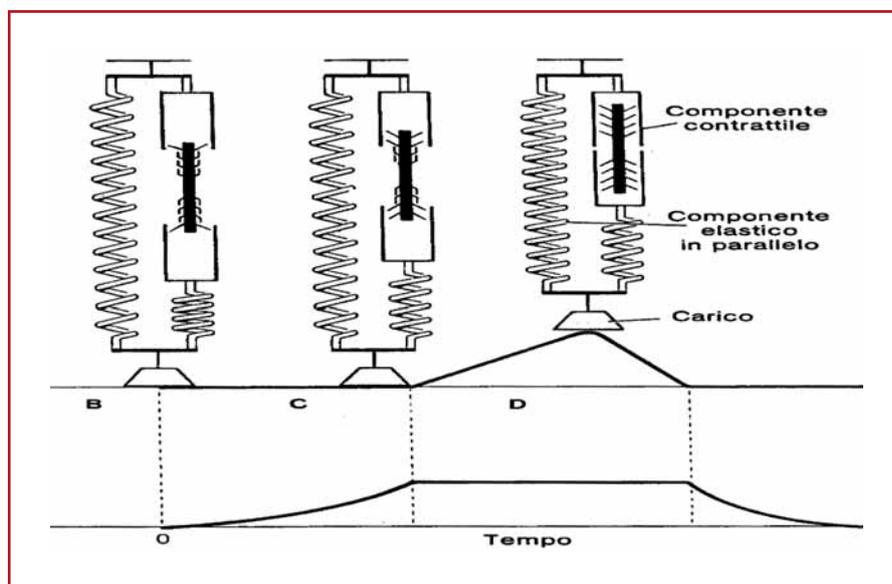


Figura 6 - All'inizio della contrazione la parte contrattile stira la componente elastica in parallelo, e questa in seguito restituisce l'energia accumulata muovendo il carico (da: Vander 1975).

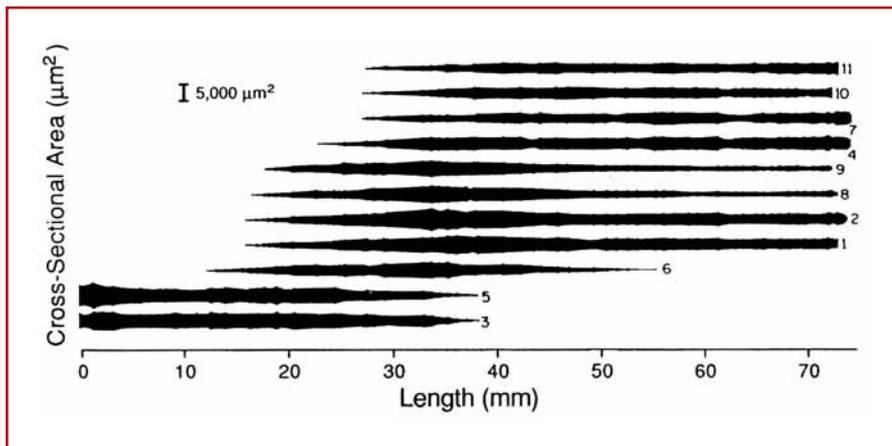


Figura 7 - I muscoli più lunghi hanno minore sezione trasversa rispetto ai muscoli più corti.

la forza collocando più fibre nella stessa superficie come si può vedere dalla *figura 8*.

Stiffness ed elasticità

Se la stiffness è la durezza del muscolo che resiste ad un allungamento, l'elasticità è la velocità con cui un corpo recupera la deformazione provocata da una

forza. Per le brevi deformazioni la stiffness aiuta l'elasticità, che si produce al meglio in condizioni di durezza, che consente però una certa deformazione (Short Range Stiffness). In condizioni particolari il muscolo ha una sua deformabilità (compliance); la compliance è l'inverso della stiffness. Senza l'allungamento non

è possibile accumulare energia elastica e quindi non rende possibile un adeguato stiramento che carichi elasticamente le strutture muscolo-tendinee mettendole in condizione di restituire l'energia accumulata mediante accorciamento; per fare ciò è importante che le strutture siano adattate, abbiano delle qualità specifiche, che le fibre muscolari abbiano possibilità di risposta anche in caso di sollecitazioni notevoli che dipende dalla forza, particolarmente in condizioni eccentriche. Un allenamento di tipo eccentrico, secondo Aagard (2003), diminuisce le inibizioni nervose che favoriscono l'attivazione nervosa da cui la maggiore forza prodotta in condizioni eccentriche.

