

BIOLOGICAL AND METHODOLOGICAL BASES OF MUSCULAR STRETCHING

BASI BIOLOGICHE E METODOLOGICHE DELL'ALLUNGAMENTO MUSCOLARE

Giuseppe Battaglia, Rosario Barone, Daniele Palumbo, Filippo Macaluso

CAPSULA EBURNEA, 3(10):1-6, 2008.

Human Anatomy Section "E. Luna", Department of Experimental Medicine, University of Palermo, Via del Vespro, 129, 90127 Palermo, Italy.

Correspondence:

Dr. Giuseppe Battaglia:
peppe.bat@virgilio.it

Received: March 14th, 2008

Revised: March 24th, 2008

Accepted: April 1st, 2008.

No conflicts of interest were declared.

Category of paper:

REVIEW

Language of the Article: Italian.

Abstract.

There are several adverse opinions about muscular stretching efficacy and utility in training session, regarding biology and physiology response and methodological application results. On the basis of literature, a unique kind of stretching does not exist because of great number of factor implicated: sports, training levels, skeletal muscle types, etc. The administration of flexibility tests at different training levels could be important to understand when apply stretching during training and which methodology, known in literature, is more opportune to use.

KEYWORDS: Stretching, performance, prevention, sarcomere

Riassunto.

L'allungamento muscolare è oggetto di numerosi contrasti di opinioni che mettono in discussione l'efficacia e la sua utilità nelle diverse fasi della seduta di allenamento. Molte delle divergenze nascono da un'apparente contraddizione tra gli eventi biologici e fisiologici che vi stanno alla base e i risultati delle applicazioni metodologiche. È impensabile ipotizzare un'unica forma di allungamento muscolare valida in maniera assoluta poiché sono diverse le variabili da considerare (disciplina sportiva, livello dell'atleta, tipo di muscolo etc.). La somministrazione di test di valutazione della flessibilità a diversi livelli della pratica sportiva potrebbe però suggerire se e in quali termini debbano essere inseriti momenti di allungamento muscolare durante le unità di allenamento e quale tra le tante metodologie note in letteratura sia più opportuno utilizzare.

PAROLE CHIAVE: Allungamento, prestazione, prevenzione, sarcomero

Introduzione

Il termine "*stretching*" deriva dall'inglese "*to stretch*" che significa allungare, tendere, tirare e indica nel linguaggio tecnico sportivo una metodica di allungamento del muscolo per un periodo di tempo variabile (1). Non esiste una sola forma di *stretching*, anche se la più conosciuta è quella codificata da Bob Anderson, che negli anni '80 ha contribuito a diffondere questa metodica di allenamento a ogni livello della pratica sportiva. Lo *stretching*, oggi, è oggetto di numerosi contrasti di opinioni che mettono in discussione l'efficacia, l'utilità e l'inserimento di esercitazioni di allungamento muscolare nelle diverse fasi della seduta di allenamento. Molte delle

divergenze nascono da una scarsa corrispondenza tra le basi biologiche, fisiologiche e i risultati delle applicazioni metodologiche che stanno alla base di questa metodica di allenamento.

Biologia dell'allungamento muscolare

Da un punto di vista prettamente biologico è ormai noto come i sarcomeri modificano la loro lunghezza durante lo stiramento o la contrazione muscolare modificando la lunghezza totale del muscolo stesso. Nel 1954 Huxley e Niedergerke, infatti, usando un microscopio ad interferenza, evidenziarono che, durante l'accorciamento del muscolo, la lunghezza della banda A

rimaneva costante, mentre le bande I e le zone H diventavano più strette (2). Durante lo stiramento muscolare, invece, la banda A si manteneva sempre costante, mentre la banda I e la banda H si estendevano (2).

