

L'effetto della vibrazione sulla forza muscolare e sul profilo ormonale in atleti

Carmelo Bosco
Ph.D., DU, D hon C.

Il muscolo scheletrico è un tessuto specializzato che modifica in generale le sue capacità funzionali in risposta all'allenamento (26). Questo allenamento deve essere eseguito sistematicamente in funzione di una programmazione longitudinale che può avere come scopo finale sia il miglioramento del metabolismo ossidativo e/o anaerobico che lo sviluppo delle capacità neuromuscolari. Le modificazioni che si verificano difficilmente vengono confinate ad un solo aspetto.

Lo spettro d'influenza con le relative modificazioni fisiologiche coinvolgono diverse proprietà dove una prevale rispetto alle altre, in funzione della specificità dello stimolo. Infatti, l'adattamento allo stimolo indotto dall'allenamento è connesso alle modificazioni provocate dalle ripetizioni di esercitazioni giornaliere che sono specifiche per il movimento eseguito (14). La risposta all'allenamento della forza muscolare si concretizza attraverso due fasi di adattamento e modificazioni. Una interessa la sfera nervosa ed avviene all'inizio dell'allenamento, mentre successivamente si creano modificazioni della struttura morfologica del muscolo (Fig. 1, da: 28). Queste modificazioni sono accompagnate da variazioni ormonali (16) che sono specifiche sia del tipo di lavoro eseguito durante l'allenamento che dal periodo di riposo che viene osservato durante il lavoro e dopo. In ogni caso, il meccanismo esatto che regola l'adattamento dell'organismo alle richieste specifiche provocate dallo stimolo allenante ancora non è stato del tutto chiarito. Inoltre, si cono-

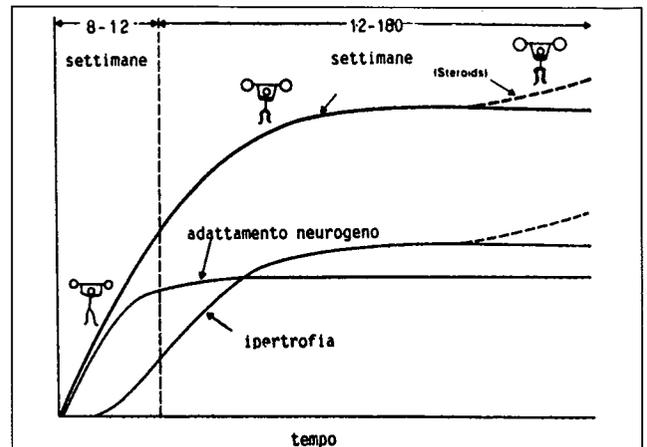


Fig. 1 - Rappresentazione schematica dei relativi ruoli di adattamento neurale e morfologico all'allenamento di forza massimale. Nella prima fase di allenamento si nota una fase predominante di adattamento neurale. Questa fase è stata studiata nella maggior parte delle ricerche pubblicate nella letteratura internazionale. Lavori sperimentali che sono stati protratti per lungo tempo mostrano un successivo adattamento miogeno e la relativa ipertrofia (modificato da: Sale, 1988).

scono ancor meno i fenomeni collegati all'insorgere della fatica che si riscontra sia durante un periodo di allenamento prolungato nel tempo (mesociclo) che durante una singola seduta di allenamento (p.e. 19, 10). È bene ricordare che l'allenamento di forza massimale e di forza esplosiva si basano su esercitazioni realizzate con rapidi e violente variazioni di accelerazioni esercitate contro le forze gravitazionali (p.e. 3). Le forze di gravità provvedono normalmente a fornire gli stimoli meccanici più rilevanti che rappresentano le sollecitazioni responsabili per lo sviluppo del tessuto muscolare ed osseo sia durante la vita quotidiana che durante le esercitazioni specifiche eseguite in allenamento (Fig. 2 da: 2). Senza dubbio il processo di miglioramento di una qualità fisica e la relativa prestazione hanno un limite fisiologico difficilmente superabile. Per oltrepassare questi limiti, molto spesso si cerca l'utilizzo di mezzi illeciti (doping). Questi sistemi rappresentano quanto di più devastante si possa applicare dato che, oltre che essere vietato, mette a repentaglio la salute dell'atleta ed il suo equilibrio psicofisico. Anche se non è così riprovevole, ma è oltremodo molto discutibile è da considerare l'uso della stimolazione elettrica, allorché questa venga utilizzata da