Ruolo nelle fibre

Secondo Ingen Schenau (1997) i soggetti aventi una maggiore quantità di fibre lente (ST) sono favoriti nel CMJ; secondo Goubel (1997) la cosa è più complessa ed il ruolo dei tipi di fibre dipende dalla fase di lavoro muscolare. Ad esempio nella fase di stiramento, Bosco ed al hanno indicato che nella fase di stiramento breve (piccolo spostamento angolare) sono favoriti i soggetti con più fibre FT.

Secondo Goubel le FT e ST appaiono avere caratteristiche elastiche differenti. Nell'animale le ST sono più stiff delle FT; Goubel trovò che aumentando le FT nell'animale diminuì la stiffness ed in generale i muscoli con prevalenza di FT hanno una maggiore compliance, cosa che comunque non è obbligatoriamente un van-

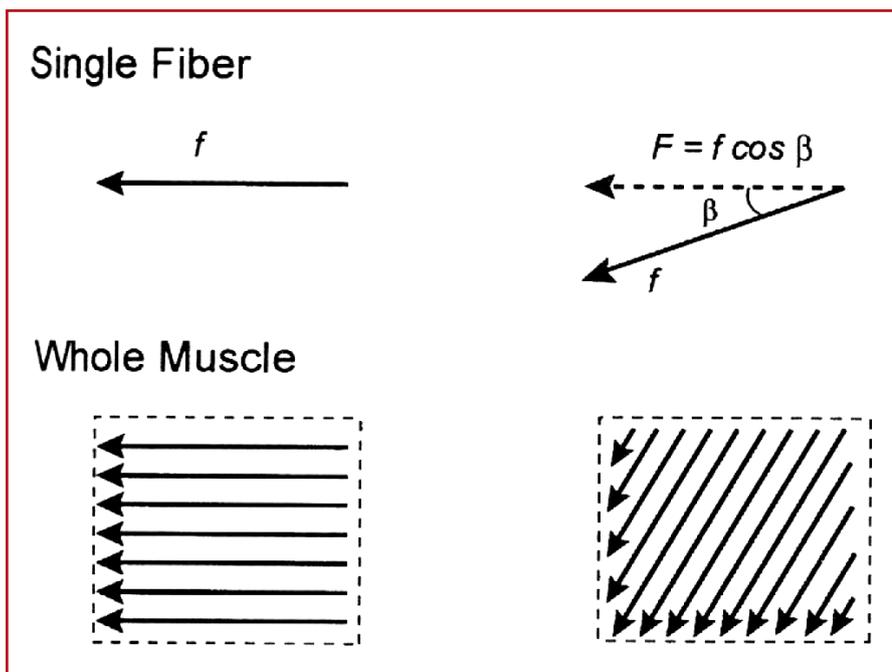


Figura 8 - L'angolo di pennazione permette di sommare nello stesso spazio un maggior numero di fibre.

taggio in quanto una maggiore stiffness migliora la trasmissione della forza.

Nel coupling time cioè il ritardo temporale fra allungamento ed accorciamento, è importante nella efficienza del meccanismo elastico. Un intervallo troppo lungo fa dissipare l'energia elastica in calore; una parte della energia elastica è conservata nei ponti actomiosinici, per cui un'azione di durata più breve facilita il lavoro dei ponti actomiosinici ed è migliore per la restituzione della energia elastica. Poiché il tasso di produzione dei ponti nelle FT è più veloce, nello SSC più lento sono favorite le ST perché hanno tempi dei ponti più lunghi e possono usare la risposta elastica in SSC meno veloce come avviene nelle prove di resistenza.

Nella fase di accorciamento, quando la variazione angolare è stata breve sembrano favorite le persone con più FT; se la fase di spinta è più lunga sembrano favorite le persone con più ST.

Secondo alcuni autori per maggiore elasticità è necessario essere più compliant, tanto che Wilson e al (1991) consigliano di svolgere attività di flessibilità per aumentare l'elasticità, anche l'allenamento eccentrico può aumentare la stiffness (Pousson e al 1990).

In effetti un aumento della stiffness ha due conseguenze positive: nello stiramento si può accumulare più energia e nell'accorciamento la parte contrattile può generare più lavoro perché la stiffness più alta trasmette meglio l'effetto della contrazione.

In generale comunque una parte dell'elasticità può essere accumulata nei ponti actomiosinici.

