



Coni

Scuola dello Sport

Rivista di cultura sportiva

Pubblicazione Trimestrale tecnico scientifica
Anno XXIII - nuova serie - numero **60-61**
Gennaio-Giugno 2004

sds

EURO 5,90 (NUMERO DOPPIO: EURO 10,00)

Teoria dell'allenamento
Le tappe conclusive della carriera
degli atleti di alto livello

Metodologia dell'allenamento
Stretching e performance sportiva

Genetica e sport
Genetica e limiti della capacità
di prestazione umana

Fisiologia
Attività fisica sport
e invecchiamento

Alimentazione
Dieta mediterranea
anche per gli atleti
di alto livello?



**CALZETTI
MARIUCCI**

e d i t o r i

IN CASO DI MANCATO RECAPITO INVIARE AL CDR DI ROMA ROMANINA PER LA RESTITUZIONE AL MITTENTE PREVIO PAGAMENTO RESI



Gilles Cometti, *Facoltà di scienze dello sport, UFR STAPS Digione;*

Lucio Ongaro, *Facoltà di Scienze Motorie, Università degli Studi di Milano;*

Giampiero Alberti, *Istituto per l'esercizio fisico, salute e attività sportiva, Facoltà di Scienze Motorie, Università degli Studi di Milano*

Stretching e performance sportiva

Effetti fisiologici degli esercizi di stretching, loro restrizioni applicative e utilità, prima e dopo la performance sportiva (parte prima)

Gli effetti degli esercizi di stretching possono essere elencati rispetto a tre diverse situazioni: prima della performance, per una "preparazione" più efficace per la gara; dopo la performance per un migliore "recupero"; come tecnica per migliorare la mobilità articolare e contribuire a migliorare quella qualità che alcuni chiamano "scioltezza". In questo lavoro, diviso in due parti, verranno illustrati, in ragione delle più recenti acquisizioni scientifiche, ruolo e utilità degli esercizi di stiramento muscolare. Nella prima parte di questo lavoro vengono trattate le basi e gli effetti fisiologici delle diverse tecniche di stretching; nella seconda parte vengono prese in considerazione le prime due situazioni: l'utilità degli esercizi di stretching prima della prestazione, per una preparazione più efficace alla gara, e dopo di essa per un migliore recupero che allo stato attuale, risultano anche i più controversi.



Introduzione

L'introduzione degli esercizi di allungamento muscolare e le varie tecniche di *stretching* hanno rappresentato un progresso fondamentale nel processo di allenamento legato alla preparazione fisica. Atleti praticanti le più diverse discipline sportive hanno via via dedicato più attenzione alle differenti sollecitazioni dei vari gruppi muscolari, e imparato ad esplorare con maggiore sensibilità le proprie capacità di mobilità articolare.

Lo scopo di questo lavoro non è, quindi, quello di mettere in discussione l'importanza degli esercizi di stiramento muscolare,

ma di elencare i riscontri scientifici di alcuni studi e ricerche rivolti agli effetti delle tecniche di *stretching* più utilizzate. Queste tecniche, che hanno come obiettivo principale, il miglioramento della mobilità articolare, si sono viste progressivamente attribuire virtù quasi universali che spaziano dal ruolo, considerato determinante, per la fase di riscaldamento, alla prevenzione degli infortuni, passando dal potenziamento muscolare alla rieducazione dopo eventi traumatici.

Se ciò fosse vero, si potrebbe pensare che gli esercizi di allungamento, nelle loro differenti modalità d'impiego, potrebbero risolvere tutti i problemi della preparazione fisica.

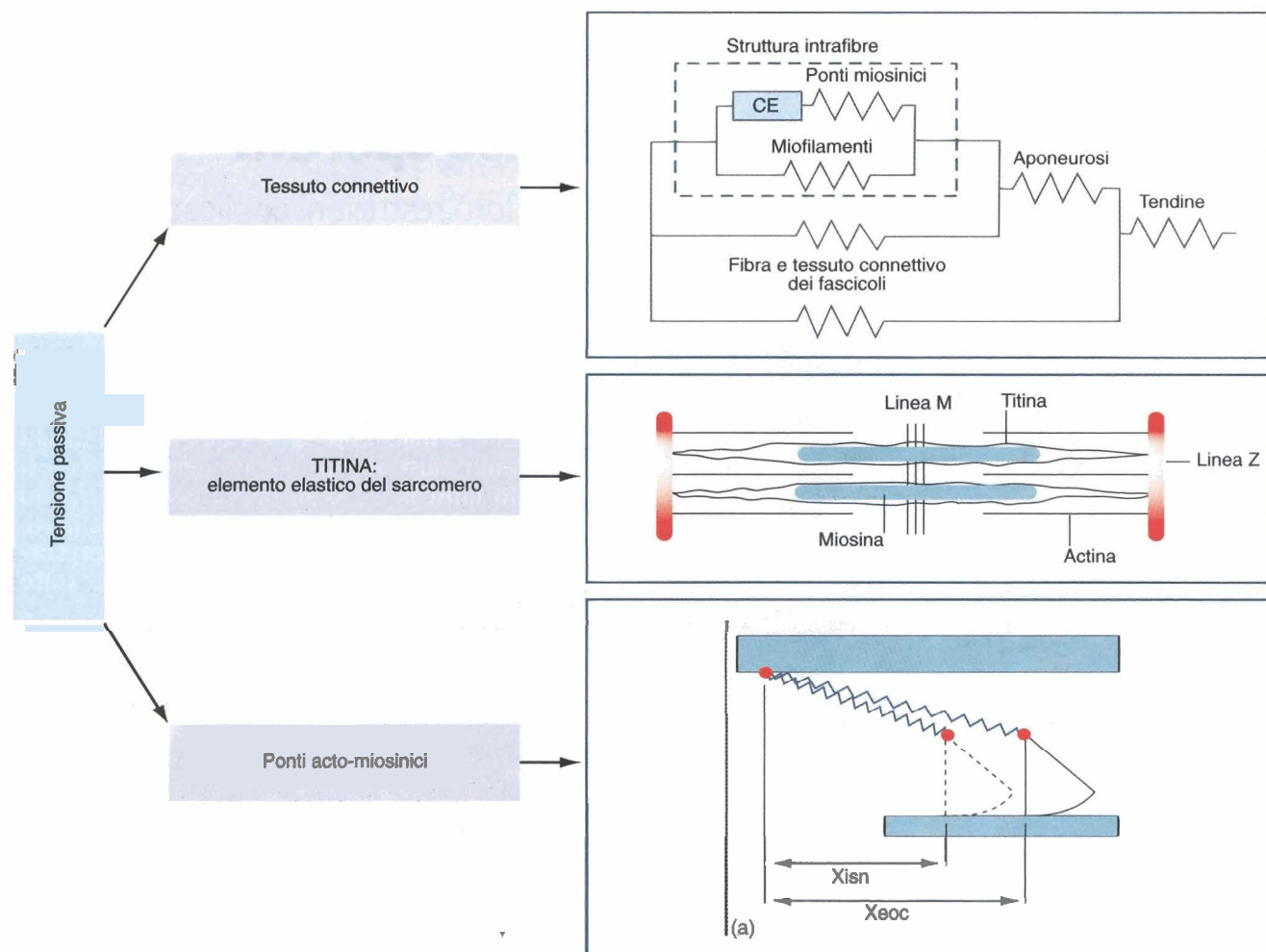


Figura 1 – Le strutture sollecitate dagli stiramenti passivi (secondo Proske, Morgan 1999)

È possibile elencare gli effetti degli esercizi di stretching rispetto a tre diverse situazioni:

- prima della *performance*, per una "preparazione" più efficace per la gara;
- dopo la *performance* per un migliore "recupero";
- come tecnica per migliorare la mobilità articolare e contribuire a migliorare quella qualità che alcuni sportivi chiamano "scioltezza".

In questo articolo, diviso in due parti, verranno illustrati, in ragione delle più recenti acquisizioni scientifiche, ruolo e utilità degli esercizi di stiramento muscolare.

Nella prima parte di questo lavoro ci occuperemo degli effetti fisiologici delle diverse tecniche di stretching; nella seconda parte prenderemo in considerazione i primi due aspetti che, allo stato attuale, risultano anche i più controversi.

1. Le strutture coinvolte dagli esercizi di stretching

Secondo Proske, Morgan (1999) la tensione prodotta durante gli stiramenti passivi coinvolge generalmente tre strutture:

1. il tessuto connettivo
2. gli elementi elastici del sarcomero
3. i ponti di acto-miosinici (figura 1)

1.1 Il tessuto connettivo

Quando si realizza uno stiramento passivo gli elementi sollecitati dall'aumento dell'ampiezza del movimento sono nell'ordine:

- la congiunzione tendine-osso;
- il tendine;
- la congiunzione muscolo-tendine;
- gli elementi elastici in parallelo;
- le strutture muscolari.

Secondo Huijing (1994) il tessuto connettivo coinvolge il tendine e tutti gli elementi elastici che avvolgono il muscolo. L'Autore ha proposto un modello che rappresenta le strutture elastiche (figura 2). Il tessuto connettivo comprende tutto ciò che circonda le fibre (parte dello schema

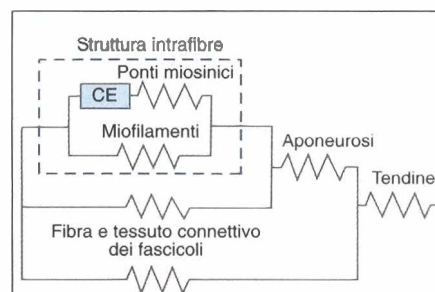


Figura 2 – Modello schematico dell'unità muscolo-tendinea (secondo Huijing 1994).

