

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

MASTER IN RIABILITAZIONE DEI DISORDINI MUSCOLO-SCHELETRICI

Polo Universitario Savonese

L'ALLENAMENTO MUSCOLARE ECCENTRICO:
QUALE RUOLO IN RIABILITAZIONE ?

Candidato:

Andrea Foglia

ANNO ACCADEMICO 2004 – 2005

L'ALLENAMENTO MUSCOLARE ECCENTRICO:QUALE RUOLO IN RIABILITAZIONE ?

1. INTRODUZIONE.....	3
2. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA.....	5
2.1 DANNO STRUTTURALE DOVUTO ALLA CONTRAZIONE ECCENTRICA.....	5
3. CONTRAZIONI ECCENTRICHE E CONCENTRICHE	7
4. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA : TENDINOPATIE.....	8
5. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA : DELAYED ONSET MUSCLE SORENESS.....	14
5.1. CAUSE DEL DOMS	16
5.2 DOMS = E' UN PROCESSO INFIAMMATORIO?	19
5.3 L'ADATTAMENTO CON IL TRAINING ECCENTRICO	22
5.4 FREQUENZA DI ALLENAMENTO PER AVERE L'ADATTAMENTO	24
5.5 TRATTAMENTO DEL DOMS	24
6. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA NEL CONDIZIONAMENTO MUSCOLARE.....	27
7. EFFETTI DELL'ALLENAMENTO ECCENTRICO: ANALISI DELLA LETTERATURA	34
7.1 L'INSORGENZA DEL DOLORE MUSCOLARE RITARDATO.....	34
7.2 IL TRAINING ECCENTRICO COME METODOLOGIA D'ALLENAMENTO MUSCOLARE DI TIPO "PREVENTIVO"	36
7.3 MIGLIORAMENTO DELLA FORZA.....	40
7.3.1 1° MEZZO DI LAVORO : L'ECCENTRICO, COME OTTIMIZZARLO.....	41
7.3.2 L'ECCENTRICO VARIABILE.....	42
7.3.3 L'ECCENTRICO + SUPER SLOW	43
7.3.4 2° MEZZO DI LAVORO : L'ECCENTRICO FLASH CON CARICO.....	44
7.3.5 3° MEZZO DI LAVORO : IL LAVORO SUL PICCO DI POTENZA.....	45
7.3.6 4° MEZZO DI LAVORO: ELASTICITA', DIVERSIFICARE IL LAVORO.....	46
7.3.8 I PRINCIPI METODOLOGICI.....	47
8. TEMPO DI RECUPERO PER L'ALLENAMENTO ECCENTRICO.....	50
9. CONCLUSIONI.....	52
10. BIBLIOGRAFIA.....	54

1. INTRODUZIONE

Nelle attività della vita quotidiana, ma anche nello sport, si verificano in uguale misura contrazioni muscolari concentriche ed eccentriche.

Non è possibile attribuire maggiore o minore importanza ad una delle due per cui nella valutazione, ma anche nell'esercizio terapeutico, sarebbe opportuno considerarle di pari dignità e interesse (38).

In passato la contrazione eccentrica è stata poco studiata soprattutto per difficoltà tecniche, ma con l'avvento di particolari tecnologie, come i dinamometri isocinetici, è stato possibile esaminare le caratteristiche di questa specifica attività muscolare.

Una delle ragioni per cui la contrazione eccentrica ha suscitato notevole interesse è la capacità del muscolo isolato di sviluppare maggiore tensione durante l'allungamento rispetto all'isometrica o alla concentrica: ad una data velocità angolare, il massimo momento eccentrico è maggiore di quello isometrico che, a sua volta, è maggiore di quello concentrico (13). Quindi, si è ipotizzata una superiorità, quantomeno teorica, della contrazione eccentrica, che tuttavia l'abbondante letteratura scientifica sull'argomento non è ancora riuscita a confermare.

Scopo di questo lavoro è di individuare i punti di forza ed i limiti dell'utilizzo della contrazione eccentrica in riabilitazione.

Vi sono tre tipi di contrazioni muscolari: concentriche, isometriche ed eccentriche. Le contrazioni concentriche consistono nell'accorciamento della lunghezza del muscolo. Durante un accorciamento del bicipite brachiale, ad esempio, il muscolo sviluppa una contrazione concentrica. Le contrazioni isometriche si hanno quando la lunghezza del muscolo non muta; si è in presenza di una forza e di una resistenza, entrambe della stessa entità ma in assenza di movimento. Quando, invece, un muscolo cui viene applicata una forza si allunga, la contrazione viene definita eccentrica (Baechle & Earle, 2000).

Le contrazioni eccentriche agiscono come molle e ammortizzatori di shock. Quando una persona salta e atterra, i quadricipiti agiscono da ammortizzatori di shock tramite la loro contrazione eccentrica producendo la Forza di reazione all'atterraggio (Ground Reaction Force, GRF). I quadricipiti possono essere allungati fino ad un certo punto, dopodiché ritornano alla loro lunghezza normale in posizione di

riposo, agendo così come molle e riportando il corpo in piedi in posizione retta (Stauber, 1989). L'allenamento eccentrico può essere utilizzato per aumentare in modo significativo la forza e le dimensioni del muscolo. Altresì oggi viene ritenuta, da molti studiosi, una ulteriore opportunità anche per la gestione dei disordini muscoloscheletrici in traumatologia.

Una delle ragioni per cui la contrazione eccentrica ha suscitato notevole interesse è la capacità del muscolo isolato di sviluppare maggiore tensione durante l'allungamento rispetto all'isometrica o alla concentrica: ad una data velocità angolare, il massimo momento eccentrico è maggiore di quello isometrico che, a sua volta, è maggiore di quello concentrico (13). Quindi, si è ipotizzata una superiorità, quantomeno teorica, della contrazione eccentrica, che tuttavia l'abbondante letteratura scientifica sull'argomento non è ancora riuscita a confermare.

L'evento lesivo a livello muscolare, costituisce uno degli insulti traumatici più ricorrenti in ambito sportivo. L'entità della lesione può andare dal semplice **stiramento**, spesso associato a rottura dei piccoli vasi, con comparsa di dolore e tumefazione, sino allo **strappo muscolare completo**. Le conseguenze per lo sportivo, che appaiono ovviamente correlate all'entità della lesione subita, sono sempre comunque sgradevoli e comportano sempre una sospensione, più o meno lunga, dell'attività agonistica e l'attuazione di un'idonea terapia fisica.

Ma le lesioni muscolari possono essere correlate ad un particolare tipo di attivazione muscolare? Ed inoltre si possono mettere in atto delle strategie, per così dire "preventive" a riguardo? In questo lavoro si cercherà di rispondere, anche se non ovviamente in modo esaustivo, data la complessità del problema, a queste domande, cercando, oltre che di fare chiarezza sugli eventi fisiologici che normalmente caratterizzano l'evento traumatico, di fornire alcune indicazioni di ordine pratico per cercare di mettere in atto un condizionamento muscolare il più idoneo possibile alla prevenzione, entro ovviamente certi limiti, di questo tipo di traumi.

Il danno strutturale della fibra muscolare può essere causato, sia **da una singola contrazione** muscolare, come **dall'effetto cumulativo di una serie di contrazioni**. In ogni caso, **il meccanismo**

maggiormente correlato al possibile danneggiamento della fibra muscolare risulterebbe essere la contrazione di tipo eccentrico.

2. La Contrazione eccentrica

La contrazione di tipo eccentrico è un particolare tipo di attivazione muscolare durante la quale il muscolo produce forza, anziché accorciandosi come durante il lavoro concentrico, allungandosi. Per spiegare in termini pratici questo concetto di meccanica muscolare, immaginiamo di tenere in mano con il braccio piegato a 90°, un manubrio il cui peso sia maggiore rispetto alla massima forza esprimibile dal bicipite, poniamo 60 kg. In questo caso, nonostante ogni sforzo, non può certamente flettere il braccio e portare il manubrio verso la spalla, abbiamo appena detto che il suo peso è maggiore della forza, anzi il braccio si distenderà verso il basso, proprio in virtù del grosso carico che è tenuto in mano. L'unica cosa che si è in grado di fare in questa situazione, è cercare di rallentare al massimo la caduta del carico, grazie appunto ad una contrazione eccentrica del bicipite. In questa condizione il muscolo funziona come un vero e proprio "freno": più si riuscirà a rallentare la caduta del peso, maggiore sarà la forza di tipo eccentrico espressa.

2.1 Danno strutturale dovuto alla contrazione eccentrica

La ragione della maggior incidenza traumatica a livello muscolare, riscontrabile durante una situazione di contrazione eccentrica, è soprattutto imputabile alla maggior produzione di forza registrabile nel corso di quest'ultima, rispetto a quanto non avvenga nella modalità di attivazione di tipo concentrico od isometrico. Infatti, durante una contrazione eccentrica, effettuata alla velocità di 90° s^{-1} , la forza espressa dal distretto muscolare risulta essere di ben tre volte maggiore di quella espressa, alla stessa velocità, durante una contrazione concentrica. Inoltre, durante una contrazione eccentrica, risulta maggiore anche la forza prodotta dagli elementi passivi del tessuto connettivo del muscolo sottoposto ad allungamento. Soprattutto con riferimento a questo ultimo dato, occorre sottolineare come anche il fenomeno puramente meccanico dell'elongazione, possa giocare un ruolo importante nell'insorgenza dell'evento traumatico, visto che questo ultimo può verificarsi, sia in un muscolo che si presenti attivo

durante la fase di stiramento, come in un distretto muscolare che sia passivo durante la fase di elongazione. Durante la contrazione eccentrica il muscolo è, in effetti, sottoposto ad un fenomeno di "overstretching" che, in quanto tale, può determinare l'insorgenza di lesioni a livello dell'inserzione tenoperiosteale, della giunzione muscolo-tendinea, oppure a livello di una zona muscolare resa maggiormente fragile da un deficit di vascolarizzazione. E' interessante notare come siano i muscoli poli-articolari quelli maggiormente esposti ad insulti traumatici, proprio per il fatto di dover controllare, attraverso la contrazione eccentrica, il range articolare di due o più articolazioni. Anche la diversa tipologia delle fibre muscolari presenta una differente incidenza d'evento traumatico. Le fibre a contrazione rapida (FT), sono, infatti, maggiormente esposte a danni strutturali rispetto a quelle a contrazione lenta (ST), probabilmente a causa della loro maggior capacità contrattile, che si traduce in un'accresciuta produzione di forza, e di velocità di contrazione, rispetto alle fibre di tipo ST. I muscoli che presentano un'alta percentuale di FT, sono generalmente più superficiali e normalmente interessano due o più articolazioni, fattori entrambi predisponenti al danno strutturale. Inoltre è interessante notare come l'insulto traumatico sia prevalentemente localizzato a livello della giunzione muscolo-tendinea, a testimonianza del fatto che in questa zona, come del resto nella porzione finale della fibra muscolare, avvenga il maggior stress meccanico. In ultimo occorre sottolineare il particolare aspetto metabolico connesso alla contrazione di tipo eccentrico. Durante la contrazione di tipo eccentrico, poiché la vascolarizzazione muscolare è interrotta, il lavoro svolto è di tipo anaerobico, questo determina, sia un aumento della temperatura locale, che dell'acidosi, oltre ad una marcata anossia cellulare. Questi eventi metabolici si traducono in un'aumentata fragilità muscolare ed in una possibile necrosi cellulare, sia a livello muscolare, che del connettivo di sostegno.

Contrazioni eccentriche e concentriche

Tra i fattori che determinano la forza muscolare vi sono i seguenti: controllo neurale (quali e quante unità motorie vengono mobilitate), l'area della sezione trasversale del muscolo (più estesa è l'area, più forte sarà il muscolo), la lunghezza del muscolo (la formazione di un ponte trasversale è ottimale quando il muscolo si trova a riposo), l'angolo di giuntura (più lungo è il braccio di leva, più facile sarà sollevare carichi più pesanti) e la velocità di azione del muscolo (la velocità del muscolo e la forza generata sono inversamente proporzionali). (Wiksten & Peters, 2000). Dati questi fattori, è interessante sapere quale è l'allenamento più efficace per un atleta.

Se si segue rigorosamente il principio di sovraccarico, questo farà sì che un allenamento che prevede azioni eccentriche ad alta intensità darà come risultato un maggior aumento di forza. Questo tipo di allenamento richiede che venga utilizzato il carico massimo, in modo che gli effetti dell'allenamento siano evidenti durante le contrazioni eccentriche, poiché il carico deve essere superiore alla resistenza che il muscolo può opporre (Kraemer & Hakkinene, 2002). L'allenamento concentrico può essere svolto con un carico submassimale, che permette di aumentare il carico man mano che l'atleta diventa più "forte".

Generalmente, tuttavia, la maggior parte dei team, nello sport, utilizza programmi di allenamento i cui movimenti richiedono contrazioni concentriche ed eccentriche; gran parte di questi si focalizza sulle contrazioni concentriche, data la maggior semplicità degli esercizi e il minor costo delle attrezzature. Inoltre, generalmente, l'allenamento concentrico può essere svolto individualmente (cioè, un atleta si può allenare singolarmente, senza la necessità di avere un assistente al fianco). L'allenamento eccentrico richiede, invece, un assistente e qualcuno che coadiuvi l'atleta nell'esecuzione degli esercizi. Questo non rappresenta un problema durante gli allenamenti delle squadre sportive svolti nel corso delle stagioni agonistiche, ma al di fuori delle stagioni agonistiche, gli atleti potrebbero non avere costantemente un assistente al loro fianco.

4. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA : LE TENDINOPATIE

Prima di analizzare la contrazione eccentrica come stimolo allenante è opportuno introdurre qualche dato in merito alla tendinopatia achillea.

Il tendine di Achille è il più grande tendine del corpo umano ed è molto vulnerabile a lesioni, probabilmente a causa della limitata irrorazione sanguigna e della varietà di forze cui è soggetto. Le malattie del tendine di Achille rappresentano il 5-10% delle lesioni degli atleti e costituiscono il maggior problema di ogni sport. La tendinosi achillea che colpisce la parte mediana del tendine è una sindrome facilmente identificabile, con proprie caratteristiche morfologiche, quali modificazioni nella struttura e nella disposizione delle fibre di collagene. La tendinosi è considerata una condizione degenerativa priva di cellule infiammatorie.

Tuttavia, per quanto possa risultare strano, rimane tuttora sconosciuto l'esatto meccanismo che causa il dolore debilitante della tendinosi achillea cronica. Diversi ricercatori hanno dimostrato che la neovascolarizzazione, cioè la formazione di nuovi vasi sanguigni nelle aree danneggiate, nel tendine di Achille dolorante si ha in individui che soffrono di tendinosi achillea cronica, ma non nei tendini in condizione normale e che non presentano dolore. Di conseguenza, il gruppo dell'Università di Umea, in Svezia, ha ipotizzato che tale formazione di nuovi vasi sanguigni (e forse anche dei nervi che l'accompagnano) potrebbe essere la vera causa del dolore nella tendinosi. Il gruppo di Umea ha deciso di testare la loro ipotesi attraverso la sclerotizzazione (indurimento e interruzione) dei vasi sanguigni invasivi del tendine di Achille di 10 pazienti (8 marciatori, 1 corridore e 1 golfista) che soffrono di una dolorosa tendinosi achillea cronica ("Ultrasound Guided Sclerosis of Neovessels in Painful Chronic Achilles Tendinosis: Pilot Study of a New Treatment", British Journal of Sports Medicine, Vol. 36, pp. 173-175, 2002).