Ruolo dello stretch reflex

Il collegamento parallelo fra SSC ed attivazione riflessa del muscolo è stato messo in discussione da alcuni ricercatori, in particolare da Ingen Schenau (1997) che afferma che in tutti i cicli contrattili inferiori a 130 ms è impossibile un ruolo dello stretch reflex (SR) in quanto ha bisogno di tempi più lunghi. Tale obiezione si fonda comunque sulla difficoltà tecnica di misurare esattamente la fase di attivazione riflessa nell'ambito delle variazioni allungamento accorciamento. Komi, principale ricercatore in tale settore, replica in modo argomentato a tali obiezioni, riaffermando che lo stretch reflex è il principale modulatore della stiffness, perché quando il riflesso è stato depresso o inibito il ciclo allungamento-accorciamento è stato molto inferiore in prestazione e soprattutto provoca un crollo della stiffness. Rilevata a livello del tendine di Achille l'attività si SR porta la forza prodotta al 200-500% rispetto ad un stiramento passivo. Lo SR è sensibile al carico. Ad esempio quando si realizzano cadute da 80 cm l'attivazione dello SR è già difficile da dimostrare, e quando l'altezza di caduta raggiunge i 140 cm (Kyrolainen e Komi 1995) il carico è talmente elevato che il riflesso viene inibito, probabilmente a fini protettivi, prevalendo l'attività del CTG. La durata del circuito SR semplice è di 40



ms, più 12-13 ms che intercorre fra l'attivazione emg e la forza prodotta, porta a circa 55 ms il totale del tempo che passa dall'attivazione meccanica e l'effetto attivante del muscolo, tenuto conto che nella corsa dello sprint il tempo di contatto è di 90-100 ms (Mero&Komi 1985) fino ai 250 ms della maratona. Si conferma che lo SR ha tutto il tempo per intervenire con l'effetto potenziante sulla forza prodotta, in particolare nella fase eccentrica dell'appoggio e quindi secondo i dati portati da Komi è superato il dubbio o affermazione di Ingen Schenau. In conclusione, secondo Komi nello SSC il contributo dello SR è rilevante e modula la stiffness in modo importante almeno in ciò che concerne lo "short range elastic stiffness" come definito da Rack e Westbury (1975). Inoltre lo SR, che è provocato da un potente stiramento del muscolo già attivato, serve anche a rendere più armoniche e lineari le caratteristiche della sollecitazione, e porta lo SSC ad essere più efficiente della con-



trazione esclusivamente concentrica. La combinazione fra l'attivazione muscolare, cioè una sorta di "preriflesso" e la contrazione muscolare seguente supporta un più elevato tasso di reclutamento della forza (forza esplosiva). In conclusione si può dire che lo SSC è una sequenza di fenomeni che integrano la prestazione meccanica, il metabolismo ed il riflesso, tale processo assume un ruolo importante in particolari aspetti di condizioni di fatica.

Differenze nelle età dei diversi componenti dello SSC

Uno studio del 2003 (Lambertz e al 2003) ha valutato la stiffness muscolo tendinea nei prepuberi in comparazione agli adulti in funzione dell'attivazione muscolare, e ha notato una più bassa stiffness rispetto all'adulto e una sua modificazione migliorativa nell'età l'età dai 7 ai 10 anni. Ciò fu attribuito alla coordinazione anco-

ra carente, e non permette una armonica azione agonisti-antagonisti, accentuando fenomeni di coattivazione degli antagonisti a detrimento della forza; quest'ultima è comunque quindi più bassa in queste età. Gli stessi ricercatori, nel loro studio su bam-

bini in età prepuberale, eseguiti su 46 bambini e bambine dai 7 ai 10 anni, confrontandoli con gli adulti, sono giunti ai seguenti risultati (figura 9):

- La stiffness attiva e passiva aumenta con l'età.
- La stiffness aumenta con la forza.
- I tendini diventano più stiff con la maturazione (modificazioni della ultrastruttura).
- Lo stesso gruppo, in uno studio seguente condotto nel 2007 (Grosset e al), ha descritto il ruolo dello stretch reflex nella prestazione con i seguenti risultati.
- Confermare il ruolo dello stretch reflex nella stiffness muscolo-tendinea.
- Lo stretch reflex (SR) e la Stiffness musculo-tendinea (Stms) attiva cresce con l'età.