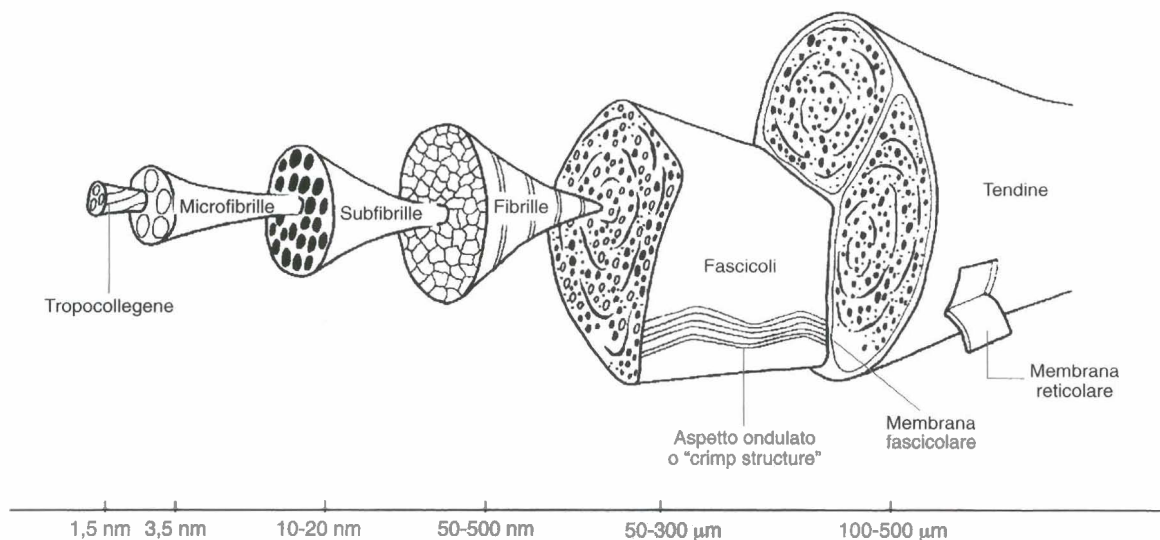


Figura 3 – Rappresentazione dei differenti livelli delle strutture che costituiscono il tendine, dal tropocollagene fino ai fascicoli “ondulati” (secondo Kastelic e coll, 1978, modificato).

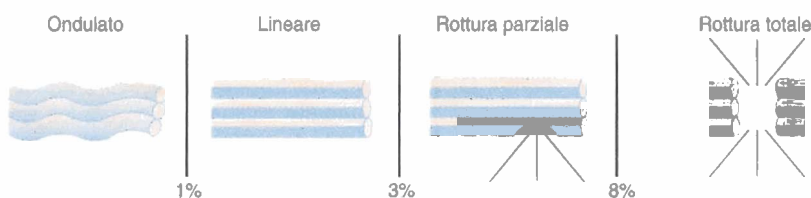


Figura 4 – I quattro stati del collagene (secondo Butler e coll. 1978, modificato) in funzione della percentuale di deformazione.

all'esterno delle strutture “intrafibre”), le fasce muscolari, le aponeurosi e il tendine. Si notano degli elementi in “serie” (ponti di miosina, aponeurosi, tendine) e degli elementi in “parallelo” (miofilamenti, fibre e fascicoli, fascia muscolare).

1.1.1 Il tendine

Il tendine è costituito principalmente da fibre di collagene che costituiscono circa il 70% della sua massa. Contiene inoltre una piccola quantità di mucopolisaccaridi e di elastina. Nella figura 3 sono rappresentati gli elementi che lo costituiscono: il tropocollagene che forma le microfibrille, a loro volta riunite in subfibrille che compongono le fibrille, poi i fascicoli e infine il tendine. Osservato al microscopio il tendine mostra un aspetto ondulato. Ogni livello ha una sua fascia specifica. Ciascuno dei fascicoli all'interno del tendine è organizzato in parallelo rispetto agli altri.

La risposta meccanica del tendine

Se un tendine viene sottoposto a un test di stiramento la risposta alla sollecitazione avviene in diverse fasi (figura 4). Butler e coll (1978) ne distinguono quattro principali: il tendine mostra inizialmente un andamento “ondulato” che poi diviene “lineare”, in seguito appaiono delle “lacerazioni parziali” ed infine avviene la quarta fase che è quella della “rottura” completa. Quando si studia la risposta meccanica del tendine alla deformazione, si ottiene una curva (figura 5) sull'andamento della quale

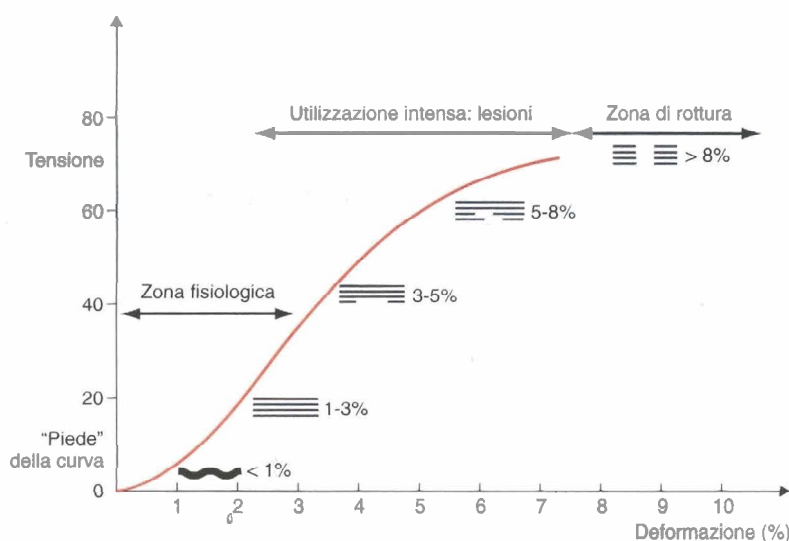


Figura 5 – Curva tensione-deformazione del tendine dalla fase “ondulata” fino alla rottura totale. Le zone “fisiologica” e “utilizzo intenso” sono quelle relative alla pratica sportiva (secondo Butler e coll. 1978, modificato).

si possono situare le differenti sollecitazioni del collagene in funzione delle sollecitazioni legate allo stile di vita (Butler e coll. 1978). La descrizione della curva si può ricondurre alle quattro tappe:

1. La parte iniziale "ondulata" e bassa della curva (o "piede" della curva) nel corso della quale il tendine ha ancora un andamento ondulato: questa fase termina quando compare l'andamento lineare. Secondo Viidik (1973) questo si verifica quando la deformazione arriva a circa 1-2%.
2. La parte "lineare" della curva corrisponde alla fase durante la quale le fibre sono tese e ciò si deve alle principali sollecitazioni legate alle attività sportive (salto, corsa, ecc.); alcuni dati indicano che questa zona ha termine in corrispondenza di circa il 3% della deformazione. Essa è delimitata dal livello di deformazione oltre il quale le fibre subiscono delle microlacerazioni.
3. La fase di "lacerazione parziale" (dal 3 all' 8% di deformazione) nel corso della quale il tendine reagisce a sollecitazioni intense con lacerazioni microscopiche che si ricompongono al cessare delle sollecitazioni. Durante questa fase avviene il potenziamento del tendine. Il limite di questa fase è costituito dalla rottura totale.
4. Se la deformazione supera l'8% si verifica la rottura totale del tendine.

Gli effetti degli esercizi di stretching sui tendini

In numerosi studi si dimostra che il tendine è molto sensibile alle sollecitazioni dovute all'esercizio fisico. A queste sollecitazioni reagisce rinforzandosi, come dimostrano le ricerche condotte da Tipton e coll. (1967, 1974). Secondo questi studi l'allenamento allo *sprint* determina un aumento delle dimensioni del tendine. Da alcuni studi condotti sui topi sembra che l'allenamento sul nastro trasportatore provochi un aumento dello spessore e del numero delle fibrille dei tendini (Michna 1984). Kubo e coll. (2001) hanno studiato l'effetto di uno stiramento di 10 minuti del tricipite surale sul tendine durante il movimento di flessione dorsale della caviglia a 35° e verificarono una diminuzione della rigidità e della viscosità. In un successivo studio, Kubo e coll. (2002) valutarono gli effetti di un allenamento di *stretching* costituito da cinque stiramenti di 45 s alternati con 15 s di riposo, effettuato per tre volte al giorno per venti giorni consecutivi. La rigidità del tendine non risultò modificata, ma si riscontrò una diminuzione della viscosità.

1.1.2 La congiunzione tendine-muscolo

Per lungo tempo si è ritenuto che la trasmissione delle tensioni dal muscolo al tendine (e viceversa) avvenissero unicamente per via diretta (in serie) (1 sulla figura 6), ma Patel e Lieber (1997) e Huijing (1999) hanno dimostrato che la trasmissione si realizza anche trasversalmente (2 nella figura 6).

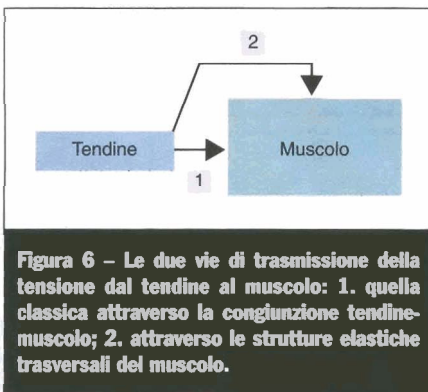


Figura 6 – Le due vie di trasmissione della tensione dal tendine al muscolo: 1. quella classica attraverso la congiunzione tendine-muscolo; 2. attraverso le strutture elastiche trasversali del muscolo.

La trasmissione diretta (giunzione tendine-muscolo)

Le forze trasmesse attraverso la giunzione tendine-muscolo sono considerevoli, la trasmissione non si effettua direttamente su di una superficie piana, ma attraverso una membrana chiamata lama basale (*basal lamina*) e su una superficie che pre-

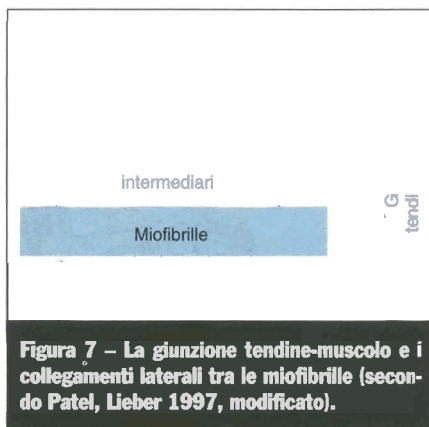


Figura 7 – La giunzione tendine-muscolo e i collegamenti laterali tra le miofibrille (secondo Patel, Lieber 1997, modificato).

senta numerose pieghe. Ciò aumenta la superficie di contatto e disperde le tensioni. Le fibre muscolari non sono dunque in contatto diretto con le fibre di collagene, ma comunicano attraverso il sarcolemma e la lama basale.

Secondo Monty e coll. (1999) la giunzione attraverso la membrana muscolare tra miofilamenti e collagene si effettua attraverso diversi gruppi di proteine di cui attualmente si individuano due catene principali (vedi figura 10):

- la prima giunzione comprende il complesso *distrofina-distroglicani-laminina* (figura 8);
- la seconda comporta il raggruppamento *talina-vinculina-integrina-laminina* (figura 9).