Il gruppo svedese ha scelto di utilizzare la sclerosi chimica polidocanolo (5mg/ml), da lungo tempo utilizzata nella medicina dello sport come anestetico locale. È stata utilizzata una tecnica ad ultrasuoni per diagnosticare la neovascolarizzazione ed identificare l'entrata di nuovi vasi sanguigni nel tendine di

Achille. È stato iniettato sufficiente polidocanolo per assicurare la chiusura di tutti i vasi sanguigni e tutti i pazienti hanno potuto riprendere la loro normale attività già dal giorno successivo al trattamento. Nelle successive 3-6 settimane, i pazienti sono stati riesaminati e, nel caso si fosse riscontrata una nuova neovascolarizzazione, è stata ripetuta l'iniezione fino a quando l'area dolorante non fosse assolutamente priva di vasi sanguigni formatisi per neovascolarizzazione.

Per stabilire i livelli di dolore, gli Svedesi hanno utilizzato una VAS, visual analogue scale, sulla quale i soggetti hanno registrato la quantità di dolore che provavano durante l'attività. Sulla VAS, la completa assenza di dolore corrisponde a zero, mentre il livello massimo di dolore a 100. Prima delle iniezioni di polidocanolo, la valutazione media dei pazienti che soffrivano di tendinosi achillea sulla scala VAS corrispondeva a 74 (tra 39 e 89), ma dopo 6 mesi il valore medio registrato sulla VAS corrispondeva a un mero 8,4 (tra 0 e 29) per 8 pazienti che si ritenevano soddisfatti del trattamento (questi pazienti potevano far ritorno al loro sospirato completo programma di attività). Solo 2 dei 10 pazienti hanno riportato una mancanza di sollievo e, cosa interessante, in questi due casi si è verificata una nuova neovascolarizzazione nei 6 mesi successivi al trattamento (la neovascolarizzazione non è stata invece riscontrata negli altri 8 pazienti). La media del livello di dolore registrato dalla coppia è stata 71.

Un'altra scoperta fondamentale è stata che il dolore al tendine di Achille scompariva immediatamente dopo le iniezioni di polidocanolo, probabilmente perché il polidocanolo ha anche funzione di anestetico. Dal momento che le iniezioni interessavano le aree in cui si era manifestata la neovascolarizzazione, se ne deduce che le fonti di dolore nei casi di tendinosi achillea fossero proprio le aree con la neovascolarizzazione. Dopo sei ore, finito l'effetto dell'anestetico, il dolore ricompariva, per poi decrescere costantemente nel periodo successivo, nel caso di otto pazienti. Tuttavia, sebbene questa ricerca sembri indicare che la sclerotizzazione delle strutture neovascolari nel tendine di Achille negli individui che soffrono di tendinosi achillea abbia un potente effetto di sollievo al dolore e possa aiutare questi individui a tornare alla loro normale attività atletica, è necessario prendere alcune precauzioni. Essenzialmente perché il lavoro del gruppo Svedese rappresenta solo uno studio pilota; non si è avuto

nessun gruppo di controllo e i malati di tendinosi achillea erano coscienti di affrontare un trattamento sperimentale.

Per il tendine di Achille e i muscoli ad esso associati è più efficace il trattamento con il polidocanolo o gli esercizi di potenziamento?

In un altro studio eseguito dall'Ospedale Universitario della Svezia del Nord, i ricercatori hanno scoperto che un programma, della durata di 12 settimane, di esercizi di natura eccentrica e con un pesante carico per il muscolo del polpaccio era molto efficace per curare la tendinosi achillea ("Heavy-Load Eccentric Calf Muscle Training for the Treatment of Chronic Achilles Tendinosis", *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 26, pp. 360-366, 1998). Durante questa indagine, 15 atleti (12 uomini e 3 donne) che presentavano sintomi di tendinosi achillea di lunga durata (18 mesi) non erano in grado di effettuare la loro consueta corsa di allenamento a causa del dolore provocato dalla tendinosi. Gli atleti avevano provato i trattamenti convenzionali (riposo, medicinali antiinfiammatori non-steroidi, cambio di scarpe, ortesi, terapia fisica, e comuni programmi di esercizi) ma senza alcun miglioramento. Questi 15 atleti sono stati confrontati con altri 15 atleti (11 uomini e 4 donne) che presentavano la stessa diagnosi e che avevano subito un intervento chirurgico al posto del programma di esercizi eccentrici a forte intensità. Tutti i 30 atleti presentavano i segni e i sintomi tipici della tendinosi achillea, compresi ispessimento del tendine di Achille, struttura del tendine irregolare, disordine delle fibre proteiche all'interno del tendine, fibre del tendine separate, rigidità e dolore durante la corsa.

Sono stati eseguiti due tipi di allenamento al giorno, sette giorni su sette, per 12 mesi. Ogni allenamento consisteva in 3 serie di 15 ripetizioni per due esercizi fondamentali (che verranno qui di seguito descritti). La normale corsa di allenamento era consentita solo se comportava un fastidio minimo e nessun dolore di rilievo.

Veniva chiesto agli atleti di stare in piedi su entrambe le punte vicino al bordo di un gradino, sorretti dalla forza della gamba sana. Dovevano poi sollevare la gamba sana dal gradino, in modo che l'intero peso del corpo fosse sostenuto dalla punta del piede della gamba colpita dalla tendinosi; il tallone della gamba malata doveva quindi essere abbassato lentamente fino a raggiungere una posizione più bassa del

bordo del gradino (praticamente, in questo esercizio, mentre il tallone si abbassa, la caviglia descrive un movimento da flessione plantare a flessione dorsale). I muscoli del polpaccio contigui al tendine di Achille danneggiato ricevono una forte contrazione eccentrica, dal momento che vengono contratti per rallentare la discesa del tallone ma allo stesso tempo allungati per permettere la discesa del tallone. Non è stato aggiunto nessun carico concentrico ai muscoli del polpaccio soggetto a tendinosi: la gamba sana ha fornito la forza necessaria per tornare alla posizione iniziale.

Durante il primo esercizio (le prime 3 serie di 15 ripetizioni), la gamba soggetta a tendinosi doveva essere mantenuta tesa; durante il secondo esercizio (le 3 serie successive da 15 ripetizioni) il ginocchio della gamba soggetta a tendinosi veniva flesso in modo da attivare il muscolo soleo, che si trova sotto il muscolo maggiore del polpaccio, il gastrocnemio. Durante questo allenamento non si è riscontrata nessuna defezione, forse grazie al fatto che il programma prevedeva solamente due esercizi e questi erano semplici da effettuare; tutti i 15 atleti hanno completato il programma di 12 settimane.

Una caratteristica particolarmente positiva di questo allenamento eccentrico è il fatto che si tratta di un programma progressivo. Quando, durante gli esercizi eccentrici con carico, gli atleti non provavano più dolore o fastidio, gli veniva chiesto di aumentare il carico aggiungendo peso allo zaino. Se era necessario un peso molto grande, gli atleti utilizzavano una macchina da pesi per aumentare lo sforzo eccentrico.

È stato riscontrato che l'allenamento eccentrico aveva effetti molto positivi sulla forza sia concentrica sia eccentrica del muscolo del polpaccio. Prima di iniziare l'allenamento eccentrico, la parte danneggiata del muscolo del polpaccio presentava una forza in flessione plantare più bassa a 90° e 225° al secondo (rispettivamente 12% e 18%) e una forza in flessione plantare eccentrica molto ridotta (11%) paragonata ai muscoli della parte non danneggiata. Dopo 12 settimane di allenamento, tuttavia, la forza di flessione plantare eccentrica, come pure quelle concentriche, a entrambe le velocità erano molto migliorate, e non si riscontravano differenze di forza tra la parte danneggiata e quella sana. Al contrario, i 15 atleti che avevano subito l'intervento chirurgico non sono stati in grado di rinforzare la parte danneggiata fino a portarla allo stesso livello di quella sana attraverso i consueti esercizi per i muscoli

del polpaccio e la terapia fisica, anche dopo un tempo doppio (24 settimane). I dati registrati sulla VAS erano ugualmente positivi. Nel gruppo sottoposto all'allenamento eccentrico del muscolo del polpaccio, la media registrata sulla VAS prima dell'inizio del programma di 12 settimane era 18, ma è precipitato ad un mero 4,8 dopo 12 settimane di esercizio quotidiano. Dopo le 12 settimane, tutti i 15 atleti sono stati in grado di riprendere la loro normale attività di corsa senza riscontrare nessun dolore. Nel gruppo di controllo (costituito dagli individui che avevano subito l'intervento chirurgico), la media VAS è scesa da 72 a 21 in 24 settimane ma, come già menzionato, la forza della gamba colpita da tendinosi achillea è rimasta a livelli inferiori di quella sana.

Anche altri studi suggeriscono che l'allenamento del muscolo con forza eccentrica dà buoni risultati nella riabilitazione delle lesioni al tendine ("Eccentric Exercise in Chronic Tendinitis", *Clinical Orthopaedics*, Vol. 208, pp. 65-68, 1986). Non si è in grado di conoscere con certezza il meccanismo che sottende a questi effetti positivi. Una teoria suggerisce che l'allungamento dell'unità del tendine-muscolo, che avviene durante l'attività eccentrica, causa un allungamento permanente del muscolo e del tendine, con minore sforzo per unità di lunghezza del muscolo e del tendine durante il movimento della caviglia. Un'altra possibilità consiste nel fatto che il carico eccentrico induce un tipo speciale di "rimodellamento" all'interno dell'unità muscolo-tendinea, che comprende mutamenti ipertrofici del muscolo e del tendine. Esami ad ultrasuoni a lungo termine di atleti sottoposti ad allenamento eccentrici dovrebbero essere d'aiuto per risolvere questa questione. L'allenamento eccentrico del muscolo del polpaccio è sicuro: non si è verificata nessuna nuova lesione nell'arco delle 12 settimane. Inoltre, l'allenamento non è affatto costoso: sono necessari pochi materiali, anche se alcuni pazienti sicuramente preferiranno utilizzare macchine con i pesi in palestra. Inoltre, per mantenere sano il tendine di Achille una volta completato il programma di 12 settimane, sembra sia necessario solo un minimo esercizio successivo, che, nello studio qui riportato, è risultato pari ad un allenamento una o due volte a settimana.

Come bisogna dunque trattare la tendinosi achillea cronica? Gli atleti colpiti da tendinosi achillea dovrebbero assolutamente provare un programma di esercizi eccentrici con carico "pesante" simile a

quello descritto nello studio dell'Ospedale Universitario della Svezia del Nord. È necessario, tuttavia, tenere in considerazione che i 10 individui la cui tendinosi achillea non ha risposto al trattamento nello studio dell'Università di Umea, erano già in precedenza stati sottoposti, peraltro senza grandi effetti positivi, ad un allenamento mirato a sviluppare forza nel tendine di Achille (il loro allenamento eccentrico, comunque, non era stato di grande intensità). In ogni modo, è probabile che i programmi eccentrici di rafforzamento non abbiano successo in tutti i casi.

Nelle tendiniti croniche dell'Achille si è osservato che un protocollo di allenamento basato su contrazioni eccentriche determina miglioramento della flessione plantare, riduzione del dolore alla palpazione e del numero di pazienti che lamentano dolore durante il cammino e anche del numero di pazienti che mostravano un tendine edematoso rispetto al gruppo di controllo. Inoltre, un follow-up ad un anno di distanza mostrava maggiore soddisfazione del livello di attività fisica dei pazienti allenati eccentricamente, che non lamentavano dolore né durante né dopo l'attività fisica (73).

Un altro studio di Mafi et al. (48) dimostrava che il trattamento della tendinite cronica dell'Achille, con sedute di allenamento eccentrico, determinava la soddisfazione dell'82% dei pazienti trattati, che erano anche tornati al livello di attività precedente l'infortunio, rispetto ad una soddisfazione del 36% ottenuta con un allenamento concentrico ($P<0,002$).

5. L'ALLENAMENTO ECCENTRICO : DELAYED ONSET MUSCLE SORENESS

Il dolore muscolare è un sintomo comune di lavoro muscolare, danno o malattia. Durante il lavoro muscolare intenso sono presenti dolore e debolezza, ma cessano rapidamente alla sospensione dell'attività. Tale stato viene chiamato fatica, ma in alcuni casi il dolore è minore durante l'attività ed aumenta nelle ore successive (1). Il dolore riferito da un campione di corridori dopo un allenamento di lunga distanza, è diverso dal dolore postesercizio eccentrico, il cui grafico ha la forma ad U rovesciata, poiché il dolore è massimo nel primo e secondo giorno, mentre diminuisce nei successivi (82).

Il DOMS è un fenomeno differente, una sensazione di dolore, diversa da quella della comune fatica, si presume rifletta un danno strutturale e può verificarsi quando il muscolo scheletrico è sottoposto ad esercizio non abituale. Non sembra che un elevato livello di forma protegga dal sovraccarico muscolare, poiché si verifica anche in atleti d'élite. L'esercizio non abituale determina con maggiore probabilità dolore muscolare se comprende azioni muscolari eccentriche (27) e alti picchi di forza.

E' condiviso che il danno muscolare sia maggiore con l'aumentare del numero delle contrazioni eccentriche, con la lunghezza iniziale e l'ampiezza dell'allungamento e che la velocità dell'allungamento non sia molto importante (1). Inoltre sembra che la miglior correlazione col danno sia data dalla massima forza raggiunta con l'allungamento (1).

Si può quindi determinare temporaneamente dolore muscolare, con picco tra 24-48 ore dopo (60,49,19,12,54,46), fino a 72 ore dopo (23), riduzione di MIF (Massima forza isometrica) (55% 57, 53% 60, 56,20,53,9, 40% 54,11, 24,5% 46, 39,6% 53, 14,9% 24), che rimane ancora deficitaria di oltre il 30% dopo 5 gg (55,22,53,59), non recupera totalmente in 14 gg (20) , in 7 gg (11), riduzione del ROM a muscolo rilassato (30° 56,60, 20° 54), aumento nella circonferenza (max 4-5 gg dopo 56,60,54), aumento nella resistenza alla compressione del muscolo (54), aumenti nella concentrazione plasmatica di CK (23,9,53,24,44) e GOT (Glutammico-ossalacetica transaminasi (57), ma attenuati in soggetti allenati alla forza 19), aumenti di HP, HL, PYD (componenti del collagene) nelle urine due giorni dopo

(9), diminuzione nella prove funzionali (capacità di salto in alto) (49) ed aumento nell'angolo di flessione attiva del braccio (12).

Tra i vari parametri, solo recentemente si sono studiati i **protein carbonyls** nel sangue in seguito ad esercizio eccentrico e sembrano correlati in maniera significativa con le variazioni del DOMS, indicando che l'esercizio eccentrico determina anche stress ossidativi; mentre il glutathione nel sangue non mostra variazioni significative, indicando che lo stress ossidativo, se si verifica, è minimo (44).

La diminuzione di forza inizialmente fu attribuita al dolore muscolare, ma studi effettuati con elettrostimolazione hanno osservato che il deficit di forza è presente indipendentemente dal dolore (for review see 12). La diminuzione del ROM a riposo può invece essere causato sia da un accorciamento del tessuto connettivo (tendini ed inserzioni) sia da una contrazione delle fibre muscolari, ma non secondo la normale fisiologia con l'attivazione dei motoneuroni, dato che non si sono osservati aumenti nell'attività EMG associata ad un accorciamento muscolare (12). Di conseguenza si ipotizza che l'accorciamento sia dovuto ad un anormale accumulo di calcio all'interno delle cellule, molto probabilmente causato da una graduale perdita di integrità o disfunzione nel reticolo sarcoplasmatico (12,4).