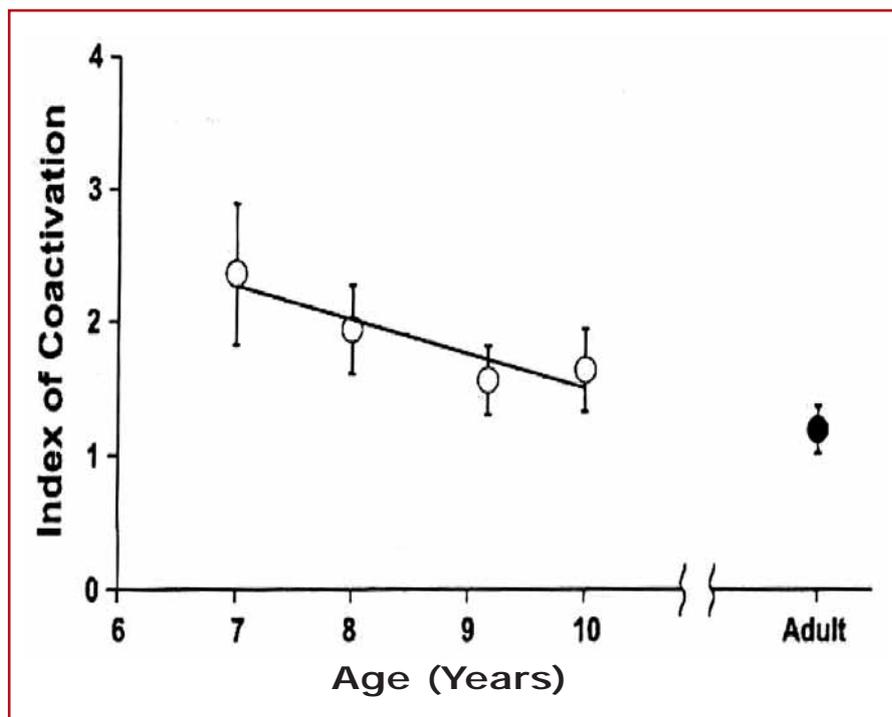


Figura 9 - Andamento dell'indice di coattivazione agonista-antagonista, che diminuisce con l'età, migliorando il livello di coordinazione (da Lambertz e altri, 2003).

- I bambini hanno un SR e la Stiffness inferiore che nell'adulto, probabilmente dovuto soprattutto alla ST inferiore, infatti lo SR e la Stiffness crescono parallelamente.

È noto che la forza si sviluppa in modo importante durante l'età evolutiva ed in modo diverso tra maschi e femmine. Secondo Bosco (1997) la capacità dei bambini di tollerare notevoli carichi di stiramento è ridotta, mentre tra i ragazzi di 10-15 anni è superiore (figura 10 a, b, c).

In linea di massima i bambini producono un lavoro reattivo inferiore rispetto a quanto riescono a produrre nella potenza e nella forza massima; già Komi nel 1973 aveva notato nei bambini una capacità inferiore alle capacità di forza isometrica e comunque proporzionalmente inferiore che negli adulti; inoltre la forza eccentrica massima era inferiore alla forza concentrica massima che negli adulti può essere fino al 30% superiore. Tale fenomeno può es-

sere spiegato parzialmente con un ritardo dello sviluppo della coordinazione dovuta all'incompleto sviluppo del sistema nervoso, e dalla necessità dello stesso di tutelare un apparato locomotore in sviluppo che è ancora fragile, accentuando i fenomeni inibitori e protettivi dei Corpuscoli del Golgi. Lo stesso si evidenzia negli anziani per una regressione funzionale.

Uno studio su numerosi soggetti da 9 a 17 anni dei due sessi non ha rilevato differenze nei 2 sessi nell'atterraggio pur constatando che nelle ragazze esiste un maggiore frequenza di infortuni nei legamenti del ginocchio, da 4 ad 8 volte superiore. In particolare dallo stesso studio emerge la necessità di consigliare di potenziare la muscolatura posteriore della coscia particolarmente dopo l'età di 11 anni (Barber Westin 2006); inoltre si nota che le donne atterrano con un valgismo più pronunciato che è ritenuto da alcuni una causa della maggiore frequenza di infortuni. Tale ipotesi è stata però smentita dallo stesso lavoro citato. Uno studio importante per capire le caratteristiche dello stimolo pliometrico nei soggetti in età prepuberale fu condotto da McKay (2005), che ha misurato la forza dell'impatto in bambini e ragazze dagli 8 agli 11 anni. Tali studio fu condotto perché in altri lavori anche su animali fu evidenziato che le forze applicate ai muscoli con relativa tensione alle ossa portano all'incremento della massa ossea e ad un consolidamento dell'apparato scheletrico,