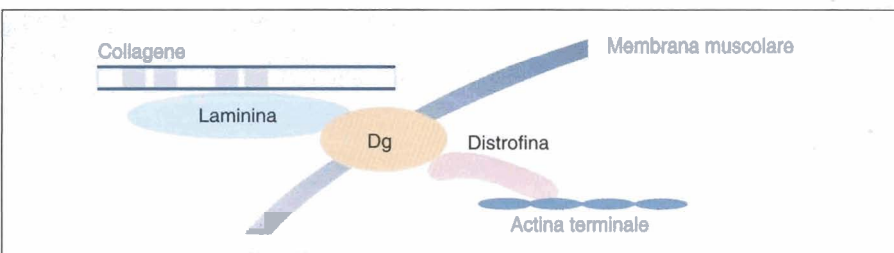


Figura 8 – La catena di proteine "distrofina-distroglicani-laminina". I contatti si effettuano con dei prolungamenti dell'actina. Il complesso "distroglicani" (DG) assicura il passaggio della membrana, la laminina permette l'ancoraggio sul collagene.

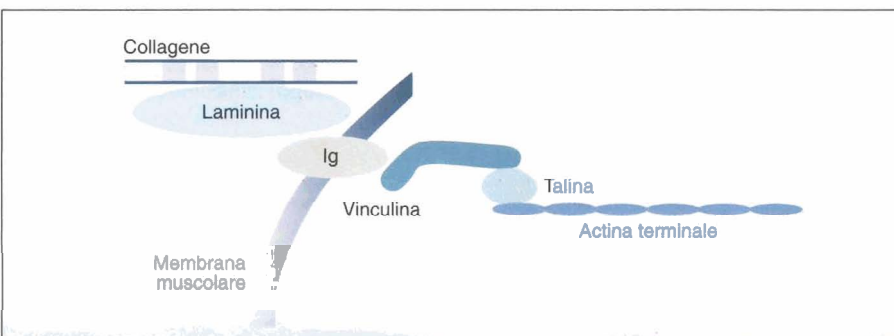


Figura 9 – La catena di proteine "talina-vinculina-integrina-laminina". L'inizio dipende dall'actina terminale, l'integrina assicura il passaggio della membrana.

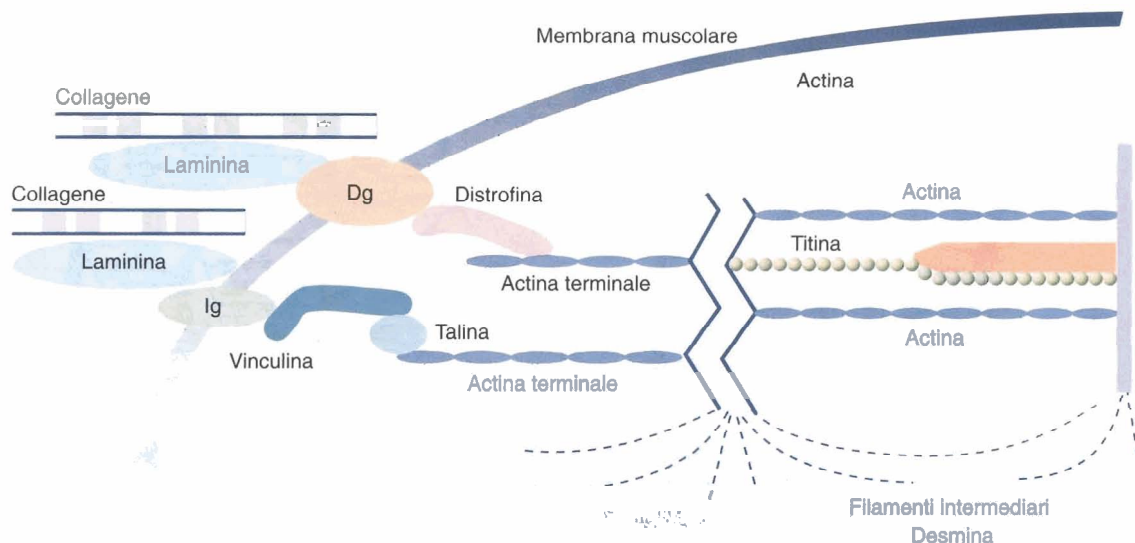


Figura 10 – I due gruppi di molecole che intervengono nella giunzione tendineo-muscolo (secondo Wiemann e completata con i dati di Monty 1999). Si osservano due modalità di collegamento che iniziano dall'actina.

La trasmissione indiretta (trasversale)

Recenti studi di Patel, Lieber (1997) hanno dimostrato che la trasmissione della tensione del muscolo al tendine non si effettua unicamente per la via diretta dei sarcomeri in serie, ma anche lateralmente, attraverso gli elementi elastici in parallelo che trasmettono la tensione alle diverse membrane muscolari: sarcolemma (miofibrille), endomisio (fibre), perimisio (fascicoli di fibre), epimisio (muscolo) per trasmetterla alle aponeurosi e poi, finalmente, al tendine.

- I sarcomeri in parallelo sono resi fra loro coesi dalla desmina (figura 11).
- Le miofibrille sono collegate lateralmente al sarcolemma della fibra attraverso i costameri (figura 12). Questi costameri hanno la medesima composizione (catena di proteine) di quella della giunzione tendineo-muscolo, infatti si osservano gli stessi elementi (integrina, laminina...).

Queste trasmissioni laterali svolgono un ruolo essenziale quando certe fibre non sono attive, ma restano ugualmente preponderanti anche durante gli stiramenti passivi.

Conseguenze pratiche

I diversi elementi che trasmettono le tensioni sono sollecitati durante le contrazioni muscolari e gli stiramenti. Lieber, Friden (2001) rilevano che durante le contrazioni

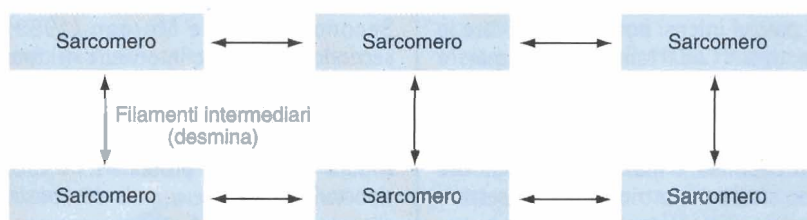


Figura 11 – I sarcomeri sono lateralmente tenuti assieme fra loro dai filamenti intermediari, dei quali la desmina costituisce l'elemento principale (secondo Patel, Lieber 1997, modificato).

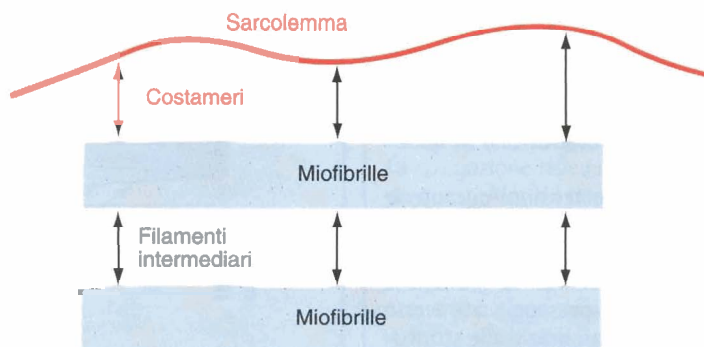


Figura 12 – La trasmissione laterale delle tensioni tra le miofibrille e la guaina muscolare avviene, secondo Patel, Lieber (1997, modificato), grazie ai "costameri".

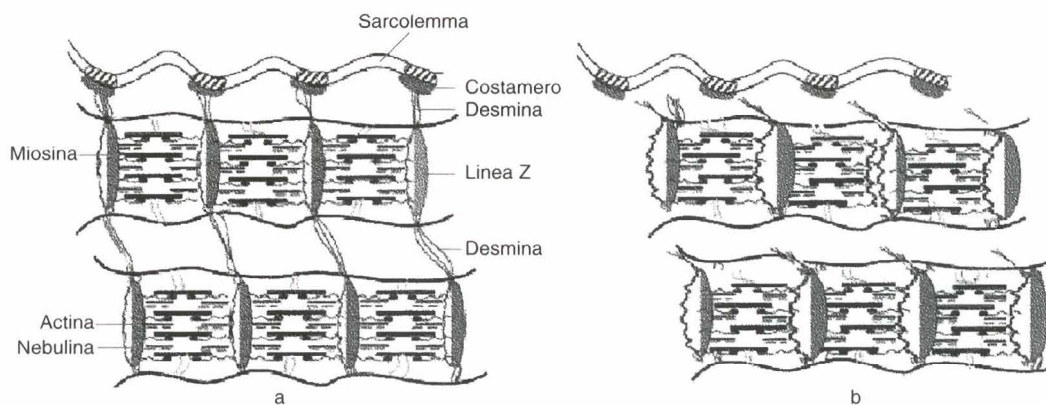


Figura 13 – Effetto di un lavoro eccentrico sull'assetto dei sarcomeri in parallelo (secondo Friden, Lieber 2001, modificato). Si notano delle lacerazioni a livello della desmina.

eccentriche la desmina subirebbe delle costrizioni che potrebbero danneggiarla (figura 13). In una ricerca precedente, condotta su conigli Lieber e coll. (1996) rilevarono, nei primi quindici minuti di uno sforzo ciclico eccentrico, una diminuzione significativa della desmina, segno di rottura (figura 13). Si può pensare che gli stiramenti passivi intensi possano provocare lo stesso tipo di adattamento. Ma questa perturbazione fisiologica relativa innesca un fenomeno di rigenerazione. Babash e coll. (2002) trovarono che nel topo la perdita di desmina è massimale dodici ore dopo lo sforzo eccentrico, ma che, settantadue-centosessantotto ore dopo, la quantità di desmina aumenta in modo consistente in rapporto alla quantità iniziale.

Considerazioni conclusive circa la giunzione tendine-muscolo

In conclusione è probabile che un allenamento costituito da lavoro muscolare intenso (contrazioni eccentriche o esercizi di stiramento profondo) possa provocare dei rimaneggiamenti a livello delle proteine responsabili della trasmissione delle tensioni con la seguente sequenza: distruzione e successiva ricostruzione in quantità superiore.

La trasmissione delle tensioni durante le contrazioni o l'allungamento passivo tra gli elementi muscolari e i tendini si effettuano attraverso due vie: la giunzione muscolo-tendine e il passaggio attraverso le membrane muscolari grazie alle strutture trasversali (desmina, costamero). L'insieme di questi elementi reagisce alle sollecitazioni relative all'allenamento con un rimodellamento che va da una distruzione a una ricostruzione di livello superiore. Secondo questa ipotesi gli stiramenti con-

corrono all'adattamento muscolare, e, anche se effettuati in forma passiva hanno una azione attiva sulle strutture del tessuto connettivo.