In altri studi si è anche osservato che l'esercizio eccentrico determina variazioni significative della EMG di superficie, con una precoce diminuzione della frequenza iniziale che segue accuratamente l'evoluzione del danno, rendendo possibile, quindi, la documentazione del fenomeno in modo non invasivo (23,83). Questo studio, inoltre, supporta la teoria che individua le fibre IIB come le più compromesse dall'esercizio eccentrico.

Nello studio di Warren et al. (83) si rileva una diminuzione nella frequenza media dell'EMG in due sessioni di contrazioni eccentriche a distanza di 7 giorni che indica uno spostamento nell'impiego delle fibre verso quelle più lente, per due possibili motivi:

- un apprendimento del sistema nervoso, che rende preferibile l'utilizzo di fibre lente perché meno suscettibili al danno e più adatte a sviluppare forza eccentricamente;

- la lesione delle fibre veloci durante la prima sessione che obbliga ad utilizzare le fibre lente nel tentativo di mantenere costante la tensione.

Ma utilizzando l'elettrostimolazione, si è osservato che le lesioni non modificavano la trasmissione del potenziale d'azione, eliminando l'ipotesi di una mancata attivazione delle fibre veloci dopo lesione da esercizio eccentrico (83).

I livelli degli enzimi plasmatici indicatori di danno non sono correlati nel tempo con la funzionalità muscolare (salto 49, 23) né con le variazioni nella sEMG (23).

Altri studi hanno evidenziato che le **modificazioni del segnale EMG**, in seguito ad esercizio eccentrico, erano più rilevanti e di maggior durata (7 giorni) rispetto ad esercizio isometrico o concentrico. Per giustificare il fenomeno si è ipotizzato che le lesioni delle fibre e le alterazioni dei gradienti ionici (K^+) determinino una differente eccitabilità delle membrane.(42) E' interessante notare che le modificazioni nel segnale EMG sono massime immediatamente dopo l'esercizio e si riducono progressivamente fino a scomparire in una settimana, suggerendo di non essere correlabili con i segni di sofferenza muscolare nel DOMS (42).

5.1 CAUSE DEL DOMS

In letteratura si è discusso molto sulla causa del danno iniziale senza arrivare a conclusioni soddisfacenti. Sono state prospettate varie ipotesi, come lo **stress meccanico**, lo **stress metabolico** o un **disturbo nella microcircolazione**. Si è suggerito che il gonfiore delle fibre muscolari durante l'attività porti ad un incremento della pressione nei tessuti e conduca ad un disturbo nella microcircolazione, tuttavia nei topi si è osservato che i capillari non erano vasocostretti ma dilatati, suggerendo che questo processo non sia la causa primaria del danno (43).

Anche se in una situazione di compromessa microcircolazione, si possono avere variazioni metaboliche, formazione di radicali liberi che possono attivare enzimi proteolitici (43), nel DOMS si può osservare che il gonfiore massimo si raggiunge dopo 5 giorni, cioè quando il dolore sta passando (12).

Prove sperimentali indicano che lo **stress meccanico** sia un fattore dominante per determinare danno indotto da esercizio, poiché il danno iniziale avviene nell'apparato contrattile. Inoltre, è indotto molto più facilmente con contrazioni eccentriche, in cui la tensione per fibra muscolare è maggiore rispetto alle contrazioni concentriche (43).

Si tenta di spiegare il fenomeno con la teoria degli “overstretched sarcomeres” che implica la non omogeneità di essi: se un sarcomero è leggermente più corto o più forte del vicino, si accorcerà maggiormente del vicino, aumentando la disparità in lunghezza e forza tra i due. Per cui in contrazione eccentrica, in cui sottoponiamo il muscolo ad una elevata forza tensiva durante la sua contrazione, cederanno per primi i sarcomeri più deboli che supereranno i loro punti di snervamento (yield point) e costituiranno la principale risorsa di allungamento del muscolo. L'eccessivo allungamento di questi sarcomeri cesserà solo quando la forza totale sarà uguale agli altri sarcomeri in serie. Quando il muscolo si rilassa, i sarcomeri iperallungati torneranno nella situazione iniziale se non vengono danneggiati, ma dopo alcune contrazioni eccentriche è probabile che alcuni sarcomeri non riescano più a reinterdigitarsi correttamente e che il loro numero aumenti con l'aumentare del numero delle contrazioni eccentriche effettuate. I sarcomeri danneggiati e iperallungati aumentano la compliance del muscolo in modo tale che il picco della curva lunghezza-tensione risulti spostato ad una lunghezza muscolare maggiore ma senza essere necessariamente minore (1,12). Le microstrutture del muscolo maggiormente colpite sembrano essere i dischi Z, che mostrano frequentemente una distruzione e disorganizzazione, ma sono anche state individuate lesioni nel sarcolemma, nei tubuli T, nelle miofibrille e nel sistema citoscheletrico (25).

Riguardo invece alla tipologia delle fibre coinvolte sembrano coinvolte sia le fibre di tipo I che quelle di tipo II, anche se la maggioranza degli studi dimostrano un'inclinazione verso il danno del tipo II (25).

La teoria dello **stress metabolico** implica anche una disfunzione nel meccanismo eccitazione-contrazione muscolare. Dopo l'evento iniziale, segue un danno secondario che implica una risposta cellulare infiammatoria, nella quale, probabilmente, l'omeostasi del calcio ha un ruolo centrale (for review see art. 4,21,3). Se assumiamo che un sovraccarico muscolare induce un aumento della

concentrazione intracellulare di calcio e una diminuzione della concentrazione in contrazione tetanica, avremo l'attivazione di un meccanismo infiammatorio lesivo delle fibre muscolari ed un deficit di forza massimale. Questa alterazione nelle concentrazioni potrebbe derivare dall'iperallungamento dei sarcomeri che determinerebbe anche la lesione dei reticoli sarcoplasmatici e dei tubuli T distribuiti sulla loro superficie (1). Inoltre la perdita di omeostasi potrebbe determinare un diminuito rilassamento del muscolo, che potrebbe spiegare la transitoria rigidità e diminuzione nel ROM. Un accumulo del calcio nei mitocondri ridurrebbe la produzione di ATP, che ostacolerebbe il corretto funzionamento delle pompe di membrana determinando squilibri osmotici causanti il gonfiore delle fibre. Infine un'alta concentrazione di calcio potrebbe attivare alcuni enzimi proteolitici, determinando soluzioni di continuità nelle membrane cellulari, lesioni delle proteine citoscheletriche e delle fibre. (43,1,21,3). Precedentemente si ipotizzavano meccanismi di ipossia ed ischemia, con deficit di ATP ed accumulo di metaboliti determinanti danno muscolare (21), ma sono poi stati scartati perché il DOMS si verificava maggiormente in contrazione eccentrica che è metabolicamente più efficiente; sviluppa cioè maggior forza con un minor dispendio energetico e minore produzione di metaboliti.

Da un punto di vista temporale in una revisione di Warren et al. (84) si ritiene che la maggior parte della perdita di forza che si verifica nei primi due giorni postesercizio sia dovuta al danno nelle strutture di sostegno muscolari, mentre nel periodo successivo ai tre giorni postesercizio sia ascrivibile ad una disfunzione nello schema eccitazione-contrazione. La disfunzione di quest'ultimo recupera dal 5° giorno postesercizio ed è praticamente inesistente dal 14° giorno postesercizio. Oltre tale periodo la percentuale del deficit di forza dovuta alla perdita delle proteine contrattili passa dal 40-45% a quasi il 100%.

5.2 DOMS = E' UN PROCESSO INFIAMMATORIO ?

I segni ed i sintomi del DOMS, come il dolore, la diminuzione del ROM, l'impotenza funzionale e l'edema sono considerati tipici del processo infiammatorio, per cui alcuni autori hanno pensato che il meccanismo alla base del DOMS fosse appunto l'infiammazione (3,74).

L'infiammazione acuta è una risposta generalizzata del corpo a qualsiasi tipo di lesione muscolare e prevede una risposta vascolare, bifasica, che coinvolge un'iniziale vasocostrizione di 5-10 minuti, seguita da molte ore di vasodilatazione con aumentata permeabilità capillare, ed una risposta cellulare che coinvolge neutrofili (che raggiungono il picco in 1-4 ore) e monociti (che arrivano dopo e rimangono costanti a 48 ore) (74).

Ci sono molte somiglianze tra il DOMS ed il processo infiammatorio (74):

- 1) sono presenti nel DOMS i tre segni cardinali dell'infiammazione acuta:
 - dolore;
 - edema;
 - perdita di funzione;
- 2) infiltrati cellulari simili, in particolare i macrofagi, componenti essenziali del processo infiammatorio, predominano a 24 e 48 ore dall'inizio della distruzione tissutale;
- 3) I fibroblasti sono stati osservati in entrambe le situazioni;
- 4) si registra un aumento nell'attività lisosomiale in entrambi gli eventi;
- 5) la progressione nell'ampiezza della lesione è presente in entrambi i casi fino a 48 ore;
- 6) aumentano i livelli aumentati di interleukina-I e di proteine della fase acuta in entrambi i casi;
- 7) ci sono segni di riparazione osservabili a circa 72 ore.

Sulla base di questi 8 punti, si propone la seguente catena di eventi:

- a) avviene distruzione di tessuto connettivo e contrattile durante esercizio eccentrico non abituale;
- b) in poche ore c'è un significativo aumento nei neutrofili circolanti;

- c) i neutrofili migrano nel sito di lesione e predominano per molte ore;
- d) i monociti migrano al sito di lesione tra 6 e 12 ore e raggiungono il picco in 24-48 ore;
- e) I macrofagi, in ambiente infiammatorio, cominciano a produrre larghe quantità di PGE₂;
- f) le PGE₂ sensibilizzano le fibre dolorifiche afferenti;
- g) il dolore è provocato dalla palpazione o contrazione muscolare perché l'edema non è sufficiente a determinare un aumento significativo nella pressione intramuscolare a riposo, ma quando il muscolo viene mobilizzato o si contrae determina variazioni nella pressione che attivano le fibre dolorifiche.

Ma nonostante lo sviluppo di importante edema e variazioni negli indicatori di danno muscolare, che sono segni della risposta infiammatoria, altri studi (56) non hanno osservato alcuna variazione nei mediatori della fase acuta, suggerendo che il danno muscolare indotto dall'esercizio, nonostante le numerose somiglianze, sia qualcosa di diverso da un comune processo di danno/riparazione (56).

Le concentrazioni plasmatiche di CK e di mioglobina sono indicatori del danno muscolare. L'esercizio eccentrico determina un aumento della concentrazione plasmatica della CK, ma la variazione ha un'alta variabilità interindividuale (57,21).

I risultati di uno studio (57) indicano che gli aumenti nell'attività plasmatica di CK e GOT, dopo esercizio eccentrico, sono influenzati da alte concentrazioni enzimatico-plasmatiche pre-esercizio: facendo effettuare un esercizio eccentrico all'arto controlaterale quello esercitato 3 o 5 giorni prima, in una situazione di elevate concentrazioni di CK e GOT, gli incrementi di CK e GOT rimangono ridotti in modo significativo, probabilmente per una maggiore clearance (57).

A livello ultrastrutturale si sono osservati, sia negli animali che negli umani, disorganizzazione delle bande Z miofibrillari, distruzione focale delle bande A e fibre addensate, cioè distruzione estensiva dei sarcomeri. Sulla base delle varie osservazioni, può essere ipotizzato che l'alta tensione eccentrica stiri o rompa i dischi Z e i filamenti interposti; questa distruzione potrebbe esporre le proteine Z degradate e quelle globulari ad enzimi lisosomiali attivati, causando ulteriore degradazione ed eventuale dissipazione dei dischi Z. Infatti, nelle biopsie postesercizio la percentuale di fibre che mostrano

alterazioni è bassa a poche ore dall'esercizio e aumenta a 3 giorni, per poi diminuire a 6 giorni. Ma le modificazioni ultrastrutturali non hanno effetto sui componenti elastici in serie al muscolo, dato che la compliance aumenta in misura simile alla diminuzione della massima forza volontaria isometrica (52). Probabilmente il processo ha origine da un'aumentata concentrazione di calcio intracellulare, che attiverebbe le proteasi neutrali, e proteasi lisosomiali e altri processi cellulari calcio-mediati. Lo stiramento attivo sembra maggiormente correlato al danno, che sembra concentrarsi nelle fibre veloci con bassa capacità ossidativa e ciò potrebbe implicare che la capacità ossidativa, è un fattore importante nel danno muscolare indotto da contrazione eccentrica (for review see 26).

Per ulteriore conferma dell'ipotesi di distruzione e sintesi proteica dopo esercizio eccentrico si è monitorato l'RMR (Resting Metabolic Rate, Tasso metabolico a riposo) dopo l'allenamento, perché la nuova sintesi proteica è energeticamente dispendiosa (teoricamente fino al 20% dell'RMR). Si è osservato che l'RMR era significativamente elevato rispetto ai valori di base a 24 e 48 ore postesercizio, sia in soggetti allenati alla forza che in soggetti non allenati, con valori in calo tra il primo ed il terzo giorno postesercizio, in cui si ritornava circa al livello basale. Inoltre si osservava che l'RMR dei soggetti non allenati era significativamente maggiore sia a 24 che a 48 ore postesercizio rispetto al gruppo dei soggetti allenati.

Alcuni fattori che contribuiscono ad un elevato metabolismo postesercizio comprendono la sintesi di glicogeno dall'acido lattico, l'elevata temperatura corporea, la risaturazione del sangue venoso, della mioglobina, dei fosfati, gli effetti residui degli ormoni e la ridistribuzione di ioni nei compartimenti tissutali. Gli autori ritengono che tutti questi fattori contribuiscano in minima parte al 18% di incremento nell'RMR rispetto al valore basale, perché è stato dimostrato che questi fattori hanno effetto immediato e temporaneo, per cui altri fattori devono avere contribuito ad elevare l'RMR a 24 e 48 ore postesercizio (11% di aumento dal valore basale (19)). E' stato anche suggerito che il danno tissutale e lo stimolo per la riparazione e l'ipertrofia risultante da allenamenti di forza potrebbero essere sufficienti per contribuire all'aumento dell'energia spesa durante il recupero (10).

5.3 L'ADATTAMENTO CON IL TRAINING ECCENTRICO

Si è osservato che in una seconda sessione di allenamento eccentrico a distanza di tempo, si verificano dei fenomeni di adattamento per cui non avviene danno muscolare oppure è minimo (for review see 51,27,21). L'aumento di CK indotto da esercizio e la diminuzione di performance in un test di salto verticale sono aboliti se si ripete lo stesso esercizio 13 giorni dopo (49). Ripetendolo a 4 giorni, invece, si ha ancora un aumento di CK, ma in maniera ridotta, mentre il deficit di salto è invariato (49).

In altri studi, effettuati con tempi diversi tra le sessioni, si è osservato che alcuni parametri mantenevano l'adattamento per periodi di tempo diversi. Con 6 settimane di tempo tra le sessioni si manteneva adattamento per i parametri forza, capacità di accorciamento e dolore percepito, mentre l'adattamento per il fenomeno della contrattura muscolare si manteneva anche fino a 10 settimane (58). Anche a 6 mesi, ma in misura minore, si può osservare un recupero più rapido della forza, un edema e dolore minore, una ridotta concentrazione di CK nel sangue, ma non a 12 mesi, mentre non c'erano differenze per il ROM, per l'angolo a braccio rilassato e l'angolo del movimento attivo (60).