Lo *stretching* muscolare si caratterizza di una prima fase quasi totalmente dipendente dai miofilamenti di actina e miosina che si presentano facilmente elongabili, mentre nel corso della seconda fase sono i filamenti di titina a ricoprire un ruolo primario, divenendo i principali responsabili dell'elongazione del sarcomero e della "tensione resistente" che questo offre all'allungamento (3,4). La titina, una proteina elastica di alto peso molecolare (3×10^6 dalton) che si estende dalla linea Z sino alla linea M, rappresenta circa il 10% della massa totale della miofibrilla (5). La porzione di titina che si trova nella banda A si comporta come fosse rigidamente legata al miofilamento di miosina, mentre la regione della molecola di titina che è legata alla linea Z, presenta un comportamento di tipo elastico (6-8). Durante l'allungamento della fibra muscolare varia quindi la lunghezza della porzione dei miofilamenti di titina connessi alla stria Z mentre, durante la contrazione muscolare, l'accorciamento dei sarcomeri comporta una detensione dei miofilamenti di titina stessi (9). Alcuni studi hanno dimostrato che il sarcomero può essere allungato sino al 150% della sua lunghezza di riposo (10), anche se occorre sottolineare che simili allungamenti sono registrabili solamente nel corso di sperimentazioni effettuate in vitro, mentre nel muscolo in situazione di attivazione naturale, anche in atleti dotati di particolari doti d'estensibilità muscolare, è difficile registrare allungamenti del muscolo superiori al 140% (11). I sarcomeri, quindi, non sembrano costituire un fattore limitante l'allungamento del muscolo rilassato. In effetti, in tal senso il più importante fattore limitante sembra essere costituito dal tessuto connettivo denso che avvolge il muscolo nei suoi vari livelli di organizzazione architettonica (le fibre, i fasci e la totalità del ventre muscolare), ossia dall'endomysio, dal perimysio e dall'epimysio. L'effetto anti-allungamento del tessuto connettivo, però, potrebbe essere di fatto sovrastimato (12-14). Dati in letteratura, infatti, minimizzano il ruolo di quest'ultimo in quanto fattore limitante l'allungamento muscolare (15,16) ed indicano la titina ed i ponti acto-miosinici residui, presenti anche in condizioni di rilassamento muscolare, come i maggiori fattori responsabili della tensione passiva del muscolo (12-14). Tutto ciò è anche supportato dal fatto che, in seguito ad un lavoro di tipo eccentrico, si verificherebbe un danneggiamento sia della titina che della nebulina, proteina ad alto peso molecolare implicata nella regolazione della lunghezza dei miofila-

menti di actina (17). Sia la titina che la nebulina del muscolo vasto laterale, infatti, a 24 ore di distanza da un lavoro eccentrico, diminuiscono rispettivamente del 30 e del 15% (12,13). Sempre a questo proposito, anche la desmina, un'altra proteina il cui compito è quello di mantenere i sarcomeri in parallelo, risulterebbe danneggiata in seguito a contrazioni eccentriche ripetute (18). È evidente, quindi, come l'ergonomia del sarcomero venga fortemente compromessa durante esercitazioni che inducano un allontanamento delle sue linee Z.

I tipi di allungamento muscolare

Nella pratica sportiva, si distinguono diversi metodi, tecniche ed esercizi di allungamento, che essenzialmente sono inquadrabili in tre gruppi: 1) gruppo dei metodi di allungamento attivo, 2) gruppo dei metodi di allungamento passivo e 3) gruppo dei metodi statici di allungamento.

Il gruppo dei metodi di allungamento attivo prevede esercizi di ginnastica con i quali, attraverso molleggi o oscillazioni, si cerca di andare oltre i normali limiti di mobilità delle articolazioni. Questo gruppo include esercizi dinamico-attivi, chiamati anche balistici, in cui il lavoro di allungamento avviene grazie a movimenti di molleggio ed esercizi statico-attivi. L'aspetto positivo degli esercizi di allungamento attivo è dato dalla possibilità che determinati muscoli vengono allungati, grazie all'attività di contrazione dei loro antagonisti. L'allungamento improvviso e dinamico, tuttavia, può innescare, attraverso i fusi neuro-muscolari, un riflesso da stiramento in grado di limitare l'allungamento muscolare stesso. L'allungamento attraverso i metodi passivi prevede, invece, esercizi in cui i gruppi muscolari interessati vengono portati in una posizione forzata di allungamento senza il coinvolgimento dei loro antagonisti (19). Anche gli esercizi passivi di allungamento possono essere suddivisi in dinamici e statici. Negli esercizi dinamico-passivi si produce un'alternanza ritmica tra aumento e riduzione dell'ampiezza del movimento, invece in quelli statico-passivi la posizione di allungamento viene mantenuta per alcuni secondi.