1.2 La titina, elemento elastico del sarcomero

Secondo Proske e Morgan (1999) un secondo fattore che interviene nel muscolo durante la produzione di tensione passiva è costituito dagli elementi "elastici" del sarcomero e in particolar modo dalla *titina* (figura 14). Questa proteina ha il ruolo di riportare il sarcomero nella sua posizione

di partenza dopo una fase di allungamento dello stesso. Essa serve, d'altra parte, a mantenere il buon allineamento della miosina in rapporto all'actina (Wydra 1997). Negli studi di Wiemann e Klee (2000) si dimostra che questo elemento elastico è particolarmente sollecitato durante gli esercizi di stiramento.

A questi dati si può affiancare la figura 14b che mostra le diverse strutture coinvolte nella fase di contrazione e di stiramento muscolare. Nella figura 14b, si ritrova la desmina che collega tra loro i sarcomeri trasversalmente, e la nebulina che affianca l'actina.

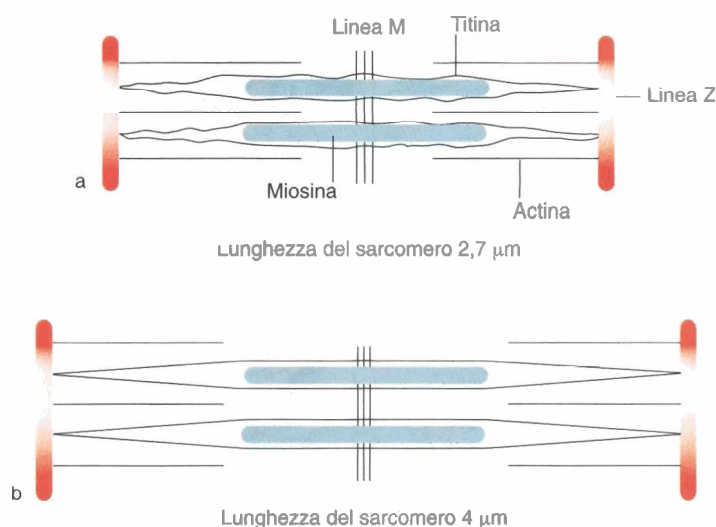


Figura 14 – Gli elementi elastici del sarcomero: tra l'actina e la miosina sono rappresentati dei filamenti di titina. a) sarcomero in posizione "normale" con gli elementi della titina che appaiono rilasciati. b) con una lunghezza maggiore del sarcomero (stiramento) la titina risulta allungata. (secondo Horowitz, Podolsky 1987, modificato).

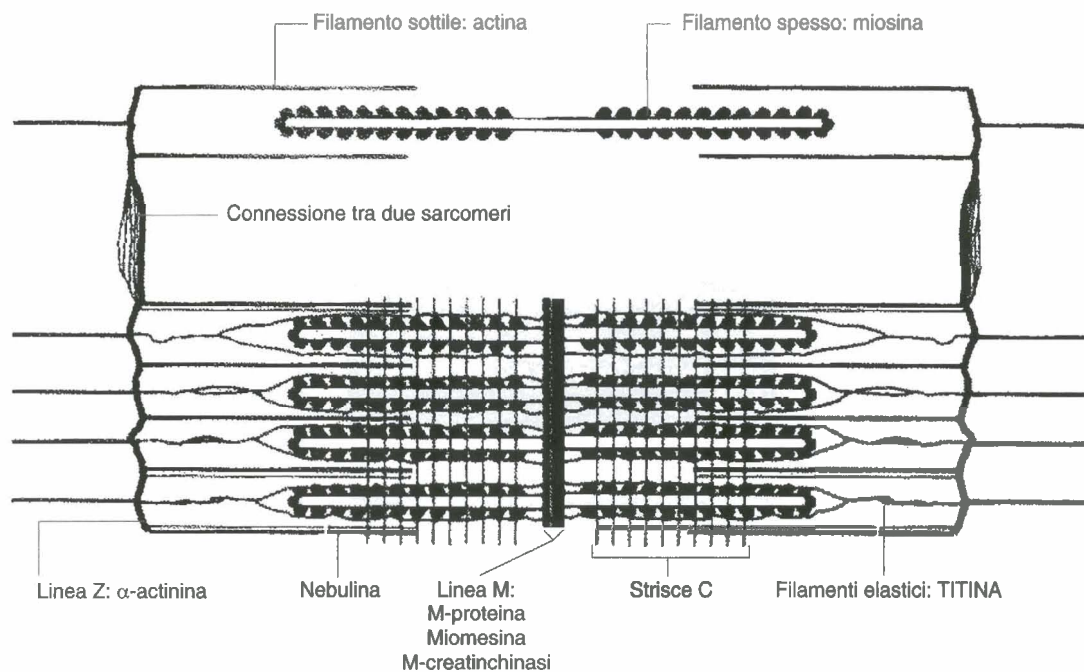


Figura 14b – Rappresentazione degli elementi “elastici” che costituiscono il sarcomero. Si nota la desmina che collega tra loro i sarcomeri, la nebulina a fianco dell’actina, e la titina dalla striscia Z alla miosina (secondo Billeter, Hoppeler 1994, modificato).

Il ruolo della titina negli stiramenti

Magid e Law (1985) hanno dimostrato, misurandola, che la tensione passiva con e senza presenza della membrana della fibra è praticamente la stessa e quindi il ruolo del sarcolemma è minimo. Gli stessi Autori misurarono con lo stesso metodo un fascetto di fibre: la presenza o l’assenza del tessuto connettivo (endomysio, perimysio, e anche l’epimisio) non fece variare di molto la tensione passiva.

Secondo gli Autori questa poteva essere la prova che le strutture che assicurano la tensione passiva sono collocate dentro il muscolo.

Patel, Lieber (1997) trovarono che la titina è composta da due parti : una estensibile e una parte più rigida (quella associata alla miosina). Questo comporta la presenza di due fasi durante l’allungamento della titina. Whitehead e coll. (2002) suggerirono ch’essa sarebbe coinvolta quando il sarcomero fosse stimolato su grandi lunghezze.

Inoltre, Todd e coll. (2002) hanno dimostrato che il lavoro eccentrico sarebbe in grado di danneggiare sia la titina che la nebulina. Essi notarono, nelle biopsie del vasto interno dell’uomo, ventiquattro ore dopo una sessione con esercizi eccentrici, una diminuzione sia della titina che della nebulina (30% in meno per la titina e 15% per la nebulina). Anche Wydra (1997) e Wiemann e Klee (2000) indicano che gli stiramenti intensi sono in grado di alterare queste due strutture.

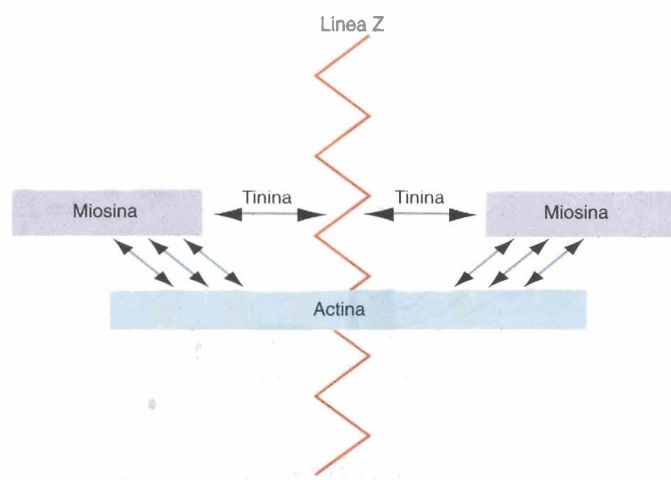


Figura 15 – Schema dell’azione della titina tra la striscia Z a livello del sarcomero (secondo Patel, Lieber 1997, modificato).

1.3 I ponti d’actina-miosina responsabili della tensione passiva

Proske e Morgan (1999) sono persuasi che la causa principale della tensione passiva dei muscoli, riscontrata durante gli stiramenti, sia dovuta ai ponti di actina-miosina stabili che restano attivi anche a riposo. La spiegazione risiede nel fatto che secondo questi Autori i ponti possono presentare tre stati:

- il primo corrispondente alla rigidità residua che riguarda i livelli di calcio residuo;
- il secondo che sopravviene all’attivazione grazie ad un aumento del livello di calcio con produzione di forza flebile, ma rigidità muscolare elevata;
- il terzo livello è quello che corrisponde alla produzione di forza

Secondo Proske e Morgan sarebbe il primo stato dei ponti che provoca la tensione passiva. I ponti si trovano in uno stato stabile, lo stiramento tende romperli, ma alcuni si ricostruiscono mentre gli altri si staccano. Gli Autori spiegano che i sarcomeri non sono tutti uniformi, alcuni si trovano in posizioni che li rendono più deboli e sono questi a cedere per primi.

1.4 Aspetti applicativi

Hutton (1994) già indicava che negli *stretching* il ruolo del tessuto connettivo era sovrastimato, mentre quello dei fattori muscolari (sarcomeri e ponti) meritava di essere maggiormente considerato. Lakie (1998) insiste ugualmente sul fatto che la tensione passiva e il rilasciamento non sono di natura neuromuscolare, ma di natura muscolare intrinseca (actina-miosina). Sembra quindi questa sia l'indicazione più attendibile tra tutte le giustificazioni che riguardano gli esercizi di *stretching*. Per ribadire il ruolo centrale dei ponti nella tensione passiva, Proske e Morgan (1999) insistono sull'importanza delle variazioni nell'evoluzione del rilasciamento quando la sollecitazione meccanica è mirata al sistema tendine-muscolo, e ciò dipende dalla sollecitazione alla quale è stato sottoposto il muscolo prima dello stiramento. Gli autori parlano di *history dependence* del fenomeno che noi traduciamo con "dipendenza temporale". Se il muscolo è stato precedentemente contratto o allungato la risposta durante lo stiramento sarà diversa, e questa variazione di risposta non può essere ricondotta al solo tessuto connettivo, ma evidentemente riguarda anche e soprattutto i fattori muscolari. Le tecniche di stiramento di tipo PNF (cfr. Il parte), trovano certamente la loro giustificazione in quanto appena descritto piuttosto che in spiegazioni di tipo neuromuscolare (inibizione del riflesso miotatico, messa in gioco dell'inibizione reciproca ecc...). In conclusione si può dire, come afferma Lakie (1998) che la spiegazione dei fenomeni di rilasciamento è certamente più natura più "miogenica" che "neurogena".