Inoltre, è interessante notare che un allenamento concentrico puro non solo non produce gli stessi effetti protettivi (27), ma determina anche un maggiore danno muscolare da esercizio eccentrico (1,64).

Uno studio di Nosaka et al. (59), però, non conferma né l'ipotesi di un peggioramento del recupero da esercizio eccentrico massimale dopo allenamento concentrico, né l'ipotesi di un miglioramento del recupero dopo allenamento eccentrico. Tuttavia è da sottolineare che questo studio utilizzava una frequenza di allenamento settimanale, con un carico del 50% della MIF ed i confronti venivano effettuati sull'arto controlaterale. Il meccanismo coinvolto non è ancora conosciuto. Le teorie proposte per spiegare il fenomeno sono essenzialmente tre: teoria neurale, teoria del tessuto connettivo e teoria cellulare. Per quest'ultima è stata originariamente suggerita l'esistenza di un gruppo di fibre suscettibili allo stress che sono più fragili delle altre e che quindi sviluppano una lesione letale quando si contraggono eccentricamente e che vengono rimpiazzate da fibre più resistenti. La mancanza di un significativo incremento di proteine muscolari nel plasma dopo la seconda sessione sostiene questa

ipotesi, però è difficile spiegare perché i soggetti che hanno ripetuto la sessione 4 giorni dopo hanno lamentato dolore e un significativo decremento nella produzione di forza (49).

La teoria del tessuto connettivo è sostenuta da Newham et al. (55), che suggerirono che l'effetto sessione ripetuta potrebbe essere dovuto a variazioni nelle proprietà e nella quantità di tessuto connettivo prodotto dopo l'esercizio, rendendo le fibre più resistenti a lesioni seguenti. La teoria neurale ritiene che l'adattamento sia dovuto ad un migliore schema di reclutamento delle unità motorie, che eviterebbe l'attivazione di quelle più danneggiate. E' probabile che nella risposta di adattamento sia coinvolta una combinazione di fattori neurologici e cellulari che, fino ad ora, non può essere spiegata in modo esauriente (for review see 49, 51).

Non essendo chiaro se, per avere adattamento, sia necessario che la prima sessione di allenamento eccentrico induca danno muscolare e riduzione nella capacità funzionale, Paddon-Jones et al. (61) hanno studiato gli effetti di due sedute di familiarizzazione con 3 ripetizioni eccentriche massimali 7 e 10 giorni prima della sessione eccentrica principale. I risultati dello studio mostrano che un basso numero di contrazioni eccentriche possono facilitare un processo di adattamento che migliora la velocità di recupero della circonferenza dell'arto superiore, dell'angolo del gomito a braccio rilassato, dell'attività CK, del momento torcente isometrico, eccentrico e concentrico, ma non ha alcun effetto sul dolore. E' possibile che la sessione a basso volume determini un rafforzamento del sarcolemma e che fornisca uno stimolo centrale sufficiente per diminuire parzialmente il meccanismo inibitorio neurale, determinando una maggiore produzione di forza eccentrica ed isometrica dopo la sessione principale. Paddon-Jones suggerisce che è possibile che sia necessario un numero maggiore di ripetizioni o sedute per avere un adattamento completo che interessi anche la percezione del dolore.

5.4 FREQUENZA DI ALLENAMENTO PER AVERE L'ADATTAMENTO

In uno studio di Sorichter et al. (75) si è comparata l'influenza della frequenza di un allenamento specifico standardizzato eccentrico sulle lesioni muscolari e sull'adattamento, concludendo che 1 seduta settimanale era sufficiente per mantenere l'adattamento, mentre per ottenere dei miglioramenti nella massima forza volontaria isometrica erano necessarie 2-3 sedute settimanali, mentre l'adattamento si perdeva dopo 7 settimane senza allenamento.

5.5 TRATTAMENTO DEL DOMS

Il processo di recupero di danno muscolare indotto da esercizio è lento e gli studi indicano che per il recupero completo della forza potrebbe essere necessaria più di una settimana. (20).

Una seconda sessione di esercizi, eseguiti 5 giorni dopo la sessione iniziale, non riduce la velocità di recupero dei muscoli colpiti, ma il dolore e i sintomi sono ridotti indicando che può già essere avvenuto un qualche adattamento.

Si sono quindi osservati gli effetti di una sessione di allenamento eccentrico leggero (50% di forza, 25 rip su 70) 24 ore dopo la prima sessione, ma i risultati indicano che un ulteriore esercizio eccentrico leggero non migliora né peggiora (il peggioramento non è significativo ed è temporaneo) i sintomi fisici del dolore o della perdita di mobilità né influisce sull'adattamento dopo esercizio eccentrico intenso (20).

Stesso risultato hanno ottenuto Chen et al. (11) continuando ad allenare strenuamente (6 giorni consecutivi con carico massimale) eccentricamente i soggetti che avevano sviluppato DOMS, cioè il fenomeno non migliorava né peggiorava.

Un altro studio, di Sayers et al. (69), ha messo a confronto in un RCT l'immobilizzazione e l'attività leggera, concludendo che nessuna delle due aveva un qualche effetto sugli angoli dell'articolazione, ma che entrambe le modalità miglioravano il recupero della forza (90% immobilizzazione, 88% attività

leggera, 82% gruppo di controllo dopo 12 giorni) e che solo l'attività leggera migliorava lievemente il dolore, mentre l'immobilità lo peggiorava, forse per una minore rimozione di sostanze generanti dolore. Questi risultati, in cui due modalità opposte ottengono lo stesso risultato, dimostrano che nel recupero da esercizio eccentrico è coinvolto più di un meccanismo; per quanto riguarda il gruppo sottoposto ad immobilizzazione è possibile che quest'ultima abbia velocizzato i tempi di riparazione del tessuto muscolare e che abbia modificato le sue proprietà meccaniche. Per quanto riguarda, invece, il gruppo sottoposto ad esercizio leggero, potrebbe avere recuperato più velocemente la forza per un aumento nel flusso sanguigno al muscolo. Per cui, visto che l'attività leggera diminuisce il dolore e velocizza il recupero della forza, potrebbe essere utilizzata in alcuni soggetti per recuperare più rapidamente dal DOMS (69).

Se però si osserva la CK, i risultati sono opposti, cioè il gruppo dell'immobilizzazione mostra minori concentrazioni di CK rispetto al gruppo di controllo ed ancor meno rispetto al gruppo dell'esercizio leggero. Dato che la risposta di concentrazione di CK è molto variabile, resta da stabilire se l'immobilizzazione mostri una concentrazione di CK inferiore per un ridotto rilascio (guarigione accelerata) o per un ritardo di rilascio (ridotta attività linfatica) (70).

Sull'utilità del massaggio è stata effettuata una revisione sistematica della letteratura. I risultati sono contrastanti, tuttavia la maggior parte degli studi concordano nel sostenere che il massaggio sia utile per alleviare i sintomi del DOMS, pur non essendo un trattamento risolutivo (22).

Si sono utilizzati anche farmaci, generalmente FANS, per tentare di ridurre i segni e i sintomi del danno postesercizio, ma i risultati non sono stati confortanti (for review see 16). Il trattamento farmacologico con ibuprofene risultava in una riduzione nei parametri degli esami di laboratorio riguardanti l'infiammazione, ma clinicamente non erano osservabili effetti rilevanti (63). Mentre un altro recente studio ha dimostrato avere effetto sul dolore ma non sul recupero della forza o nelle prove funzionali (80). Con l'utilizzo di naprossene, invece, non si osservavano variazioni significative della concentrazione di CK o della percezione del dolore, ma era presente un miglior recupero della forza a 48 ore dalla sessione (5).

Una revisione di Almekinders (2) sul trattamento farmacologico del DOMS indica che con l'utilizzo di FANS o di iontoforesi con corticosteroidi il dolore soggettivo migliora solo lievemente in alcuni studi, non ci sono differenze significative in altri e non si osservano miglioramenti nel livello plasmatico di CK né nelle performance muscolari, anzi alcuni studi hanno persino osservato effetti negativi sugli indicatori di danno muscolare.

Si è concluso, quindi, che la componente infiammatoria nel DOMS non è una parte essenziale del fenomeno e che, di conseguenza, un trattamento con antinfiammatori non possa dare risultati significativi. D'altra parte, in uno studio di Sayers et al (71) si è osservato che l'utilizzo di ketoprofene diminuiva il dolore del 10 o 19% (mg 100 o mg 25) e migliorava la Massima Forza Isometrica del 16 e del 19% rispettivamente, ma non aveva alcun effetto sulle modificazioni EMG.

6. LA CONTRAZIONE ECCENTRICA NEL RINFORZO MUSCOLARE

Una considerazione importante da tenere presente nel disegnare programmi di allenamento alla forza è la specificità di un dato stimolo allenante. Numerosi studi hanno investigato il concetto della specificità dell'allenamento ed hanno osservato adattamenti specifici a fattori quali metodica di allenamento, lunghezza muscolare e velocità di accorciamento del muscolo. Un fattore addizionale che può causare effetti specifici dell'allenamento è la tipologia di azione muscolare utilizzata, cioè se l'allenamento consiste di azioni muscolari isometriche, concentriche, eccentriche o di una combinazione di esse (72).

Il quesito fondamentale al quale non si è ancora potuto rispondere in modo soddisfacente, riguarda l'individuazione precisa dei fattori determinanti l'incremento di forza e di trofismo muscolare. Si sono proposti vari meccanismi che potrebbero determinare ipertrofia ed incremento di forza, come gli alti stress meccanici, l'attivazione EMG, l'accumulo di metaboliti. Assumendo che **la tensione muscolare di per sé sia un fattore importante nell'incremento della forza muscolare durante l'allenamento**, il fatto che si possano ottenere tensioni più elevate in azioni eccentriche (79,33), rispetto alle concentriche ed isometriche farebbe preferire questo tipo di allenamento. Il muscolo scheletrico animale isolato ha la proprietà di produrre circa il 100% di forza in più in eccentrica, rispetto all'isometrica.

Si è anche ipotizzato che l'eccesso di tensione in eccentrica significasse un deficit nello sviluppo massimale della forza isometrica che può essere compensato in seguito ad allenamento alla forza; ma i risultati dello studio di Gulsch et al. (29) indicano che un primario miglioramento nella forza isometrica determinava poi ulteriori aumenti nella forza eccentrica e posteccentrica, rendendo quindi poco probabile la teoria.

La forma della curva tensione-velocità per il muscolo scheletrico umano attivato volontariamente differisce in modo marcato dalla curva del muscolo isolato (85). In generale, ma soprattutto negli estensori del ginocchio, **il momento torcente massimale in eccentrica non eccede o eccede di poco il livello isometrico e rimane costante (14,40, 85,18) o perfino decresce con l'aumentare della velocità (14 dopo allenamento). In concentrica, invece, diminuisce con l'aumentare della velocità (14,85,40).** Il motivo di questa differenza rispetto al muscolo isolato potrebbe essere una riduzione nel

drive neurale ai muscoli agonisti in condizioni di elevata tensione (77). Per verificare questa teoria è necessario provare che in certe condizioni si è in grado di sviluppare più forza di quella volontaria massimale. Con la superimposizione elettrica, per esempio, Westing et al. (86) furono in grado di dimostrare che il momento torcente del gruppo muscolare poteva essere aumentato di circa il 25% oltre il massimale volontario. Questi dati suggeriscono che non è possibile attivare completamente questo gruppo muscolare in condizioni eccentriche, nonostante lo sforzo “massimale”. (67).

Ma è importante notare che le azioni eccentriche differiscono dalle concentriche ed isometriche anche per altri aspetti, come l'efficienza elettromeccanica: in eccentrica è possibile produrre lo stesso livello di forza che in concentrica ma con una minore attivazione EMG (72,40). Nei lavori di Westing et al. (85) e Komi et al. (40) si osservava che il momento massimale eccentrico era maggiore del concentrico a tutte le velocità (range 20%-146%), mentre, il livello di attivazione EMG per tutti gli estensori di ginocchio era significativamente minore in condizioni eccentriche rispetto alle concentriche alle stesse velocità, e non si osservava attività dei flessori della coscia.

Si ipotizza, quindi, l'esistenza di un meccanismo regolante la tensione che impedisce uno sviluppo massimale di forza in situazioni di elevatissima tensione, per proteggere il sistema muscolo-scheletrico da lesioni che potrebbero verificarsi qualora venga permesso ai muscoli di attivarsi completamente. Però, bisogna anche ricordare che l'EMG in attività eccentrica non si modifica con l'aumentare della velocità (17), confermando la tesi del non incremento di tensione in eccentrica a velocità crescenti. I responsabili del feedback di questo meccanismo potrebbero essere i recettori capsulari, le terminazioni nervose libere nel muscolo, i recettori dolorifici e gli organi del Golgi (85).

Alcuni autori hanno anche ipotizzato che il deficit di attivazione fosse dovuto ad una scarsa familiarizzazione con la modalità dell'esercizio o che comunque l'attivazione in eccentrica fosse allenabile. Ma lo studio di Rutherford et al. (66) non mostrava significativi miglioramenti del fenomeno dopo allenamento bisettimanale di 4 settimane, così strutturato per stimolare gli adattamenti neurali senza ottenere ipertrofia. Quindi, **se l'attivazione EMG, e non la tensione di per sé, fosse determinante nel rinforzo e ipertrofia muscolare, sarebbero da preferire le modalità di**

allenamento concentrica ed isometrica, ma nella situazione attuale non è ancora chiaro quali siano i fattori più importanti e in che ordine.

L'effetto dell'allenamento, inoltre, dipende in parte dalla tensione ottenibile e dal numero di volte che lo stress è ripetuto. Da questo punto di vista l'esercizio eccentrico è interessante, perché si raggiungono generalmente tensioni maggiori e si è osservato che si sviluppa minore fatica (Fatigue Index più alto), con minore produzione di acido lattico ed ammonio, indipendentemente dall'articolazione considerata: tuttavia rimane poco chiaro se questo minore stress metabolico sia utile nell'allenamento (33).

In alcuni studi si suggerisce **che l'allenamento alla forza mediante azioni eccentriche ottimizza l'ipertrofia muscolare e preserva maggiormente l'aumento di volume delle fibre ottenuto dopo un periodo di sospensione dell'allenamento di un mese; inoltre minimizza il verificarsi del DOMS** (31). In uno studio di Colliander et al. (13) si osserva che un allenamento isocinetico che preveda contrazioni concentriche ed eccentriche è più efficace nell'incremento della forza valutata sia con un test isocinetico (+17-45% gruppo concentrico-eccentrico, +10-24% gruppo solo concentrico) sia con prove funzionali di salto (+8% gruppo concentrico-eccentrico, +3% gruppo solo concentrico) e squat (3RM nel mezzo-squat +25% per il gruppo concentrico-eccentrico, +15% solo concentrico) rispetto ad un allenamento solo concentrico con doppio numero di ripetizioni (in modo da rendere equivalente il numero di contrazioni).

Inoltre, nel trattamento dell'osteoartrite la combinazione di contrazioni concentriche ed eccentriche sembra abbia dato risultati lievemente migliori nelle prove funzionali come salire e scendere le scale e camminare per 15 metri, rispetto al trattamento solo concentrico con il quale si ottengono risultati migliori solo nell'alzarsi da una sedia, e si è osservato che questi pazienti sopportano molto bene il lavoro eccentrico, anche pesante (30).