I metodi statici di allungamento cercano di ridurre al massimo il riflesso da stiramento dei fusi neuromuscolari avvalendosi, invece, di quello inverso da stiramento degli organi tendinei del Golgi che favorirebbe un *overstretching* della muscolare attraverso una riduzione del tono dei muscoli attenzionati e di quelli sinergici agli stessi (20). Il riflesso miotatico inverso può essere provocato o attraverso una contrazione molto intensa (massimale) oppure mediante un forte stimolo di allungamento. La scelta di un meccanismo non sempre esclude l'altro. Esi-

stono, infatti, almeno 5 diversi metodi di allungamento statico: il metodo della trazione passiva; della contrazione-rilassamento-allungamento; del rilassamento-allungamento; dell'allungamento degli agonisti con contemporanea contrazione degli antagonisti; della contrazione-rilassamento-allungamento con contemporanea contrazione degli antagonisti; che ricorrono in maniera ergonomica a uno o a entrambi i meccanismi sopracitati. L'azione di diminuzione del tono, prodotta dallo *stretching*, può anche essere ulteriormente rafforzata attraverso una respirazione regolare e tranquilla. Nello *stretching*, infatti, va assolutamente evitata una respirazione "compressiva" o "trattenuta" perché attiva il riflesso pneumomuscolare, che produce un aumento involontario del tono muscolare (19).

L'efficacia delle diverse tecniche di stretching viene valutata diversamente a seconda delle modalità di esecuzione e della durata dell'allenamento. Non vi sono, infatti, ricerche che provino chiaramente la superiorità di un metodo sugli altri. Comunque è noto che tecniche di allungamento che accentuano l'escursione del movimento sono più efficaci di quelle che favoriscono la velocità di movimento (21,22). Globalmente, la flessibilità viene addestrata in maniera ottimale solo quando tutti i suoi elementi determinanti sono presi in considerazione nelle unità di allenamento. La scelta degli esercizi di allungamento o della loro combinazione deriva dall'esame analitico del modello prestativo della disciplina di gara. Un miglioramento inadeguato della flessibilità a carico di un distretto anatomico piuttosto che un altro può essere causa di infortuni. Essa, quindi, deve essere sviluppata in modo ergonomico alla luce della tecnica dello sport praticato (23).

Lo *stretching* e la capacità di prestazione

Diversi sono gli studi in letteratura che riportano una diminuzione della capacità di prestazione in seguito a sedute di *stretching* muscolare negli sport in cui il risultato è deciso dalla forza rapida (discipline di salto, di lancio, sprint) (24). Wiemeyer ad esempio ha rilevato una diminuzione significativa della prestazione dal 3,1 al 5,3% in un test di salto eseguito dopo una seduta di allungamento muscolare statico (25). Gli stessi Baum et al. molti anni prima sostenevano questa ipotesi alla luce di una riduzione della capacità di salto di atleti in seguito a esercitazione di *stretching* (26). Anche la reattività degli atleti intesa come tempo di contatto con il suolo subisce un peggioramento in seguito a sedute di allungamento muscolare (27). In particolare la metodologia di allungamento che sembra essere principalmente oggetto di critica è quella statica; difatti Wiemann e Klee suggeri-

scono che sia proprio questa metodica di *stretching* ad avere un effetto negativo immediato sulla capacità di prestazione dell'atleta. Dopo un *stretching* di 15 min dei muscoli estensori e flessori degli arti inferiori i tempi di sprint sui 35 m, con partenza lanciata, peggiorano in media di 0,14 s (28). Anche la forza massima sembra subire, dopo sedute di *stretching*, una riduzione della capacità prestativa del 7,3% (29). Questi risultati possono essere interpretati alla luce degli effetti meccanici che l'allungamento può avere sulla *stiffness* (30). Evetovich et al. riportano, nella fattispecie, che la *stiffness* si riduce dopo lo *stretching* (31). Questo probabilmente perché si ha sia un danno alla struttura muscolare, in particolare a carico dei miofilamenti di titina, che un riorientamento delle fibre collagene tendinee in modo meno obliquo rispetto alla fase di riposo noto come effetto "*creeping*" (32,13). In tal senso, infatti, una riduzione della capacità, da parte delle strutture muscolotendinee, di immagazzinare energia elastica durante la fase dell'allungamento può causare un depotenziamento dei cicli allungamento-accorciamento muscolari tale da ridurre i momenti reattivi tipici delle discipline di corsa e di salto.