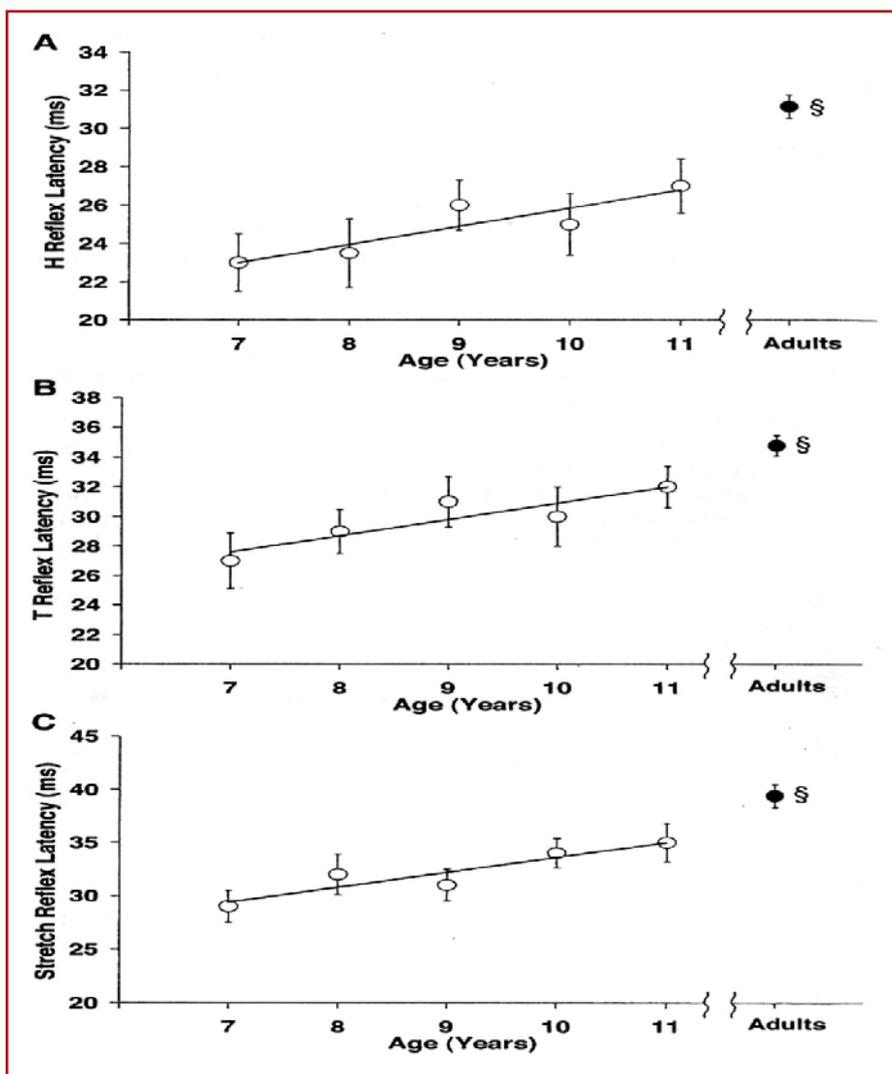


Figura 10 - Modificazione delle capacità di riflesso (T, H e Stretch) in funzione dell'età, nei giovani e in paragone con quello degli adulti (Grosset e coll. 2007).



in particolare il sistema scheletrico immaturo (Judex & Zernicke 2000). McKay sperimentò 12 tipi di salti in attività ordinaria di scuola elementare, con salti in basso da 10 cm a 50 cm e seguente salto massimale. Di tali salti fu registrata la reazione delle forze al terreno che variò da 3 a 5 volte il peso corporeo; infatti mentre nel cammino tale forza è pari ad una volta circa il peso corporeo (pc), nella corsa raggiunge il valore di circa 3 volte e fino a 8,5 volte per salti da 61 cm, come riferimento si può riportare che nella ginnastica atterrando dalla sbarra si arriva ad 8,2-11,6 volte il pc e nel salto triplo fino a 15 volte. I soggetti di nove anni studiati furono incapaci di produrre un atterraggio modulato dalla muscolatura, evidenziando che in tale età è impossibile fare ciò che i soggetti adulti riescono a fare più facilmente, infatti gli adulti re-

gistrano un carico muscolare più basso a parità di altezza. Nel gruppo di maschi e femmine studiato in età prepuberale non emersero rilevanti differenze nelle misure antropometriche e nei livelli di forza, né nella composizione corporea, mentre nella potenza misurata con il salto verticale e salto in lungo da fermo, i maschi, pur se fisicamente simili, furono superiori, confermando una differenza di performance nella forza veloce dovuta a differenze sessuali che emerge già nella fase prepuberale, cosa che sorprende perché prima della pubertà le bambine sono lievemente più forti dei maschietti. Uno studio condotto dal Diallo e al (2001) ha identificato una buona risposta allenante al lavoro pliometrico in soggetti di 12-13 anni, ed anche un buon mantenimento dell'adattamento per un periodo di detraining. È uno dei po-

chi lavori svolti in cui è stato misurato il detraining nei ragazzi.