In generale, sembra che l'impiego di contrazioni eccentriche, unitamente alle concentriche, sia migliore per un ottimale sviluppo della forza. **Molti studi però non considerano se gli incrementi di forza siano dovuti principalmente a fattori ipertrofici o neurali.** Per **fattori neurali** Sale et al. (67) indicano:

- 1) attivazione completa del motore primario;
- 2) variazione nell'attivazione degli antagonisti;
- 3) alterazioni nella velocità dello sviluppo della forza.

Inoltre, i miglioramenti in eccentrica sono specifici, cioè un allenamento con tale modalità migliora la performance nella stessa modalità ed in misura minore (15) o perfino nulla nelle altre (isometrica e concentrica).

Frequentemente i miglioramenti nello sviluppo di forza vengono attribuiti ad adattamenti neurali (miglioramenti nell'attivazione dell'agonista), soprattutto nei programmi di allenamento a breve termine (2-3 mesi) e in quelli che utilizzano contrazioni eccentriche, dove spesso si parte da una situazione di inibizione, in cui non si riesce ad attivare in modo massimale la muscolatura durante l'allungamento (15). Una possibile spiegazione è che questa inibizione, che inizialmente previene la completa attivazione dei muscoli non allenati a condizioni di carico, gradualmente sparisca con l'allenamento, in modo da proteggere le strutture non condizionate (76).

Si ascrivono a modificazioni neurali gli incrementi di forza che non sono correlabili ad aumenti nella sezione delle fibre muscolari, frequentemente osservabili nelle prime fasi di allenamento di individui non attivi: 12 settimane di allenamento concentrico-eccentrico e solo concentrico con importanti incrementi di forza, ma lieve ipertrofia non proporzionale all'aumento di forza (13).

Ulteriore conferma di queste modificazioni è la maggior forza per area di sezione che hanno gli atleti allenati alla forza rispetto ai non atleti.

Si è anche osservato che allenamenti solo eccentrici hanno dato risultati particolari, molto diversi tra loro.

Alcuni studi hanno messo in evidenza miglioramenti significativi in test sia in eccentrica sia in concentrica, con incremento di fibre IIB e decremento di fibre I, ma solo con determinate velocità di allenamento (alte), mentre a basse velocità si osservava solo una tendenza che poi non ha dato miglioramenti significativi, nemmeno nei test in eccentrica (62).

I risultati di Porter et al. (65) confermano l'importanza del meccanismo neurale, poiché hanno osservato il fenomeno della specificità anche nella posizione di allenamento: in un test in posizione supina con soggetti anziani non erano più visibili gli incrementi di forza, in seguito ad allenamento eccentrico, dei dorsiflessori della caviglia, osservabili invece nella stessa posizione dell'allenamento, cioè quella ortostatica.

Tuttavia, un allenamento eccentrico, a parità di carico, sembra ottenere risultati peggiori nell'incremento del trofismo e della massima forza isometrica, rispetto ad un allenamento concentrico (50). Questo risultato è in controtendenza rispetto ad altri studi, ma utilizza un allenamento esclusivamente eccentrico (che ha dato risultati contrastanti già in altre occasioni), peraltro senza impiegare il punto di forza di questo tipo di contrazione, cioè la capacità di sviluppare tensioni superiori alle altre tipologie.

Si sono studiate anche altre strategie per ottimizzare la contrazione eccentrica, ma i risultati non sono stati esaltanti. In un normale allenamento classificato come "isotonico" (termine non del tutto appropriato perché la tensione non è costante durante l'arco di movimento), cioè con resistenza costante, avremo uno sforzo massimale nella fase concentrica (massimale perché sarà il massimo carico che riusciremo a sollevare), mentre in fase eccentrica, riportando il carico nella posizione iniziale, il muscolo non lavorerà al massimo delle sue capacità, perché in questa fase sarebbe in grado di esprimere più forza.

Per questo motivo altri autori hanno cercato di capire se un ulteriore sovraccarico durante la fase eccentrica (che chiameremo DAER: Dynamic Accentuated External Resistance) fosse determinante nello sviluppo della forza. I risultati indicano incrementi di forza significativamente maggiori (il doppio) con carico superiore durante la fase eccentrica, in test eccentrici ed isometrici, ma non si osservavano sostanziali differenze per i test in concentrica (34).

Un altro studio della durata di 9 settimane, effettuato su flessori ed estensori del gomito, osservava un incremento di forza del 24% (con carico superiore durante la fase eccentrica) rispetto ad incrementi del 15%, ma solo nei muscoli estensori del gomito. I flessori, invece, non sembravano mostrare differenze

tra la metodica DCER (Dynamic Constant External Resistance) e quella DAER. E' però da sottolineare che nessuna delle due metodiche ha portato ad ipertrofia in 9 settimane. I risultati potrebbero indicare che, in alcune situazioni e in alcuni gruppi muscolari un allenamento DAER è migliore del DCER, ma non si evincono parametri per la scelta (6).

Un sovraccarico in eccentrica, inoltre, sembra possa migliorare il carico sollevabile nella successiva fase concentrica nel bench press, sfruttando il principio del ciclo allungamento-accorciamento. Con questo sistema sarebbe possibile aumentare il carico in eccentrica oltre il 100% di 1RM, ma anche il successivo carico in concentrica, consentendo quindi un allenamento a carichi altrimenti non raggiungibili (18). Sono però necessari altri studi, che verifichino l'efficacia di questa strategia nello sviluppo di forza ed ipertrofia.

Un altro tentativo è stato fatto da Folland et al. (24) che hanno effettuato una sessione iniziale di allenamento eccentrico che causava DOMS, prima di un normale protocollo di rinforzo isotonico, sfruttando il principio che il DOMS avrebbe potuto produrre ipertrofia compensatoria e migliorare i guadagni di forza. Ma non si sono osservati effetti positivi, anzi, in prima fase, il dolore ed i deficit di forza non hanno permesso un allenamento ottimale, per cui si concludeva che questo tipo di rinforzo era sconsigliabile, quantomeno a chi effettuava rinforzo muscolare per la prima volta.

Un altro vantaggio dell'allenamento eccentrico è che può essere effettuato nei settori del ROM più deboli, mentre in un tradizionale allenamento isotonico il settore più debole del ROM limita la quantità di peso sollevato. Anche l'allenamento isocinetico permette di allenare i muscoli nei settori del ROM più deboli, ma ci sono opinioni contrastanti sull'efficacia dell'allenamento isocinetico per il miglioramento del trofismo e della forza muscolare (65).

Riguardo all'eccentrica utilizzata in questi esercizi a **resistenza accomodante**, alcuni studi suggeriscono che l'esercizio combinato concentrico-eccentrico sia migliore nell'incremento di forza muscolare valutata sia con test isocinetico, sia con test funzionali.(14,13) Si è osservato anche, ma solo nel gruppo che eseguiva azioni concentriche ed eccentriche, che la forma curvilinea del grafico forza-velocità aumenta la sua pendenza dopo allenamento, a causa dei maggiori incrementi di forza a basse

velocità rispetto che ad alte, suggerendo una disinibizione parziale dei meccanismi neurali limitanti la tensione. Ciò non avveniva nel gruppo che effettuava solo contrazioni concentriche. Questo fenomeno determinava un grafico forza velocità in cui con l'aumentare della velocità in eccentrica, la forza sviluppata diminuiva. (14).

Sono stati anche eseguiti studi per dimostrare la riproducibilità dei test isocinetici nel valutare la forza in eccentrica, che concludono che il test con equipaggiamento Biodex è valido nella valutazione della dorsiflessione della caviglia e che i valori della forza di picco non danno informazioni minori di quelle fornite dalla quantità di lavoro (32).

Sebbene i risultati dello studio di Colliander e Tesch (14) indichino maggiori miglioramenti a velocità pari o più basse di quelle di allenamento, implicano anche un sostanziale effetto **carry-over** da una modalità muscolare all'altra. Inoltre, i marcati incrementi di forza, dato che non sono associati a ipertrofia muscolare o ad un miglioramento nell'attività enzimatica della contrazione, sono probabilmente dovuti ad adattamenti neurali. (13).

Utilizzando invece un allenamento DCER (Dynamic Constant External Resistance) solo eccentrico di 8 settimane, si possono osservare importanti incrementi di forza sia nella gamba allenata (+29%), sia in quella non allenata (+17%) in un test eccentrico, ma non si osserva nessun miglioramento in un test isocinetico concentrico a qualsiasi velocità angolare. Ciò conferma il principio di specificità dell'allenamento, anche se altri studi indicano che avvengono miglioramenti in concentrica ed isometrica dopo allenamenti solo eccentrici, e miglioramenti in eccentrica, dopo allenamenti solo concentrici. Dopo un periodo di deallenamento di 8 settimane gli incrementi di forza in eccentrica ottenuti si mantenevano completamente nella gamba allenata, mentre diminuivano del 19% in quella non allenata. (35)

7. Analisi della letteratura: effetti dell'allenamento eccentrico

7.1. L'insorgenza del dolore muscolare ritardato

L'insorgere ritardato del dolore muscolare è causato dal danno muscolare dovuto all'esercizio. Questo tipo particolare di dolore compare 2 o 3 giorni dopo l'esercizio e si manifesta con maggiore entità durante l'allenamento eccentrico (Prou; Guevel, Benezet, & Marini, 1999). Dal momento che il dolore si manifesta con più frequenza durante l'allenamento eccentrico, i muscoli hanno da soli trovato un sistema per difendersi. All'inizio di una sessione di allenamento che comprende azioni muscolari eccentriche, i muscoli producono un effetto di adattamento che consiste nell'aumentare la resistenza del muscolo danneggiato al momento del successivo esercizio della stessa natura (Prou, et al, 1999). Questo meccanismo di protezione permette una diminuzione di DOMS e accelera il tempo di recupero dopo l'esercizio.

Una lesione ad un muscolo scheletrico provoca la penetrazione nel flusso sanguigno di componenti specifici del muscolo, attraverso la rottura della membrana. Il componente muscolare che viene più comunemente perduto è la creatinasi (CK) (Garrett & Kikendall, 2000). Altri indicatori utilizzati per determinare il danno al muscolo sono il lattato deidrogenato (lactate dehydrogenase) e le proteine strutturali del muscolo. Studi recenti hanno mostrato che, nel corso di allenamenti eccentrici, il livello di lattato nel sangue aumenta di 6-10 volte (Walsh et al, 2001).

Il dolore muscolare in seguito agli esercizi è dovuto alla rimozione dell'acido lattico dalle cellule muscolari e al rifornimento di calcio e ossigeno. Quando il muscolo si contrae ed utilizza energia, il corpo deve trovare un modo per continuare a produrre adenosintrifosfato (ATP). Quando le cellule non hanno ossigeno a sufficienza per accettare le molecole di idrogeno dalla produzione di NADH, le

molecole di idrogeno in eccedenza si legano all'acido piruvico per produrre acido lattico. Più gli esercizi sono lunghi e faticosi, maggiore sarà la quantità di acido lattico prodotto. Durante l'allenamento eccentrico la forza e la produzione di acido lattico sono maggiori, e dunque maggiore sarà il dolore provocato.

In media, i livelli di creatinasi (CK) nel sangue raggiungono l'apice tra il terzo e il quarto giorno successivi all'allenamento. I dati disponibili al momento mostrano che i livelli di CK nelle contrazioni muscolari eccentriche aumentano ancora dopo 5 giorni dall'allenamento (Garrett & Kirkendall, 2000). Benché questi livelli possono ancora salire 5 giorni dopo gli esercizi, alcuni studi hanno mostrato che questi livelli raggiungono l'apice durante le sequenze iniziali di allenamento. Se si esegue una nuova sequenza di allenamento subito dopo che il livello di CK raggiunge l'apice, il livello di CK provocata dalla seconda sequenza di allenamento non supererà mai l'apice precedente (Walsh, Tonkonogi, & Malm, 2001). Poiché il livello di CK raggiunge il massimo durante la prima sequenza di esercizi, entra in gioco il meccanismo protettivo di adattamento. Questo permette di ripetere l'allenamento eccentrico, fino ad un certo punto, senza grande rischio di lesione. Inoltre, dopo una serie di esercizi, si avranno gli stessi DOMS che dopo serie ripetute, poiché i livelli di CK raggiungono presto il loro apice.

7.2 Il training eccentrico come metodologia d'allenamento muscolare di tipo "preventivo"

Considerando quindi il fatto che il muscolo si presenta particolarmente vulnerabile nel momento in cui sia sottoposto ad una contrazione di tipo eccentrico, soprattutto quando quest'ultima sia di notevole entità, come nel caso di uno sprint, di un balzo o di comunque un gesto di tipo esplosivo, nasce l'esigenza di "condizionare" i distretti muscolari maggiormente a rischio con un tipo di lavoro consono a questa particolare esigenza.

Si tratta quindi di agire secondo una metodologia di lavoro che comporti la ricerca dell'instaurazione di un ambiente muscolare acido, condizione immediatamente seguita, senza soluzione di continuità, da una serie di contrazioni eccentriche rapide (definibili come eccentriche-flash) effettuate sull'atleta da un operatore, oppure da una contrazione eccentrica lenta e controllata (che potremmo definire come eccentrica-classica). L'acidosi muscolare può essere prodotta da una serie di scatti a velocità massimale, ancor meglio se effettuati su distanze relativamente brevi (20-30 metri) con arresto e cambi di direzioni immediati, in modo da ricalcare, nella biomeccanica di corsa, il più possibile il modello prestativo.

Esempio 1: L'esercitazione è complessivamente composta da una serie di 5 scatti a velocità massimale effettuati su di una distanza breve (20 metri), con arresto e cambiamento di direzione, effettuati senza soluzione di continuità, abbinati ad una serie di "contrazioni flash" (10-15 ripetizioni per gamba) a carico del bicipite femorale.

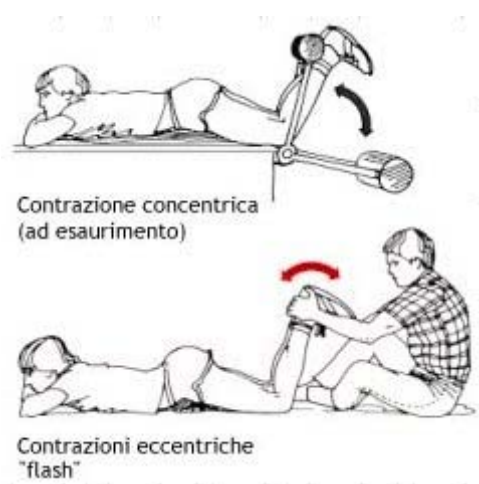


In tal modo il condizionamento muscolare è orientato verso un progressivo adattamento nello sviluppare contrazioni eccentriche rapide ed intense in condizioni di forte acidosi e di marcata anossia cellulare. Questo tipo di lavoro, come riportato nell'**esempio 1**, si dimostra particolarmente interessante per il bicipite femorale. Per provocare una marcata acidosi locale, del bicipite femorale, è possibile indurre quest'ultima attraverso un'esercitazione muscolare settoriale, come l'esercizio di leg curl, eseguito ad esaurimento muscolare completo, immediatamente seguito dall'esercitazione eccentrica, come

descritto

dall'**esempio**

2.



Esempio 2 : Per provocare una marcata acidosi locale, del bicipite femorale, è possibile effettuare un'esercitazione muscolare settoriale, come il leg curl, eseguito ad esaurimento muscolare completo (65-70% del carico massimale per 12-10 RM), immediatamente seguito da una serie di "contrazioni flash" (10 -15 ripetizioni per gamba).