1.5 Riassunto circa le strutture coinvolte dagli esercizi di stiramento

Fra i tre elementi strutturali stimolati dagli esercizi di allungamento sembra che non sia il tessuto connettivo ad avere il ruolo più importante. Difatti, quando si allunga il complesso tendine-muscolo, poiché il tendine è meno deformabile, è la parte muscolare che subisce l'allungamento. Proske e Morgan (1999) considerano fondamentale il terzo fattore: i ponti rimasti

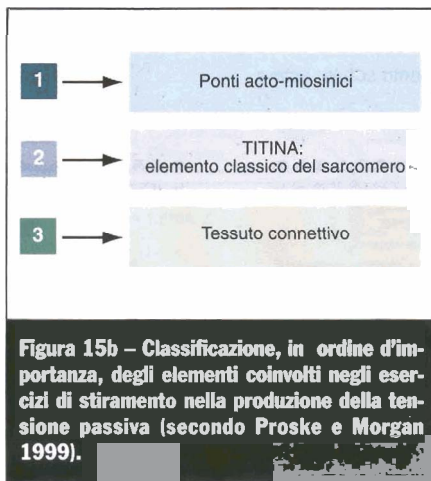


Figura 15b – Classificazione, in ordine d'importanza, degli elementi coinvolti negli esercizi di stiramento nella produzione della tensione passiva (secondo Proske e Morgan 1999).

attivi durante il rilasciamento e, subito dopo esso, pensano che siano determinanti gli elementi elastici del sarcomero, fattori che, d'altra parte, sono sempre più considerati dagli studi più recenti. Tessuto connettivo, tendini e membrane sono, quindi, considerati meno importanti.

2. Gli effetti degli esercizi di stiramento

Gli effetti degli esercizi di *stretching* sono classificabili secondo cinque diversi livelli:

1. Quando si effettuano degli stiramenti si osserva subito un risultato concreto, "si va più lontano", quindi si guadagna in ampiezza.
2. Di seguito si richiama, si evoca la sensazione di rilassamento con la sua cosiddetta *dimensione neuro-psicologica*.
3. Gli effetti sull'unità tendine-muscolo e quindi *rigidità* e *viscoelasticità* costituiscono il terzo fattore.
4. L'aumento della tolleranza allo stiramento è uno degli argomenti sempre più considerati.

5. Infine, l'allungamento del muscolo allo scopo di stimolare l'aumento del numero dei sarcomeri è ugualmente posto in discussione.

2.1 Valutazione dell'ampiezza articolare (ROM)

Quando l'obiettivo è migliorare la cosiddetta *scioltezza*, il criterio oggettivo principale, per valutare gli effetti del lavoro di stiramento, risiede nella misura dell'ampiezza del movimento articolare. Hutton, in una ricerca del 1994, che aveva come oggetto d'indagine il movimento dell'anca, ha proposto un protocollo specifico (figura 16), adatto per valutare i miglioramenti durante l'azione di stiramento dei muscoli ischio-crurali. Si parla così di *Range of Motion* (ROM) che si può anche tradurre con *grado di ampiezza del movimento*.

Numerose altre ricerche si sono basate solamente su questa misura oggettiva. Purtroppo però la valutazione dei miglioramenti dell'ampiezza dei movimenti, nonostante rappresentino una chiara indicazione dell'efficacia del metodo utilizzato, non forniscono alcuna indicazione sulle modificazioni fisiologiche messe in gioco.

2.2 Il paradosso del rilasciamento muscolare

L'effetto di rilasciamento degli esercizi di stretching

Gli studi condotti da Guissard e coll. (1988) sono in linea con i risultati ottenuti da Moore e Hutton (1980) e dimostrano che le tecniche di stiramento diminuiscono l'eccitabilità dei motoneuroni e di conseguenza, secondo Guissard, il rilasciamento. Le condizioni per ottenere il miglior rilasciamento sono descritte in maniera molto precisa:

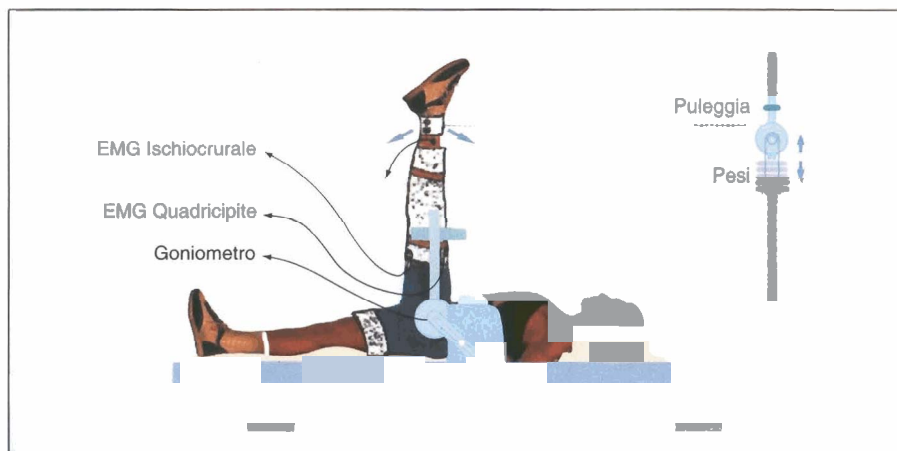


Figura 16 – Rappresentazione del dispositivo di Hutton (1994) per misurare l'ampiezza dei movimenti dell'anca.

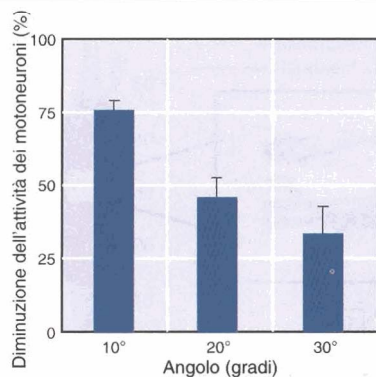


Figura 17 – L'eccitabilità dei motoneuroni in funzione dell'ampiezza dello stiramento.

- per il muscolo tricipite surale con l'aumentare dell'ampiezza dello stiramento diminuisce l'eccitabilità (figura 17)
- i metodi CR (*Contract-Relax*) e AC (*Agonist-Contraction*) sono più efficaci degli stiramenti di tipo statico (figura 18)
- i metodi CR e AC sono più efficaci degli stiramenti statici per ottenere miglioramenti della mobilità articolare.
- il rilasciamento è massimo dai primi cinque ai dieci secondi di stiramento (figura 19) e poi diminuisce
- alla fine dello stiramento l'eccitabilità dei motoneuroni ritorna al livello di partenza, quindi nel muscolo vengono immediatamente ristabilite le condizioni iniziali di efficacia di azione.
- inoltre Guissard ha dimostrato che, nei movimenti di stiramento di ampiezza limitata, la diminuzione dell'eccitabilità dipende dalle inibizioni "pre-sinaptiche", mentre gli stiramenti di grande ampiezza inducono delle inibizioni "post-sinaptiche".

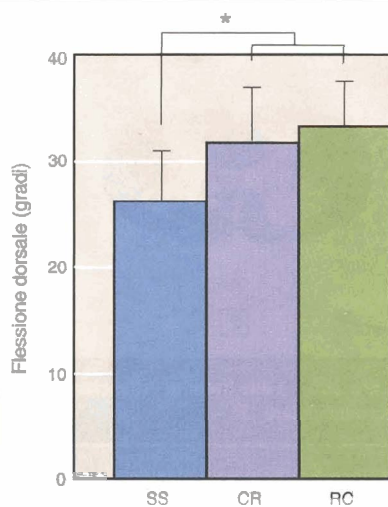


Figura 18 – Miglioramento nel movimento di flessione rispetto a differenti metodi: stiramenti statici (SS), Contrazione-Rilasciamento (CR) e Contrazione dell'Antagonista (AC).

L'insieme di questi indicazioni fornisce certamente argomenti utili per una pratica più corretta dello *stretching*. Per il miglioramento della mobilità articolare le due tecniche PNF (CR e AC) risultano significativamente più efficaci degli stiramenti statici.

L'azione eccentrica

Le considerazioni precedentemente esposte sembrano accreditare l'utilità degli esercizi di *stretching* per il rilasciamento muscolare, ma è necessario tener conto di altre constatazioni fornite da diversi autori. Hutton (1994), utilizzando tecniche

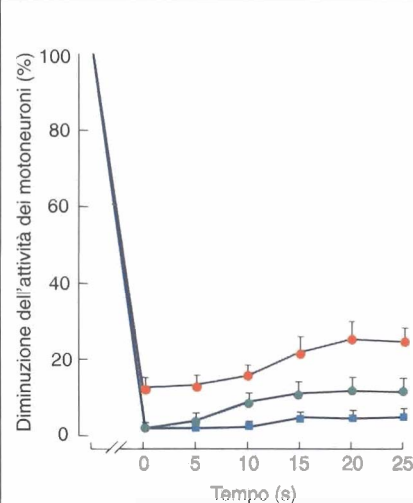


Figura 19 – Evoluzione dell'eccitabilità dei motoneuroni rispetto al tempo. Il rilasciamento è massimo tra il quinto e il decimo secondo, poi diminuisce.

diverse, ha registrato l'attività elettrica (EMG) degli ischio-crurali. La presenza di attività elettromiografica è segno di un'azione muscolare. L'attività del muscolo allungato, valutata mediante EMG, in undici soggetti su ventuno, ha evidenziato le risposte seguenti (dalla più piccola alla più grande): S < CR < AC.