I ragazzi furono allenati per 10 settimane con un detraining di 8 settimane, la frequenza di allenamento fu di 3 volte a settimana con balzi, salti agli ostacoli e movimenti di skip; in seguito i soggetti divisi in 2 gruppi di 10 con un pari gruppo di controllo che comunque si allenava nella loro pratica sportiva (calcio), furono testati con P.max, SJ, RRJ (15 salti ripetuti per 15 sec) MB5 (balzo quintupli), percentuale di massa grassa e magra e CMJ.

I due gruppi, che avevano dati di partenza (baseline) sostanzialmente uguali, ebbero risultati differenti ed il gruppo allenato con i balzi migliorò in modo significativo. Inoltre, lo studio prevedeva un periodo di 8 settimane con carico ridotto. Dopo tale periodo non fu evidenziata alcuna perdita di prestazione, cosa che però può essere giustificata dalla brevità del periodo e dal fatto che fu continuato l'allenamento calcistico.

Conclusioni ed aspetti applicativi

Da quanto sopra descritto emerge la complessità della funzione allungamento-accorciamento (SSC) e della specifica funzione di un veloce reclutamento di forza nell'ammortizzare l'impatto anche e soprattutto ai fini della prestazione propulsiva che segue. L'efficacia della frenata permette anche di restituire l'energia elastica e probabilmente di sommare la contrazione rifles-

sa del riflesso miotatico. Se ciò non avvenisse, l'ammortizzazione avverrebbe sovraccaricando le strutture osteotendinee che subirebbero un sovraccarico ripetuto molte volte; invece se si ottimizza il carico, buona parte dell'energia di impatto caricherebbe elasticamente le strutture muscolo-tendinee, attiverebbe lo stretch reflex assorbendo il trauma nell'insieme viscoelastico della struttura biologica che sarebbe armonicamente stimolante per la componente strutturale osteotendinea, muscolare e coordinativa.

È evidente, ad esempio, che se la componente muscolare contrattile è stanca non riuscirebbe ad assorbire; proprio la mancanza di forza sufficiente (stiffness) aumenterebbe l'impatto che non sarebbe smorzato meccanicamente dal sistema viscoelastico. Quindi sul piano pratico è necessario somministrare, verificando le capacità di assorbimento elastico del giovanissimo, un carico meccanico armonico senza soluzione di continuità, quindi di bassa intensità, ad esempio con altezze di caduta ridotte, verificata attraverso la fluidità dell'esecuzione (figura 11). Poi aumentare con estrema gradualità il carico sia nella quantità che nella intensità. L'obiettivo è in primo luogo che il soggetto esegua armonicamente l'esercizio; ciò evita i traumi dovuti ad esecuzioni scorrette e a condizioni di fatica dovute a troppo affrettata progressività del carico.

Uno degli obiettivi ipotizzabili è l'adattamento non solo coordinativo e muscolare, che è ab-

bastanza rapido, ma anche osseo e soprattutto tendineo che è estremamente lento a causa del suo basso metabolismo, in particolare nelle giunzioni osteotendinee. Le poche ricerche non sono state in grado di evidenziare chiaramente adattamenti tendinei. Diversi tentativi più diretti non hanno avuto facile successo (Urlando&Hawkins 2007), ma indirettamente o in vitro o nell'animale sono supponibili risposte adattative. Kjaer (2004) afferma che gli adattamenti indotti nei tendini e nei legamenti permettono di tollerare esercizi intensi e di evitare sviluppi patologici. Tale strategia è in accordo con quanto raccomandato da Froehner (2007) che prescrive, in primo luogo, di costruire nell'atleta ed in particolare nel giovanissimo la caricabilità all'allenamento, che nel nostro caso più specificamente vuol dire l'irrobustimento necessario ad assorbire il carico senza ricercare nei singoli allenamenti la caricabilità acuta per determinare il diretto incremento della prestazione che dovrà avvenire semmai più lentamente. L'allenamento deve essere finalizzato alla costruzione dei presupposti di sostenibilità delle caratteristiche acute e croniche del carico. Infatti queste ultime, fondate sulla modificazione strutturale muscolo scheletrica, chiedono tempi specifici e molto più lunghi. Carichi con esecuzioni intense non raggiungono un significativo adattamento strutturale perché, essendo pericolosi non possono essere svolti nelle quantità minimali per l'adattamento strutturale. In realtà,



il trauma può arrivare prima dell'accumulo di stimoli necessari all'adattamento. L'allenamento soprattutto deve prevedere una specifica tecnica esecutiva da ap-