Un altro schema di lavoro interessante, sempre a carico del bicipite femorale, è costituito da una serie di corsa calciata, eseguita ad alta intensità, con l'ausilio di bande elastiche, della durata di alcuni secondi, seguita da una serie di contrazioni eccentriche-flash (**esempio 3**) o da contrazioni eccentriche di tipo tradizionale (**esempio 4**). Ricordiamo che una serie eccentrica, definibile come di tipo "classico", comporta l'utilizzo di un carico sovra-massimale (110%-120% del carico massimale) ed un numero di ripetizioni compreso tra 3 e 4, la fase eccentrica deve essere eseguita molto lentamente e naturalmente la fase concentrica deve essere effettuata grazie ad un aiuto esterno. Data la diversità della modalità di

contrazione eccentrica tra il cosiddetto "eccentrico-flash" ed il metodo "eccentrico classico", sarebbe buona norma adottare entrambi questi tipi di lavoro, al fine di ottenere un condizionamento muscolare consono ad entrambi i pattern di attivazione.



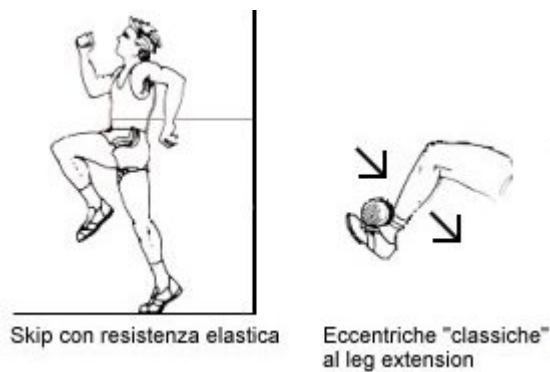
Esempio 3: Un altro schema di lavoro a carico del bicipite femorale, può prevedere una serie di corsa calciata, eseguita ad alta intensità, con l'ausilio di bande elastiche, della durata compresa tra i 20 ed i 30 ", immediatamente seguita da una serie di contrazioni eccentriche-flash (10 -15 ripetizioni per gamba).

Esempio 4: Lo stesso schema di lavoro dell'esempio precedente, nel quale però l'eccentrico "flash" è stato sostituito dall'eccentrico "classico" (carico pari al 120% del massimale, 3- 4 ripetizioni eseguite il più lentamente possibile). E' sempre buona norma adottare entrambi questi tipi di lavoro, al fine di ottenere un condizionamento muscolare consono ad entrambi i pattern di attivazione.

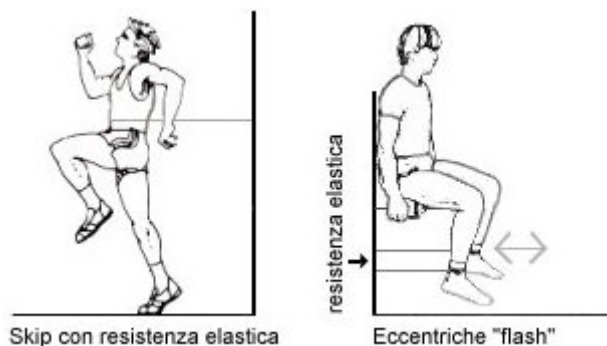


Lo stesso tipo di lavoro è proponibile anche per il quadricipite femorale (**esempio 5**), in questo caso

dopo una serie di skip con resistenza elastica, è eseguita una serie di "eccentrico classico" al leg extension, oppure di contrazioni eccentriche "flash" (**esempio 6**).



Esempio 5: Lo stesso tipo di lavoro per il quadricipite femorale, in questo caso dopo una serie di skip con resistenza elastica della durata di 20-30" viene eseguita una serie di eccentrico "classico" al leg extension. (carico pari al 120% del massimale, 3- 4 ripetizioni eseguite il più lentamente possibile).



Esempio 6 : Esercitazione simile alla precedente dove però, dopo una serie di skip con resistenza elastica sempre della durata di 20-30", viene eseguita una serie di eccentrico "flash" (10-15 ripetizioni per gamba). Anche nel caso del quadricipite femorale è sempre consigliabile adottare entrambe le modalità di contrazione eccentrica (classica e flash).

Questi esempi esercitativi, che naturalmente posso essere integrati o modificati, sempre restando in questa ottica metodologica, possono quindi costituire sia un egregio lavoro di tipo preventivo nei confronti dei possibili danni muscolari, sia, ovviamente con i dovuti adattamenti, fornire una solida base

di condizionamento muscolare per ciò che riguarda i piani di lavoro riabilitativo susseguenti ad eventi traumatici a livello muscolare.

7.3 Miglioramento della forza

I risultati di alcuni studi hanno mostrato che attraverso l'allenamento eccentrico si ottengono valori di forza più alti che con allenamenti concentrici o isometrici (Horstmann, Mayer & Maschmann, 2001). Le contrazioni eccentriche generano fino a tre volte più forza delle contrazioni concentriche. Durante le contrazioni eccentriche si assiste ad un aumento di circolazione delle proteine nel muscolo, mentre la sintesi proteica aumenta dell'83% (Folland, Chong, & Copeman, 2001). Le contrazioni muscolari eccentriche vengono effettuate con un carico submassimale. Quando una persona esegue un ciclo eccentrico-isometrico-concentrico con carico massimo, la fase eccentrica consiste di esercizi svolti con carico molto leggero. La fase eccentrica è in grado di sollevare 40-50% di peso in più rispetto alla fase concentrica (Hortobagyi, Devita, & Money, 2001).

In uno studio in cui veniva esaminata la forza di sollevamento dinamico in un programma di 9 settimane, dopo tale periodo non si è riscontrata nessuna differenza significativa tra i miglioramenti della forza muscolare eccentrica e concentrica. Dopo tre settimane, tuttavia, si sono riscontrati significativi miglioramenti in termini di forza durante l'allenamento eccentrico (Folland et al, 2001). Altri dati suggeriscono che gli esercizi in contro-resistenza con un sovraccarico eccentrico producono adattamenti neuromuscolari. I muscoli scheletrici rispondono agli stimoli in proporzione allo stimolo (Hortobagyi, et al, 2001). I muscoli possono adattarsi e rispondere più velocemente alla richiesta di forza da parte del corpo.

Grazie al meccanismo protettivo di adattamento che avviene in seguito all'allenamento eccentrico, l'abilità del muscolo di eseguire un movimento ripetitivo eccentrico senza incorrere in serie lesioni o dolori muscolari farà aumentare anche la forza e la prestazione. Quando gli esercizi eccentrici che causano lesioni normali sono preceduti da un volume di lavoro eccentrico minore, questo riduce

l'attività della CK, la quantità di forza persa e i DOMS (Paddon-Jones & Abernethy, 2001). L'effetto di adattamento nella prima sequenza di esercizi causa l'attivazione delle unità motorie e l'alterazione dei modelli di mobilitazione. Questo si riferisce agli adattamenti neurali, che determinano un minore danneggiamento del muscolo e un minore deterioramento funzionale dopo la seconda sequenza di esercizi (Rinard, Clarkson, Smith & Grossman, 1999).

Altri studi hanno mostrato che per le contrazioni eccentriche vengono mobilitate meno unità motorie rispetto a quelle concentriche, pur avendo entrambe la stessa forza (McHugh, Tyler, Greenberg, & Gleim, 2002). Sebbene esercizi e allenamenti eccentrici causino un danneggiamento iniziale maggiore, danno anche migliori risultati iniziali in termini di forza. Se il programma di allenamento è ben fatto, con corte sequenze (low bouts) di esercizi eccentrico prima del carico massimo, questi programmi possono produrre aumenti significativi di forza e adattamento neurale. Questo permetterebbe una stimolazione più veloce e una migliore esecuzione generale.

7.3.1 1° mezzo di lavoro : l'eccentrico : come ottimizzarlo.

L'allenamento eccentrico da un punto di vista prettamente "atletico" ci permette, come tutti ben sanno, di poter aumentare notevolmente la forza muscolare dell'atleta, oltretutto il miglioramento della forza eccentrica può avere, rispettando alcuni principi metodologici, anche delle positive ricadute sulla forza massima dinamica. Unico neo dell'allenamento eccentrico è l'utilizzo di carichi sovramassimali, normalmente compresi tra il 100 ed il 120% di 1RM. L'eccentrico comporta una forte perturbazione strutturale delle fibre muscolari, soprattutto di quelle veloci (Armstrong e coll., 1983; Friden e coll., 1981; Newham e coll, 1983) e conseguenza induce un importante ristrutturazione a livello muscolare, cogliendo in pieno quindi uno dei principi basilari dell'adattamento muscolare enunciabile come "break down and build up", che possiamo tradurre nel più italico principio di "destrutturare prima e ristrutturare dopo". Tuttavia l'eccentrico non solo ci permette di migliorare le qualità di forza dell'atleta ma è un ottimo mezzo per "condizionare" la muscolatura nel resistere al violento fenomeno del sovrastiramento (overstretching) alla quale quest'ultima viene sottoposta durante gli impegni di tipo

esplosivo. L'eccentrico quindi è il nostro primo, ottimo esempio, di matrimonio perfetto tra l'allenamento della forza muscolare ed il condizionamento preventivo. Come ottimizzarlo quindi?

7.3.2 L'eccentrico variabile.

Rendere allenante il carico durante tutto l'arco del movimento è un principio di base per tutte le metodologie di lavoro che comportino l'utilizzo di sovraccarichi, vediamo come farlo con l'eccentrico. Prendiamo una delle esercitazioni in eccentrico maggiormente allenanti e condizionanti a livello muscolare come il semi squat. Nel semi squat si possono utilizzare carichi elevati, da 90° di squat sino alla posizione di 0° squat la forza massimale diminuisce di circa il 20-25%, a causa del cambiamento del braccio di leva articolare (Bisciotti, 2000). Per poter utilizzare un carico adatto a rendere allenante tutto l'arco del movimento occorrerà quindi adottare un primo carico, più pesante, sino a 0° di squat ed un secondo carico, più leggero di circa il 20-25%, dalla posizione di 0° di squat sino a quella di 90° di squat. Questo è il concetto da utilizzare in quello che ho voluto chiamare "eccentrico a carico variabile". Per sensibilizzare un'omogenea ripartizione del carico sulle due gambe sarebbe consigliabile l'uso di due semplici bilance sotto i piedi dell'atleta.

Serie consigliate : da 3 a 5

Carico: dal 100 al 120% del carico massimale

Ripetizioni: da 4 a 6

Recupero: tempi di recupero molto lunghi compresi tra 5 e 7'

Per quello che riguarda gli ischio-crurali, muscolatura che necessita di un forte allenamento e condizionamento in eccentrico, il principio dell'eccentrico a carico variabile non è facilmente adottabile. Immaginate un esercizio eccentrico effettuato sul leg curl: il movimento può essere sostanzialmente suddiviso in due range, il primo che va dai 90° ad 135° ed il secondo dai 135° ai 180°. Ebbene nella seconda parte di movimento (135°-180°), la forza eccentrica degli ischio-crurali può essere addirittura superiore di tre volte rispetto a quella registrabile nella prima parte del movimento

stesso (90°-135°). Da qui la necessità di considerare i due movimenti separatamente, adottando i due diversi rispettivi carichi di allenamento.

7.3.3. Eccentrico + super slow

Va ricordato come il muscolo si insulta durante una contrazione eccentrica anche a causa della mancanza di ossigeno che sopravviene in simili condizioni di contrazione. Un secondo principio metodologico nell'ambito dell'eccentrico è quello che ho voluto denominare "rinforzare in eccentrico-capillarizzare in concentrico". Si tratta in pratica di eseguire una serie in eccentrico abbinata ad una particolare modalità di allenamento concentrico denominata "super slow". Il super-slow è una metodologia nata in ambito fisioterapico ed ora "rubata" anche dai culturisti. Questo tipo di lavoro prevede delle contrazioni estremamente lente, di 5 secondi durante la fase eccentrica e di ben 10 durante la fase concentrica, per un totale di 6-8 ripetizioni, ossia per di 1'30-2' di lavoro complessivo. Il super-slow, mette metabolicamente in crisi il distretto muscolare allenato, inducendo una forte capillarizzazione di quest'ultimo. Data la natura del super-slow, che ovviamente non si adatta perfettamente alla connotazione balistica del gesto tecnico del calciatore, è consigliabile un inserimento di esercitazioni di forza esplosiva a fine concatenazione. La scaletta utilizzabile potrebbe essere quindi : Eccentrico (con le modalità sopra-descritte)- 3' di recupero - super slow- 3'-4' di recupero, serie di forza esplosiva. In alternativa il mini-blocco di forza esplosiva può essere inserito a fine seduta.

Serie consigliate : da 2 ad un massimo di 3

Carico: dal 100 al 120% del carico massimale in eccentrico, un carico che permetta almeno 6 ripetizioni (10'' in concentrico + 5'' in eccentrico) per il super-slow.

Ripetizioni: da 4 a 6 per l'eccentrico, 1'30''-2' di lavoro totale per il super slow.

Recupero: tempi di recupero molto lunghi compresi tra 5 e 7'

Nota: osservare un tempo di recupero di circa 3'-4' tra la fine del super slow e la serie di forza esplosiva, che dovrebbe essere basata su 4-5 ripetizioni. Osservare inoltre, soprattutto nella fase iniziale della programmazione, un tempo di recupero di 3'- 3'30'' tra l'eccentrico ed il super-slow.

7.3.4 2° mezzo di lavoro: L'eccentrico flash con carico

La fase eccentrica di un cambiamento di direzione, come d'altronde anche quella di un salto o di uno sprint, costituiscono un momento estremamente delicato e potenzialmente pericoloso per l'integrità del complesso muscolo-tendineo. Tuttavia se analizziamo tutta la cinematica del movimento possiamo accorgerci che in effetti la fase eccentrica fa parte di un continuum che, in quanto tale, si svolge senza soluzione di continuità e che è giusto considerare ed allenare nella sua totalità, perché è proprio in tal modo che il muscolo si comporta durante l'attività specifica. Nella prima fase il muscolo cede eccentricamente verso il basso, in questa fase in un primo tempo il complesso muscolare viene bruscamente stirato e solo verso la fine dell'allungamento produce una forza eccentrica molto alta per frenare il movimento stesso, forza dell'ordine di circa 2 / 2.5 volte il proprio peso (quindi circa 150 — 180 kg per un atleta di 75 kg). E' proprio in questa fase che il muscolo rischia di insultarsi, sia per la violenza dello stiramento (nella prima fase), che per la forte tensione che deve sviluppare (seconda fase). Immediatamente dopo la fase eccentrica segue una brevissima fase che potremmo definire di "stabilizzazione isometrica", sulla quale s'innesta senza soluzione di continuità una contrazione concentrica di tipo esplosivo che corrisponde al momento in cui la gamba si estende. Come riprodurre "a secco", durante l'allenamento di muscolazione, la stessa sequenza di attivazione muscolare, in modo da allenare e condizionare il muscolo al movimento specifico? Il concetto di quello che ho denominato "eccentrico flash con carico" è proprio questo: riprodurre nell'allenamento di muscolazione in palestra lo stesso pattern di attivazione neuromuscolare che ritroviamo nel ciclo eccentrico-isometrico-concentrico esplosivo, tipico dei movimenti balistici come il cambio di direzione il balzo ecc. Per fare un esempio pratico se porto un carico di 25 kg all'altezza di 30 cm al di sopra della gamba, lo lascio cadere e lo ammortizzo, realizzando il ciclo stiramento eccentrico- fissazione isometrica-spinta concentrica, nello spazio di 10 cm (come illustrato appunto dalla sequenza sotto riportata), esercito una forza eccentrica d'impatto di ben 1471.5 N (ossia 150 kg), che come abbiamo detto precedentemente è circa lo stesso valore di forza eccentrica che sviluppo durante la fase eccentrica di un cambio di

direzione, il tutto rispettando inoltre la stessa sequenza di attivazione neuromuscolare. L'eccentrico flash con carico quindi è probabilmente la miglior sintesi del concetto: allenamento della forza muscolare/condizionamento preventivo.