Sembra dunque chiaro che le tecniche PNF provocano una maggiore contrazione del muscolo allungato, come è stato dimostrato da Osternig e coll. (1987) che misurarono un'attività EMG del 155% e come confermato anche da Condon e Hutton, (1987). Hutton aveva dedotto che malgrado la volontà di rilasciamento del soggetto

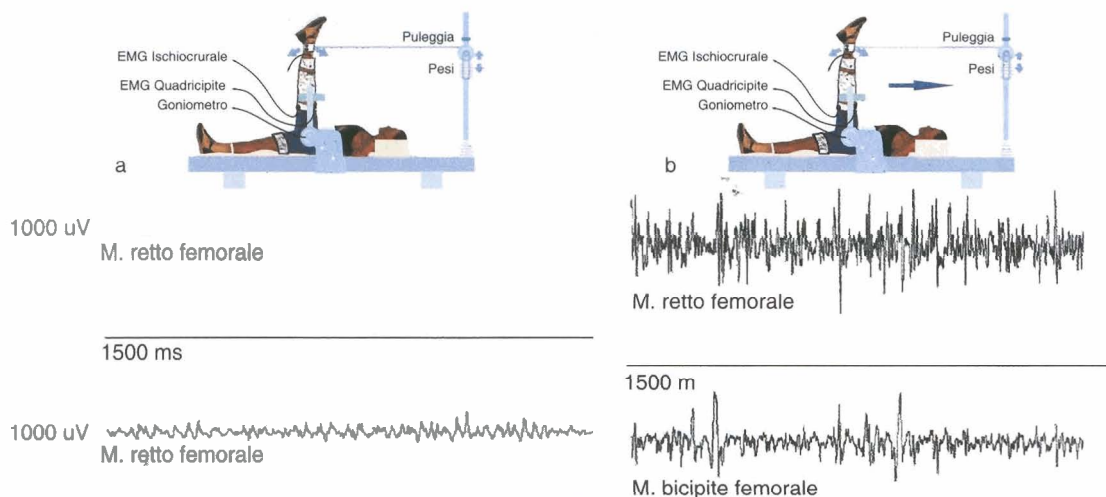


Figura 20 – Registrazione elettromiografica del muscolo stirato (bicipite femorale) e del muscolo agonista dell'azione (retto anteriore): a) uno stiramento passivo provoca una leggera attività del bicipite; b) una contrazione attiva dell'agonista (AC) induce una risposta significativa del bicipite (secondo Freiwald 1999, modificato).

gli esercizi di stiramento comportano una contrazione in allungamento (dunque eccentrica) del muscolo sollecitato. Questa azione muscolare è più marcata nelle procedure PNF (tecniche considerate più adatte a consentire di rilasciare maggiormente).

Freiwald (1999) ha valutato la differenza fra i due metodi come è illustrato nella figura 20.

I due livelli del rilasciamento

Lakie (1998) ha dimostrato che il rilasciamento muscolare dipende da due livelli di funzionamento (figura 20b):

- il primo si riferisce ad un aspetto puramente muscolare (ponti d'actina-miosina);
- al quale si aggiunge quello neuromuscolare (riflesso, inibizione...).

Si può completare questa spiegazione aggiungendo che permane nei sarcomeri una tensione passiva prodotta dai ponti, nonostante le tecniche di *stretching*, provocano un rilasciamento neuromuscolare marcato. Proske, Morgan (1999) hanno suggerito che queste tensioni possono diminuire con azioni muscolari che precedono il rilasciamento.

Alcuni metodi di stiramento utilizzano infatti queste tecniche senza tuttavia fornire spiegazioni in proposito. In effetti, la tensione passiva dei ponti, a livello del sarcomero, può diminuire se si utilizzano contrazioni muscolari che precedono lo stiramento (Proske, Morgan 1999). Si tratta del cosiddetto fenomeno della "dipendenza temporanea". La posizione di copertura dei filamenti di actina-miosina al momento dello stiramento è anch'essa un fattore che influenza il rilasciamento.

2.3 Il paradosso degli effetti immediati e degli effetti a lungo termine: rigidità, viscosità

Gli effetti di una seduta di esercizi

Magnusson (1998) ha messo a punto un protocollo per valutare la rigidità e la variazione della viscoelasticità del muscolo durante un movimento di stiramento. La figura 21 mostra il protocollo sperimentale: un ergometro isocinetico con il soggetto posto in posizione seduta. Il movimento effettuato all'ergometro impone un'estensione lenta del ginocchio per stirare gli ischio-crurali fino a raggiungere una posizione al limite del dolore (posizione individuata con tentativi precedenti). La posizione raggiunta è quindi mantenuta per 90 s, con l'ergometro che registra l'evoluzione della tensione prodotta dagli ischio-crurali.

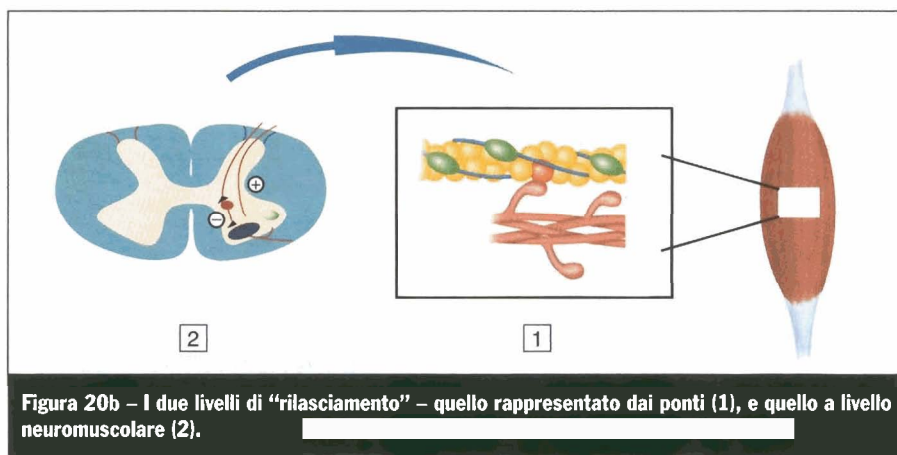


Figura 20b – I due livelli di “rilasciamento” – quello rappresentato dai ponti (1), e quello a livello neuromuscolare (2).

Si sono valutati i due momenti:

- la fase dinamica (estensione del ginocchio);
- e la fase statica (mantenimento della posizione passivamente).

La curva registrata con l'ergometro è illustrata nella figura 21.

Analizzando le due diverse zone della curva, Magnusson ha valutato la rigidità (pendenza della parte ascendente della curva) e la diminuzione della viscoelasticità a partire dalla diminuzione del momento (fase statica). L'Autore dimostra in questo modo che durante una sessione di stiramenti si ottiene una modificazione dei due parametri.

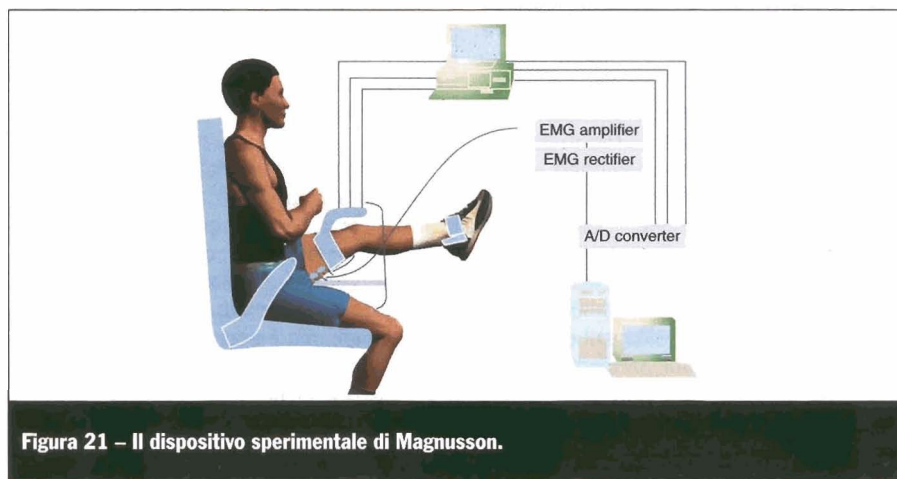


Figura 21 – Il dispositivo sperimentale di Magnusson.

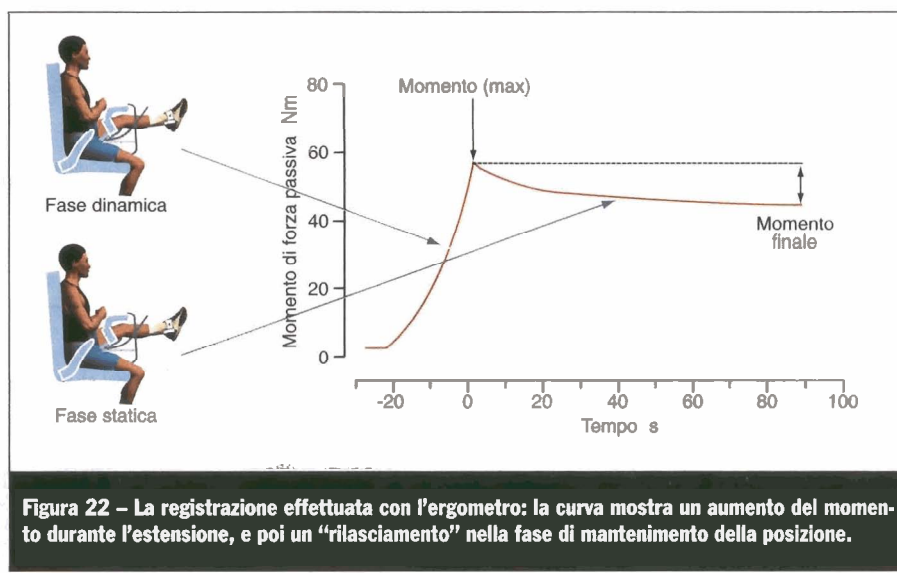


Figura 22 – La registrazione effettuata con l'ergometro: la curva mostra un aumento del momento durante l'estensione, e poi un “rilasciamento” nella fase di mantenimento della posizione.

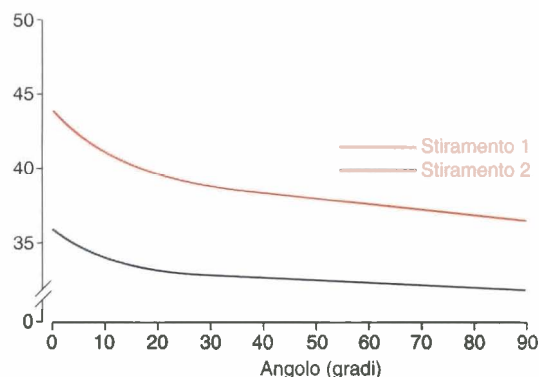
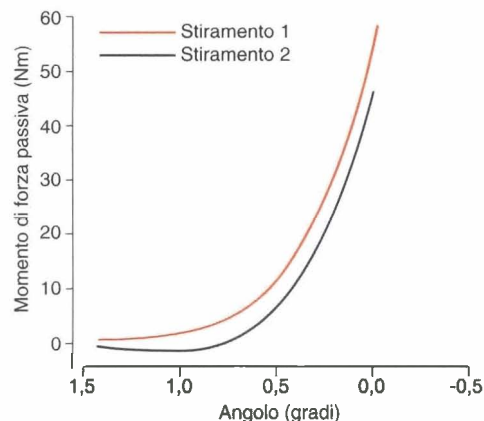


Figura 23 – Evoluzione della rigidità (curva di sinistra) e della viscoelasticità (curva di destra) tra il primo e quinto stiramento nel corso della medesima seduta.