È bene ricordare, però, che gli effetti negativi dello *stretching* cessano dopo un periodo di tempo relativamente breve (33), quindi la riduzione della prestazione è evidenziabile subito dopo l'esecuzione delle sedute di allungamento muscolare. In tal senso, quindi, è preferibile evitare di introdurre esercitazioni di *stretching* durante il riscaldamento pre-gara relativamente agli sport dove si ha un forte coinvolgimento della forza rapida (24).

Una diversa valutazione dello *stretching* si ha circa la prevenzione dei traumi. Israel ad esempio sostiene che si può incorrere facilmente in stiramenti e strappi muscolari se la muscolatura non viene allungata a sufficienza (34). L'effetto di prevenzione dei traumi tramite lo *stretching*, però, è sempre più messo in dubbio poiché sono pochi gli studi in letteratura che promuovano l'utilizzo dello *stretching* nelle fasi di riscaldamento come prevenzione degli infortuni. Numerosi autori non hanno rilevato alcun beneficio derivante da una pratica assidua e regolare dello *stretching* (35). Una possibile spiegazione di questa mancanza di correlazione tra capacità d'elongazione del muscolo e diminuzione degli incidenti muscolari, potrebbe risiedere nel fatto che in effetti lo *stretching* provoca una sorta di effetto antalgico, che va sotto il nome di "*stretch-tolerance*", nei confronti dell'allungamento stesso (28). La pratica dello *stretching* indurrebbe quindi una diminuzione della sensazione dolorosa indotta dall'allungamento, data da un aumento della soglia dei nocicettori, per-

mettendo in tal modo all'atleta di sopportare allungamenti muscolari di maggiore entità, situazione che potrebbe anche paradossalmente aumentare il rischio di traumatismi a livello muscolare.

La fase dell'allenamento in cui invece lo *stretching* sembra avere sempre un ruolo determinante, a prescindere dalla tipologia di sport, è quella del defaticamento muscolare dove si cerca di far tornare le fibre muscolari alla loro dimensione tonica e lunghezza ottimale. In questa fase, inoltre, gli esercizi di *stretching* permettono di smaltire più velocemente tutti gli elementi tossici, prodotti con l'allenamento (esempio acido lattico) ed accorciare così i tempi di recupero (36). Specialmente dopo un allenamento di forza, di sprint, di rapidità, che causano un aumento del tono muscolare è consigliabile inserire esercitazioni di *stretching* così da contrastare la naturale tendenza ad accorciarsi della muscolatura allenata. Dopo un allenamento della forza la capacità di allungamento del muscolo allenato diminuisce dal 5 al 13%. Si tratta di una riduzione che si mantiene fino a 48 ore dopo la fine dell'allenamento (37). Se, invece, l'allenamento della forza viene concluso con sedute di *stretching* è ipotizzabile che la capacità di allungamento muscolare venga preservata.

Conclusioni

Quale sia la giusta metodologia di *stretching* da seguire non è ancora chiaro. Alcuni autori, infatti, bandiscono l'allungamento attivo dinamico perché causa di traumi (strappi) (38) altri invece criticano l'allungamento statico perché motivo di dolori muscolari (39). Ipotizzare un unico e assoluto metodo di *stretching* è, pertanto, impensabile poiché le variabili da considerare sono tante e spesso con finalità opposte l'una rispetto all'altra. La scelta, infatti, della metodologia di allungamento, della modulazione dei parametri del carico di lavoro (volume, intensità, frequenza) e delle fasi di allenamento in cui inserire le sedute di *stretching* dev'essere fatto alla luce del livello dell'atleta (capacità coordinative), dello stato (tonicità, lunghezza, elasticità) e del tipo di muscolo (agonista o antagonista nel gesto atletico praticato, muscolo posturale, etc.), delle finalità dell'allenamento (postura, elasticità, recupero muscolare, allungamento etc.) e della tipologia di sport praticato. Ad esempio per migliorare contemporaneamente la stabilità, la flessibilità, la forza muscolare di un determinato distretto anatomico potrebbe essere utile il metodo alternativo di *stretching* della facilitazione neuromuscolare propriocettiva anche nota come PNF, che si basa su cicli di lavoro di contrazione-rilassamento muscolare. È noto, infatti, come ventuno donne

attive dopo un periodo di allenamento di 4 settimane con il metodo PNF migliorano il *range* di movimento, la forza sviluppata e la *stiffness* dell'unità muscolo-tendinea dell'articolazione della caviglia (40). Allo stesso modo un programma di allenamento di *stretching* con il metodo PNF, di 2 volte a settimana per 6 settimane, risulta essere in grado di migliorare il *range* di movimento dell'articolazione della spalla in giocatori che utilizzano prevalentemente gli arti superiori (41).