Serie consigliate: da 3 a 6

Ripetizioni : 6

Tempi di recupero: circa 5', possibilmente attivo

7.3.5 3°mezzo di lavoro: il lavoro sul picco di potenza ovvero, il lavoro a "doppio rendimento".

Perché bisogna definire il lavoro sul picco di potenza lavoro a doppio rendimento? Tutti sappiamo come alla fine di un movimento i muscoli antagonisti si attivino per frenare l'arto accelerato dalla contrazione degli agonisti. Immaginate un estensione della gamba sulla coscia effettuata contro due carichi di diversa grandezza: il primo molto leggero ed il secondo pressoché massimale. Nel primo caso la muscolatura antagonista (in questo caso gli ischiocrurali) si dovrà attivare, verso l'ultimo terzo della fase di estensione, per frenare l'azione degli agonisti (il quadricipite femorale), che in questo caso svilupperanno molta velocità ma poca forza, dato che il carico spostato è come abbiamo detto leggero. L'attivazione a cui saranno sottoposti gli antagonisti sarà quindi di media entità.

Prendiamo il caso opposto, ossia quello in cui il carico spostato sia molto elevato: in questo secondo caso la muscolatura agonista svilupperà una grande forza ma produrrà una bassa velocità di accorciamento. Anche in questo caso l'attività degli antagonisti per frenare il movimento sarà di media entità. Nel caso invece in cui si sposti un carico con il quale si produca la massima potenza, la forza e la velocità del movimento saranno entrambe a valori discretamente elevati (circa il 50% della forza massimale e circa il 50% della massima velocità contrattile), ragione per cui l'attività che gli antagonisti dovranno sviluppare sarà necessariamente importante. Il lavoro sul picco di potenza quindi ha questo doppio interesse, allena gli agonisti alla produzione di potenza, soprattutto interessando le fibre veloci, e condiziona gli antagonisti in eccentrico. Sarebbe consigliabile effettuare il lavoro monitorizzandolo con un'apparecchiatura che quantifichi la potenza espressa, ma se non ne foste sprovvisti ci si può

accontentare di adottare un carico di circa il 50% del carico massimale ed eseguire la spinta alla massima velocità esecutiva possibile: non si sarà molto lontani dalla massima produzione di potenza.

Serie consigliate: 4-5

Carico: circa il 50% del carico massimale.

Ripetizioni: sino a quando si riesca a mantenere il 90% della potenza massimale se si lavora "monitorizzati", sino a che non diminuisce vistosamente la velocità esecutiva in mancanza di monitoraggio.

Recupero: 5' circa.

7.3.6 4°mezzo di lavoro: elasticità, diversificare il lavoro

Avere un complesso muscolo-tendineo elastico non significa solamente potenziare il gesto esplosivo e renderlo maggiormente economico, possedere delle buone caratteristiche elastiche vuol dire anche aver una maggior garanzia di salvaguardia delle strutture articolari e periarticolari (Bisciotti e coll., 2001; Bisciotti 2001).

Balzi, andature elastiche, pliometria classica... sono tutte ottime esercitazioni per allenare le caratteristiche elastiche del complesso muscolo-tendineo, tuttavia anche in quest'ambito, come d'altronde in senso metodologico generale, è buona norma diversificare l'allenamento, proprio perché la diversificazione permette di stimolare sotto diversi aspetti e con diverse modalità l'apparato muscolare e quindi di indurre processi adattivi più sostanziali. Anche gli esercizi con l'utilizzo di sovraccarichi si prestano ottimamente all'allenamento dell'elasticità muscolare, a condizione che vengano rispettate alcune condizioni. In primo luogo la scelta del carico che deve essere compreso tra il 30 ed il 35% del carico massimale, con questo tipo di sovraccarico infatti il muscolo riesce ad ottimizzare l'accumulo di energia elastica durante la fase eccentrica del movimento ed a restituirla in gran parte durante la successiva fase concentrica (Bisciotti, 2000). Quante ripetizioni eseguire? Anche in questo caso il lavoro andrebbe monitorizzato e le ripetizioni andrebbero interrotte non appena si scenda al di sotto del 90% della massima potenza ottenibile con il carico in questione, se questo non fosse possibile, varrà la

solita regola adottabile anche nel caso dell'allenamento della potenza ossia: interrompere la serie nel momento in cui la velocità esecutiva scade vistosamente. Esercitazioni particolarmente interessanti in quest'ambito sono lo squat, la pressa (sia orizzontale che a 45°) ma anche il leg curl od il leg extension. Lo schema riassuntivo quindi sarà:

Serie consigliate: 3-5

Carico: 30-35% del carico massimale

Ripetizioni: sino a quando si riesca a mantenere il 90% della massima potenza relativa al carico utilizzato se si lavora "monitorizzati", sino a che non diminuisce vistosamente la velocità esecutiva in mancanza di monitoraggio.

Recupero: 5' circa.

7.3.8. I principi metodologici

Cerchiamo ora di elencare i più importanti principi metodologici a cui questi mezzi di lavoro devono attenersi per poter essere in grado di mettere in atto un piano di lavoro coerente e funzionale.

- Il lavoro eccentrico provoca, come detto, una forte destrutturazione a livello muscolare che è foriera di grossi adattamenti muscolari a livello miofibrillare, per questo motivo necessita di tempi di supercompensazione molto lunghi. Un microciclo eccentrico (ossia un periodo di una settimana in cui il mezzo di lavoro principale sia appunto la contrazione eccentrica) viene supercompensato solamente dopo 4-5 settimane. La prima regola durante la stesura di un programmazione che preveda l'inserimento del metodo eccentrico è quindi di non inserirlo troppo a ridosso dell'inizio del periodo agonistico. D'altro canto però occorre considerare che sarebbe quantomeno azzardato proporre come primo mezzo di lavoro l'eccentrico, magari ad atleti che provengono da un periodo più o meno lungo d'inattività. La soluzione più razionale è quella di svolgere un lavoro che potremmo definire "di condizionamento di base", incentrato sul metodo concentrico classico, della durata di 7-10 giorni, sul quale innestare in un secondo tempo il lavoro eccentrico. Per quello che riguarda l'eccentrico flash con carico, occorre dire che dovrebbe metodologicamente essere inserito solamente dopo che l'atleta mostra una buona

padronanza esecutiva nell'eccentrico classico e che comunque in ogni caso necessita di una perfetta tecnica esecutiva, che deve quindi essere particolarmente curata.

- Non eccedere con l'utilizzo del super-slow, che è in effetti una tecnica che "mortifica", in un certo qual modo, le caratteristiche meccaniche della fibra veloce. In tutti i casi ricordiamoci sempre di inserire delle esercitazioni di tipo esplosivo per compensare questo tipo di lavoro. A questo proposito occorre un'attenzione particolare, dal momento che il super slow è comunque un allenamento lattacido, il richiamo esplosivo deve essere inteso veramente come tale (ossia senza esagerazioni) e non divenire una vera e propria seduta anaerobica lattacida, dal momento che far seguire un allenamento di questo tipo ad uno a connotazione lattacida, aumenterebbe il rischio di incidenti muscolari.
- Bisogna ricordare che effettuare un buon lavoro sul picco di potenza ci permette, sia di allenare gli agonisti su di un pattern di attivazione di tipo esplosivo, sia di condizionare in modalità eccentrica gli antagonisti. Da un punto di vista programmatico, il lavoro di potenza necessita di tempi di supercompensazione minori rispetto a metodologie come l'eccentrico e si presta quindi ad essere inserito anche più a ridosso degli impegni agonistici. Il lavoro di potenza inoltre, ovviamente se ben dosato e giustamente inserito, è molto interessante anche in periodo agonistico, come metodica di richiamo delle qualità di forza esplosiva.
- Diversifichiamo il lavoro sull'elasticità muscolare, effettuando un giusto "melange" tra esercitazioni a carico corporeo come balzi, andature elastiche, pliometria... ed esercizi con sovraccarico. Le considerazioni riguardanti i tempi necessari alla supercompensazione ed il conseguente inserimento da un punto di vista programmatico, fatte per il lavoro di potenza, restano valide anche per ciò che riguarda il lavoro rivolto all'elasticità.

	Microciclo 1	Microciclo 2	Microciclo 3	Microciclo 4	Microciclo5	Microciclo6
Durata	7-10gg	7 gg	7 gg	5-7gg	7-10 gg	7-10 gg

del microciclo						
Metodologia di allenamento	Concentrico classico	Eccentrico classico	Eccentrico flash con sovraccarico	Microciclo di scarico a base di concentrico classico	Lavoro per la potenza	Lavoro per l'elasticità

Tabella 1: Esempio di programmazione riguardante 6 microcicli di allenamento partendo dalla prima settimana di preparazione pre-campionato.

8. Tempo di recupero per l'allenamento eccentrico

Nelle ricerche precedenti si riteneva che dopo esercizi eccentrici con sforzo massimo fosse necessario concedere al muscolo un tempo di riposo per recuperare. Uno studio ha rivelato che mantenendo un muscolo immobile per 3 giorni, dopo che questo era stato sottoposto ad un esercizio eccentrico che lo aveva danneggiato, migliorava il recupero della forza isometrica ma nessuna altra funzione muscolare (Clancy & Clarksson, 1990). Studi passati hanno dimostrato che tenere immobile il muscolo per un periodo di 5 giorni e successivamente rimetterlo in funzione, aveva come effetto un miglioramento della funzionalità muscolare dopo il danneggiamento (Letho, Duance, & Restall, 1985).

Il muscolo, dopo il danno causato dal caricamento massimo, deve avere il tempo per recuperare, sia in caso di contrazione eccentrica che concentrica. Gli atleti ritengono di dover procedere con l'allenamento dopo la prima sequenza di esercizi e DOMS. Questa credenza è determinata dall'idea che continuare l'allenamento determina una diminuzione del dolore e migliora il recupero. Nel caso di esercizi eccentrici, aggiungere altre serie di contrazioni eccentriche dopo il primo esercizio eccentrico facilita il recupero della forza muscolare ad una maggiore velocità di contrazione (sayers, Clarkson, & Lee, 2000).

Il tempo di recupero dipende dalle caratteristiche di ciascun atleta. A seconda del livello di DOMS e della perdita di forza, l'atleta deve continuare l'allenamento fino ad ottenere miglioramenti di forza. Se un atleta interrompe l'allenamento fino a quando non prova più dolore, l'allenamento muscolare ricomincerà da zero. Si consiglia ad atleti e allenatori di determinare il tempo di recupero, necessario

affinché si ottengono miglioramenti nelle prestazioni, a seconda del carico di peso utilizzato durante l'allenamento.

Le contrazioni eccentriche determinano sicuramente un aumento della forza e delle dimensioni del muscolo. Tali miglioramenti si possono ottenere anche tramite le contrazioni concentriche. Dati recenti hanno mostrato che questi miglioramenti di forza e dimensioni si ottengono più velocemente tramite l'allenamento eccentrico. Sebbene il tempo di recupero dopo l'allenamento eccentrico sia un po' più lungo, questo aspetto negativo è superato dalla considerazione che l'allenamento eccentrico determina adattamenti neurali e una pronta risposta agli stimoli. La maggior parte delle ricerche concorda sull'idea di combinare i due tipi di allenamento. L'allenamento concentrico punta maggiormente a far sviluppare energia al muscolo nel modo più veloce possibile. L'allenamento eccentrico punta all'allungamento del muscolo. Dal momento che agisce sull'allungamento del muscolo, può avere un effetto sull'adattamento neurale, specialmente nel tendine di Golgi e sull'allungamento (spindles) dei muscoli. Come nel caso della maggior parte dei programmi di allenamento, non esiste una soluzione unica e ben definita, bensì la soluzione migliore consiste nel combinare due o più tipi di esercizi.

9. CONCLUSIONI

Allo stato attuale, non è possibile parlare di superiorità o inferiorità di una contrazione rispetto alle altre. Le ricerche non riescono ad evidenziare una maggiore efficacia dei programmi di allenamento eccentrici rispetto ai concentrici, né viceversa. Si tratta semplicemente di due diversi strumenti a disposizione che andranno utilizzati al momento e nella situazione/patologia opportuni.

Da quanto preso in rassegna si può affermare che:

- i programmi di allenamento più efficaci nell'incremento di forza e massa muscolare sembrano essere quelli che comprendono contrazioni sia concentriche sia eccentriche;
- i programmi di allenamento che prevedono solo contrazioni eccentriche non sembrano determinare ipertrofia rilevante, ma solo adattamenti neurali. E' possibile che i normali protocolli di allenamento non siano sufficienti per affaticare il muscolo con contrazioni eccentriche, e quindi non sufficienti a determinare ipertrofia;
- in contrazione eccentrica, anche se il muscolo riesce a sviluppare tensioni superiori a quelle ottenibili in concentrica ed isometrica, l'attivazione EMG è minore. In pratica viene attivato un minor numero di fibre muscolari, che però sviluppano una forza superiore a quella ottenibile in concentrica o isometrica con un'attivazione pressoché totale;
- l'utilizzo di contrazioni eccentriche determina il fenomeno del DOMS, che non ha effetti positivi. I sintomi di questo fenomeno sono simili a quelli dell'infiammazione, anche se con qualche differenza rispetto alla definizione classica;
- il DOMS determina riduzione di forza "strutturale", non dipendente dalla sensazione di dolore, ed il recupero è spontaneo;
- il trattamento riabilitativo del DOMS è utile, ma non è determinante. L'esercizio leggero è da preferire per la lieve riduzione del dolore, ma non sembra che l'esercizio intenso, anche eccentrico, determini un peggioramento del recupero; utile anche il massaggio;

- un notevole vantaggio dell'utilizzo della contrazione eccentrica deriva dalla possibilità di effettuare esercizio nei settori del ROM non raggiungibili in contrazione concentrica per deficit muscolare. E' possibile aiutare il soggetto a raggiungere la fine del ROM e lasciare che il soggetto ritorni attivamente in posizione di partenza in contrazione eccentrica;
- gli esercizi eccentrici sono utili nelle ultime fasi delle lesioni muscolari e tendinee e nel trattamento delle tendinopatie croniche.