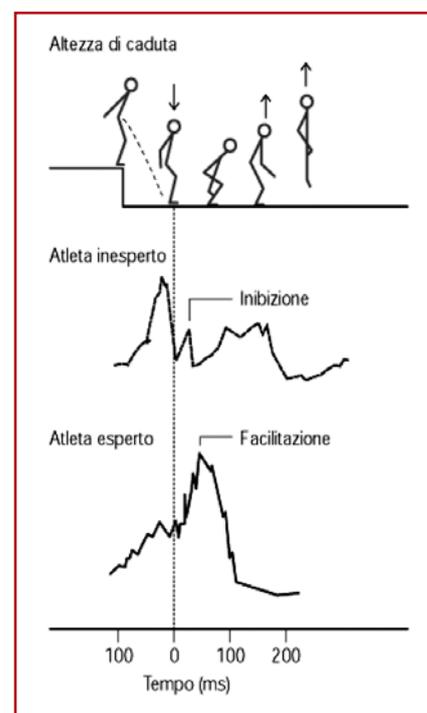


Figura 11 - Differenza nella produzione di attività muscolare in un soggetto esperto ed in un soggetto inesperto. Nel soggetto esperto vi è una sommazione (facilitazione), nel soggetto inesperto vi è una interruzione (inibizione) della produzione meccanica.

prendere. Partendo da carichi bassi e ottimali nel ragazzo che si allena, aumentare gradualmente l'intensità, cioè l'altezza di caduta; infatti una esecuzione armonica significa anche un buon assorbimento viscoelastico, il carico deve essere ripetuto con il

giusto intervallo per non accumulare fatica e quindi reattività nervosa, cercando di stabilizzare l'adattamento; ciò può essere ottenuto con carichi prevedibili, in forma ludica, terreni morbidi, esecuzione attenta, corretta e sempre più automatizzata. In con-

clusione, si raccomanda continuità, gradualità, privilegiare la costruzione piuttosto che la massimizzazione, valorizzare le capacità di recupero, mantenere costanti e fare assestare l'atleta ai carichi, scegliere terreni e calzature adeguate.

Bibliografia

- Aagard P. (2003) Training induced changes in neural function. *Exercise and Sport Science Review*, vol 31 n° 2 April.
- Avela J., Finni T., Liikavainio T., Niemela E., Komi P.V. (2004) Neural and Mechanical responses of the triceps surae muscle group after 1 h of repeated fast passive stretches. *J Appl Physiol* 96, 2325-2332.
- Barber Westin S.D., Noyes F.R., Galloway M. (2006) Jump related characteristics and muscle strength development in Young Athletes, *Am J of Sports med* vol 34, n. 3.
- Bobbert M.F. (2001) Dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: a simulation study, *J Exp Biol* 204, 533-542
- Brozovich F.V., Yates L.D., Gordon A.M. (1988) Muscle force and stiffness during activation and relaxation, *J Gen Physiol*, vol 91, 399-420
- Bosco C. (1997) *La forza muscolare. Aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche*. Società Stampa Sportiva, Roma
- Bosco C. (1992) *La Valutazione della Forza con il test di Bosco*. Società Stampa Sportiva, Roma.
- Chelly S.M., Denis C. (2001) Leg Power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance, *Med Sci Sports Exerc.*, vol. 33, n. 2, pp. 326-333.
- Diallo O., Dore E., Duche P., Van Praagh E. (2001) Effects of pliometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players, *J of Sportsmed and phys fitness*, 41, 342-348.
- Duchateau J., Balestra C., Carpentier A., Hainaut K. (2002) Reflex regulation during sustained and intermittent submaximal contractions in humans. *J of Physiol* 541, 3, 959-967.
- Froehner G., Tronick W. (2007) La prevenzione dei traumi nello Sport giovanile. *SDS-Riv di Cult Sport*, n. 74, p. 43-62.
- Gollhofer A., Komi P.V. (1997) Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *J of Appl Biomech*, vol. 13 n° 4.
- Grosset J.F., Mora I., Lambertz D., Perot C. (2007) Changes in Stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children, *J Appl Physiol*, 102, 2352-2360.
- Hettinger T. *Muskelkrafttraining*, Thieme Verlag Berlin 1973.
- Hakkinen K., Keskinen K.L. (1989) Muscle Cross sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength and endurance trained athletes and sprinters; *Eur J Appl Physiol*, 59, 215, 220.
- Hunter J.P., Marshall R.N., McNair P. (2004) Reliability of Biomechanical Variable of Sprint running, *Med Sci Sports Exerc.*, vol 56, n° 5, 850-861.
- Ikai M., Fukunaga T. (1970) A study on training effects on strength per cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement. *Eur J Appl Physiol* 28, 173.
- Ingen Schenau J., Bobbert M.F., de Haan A. Does Elastic energy enhance work and effi-