Sempre più forte è, inoltre, la convinzione che dev'essere evitato un programma completo di *stretching* prima dell'unità di gare dove la forza rapida è un elemento determinante della prestazione. Lo stravolgimento improvviso della seduta di riscaldamento pre-gara è, però, da evitare. Per gli atleti, infatti, il riscaldamento rappresenta una sorta di rituale che in genere viene eseguito sempre nella stessa maniera. Quando si ricorre ad un riscaldamento diverso, ad esempio per motivi di tempo o di sponsor, gli atleti manifestano una sensazione di debolezza (24). Al fine di evitare tutto ciò potrebbe essere opportuno inserire esercitazioni di *stretching* dinamico durante la fase di attivazione per sport dove è fondamentale la capacità di prestazione reattiva. Berget, et al. mostrano, infatti, un effetto più positivo dell'allungamento dinamico rispetto a quello statico relativamente a questa capacità di prestazione (42). I movimenti ripetuti di allungamento, infatti, poiché avvengono molto rapidamente inducono degli adattamenti positivi sul sistema neuromuscolare tali da migliorare eventuali successive prestazioni di forza reattiva. Questo metodo di allungamento, però, è notevolmente più difficile da applicare rispetto a quello statico in quanto, generalmente, i processi dinamici di movimento richiedono delle capacità coordinative elevate.

Concludendo possiamo dire che potrebbe essere interessante incentivare a diversi livelli della pratica sportiva la somministrazione di tests di valutazione della flessibilità, tali da suggerire se e in quali termini debbano essere inseriti momenti di allungamento muscolare durante le unità di allenamento e quale tra le tante metodologie, note in letteratura, sia più opportuno utilizzare.

Bibliografia

1. Ullrich K, Gollhofer A: Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethoden Sportmedizin. 1994;45:336-345.
2. Huxley AF, Niedergerke R: Measurement of muscle striations in stretch and contraction. J Physiol 1954;124(2):46-47P.
3. Alter MJ: Science of flexibility. Edited by Human Kinetics, Champaign 1996.
4. Alter MJ: Ciência della flexibilidade. Edited