10. References

1. ALLEN D.G. *Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force*. Acta Physiol. Scand. 171: 311-319, 2001
2. ALMEKINDERS L.C. *Anti-inflammatory treatment of muscular injuries in sport*. Sports Med. 28: 383-388, 1999
3. ARMSTRONG R.B. *Initial events in exercise-induced muscular injury*. Med. Sci. Sports Exerc. 22: 429-435, 1990
4. ARMSTRONG R.B., WARREN G.L., WARREN J.A. *Mechanism of exercise-induced muscle fibre injury*. Sports Med. 12: 184-207, 1991
5. BOURGEOIS J., MacDOUGALL D., MacDONALD J., TARNOPOLSKY M. *Naproxen does not alter indices of muscle damage in resistance-exercise trained men*. Med. Sci. Sports Exerc. 31:4-9, 1999
6. BRANDENBURG J.P., DOCHERTY D. *The effect of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy and neural adaptation in trained individual*. J. Strength Cond. Res. 16: 25-32, 2002
7. BROCKETT C., WARREN N., GREGORY J.E., MORGAN D.L., PROSKE U. *A comparison of the effects of concentric versus eccentric exercise on force and position sense at the human elbow joint*. Brain Res. 771: 251-258, 1997
8. BROCKETT C.L., MORGAN D.L., PROSKE U. *Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 783-790, 2001
9. BROWN S.J., CHILD R.B., DAY S.H., DONNELLY A.E. *Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions*. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 75: 369-374, 1997
10. BURLESON M.A. jr, O'BRYANT H.S., STONE M.H., COLLINS M.A., TRIPLETT McBRIDE T. *Effect of weight training exercise and treadmill exercise on postexercise oxygen consumption*. Med. Sci. Sports Exerc. 30: 518-522, 1998
11. CHEN T.C., HSIEH S.S. *Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 1732-1738, 2001
12. CLARKSON P.M., NOSAKA K., BRAUN B. *Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation*. Med. Sci. Sports Exerc. 24: 512-520, 1992
13. COLLIANDER E.B., TESCH P.A. *Effect of eccentric and concentric muscle actions in resistance training*. Acta Physiol. Scand. 140: 31-39, 1990
14. COLLIANDER E.B., TESCH P.A. *Effects of detraining following short term resistance training on eccentric and concentric muscle strength*. Acta Physiol. Scand. 144: 23-29, 1992

15. COLSON S., POUSSON M., MARTIN A., VAN HOECKE J. *Isokinetic elbow flexion and coactivation following eccentric training*. J. Electromyogr. Kinesiol. 9: 13-20, 1999
16. CONNOLLY D.A., SAYERS S.P., McHUGH M.P. *Treatment and prevention of the Delayed Onset Muscle Soreness*. J. Strength Cond. Res. 17: 197-208, 2003
17. CRAMER J.T., HOUSH T.J., EVETOVICH T.K., JOHNSON G.O., EBERSOLE K.T., PERRY S.R., BULL A.J. *The relationship among peak torque, mean power output, mechanomyography and electromyography in men and women during maximal, eccentric isokinetic muscle actions*. Eur. J. Appl. Physiol. 86: 226-232, 2002
18. DOAN B.K., NEWTON R.U., MARSIT J.L., TRIPLETT-McBRIDE N.T., KOZIRIS L.P., FRY A.C., KRAEMER W.J. *Effect of increased eccentric loading on bench press 1RM*. J. Strength Cond. Res. 16: 9-13, 2002
19. DOLEZAL B.A., POTTEIGER J.A., JACOBSEN D.J., BENEDICT S.H. *Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload*. Med. Sci. Sports Exerc. 7: 1202-1207, 2000
20. DONNELLY A.E., CLARKSON P.M., MAUGHAN R.J. *Exercise-induced muscle damage: effect of light exercise on damaged muscle*. Eur. J. Appl. Physiol. 64: 350-353, 1992
21. EBBELING C.B., CLARKSON P.M. *Exercise induced muscle damage and adaptation*. Sports Med. 7: 207-234, 1989
22. ERNST E. *Does post-exercise massage treatment reduce delayed onset muscle soreness? A systematic review*. Br. J. Sports Med. 32:212-214, 1998.
23. FELICI F., COLACE L., SBRICCIOLI P. *Surface EMG modifications after eccentric exercise*. J. Electromyogr. Kinesiol. 7: 193-202, 1997
24. FOLLAND J.P., CHONG J., COPEMAN E.M., JONES D.A. *Acute muscle damage as a stimulus for training-induced gains in strength*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 1200-1205, 2001
25. FRIDEN J., LIEBER R.L. *Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components*. Acta Physiol. Scand. 171: 321-326, 2001
26. FRIDEN J., LIEBER R.L. *Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury*. Med. Sci. Sports Exerc. 24: 521-530, 1992
27. GOLDEN C.L., DUDLEY G.A. *Strength after bouts of eccentric or concentric actions*. Med. Sci. Sports Exerc. 24: 926-933, 1992
28. GRAY J.C., CHANDLER J.M. *Percent decline in peak torque production during repeated concentric and eccentric contractions of the quadriceps femoris muscle*. J. Orthop. Sports Phys. Ther. 8: 309-314, 1989

29. GULCH R.W., FUCHS P., GEIST A., EISOLD M., HEITKAMP H.-CH. *Eccentric and posteccentric contractile behaviour of skeletal muscle: a comparative study in frog single fibers and in humans*. Eur. J. Appl. Physiol. 63 : 323-329, 1991
30. GÜR H., ÇAKIN N., AKOVA B., OKAY E., KÜÇÜKOĞLU S. *Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training: effects on functional capacity and symptoms in patients with osteoarthritis of the knee*. Arch. Phys. Med. Rehabil. 83: 308-316, 2002
31. HATHER B.M., TESCH P.A., BUCHANAN P., DUDLEY G.A. *Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training*. Acta Physiol. Scand. 143: 177-185, 1991
32. HOLMBACK A.M., PORTER M.M., DOWNHAM D., LEXELL J. *Ankle dorsiflexors muscle performance in healthy young men and women: reliability of eccentric peak torque and work measurements*. J. Rehab. Med. 33: 90-96, 2001
33. HORSTMANN T., MAYER F., MASCHMANN J., NIESS A., ROECKER K., DICKHUTH H.H. *Metabolic reaction after concentric and eccentric endurance exercise of the knee and ankle*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 791-795, 2001
34. HORTOBAGYI T., DEVITA P., MONEY J., BARRIER J. *Effects of standard and eccentric overload strength training in young women*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 1206-1212, 2001
35. HOUSH T.J., HOUSH D.J., WEIR J.P., WEIR L.L. *Effect of eccentric-only resistance training and detraining*. Int. J. Sports Med. 17: 145-148, 1995
36. JÖNHAGEN S., NEMETH G., ERIKSSON E. *Hamstring injuries in sprinters. The role of concentric and eccentric muscle strength and flexibility*. Am. J. Sports. Med. 22: 262-266, 1994
37. KAY D., GIBSON ST CLAIR A., MITCHELL M.J., LAMBERT M.I., NOAKES T.D. *Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions*. J. Electromyograph. Kinesiol. 10: 425-431, 2000
38. KELLIS E., BALTZOPOULOS V. *Isokinetic Eccentric exercise*. Sports Med. 19: 202-222, 1995
39. KIRKENDALL D.T. *Mechanism of peripheral fatigue*. Med. Sci. Sports Exerc. 22: 444-449, 1990
40. KOMI P.V., LINNAMO V., SILVENTOINEN P., SILLANPÄÄ M. *Force and EMG power spectrum during eccentric and concentric actions*. Med. Sci. Sports Exerc. 32: 1757-1762, 2000
41. KOMI P.V., VIITASALO J.H. *Changes in the motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contractions*. Acta Physiol. Scand. 100: 246-254, 1977
42. KROON G.W., NAEIJE M. *Recovery of the biceps electromyogram after heavy eccentric, concentric or isometric exercise*. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 63: 444-448, 1991

43. KUIPERS H. *Exercise-induced muscle damage*. Int. J. Sports Med. 15: 132-135, 1994
44. LEE J., GOLDFARB A.H., RESCINO M.H., HEDGE S., PATRICK S., APPERSON K. *Eccentric exercise effect on blood oxidative-stress markers and delayed onset of muscle soreness*. Med. Sci. Sports Exerc. 34: 443-448, 2002
45. LEGER A.B., MILNER T.E. *Motor impairment in the human hand following eccentric exercise*. Eur. J. Appl. Physiol. 84: 213-220, 2001
46. LEGER A.B., MILNER T.E. *Muscle function at the wrist after eccentric exercise*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 612-620, 2001
47. LINNAMO V., BOTTAS R., KOMI P.V. *Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue*. J. Electromyograph. Kines. 10: 293-300, 2000
48. MAFI N., LORENTZON R., ALFREDSON H. *Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis*. Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. 9:42-7, 2001
49. MAIR J., MAYR M., MÜLLER E., KOLLER A., HAID C., ARTNER-DWORZAK E., CALZOLARI C., LARUE C., PUSCHENDORF B. *Rapid adaptation to eccentric exercise-induced muscle damage*. Int. J. Sports Med. 16: 352-356, 1995
50. MAYHEW T.P., ROTHSTEIN J.M., FINUCANE S.D., LAMB R.L. *Muscular adaptation to concentric and eccentric exercise at equal power levels*. Med. Sci. Sports Exerc. 27: 868-873, 1995
51. McHUGH M.P., CONNOLLY D.A.J., ESTON R.G., GLEIM G.W. *Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect*. Sports Med. 27: 157-170, 1999
52. MICHAUT A., POUSSON M., BALLAY Y., Van HOECKE J. *Short-term changes in the series elastic component after an acute eccentric exercise of the elbow flexors*. Eur. J. Appl. Physiol. 84: 569-574, 2001
53. MILES M.P., IVES J.C., VINCENT K.R. *Neuromuscular control following maximal eccentric exercise*. Eur. J. Appl. Physiol. 76: 368-374, 1997
54. MURAYAMA M., NOSAKA K., YONEDA T., MINAMITANI K. *Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise*. Eur. J. Appl. Physiol. 82: 361-367, 2000
55. NEWHAM D.J., JONES D.A., CLARKSON P.M. *Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage*. J. Appl. Physiol. 63: 1381-1386, 1987
56. NOSAKA K., CLARKSON P.M. *Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors*. Med. Sci. Sports Exerc. 28: 953-961, 1996

57. NOSAKA K., CLARKSON P.M. *Effect of eccentric exercise on plasma enzyme activities previously elevated by eccentric exercise.* Eur. J. Appl. Physiol. 69: 492-497, 1994
58. NOSAKA K., CLARKSON P.M., McGUIGGIN M.E., BYRNE J.M. *Time course of muscle adaptation after high force eccentric exercise.* Eur. J. Appl. Physiol. 63: 70-76, 1991
59. NOSAKA K., NEWTON M. *Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage.* Med. Sci. Sports Exerc. 34: 63-69, 2002
60. NOSAKA K., SAKAMOTO K., NEWTON M., SACCO P. *How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last?* Med. Sci. Sports Exerc. 33: 1490-1495, 2001
61. PADDON-JONES D., ABERNETHY P.J. *Acute adaptation to low volume eccentric exercise.* Med. Sci. Sports Exerc. 33: 1213-1219, 2001
62. PADDON-JONES D., LEVERITT M., LONERGAN A., ABERNETHY P. *Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity.* Eur. J. Appl. Physiol. 85: 466-471, 2001
63. PIZZA F.X., CAVENDER D., STOCKARD A., BAYLIES H., BEIGHLE A. *Anti-inflammatory doses of ibuprofen: effect on neutrophils and exercise-induced muscle injury.* Int. J. Sports Med. 20: 98-102, 1999
64. PLOUTZ-SNYDER L.L., TESCH P.A., DUDLEY G.A. *Increased vulnerability to eccentric exercise-induced dysfunction and muscular injury after concentric training.* Arch. Phys. Med. Rehabil. 79: 58-61, 1998
65. PORTER M.M., VANDERVOORT A.A. *Standing strength training of the ankle plantar and dorsiflexors in older women, using concentric and eccentric contractions.* Eur. J. Appl. Physiol. 76: 62-68, 1997
66. RUTHERFORD O.M., PURCELL C., NEWHAM D.J. *The human force:velocity relationship; activity in the knee flexor and extensor muscles before and after eccentric practice.* Eur. J. Appl. Physiol. 84: 133-140, 2001
67. SALE D.G. *Neural adaptation to resistance training.* Med. Sci. Sports Exerc. 20: S135-145, 1988
68. SAXTON J.M., CLARKSON P.M., JAMES R., MILES M., WESTERFER M., CLARK S., DONNELLY A.E. *Neuromuscular dysfunction following eccentric exercise.* Med. Sci. Sports Exerc. 27: 1185-1193, 1995
69. SAYERS S.P., CLARKSON P.M., LEE J. *Activity and immobilization after eccentric exercise: I.Recovery of muscle function.* Med. Sci. Sports Exerc. 32: 1587-1592, 2000

70. SAYERS S.P., CLARKSON P.M., LEE J. *Activity and immobilization after eccentric exercise: II. Serum CK*. Med. Sci. Sports Exerc. 32: 1593-1597, 2000
71. SAYERS S.P., KNIGHT C.A., CLARKSON P.M., VAN WEGEN E.H., KAMEN G. *Effect of Ketoprofen on muscle function and sEMG activity after eccentric exercise*. Med. Sci. Sports Exerc. 33: 702-710, 2001
72. SEGER J.Y., ARVIDSSON B., THORSTENSSON A. *Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans*. Eur. J. Appl. Physiol. 79: 49-57, 1998
73. SILBERNAGEL K.G., THOMÉE R., THOMÉE P., KARLSSON J. *Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain--a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods*. Scand. J. Med. Sci. Sports. 11:197-206, 2001
74. SMITH L.L. *Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness?* Med. Sci. Sports Exerc. 23: 542-551, 1991
75. SORICHTER S., MAIR J., KOLLER A., SECNIK P., PARRAK V., HAID C., MÜLLER E., PUSCHENDORF B. *Muscular adaptation and strength during the early phase of eccentric training: influence of the training frequency*. Med. Sci. Sports Exerc. 29: 1646-1652, 1997
76. SPURWAY N.C., WATSON H., McMILLAN K., CONNOLLY G. *The effect of strenght training on the apparent inhibition of eccentric force production in voluntarily activated human quadriceps*. Eur. J. Appl. Physiol. 82: 374-380, 2000
77. STAUBER W.T. *Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation*. Exerc. Sport Sci. Rev. 17: 157-185, 1989
78. SVANTESSON U., ÖSTERBERG U., THOMÉE R., PEETERS M., GRIMBY G. *Fatigue during repeated eccentric-concentric and pure concentric muscle actions of the plantar flexors*. Clin. Biomech. 13: 336-343, 1998
79. TESCH P.A., DUDLEY G.A., DUVOISIN M.R., HATER B.M., HARRIS T.A. *Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions*. Acta Physiol. Scand. 138: 263-271, 1990.
80. TOKMAKIDIS S.P., KOKKINIDIS E.A., SMILIOS I., DOUDA H. *The effect of ibuprofen on Delayed Muscle Soreness and muscular performance after eccentric exercise*. J. Strength Cond. Res. 17: 53-59, 2003
81. VERDONK A., FROBÖSE I., HARDELAUF U., GÜTTGE C. *Contraction pattern during isokinetic eccentric and concentric contractions after anterior cruciate ligament injury*. Int. J. Sports Med. 15: S60-S63, 1994

82. VICKERS A.J. *Time course of muscle soreness following different types of exercise*. BMC Musculoskelet Disord. 2:5, 2001
83. WARREN G.L., HERMANN K.M., INGALLS C.P., MASSELLI M.R., ARMSTRONG R.B. *Decreased EMG median frequency during a second bout of eccentric contractions*. Med. Sci. Sports Exerc. 32: 820-829, 2000
84. WARREN G.L., INGALLS C.P., LOWE D.A., ARMSTRONG R.B. *What mechanisms contribute to the strength loss that occurs during and in the recovery from skeletal muscle injury?* J. Orthop. Sports Phys. Ther. 32: 58-64, 2002
85. WESTING S.H., CRESSWELL A.G., THORSTENSSON A. *Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension*. Eur. J. Appl. Physiol. 62 : 104-108, 1991
86. WESTING S.H., SEGER J.Y., THORSTENSSON A. *Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man*. Acta Physiol. Scand. 140: 17-22, 1990