- ciency in stretch shortening cycle? *J. of Applied Biomechanics* 12, 389-415, 1997
- Ishikawa M., Niemela E., Komi P.V. (2005) Interaction between fascicle and tendinous tissue in short- contact stretch-shortening cycle exercise with varying eccentric intensities, *J Appl Physiol.*, 99 217-223.
- Judex S., Zernicke R.F. (2000) High Impact exercise and growing bone: relations between high strain rates and enhanced bone formation. *J Appl Physiol.*, 88, 183-191.
- Komi P.V. (1973) *Stretch Shortening cycle in Strength and Power*, Komi 8ed) Blackwell Scientific Publication Oxford (2003).
- Kjaer M. (2004) Anpassung der Sehnen an koerperliche Belastung, *Deutsch Zeitschrift fuer Sportmedizin* 55, n. 6.
- Kyrolainen H., Komi P.V. (1995) Differences in mechanical efficiency in athletes during jumping *Eur J of Appl Physiol* 70, 36-44.
- Kubo K., Kaneisha H., Kawakami Y., Fukunaga T. (2000) Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinter. *Acta Physiol Scand.*, 168, 327-335.
- Kubo K., Kaneisha H., Fukunaga T. (...) Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles *J Physiol* 536, 2 pp. 649-655.
- Lambertz D., Mora I., Grosset J.F., Perot C. (2003) Evaluation of musculo tendinous stiffness in prepubertal children and adults taking into account muscle activity, *J Appl Physiol* 95, 64-72.
- Marginson V.V., Rowland A.V., Gleeson N.P., Eston R.G. (2005) Comparison of the symptoms of exercise induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys, *J Appl Physiol.*, 99 1174-1181.
- McKay H., Tsang G., Mackevie K., Sanderson D., Khan M.K., (2005) Ground reaction forces associated with an effective elementary school based jumping intervention, *Br J Sports Med.*, 39,10-14.
- Mero A., Komi P.V. (1985) Effect of supramaximal velocity on biomechanical variables variables in sprinting, *Int J of Sport Biomech.*, 1(3) 240-252.
- Muraoka T., Muramatsu T., Fukunaga T., Kaneisha H. (2005) Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength, *J Appl. Physiol.*, 99, 665-669.
- Ozugoven H.N., Berme N. (1988) An experimental and analytical study of impact forces during human jumping, *J Biomech* 21(12) 1061-1066.
- Pertunen J.O., Kyrolainen H., Komi P.V. 2000 e al Biomechanical loading in the triple jump. *J Sport Sci* 18, 363-370.
- Pousson M, Van Oecke J, Goubel F, changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise, *J of Biomech*; 23, 343-348.
- Rack P. M., Westbury D.R. 1974 - The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties, *J Physiol* 240, 331-350.
- Rassier D.E., Herzog W. 2005 - Relationship between force and stiffness in muscle fibers after stretch. *J Appl Physiol* 99, 1769-1775.
- Ross A., Leveritt M., Riek S. 2001 - Neural influence on Sprint running, Training adaptation and acute response, *Sport med* 31(6) 409-425.
- Sousa F., Ishikawa M., Vilas Boas J.P., Komi P.V. 2007 - Intensity and muscle-specific behaviour during human drop jump, *J Appl Physiol* 102, 382-389.
- Urlando A., Hawkins D. 2007 - Achilles tendon adaptation during strength training in young adults. *Med Sci Sports Exerc.* Jul; 39 (7):1147-1152.
- Wilson G.J., Wood G.A., Wood G.A., Elliot C.B. 1991 - Optimal stiffness of elastic component in a stretch-shorten cycle activity, *J Appl Physiol* 70, 2, 825-833.
- Wilson G.J. 2000 - *Limitation to the use of isometric testing in athletic assessment in "Physiological Tests for Elite athletes"*, Australian Sport Commission, Human Kinetics, Publisher, Champaign Illinois.