- by Artmed, Porto Alegre (Brasil) 1999.
5. Sela BA: Titin: some aspects of the largest protein in the body. *Harefuah* 2002;141(7):631-635.
 6. Itoh Y, Susuki T, Kimura S, Ohsashi K, Higuchi H, Sawada H, Shimizu T, Shibata M, Maruyama K: Extensible and less-extensible domains of connectin filaments in stretched vertebrate skeletal muscle as detected by immunofluorescence and immunoelectron microscopy using monoclonal antibodies. *Journal of Biochemistry (Tokyo)* 1988;104:504-508.
 7. Whiting A, Wardale J, Trinick J: Does titin regulate the length of the muscle thick filaments? *Journal of the Molecular Biology* 1989;205(1):263-268.
 8. Wiemann K, Hahn K: Influence of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. *Int J Sports Med* 1997;18:340-346.
 9. Bisciotti GN, Bertocco R, Gaudino C, Iodice PP: Insulto traumatico e deficit elastico muscolare. *Sport e Medicina* 2001;6:35-39.
 10. Furst DO, Osborn M, Nave R, Weber K: The organisation of titin filaments in the half-sarcomere revealed by monoclonal antibodies in immunoelectron microscopy: A map of ten non repetitive epitomes starting at the Z-line extends close to the M-line. *Journal of Cell Biology* 1988;106(5):1563-1572.
 11. Magid A, Law DJ: Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscle. *Science* 1985;230(4731):1280-1282.
 12. Wydra G: Stretching ein blick über den aktuellen. Stand der Forschung. *Sportwissenschaft* 1997;4:409-427.
 13. Wiemann K, Klee A: Die Bedeutung von Dehen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. *de Leistungssport* 2000;4:5-9.
 14. Trappe TA, Carrithers JA, White F, Lambert CP, Evans WJ, Dennis RA: Titin and nebulin content in human skeletal muscle following eccentric resistance exercise. *Muscle Nerve* 2002;2:289-292.
 15. Hutton RS: Neuromuskuläre Grundlagen des Stretching in: Komi P.V., *Kraft und Schnelkraft im Sport*. Colonia 1994;155-172.
 16. Proske U, Morgan DL: Do cross-bridge contribute to the tension during stretch of passive muscle? *J Muscle Res Cell Motil.* 1999;5-6:433-442.
 17. Lieber RL, Thornell LE, Friden J: Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. *J Appl Physiol* 1996;80(1):278-284.
 18. Lieber RL, Woodburn TM, Friden J: Muscle damage induced by eccentric contractions of 25% strain. *J Appl Physiol* 1991;70:2498-2507.
 19. Weineck J: L'allenamento della mobilità articolare. In: *L'allenamento Ottimale*, cap 15, Calzetti Mariucci, 2001.
 20. Kandel ER, Swartz JH: *Principles of neural science*. Elsevier, New York, 1981.
 21. Hoster M: Zur Bedeutung verschiedener Dehnungsarten bzw. Dehnungstechniken in der Sportpraxis. *Die Lehre Leichtathletik* 1987;1523-1526.
 22. Wydra G, Bos K, Karisch G: Zur Effektivität verschiedener Dehntechniken. *Dt Z Sportmed* 1991;42:386-400.
 23. Matwejew LP, *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Sportverlag, Berlino, 1981.
 24. Turbanski S: *Stretching e riscaldamento*. SDS, 2005;65:27-32.
 25. Wiemeyer J, *Dehnen und Leistung - primär psychologische Entspannungseffekte?.* *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2003;55(10):288-294.
 26. Baum K, Essfeld D, Oleine K, Quade K: Die maximal erreichbare Sprunghöhe nach unterschiedlichen Aufwarmelemente. In: *Volleball analysieren*, Edited by Dannemann F, Ahrensburg, Czwalina Verlag, 1990.
 27. Kunemeyer J, Schmidtbleicher D: Modification of reactivity by rhythmic neuromuscular stimulation. *Sportverletz Sportschaden.* 1997;11(2):39-42.
 28. Wiemann K, Klee A: *Stretching e prestazioni sportive di alto livello*. *SdS*, 49:9-15, 2000.
 29. Kokkonen J, Nelson AG, Cornwell A: Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport* 1998; 69(4):411-415.
 30. Klinge K, Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Klausen K, Kjaer M: The effect of strength and flexibility training on skeletal muscle electromyographic activity, stiffness, and viscoelastic stress relaxation response. *Am J Sports Med* 1997;25(5):710-716.
 31. Evetovich TK, Nauman NJ, Conley DS, Todd JB. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *J Strength Cond Res* 2003;17(3):484-488.
 32. Johansson PH, Lindstrom L, Sundelin G, Lindstrom B: The effects of pre-exercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 1999;9(4):219-225.
 33. Rosenbaum D, Henning EM: Veränderungen der Reaktionszeit und Explosivkraftentfaltung nach einem passiven Stretchingprogramm und 10minütigen Aufwarmen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 1997;49(3):95-99.
 34. Israel S: Gelenkbeweglichkeit als Leistungsvoraussetzung bei Spitzensportlern. *Leistungssport* 1995;4:13-15.

35. Pope RP, Herbert R, Kirwan JD, Graham BJ: A randomized trial of pre-exercise stretching for prevention of lower limb injury. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(2):271-277.
36. Cerullo Corrado: 66 sedute elementari di stretching per il calcio. Calzetti Mariucci, Ponte San Giovanni, Perugia, 1997.
37. Solverborn SA: Questo è lo stretching. Ermes Editore, Roma, 1983.
38. Nelson AG, Kokkonen J: Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport* 2001;72(4):415-419.
39. Smith LL, Brunetz MH, Chenier TC, McCammon MR, Houmard JA, Franklin ME, Israel RG: The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase. *Res Q Exerc Sport* 1993;64(1):103-107.
40. Rees SS, Murphy AJ, Watsford ML, McLachlan KA, Coutts AJ: Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on stiffness and force-producing characteristics of the ankle in active women. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):572-577.
41. Decicco PV, Fisher MM: The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on shoulder range of motion in overhand athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005;45(2):183-218.
42. Berget B, Hillbrecht M: Einfluss unterschiedlicher Dehntechniken auf die reaktive Leistungsfähigkeit. *Spectrum der Sportwissenschaften* 2003;15: 6-25.