La figura 23 mostra la variazione della rigidità tra il primo e il quinto stiramento: si nota una diminuzione della rigidità. La diminuzione della viscoelasticità è invece molto netta nella curva di destra. Magnusson aveva osservato che tali modificazioni sparivano un'ora dopo le sessioni di lavoro.

L'effetto di alcune settimane di allenamento

Magnusson (1998) valutò alcuni soggetti durante e dopo tre settimane in ragione di tre sedute settimanali e non osservò alcuna modificazione della rigidità e della viscoelasticità, mentre la mobilità articolare era migliorata in maniera significativa. Secondo Magnusson la spiegazione del guadagno di mobilità è da attribuire all'aumento della "tolleranza allo stiramento".

2.4 Una spiegazione fondamentale: la "tolleranza allo stiramento"

Applicando il protocollo di Hutton (figura 16), in seguito all'allenamento, si ottiene un aumento dell'ampiezza dovuto ad una migliore capacità di rilasciamento o ad una modificazione della viscoelasticità dell'unità tendine-muscolo. Si dovrebbe constatare che il soggetto esprime una maggior ampiezza articolare con il medesimo carico di trazione. Infatti, con lo stesso carico il soggetto non va più lontano, è necessario un carico superiore per ottenere un'ampiezza maggiore (Wiemann 1991a, 1994b; Wiemann et al. 1997; Magnusson et al. 1998). Secondo Magnusson la spiegazione di questo fenomeno non può che essere cercata nel concetto *stretch-tolerance*, la cosiddetta tolleranza allo stiramento: il soggetto impara quindi a tollerare lo stiramento.

Durante un programma di stiramenti di breve durata, la mobilità articolare aumen-

ta quando, ripetizione dopo ripetizione, la tensione massimale di stiramento tollerata diviene più elevata. I diversi adattamenti corrispondenti (a breve termine) che sono alla base di questo fatto, sembrano dunque doversi ricercare a livello neuronale, anche se, attualmente, la questione è ancora aperta: sono i recettori del dolore i primi ad essere stimolati e/o i centri midollari intersegmentari, oppure i centri nervosi di elaborazione delle informazioni o di formazione della percezione?

Secondo Magnusson (1998) i meccanismi responsabili dell'aumento della tolleranza allo stiramento sono ancora sconosciuti. Egli ipotizza l'intervento:

- dei processi periferici come le afferenze provenienti dai muscoli, dai tendini e dalle articolazioni;
- e dei fattori d'origine centrale che non possono essere esclusi.

Willy e coll. (2001) hanno studiato gli effetti prodotti da un allenamento composto da stiramenti passivi degli ischiocrurali: il protocollo prevedeva sei settimane di allenamento, seguite da quattro settimane di assenza di stiramenti e ancora sei settimane di ripresa dell'allenamento. L'ampiezza articolare era migliorata da 143° a 152° per ritornare a 145° dopo le quattro settimane di arresto e, di nuovo, 154° dopo ripresa degli stiramenti. Questa ricerca dimostra che si verifica una perdita veloce degli effetti dovuti agli stiramenti e anche che la successiva fase di lavoro non consente ai soggetti di migliorare il livello di ampiezza articolare raggiunto dopo le prime settimane di allenamento. Questo comportamento fa pensare più ad un adattamento di tipo neuromuscolare (apprendimento, tolleranza allo stiramento) piuttosto che al verificarsi di modificazioni fisiologiche marcate.

In conclusione, colpisce il fatto che le grandi *équipes* di ricerca, come quelle di Magnusson, Osternig, Wiemann che hanno sviluppato metodi e tecniche per valutare e quantificare gli effetti degli stiramenti arrivano, in mancanza di risultati certi, a suggerire una spiegazione appartenente ad un campo conoscitivo che a loro sfugge. *In ogni caso resta la prova evidente che gli esercizi di stiramento non hanno gli effetti fisiologici a loro generalmente attribuiti.*

2.5 La regola di Goldspink

La maggior parte degli Autori che hanno elencato gli effetti fisiologici degli esercizi di allungamento (Hutton, Freiwald, Shrier...) hanno fatto riferimento alle ricerche di Goldspink condotte sugli animali (William, Goldspink 1971; Goldspink e coll. 1974). In queste ricerche si dimostrava che in un muscolo immobilizzato (ingessatura dell'arto), in posizione di allungamento si verificava un aumento in serie del numero dei sarcomeri. Da quelle ricerche in poi la domanda che si pone è quella di sapere se anche gli esercizi di stiramento, come quelli che sono praticati in ambito sportivo, sono capaci di determinare l'aumento del numero dei sarcomeri in serie. Infatti la plasticità del numero dei sarcomeri è stata dimostrata anche nell'uomo (Proske, Morgan 2000) a seguito di un allenamento eccentrico.

Per evocare la possibilità di questo ruolo degli stiramenti, bisogna, anzitutto, ritornare alla spiegazione della cosiddetta "regola di Goldspink". Il punto di partenza del ragionamento ci riporta alla curva tensione-lunghezza del sarcomero (Gordon e coll. 1996). La forza sviluppata dal sarcomero dipende dal livello di accavallamento dei filamenti di actina-miosina. Quando la disposizione dei sarcomeri è al punto B

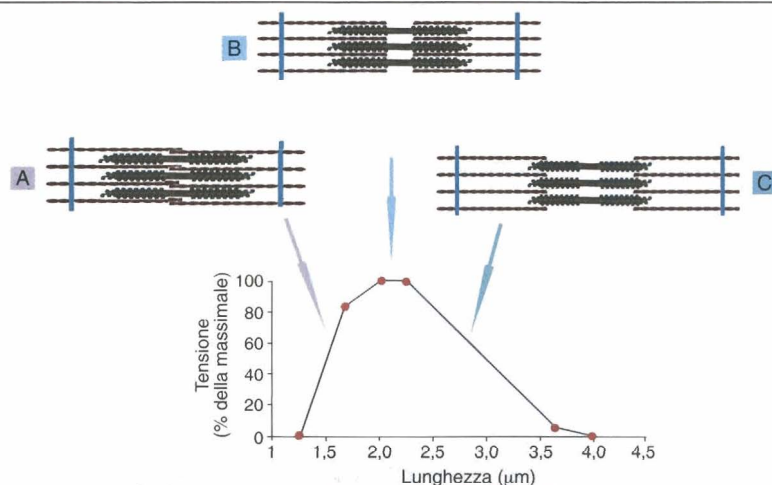


Figura 24 – La curva tensione-lunghezza del sarcomero: in A il sarcomero è molto raccorciato e la tensione è debole; in B si trova la posizione ideale con tensione massima; in C vi è poco contatto tra i filamenti e la tensione risulta debole.

(figura 24) è disponibile un numero massimo di ponti, la tensione prodotta è massima e nella curva di Gordon e coll. (1966) ci si trova dunque al massimo della tensione. Si tratta della tensione "ottimale". In A l'accavallamento dei filamenti limita il numero dei ponti, ci si trova quindi nella zona in salita della curva di tensione. Nel punto C le possibilità dei ponti sono ridotte, poiché l'actina presenta poco contatto con la miosina e ci si trova nella fase discendente della curva.

Goldspink ha formulato la seguente spiegazione: il muscolo si adatta in funzione della lunghezza alla quale è sollecitato più frequentemente, affinché i sarcomeri funzionino alla loro lunghezza ottimale. La regola o il principio di Goldspink è il seguente: *il numero dei sarcomeri in serie di un muscolo si modifica (aumenta o diminuisce) per permettere al muscolo di sviluppare la sua tensione massima nella posizione in cui è più sollecitato*. Esempio: se un saltatore in alto s'allena e salta con degli esercizi che sollecitano i suoi quadricipiti a una flessione del ginocchio di 150° (180° corrispondono all'atteggiamento di ginocchia estese) la lunghezza utile del muscolo è quella che si realizza ai 150°; è a questo grado di flessione al ginocchio che il muscolo risulta più forte. Se i sarcomeri si trovano come nella posizione C della figura, non sono nella loro condizione ottimale e pertanto svilupperanno meno forza.

Se l'atleta si allena molto (il fattore tempo è fondamentale) e sollecita spesso i suoi quadricipiti in tali condizioni, allora il numero dei sarcomeri aumenta (o diminuisce) al fine di permettere a ciascun sarcomero di venirsi a trovare in posizione B (figura 24) (angolazione di 150°) e sviluppare in tal modo la sua tensione massima.

È logico che si sia cercato di applicare questa regola agli stiramenti. Se s'impone ai muscoli una sollecitazione mediante uno stiramento considerevole, come succede nel caso dello *stretching*, si può sperare in un aumento del numero dei sarcomeri in serie e quindi in un allungamento del muscolo? Se il lavoro di *stretching* raccogliesse la maggior parte del tempo d'allenamento dell'atleta, la risposta potrebbe essere positiva, ma una sessione anche quotidiana da 10 a 30 minuti è largamente superata dalle molte ore dedicate all'allenamento tecnico specifico che impone le proprie priorità legate alle sue esigenze muscolari.

2.6 Aspetti applicativi relativi agli stiramenti eccentrici

Se l'aumento del numero dei sarcomeri in serie costituisce un orientamento interessante, tale da giustificare un lavoro di allungamento, è importante ora menzionare l'incidenza del lavoro eccentrico. In effetti, il lavoro muscolare realizzato in tali condizioni è stato indicato come possibile causa d'aumento dei sarcomeri in serie. Secondo Proske, Morgan (2000) ciò non è più in dubbio e Brockett e coll. (2001) l'hanno dimostrato con degli esperimenti condotti sul tricipite della sura. Per Proske e Morgan questo aumento interviene abbastanza velocemente (una settimana) a seguito di una sola sessione di lavoro.

È dunque possibile immaginare una tecnica di stiramento basata su un'azione eccentrica: invece che ricercare il rilassamento diretto si aumenta progressivamente l'ampiezza del movimento, mentre il soggetto contrasta e rilascia gradualmente. Per gli ischio-crurali si è proposto un esercizio nel quale il soggetto esercita

volontariamente un'azione di allungamento tirando, tramite una funicella, progressivamente con le braccia la coscia in flessione sul bacino (flessione dell'anca) mentre contrae i muscoli della loggia posteriore. L'atleta controlla quindi la flessione dell'anca attraverso un'azione eccentrica degli ischio-crurali. Bisogna fare attenzione però a non esagerare con tale procedura in quanto l'atleta potrebbe perdere la capacità di "aggiustamento" rispetto al suo gesto specifico.

Non è quindi consigliabile utilizzare questa tecnica di *stretching* nel periodo di competizione.

3. Considerazioni conclusive sugli effetti fisiologici degli esercizi di stretching

- Sottoponendo a stiramento il sistema tendine-muscolo viene sollecitata per prima la parte "muscolare", a livello dei ponti di actino-miosina e degli elementi elastici del sarcomero (titina), mentre il tessuto connettivo e il tendine sono coinvolti dagli allungamenti di più grande ampiezza.
- Gli effetti di una seduta di esercizi di allungamento modificano la rigidità (diminuzione) e la viscoelasticità.
- Ma, in ogni caso, dopo un ciclo di lavoro, non si riscontrano modificazioni durature di questi parametri.
- Infatti solamente l'ampiezza articolare (ROM) viene aumentata in maniera stabile.
- La spiegazione dell'aumento dell'ampiezza (mobilità articolare) senza modificazioni corrispondenti dei parametri muscolari, si trova nell'aumento della cosiddetta "tolleranza allo stiramento".
- Si nota anche una diminuzione della rigidità passiva e del tono muscolare, fenomeni che ci inducono ad interrogarci sul ruolo dello *stretching* quando l'obiettivo è il miglioramento delle capacità di elevazione e di velocità.
- Gli esercizi di stiramento influenzano i parametri neuromuscolari, hanno un effetto di rilasciamento.
- I metodi più efficaci (PNF) comportano una contrazione eccentrica del muscolo allungato.
- L'aumento del numero di sarcomeri in serie (Goldspink) rimane un interessante argomento per giustificare l'uso gli esercizi di stiramento, ma il lavoro eccentrico resta ancora il mezzo più efficace per ottenere tali modificazioni, come dimostrano i numerosi riscontri scientifici sugli effetti delle sollecitazioni eccentriche (Proske, Lieber...). Nessuna ricerca ha però dimostrato che ciò vale anche per gli esercizi di stiramento.

Dopo aver passato in rassegna gli effetti fisiologici degli stiramenti non appare, allo stato attuale delle nostre conoscenze, che la pratica regolare degli esercizi di stiramento comporti delle specifiche modificazioni, diverse da quelle provocate dalle altre sollecitazioni muscolari (allenamento, muscolazione, pratica sportiva...).

Non sembra quindi giustificato l'uso di sedute complete di *stretching* per discipline sportive il cui modello prestativo non prevede un ruolo fondamentale della mobilità articolare (come accade invece nel caso della ginnastica, della ginnastica ritmica, della danza). Perché quindi utilizzare unicamente movimenti di grande ampiezza articolare? Sarebbe più utile sollecitare i muscoli in raccorciamento (muscolazione) e in allungamento: noi consigliamo di inserire gli esercizi di allun-

gimento all'interno della seduta di potenziamento muscolare. In questo tipo di sedute, i muscoli sono sottoposti a delle sollecitazioni che favoriscono un fenomeno supercompensativo che determina un livello prestativo più elevato. Aggiungere gli esercizi di stiramento muscolare durante le pause di recupero, produce un aumento dei fattori microtraumatici, contribuendo così a incrementare l'effetto dovuto agli esercizi di muscolazione, come è stato dimostrato da Kokkonen (2000) che ha posto a confronto due gruppi di atleti che si allenavano per il potenziamento muscolare degli arti inferiori per otto settimane (in ragione di tre sedute settimanali): un gruppo aveva integrato, nella seduta, il lavoro di potenziamento con degli esercizi di stiramento. I risultati dimostrano l'esistenza di un progresso superiore

e significativo per il gruppo "muscolazione-stiramenti" in confronto a quello che aveva utilizzato la sola muscolazione. Si può, quindi, concludere affermando che gli esercizi di stiramento costituiscono un buon completamento del lavoro di potenziamento muscolare, ma non sono utili come metodo specifico da utilizzare in una seduta dedicata.

Indirizzo degli Autori:

G. Cometti, UFR STAPS Digione, BP 27877, 21078, Digione Cedex (Francia).

L. Ongaro, Facoltà di Scienze motorie, Università degli Studi di Milano, Via Kramer 4/A, 20129, Milano.

G. Alberti, Istituto di Esercizio fisico, salute e attività sportiva, Facoltà di Scienze Motorie, Università degli Studi di Milano, Via Kramer 4/A, 20129, Milano.

Bibliografia

- Barash I. A., Peters D., Friden J., Lutz G. J., Lieber R. L., Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 283, 2002, 4, R958-963.
- Billeter R., Hoppeler H., Grundlagen der Muskelkontraktion, Schweiz. Z. Med. Traumatol., 1994, 2, 6-20 (traduzione italiana a cura di M. Gulinelli, Le basi della contrazione muscolare, SDS- Scuola dello sport, XV, 1996, 34, 2-14).
- Butler D. L., Grood E. S., Noyes F. R., Zernicke R. F., Biomechanics of ligaments and tendons, *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 1978, 6, 125-81.
- Freiwald J., Engelhardt M., Konrad P., Jäger M., Gnewuch A., Dehnen, Springer-Verlag, Manuelle Medizin, Vol. 37, 1ª ed., 1999, 3-10.
- Friden J., Lieber R. L., Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components, *Acta Physiol Scand.*, 171, 2001, 3, 321-326.
- Fabbriozzi E. F., Pons A., Robert G., Hugon A., Bonet-Kerrache D., Mornet D., The dystrophin superfamily: variability and complexity, *J. Muscl. Res. Cell. Motil.*, 15, 1994, 595-606.
- Goldspink G., Tabary C., Tabary J. C., Tardieu C., Tardieu G., Effect of denervation on the adaptation of sarcomere number and muscle extensibility to the functional length of the muscle, *J. Physiol.*, 236, 1974, 3, 733-742.
- Guissard N., Duchateau J., Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles, *Muscle Nerve*, 29, 2004, 2, 248-55.
- Guissard N., Duchateau J., Hainaut K., Muscle stretching: and motoneuron excitability, *Europ. J. of Applied Physiology*, 58, 1988, 47-52.
- Horowitz R., Podolsky R., The positional stability of thick filaments in activated skeletal muscle depends on sarcomere length: evidence for the role of titin filaments, *Journal of Cell Biology*, 105, 1987, 2217-2223.
- Huijing P. A., Das elastische Potential des Muskels, in: Komi P. V. (a cura di), Kraft und Schnellkraft im Sport, Colonia, 1994, 155-172.
- Huijing P. A., Muscle as a collagen fiber reinforced composite: a review of force transmission in muscle and whole limb, *J. Biomech.*, 32, 1999, 4, 329-45.
- Hutton R. S., Neuromuskuläre Grundlagen des Stretching, in: Komi P. V. (a cura di), Kraft und Schnellkraft im Sport, Colonia, 1994 b, 41-50.
- Kastelic J., Galeski A., Baer E., The multicomposite structure of tendon, *Connect Tissue Res.*, 6, 1978, 1, 11-23.
- Kubo K., Kanehisa H., Fukunaga T., Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo, *J. Appl. Physiol.*, 92, 2002, 2, 595-601.
- Kubo K., Kanehisa H., Kawakama Y., Fukunaga T., Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendons structures in vivo, *J. Appl. Physiol.*, 90, 2, 2001, 520-527.
- Labeit S., Kolmerer B., Linke W. A., The giant protein titin: emerging roles in physiology and pathology, *Circ. Res.*, 80, 1997, 290-294.
- Lieber R. L., Thornell L. E., Friden J., Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction, *J. Appl. Physiol.*, 89, 1996, 1, 278-84.
- Magid A., Law D. J., Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscle, *Science*, 1985, 13, 230 (4731), 13, 1280-1282.

- Magnusson S. P., Aagaard P., Simonsen E. B., Bojsen-Møller F., A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle, *Int. J. Sports Med.*, 19, 1998, 5, 310-316.
- Magnusson S. P., Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 8, 1998, 2, 65-77.
- Michna H., Morphometric analysis of loading-induced changes in collagen-fibril populations in young tendons, *Cell. Tissue Res.*, 236, 1984, 2, 465-70.
- Moore M. A., Hutton R. S., Electromyographic investigation of muscle stretching techniques, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 1980, 5, 322-329.
- Patel T. J., Lieber R. L., Force transmission in skeletal muscle: from actomyosin to external tendons, *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 1997, 25, 321-63.
- Prosk U., Morgan D. L., Do cross-bridges contribute to the tension during stretch of passive muscle? (Review), *J. Muscle Res. Cell. Motil.*, 1999, 20, 5-6, 433-42.
- Shrier I., Gossall K., Myths and truths of stretching, *The Physician and Sport-medicine*, 28, 2000, 8.
- Sölveborn S. A., Das Buch vom Stretching. Beweglichkeitstraining durch Dehnen und Strecken, Monaco, 1983.
- Tipton C. M., Matthes R. D., Maynard J. A., Carey R. A., The influence of physical activity on ligaments and tendons, *Med. Sci Sports (Review)*, 7, 1975, 3, 165-175.
- Tipton C. M., Vailas A. C., Matthes R. D., Experimental studies on the influences of physical activity on ligaments, tendons and joints: a brief review (Review), *Acta Med. Scand. Suppl.*, 1986, 711, 157-68.
- Vidik A., Functional properties of collagenous tissues (Review), *Int. Rev. Connect Tissue Res.*, 1973, 6, 127-215.
- Wiemann K., Beeinflussung muskulärer Parameter durch ein zehnwöchiges Dehnungstraining, *Sportwissenschaft*, 21, 1991a, 3, 295-306.
- Wiemann K., Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliches Dehnverfahren, in: Hoster M., Nepper H. -U. (a cura di), Dehnen und Mobilisieren, Waldenburger, 1994b, 40-71.
- Wiemann K., Hahn K., Influence of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameter of the human hamstrings, *Int. J. Sports Med.*, 18, 1997, 340-346.
- Wiemann K., Klee A., Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen, *Leistungssport*, 4, 2000, 5-9 (traduzione italiana a cura di M. Gulinelli, Stretching e prestazioni sportive di alto livello, XIX, 2000, 49, 9-15).
- Wiemann K., Klee A., Stratmann M., Filamentäre Quellen der Muskel-Ruhe-spannung und die Behandlung muskuläre Dysbalancen, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 44, 1998, 4, 111-118.
- Williams P. E., Goldspink G., Longitudinal growth of striated muscle fibres, *J. Cell. Sci.*, 9, 1971, 3, 751-767.
- Wydra G., Stretching - ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung, *Sportwissenschaft*, 27, 1997, 4, 409-427, (traduzione italiana a cura di M. Gulinelli, Lo stretching ed i suoi metodi, SDS-Scuola dello sport, XX, 2001, 51, 39-49).