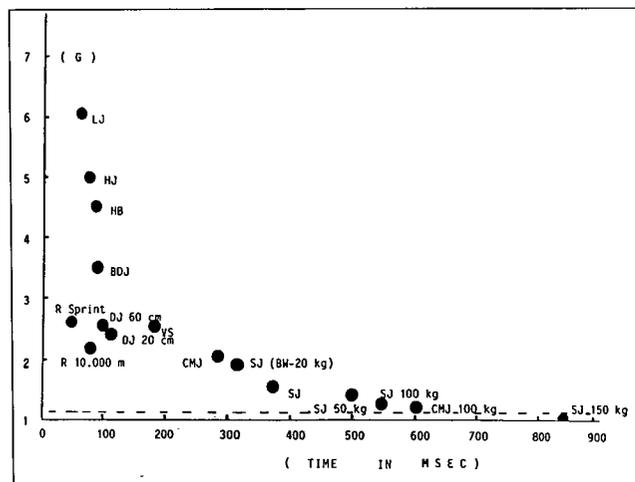


Fig. 2 - Accelerazione verticale sviluppata durante: squat jump (SJ) eseguito con e senza carico (20 -150 kg), salto con il contromovimento (CMJ) eseguito senza e con 100 kg di sovraccarico, salto in basso (DJ) da cadute di 20-60 cm, Salto ottimale di caduta (BDJ), velocità di corsa sui 10.000 metri (R 10.000 m), velocità durante lo sprint (R Sprint), stacco durante una schiacciata in pallavolo (VS), balzi fra gli ostacoli (BH), stacco nel salto in lungo (LJ) e in alto (HJ) nel flop 1, sono presentate in funzione del tempo richiesto a produrre il lavoro muscolare in ciascuna prestazione. La linea tratteggiata rappresenta la condizione di simulazione di ipergravità (1.1 G). (da: Bosco,1992, 2).

soggetti sani ai fini di migliorare la forza muscolare. Oltre ai sistemi tradizionali utilizzati per migliorare la forza nelle sue espressioni (esplosiva, dinamica massima, ecc.) ed a quelli illeciti o poco raccomandabili, sono stati utilizzati sistemi fisiologici di simulazione di ipergravitazione (utilizzo permanente per alcuni giorni di giubbotti zavorrati, p.e. 8, 2). Inoltre si deve ricordare, che recentemente, sono stati introdotti metodi fisiologici che riproducono le variazioni delle forze gravitazionali attraverso l'applicazione su tutto il corpo di vibrazioni meccaniche. Questi sistemi erano stati utilizzati, in passato, nel campo della clinica medica. Infatti venivano applicati per studiare la risposta dei propriocettori neuromuscolari alle perturbazioni meccaniche indotte dalla vibrazione. È doveroso ricordare che il nostro organismo possiede dei recettori sensibili alla vibrazione. I parametri fisici che determinano le caratteristiche della vibrazione sono da identificarsi nell'ampiezza e nella frequenza. Le vibrazioni a basse frequenze (sino ad 80 Hz) sono rilevate dai corpuscoli di Meissner. Quelli a frequenze più elevate (fi-

no a 500 Hz) sono percepite dai corpuscoli del Pacini. Oltre a tali recettori, la vibrazione viene percepita dai propriocettori neuromuscolari. Infatti per effetto della vibrazione le fibre muscolari striate vengono sottoposte a rapide variazioni di lunghezza, in modo simile a quello che si verifica durante l'esecuzione di un balzo a ginocchia bloccate (9). Il prestiramento rapido di un muscolo elettricamente attivo favorisce la stimolazione del riflesso miotattico ed il conseguente potenziamento muscolare durante la fase di contrazione che segue lo stiramento. Sfruttando questi principi e le specifiche proprietà neuromuscolari, di rispondere in modo efficace al ciclo stiramento - accorciamento del muscolo "Stretch-Shortening Cycle" (SSC), sono stati impiegati in modo sistematico modelli di allenamento molto efficaci ed interessanti (38). Sfortunatamente questi sistemi non sempre possono essere applicati indiscriminatamente su tutti. Tali sollecitazioni violente non raramente inducono ad un sovraccarico che anche se si può considerare funzionale molto spesso si proietta ed evolve in patologie dell'apparato tendineo ed osteo-articolare. Senza voler togliere il grande merito e l'efficacia indotta dalle esercitazioni eseguite con il sistema SSC, recentemente è stato studiato un mezzo altrettanto efficace, ma di gran lunga meno violento e che garantisce l'integrità dell'apparato di locomozione. Questo metodo utilizza la risposta neuromuscolare allo stimolo vibratorio. In questo lavoro vengono presentati e discussi le ricerche realizzate su due studi separati. Nel primo esperimento si è cercato di studiare l'effetto di dieci minuti di vibrazione totale sul corpo somministrata per dieci giorni. A tale scopo sette atleti furono sottoposti a stimoli vibratorii (gruppo sperimentale "E") mentre altri sette atleti furono utilizzati come gruppo di controllo (C). Nel secondo esperimento si è cercato di analizzare l'effetto acuto di sette minuti di vibrazione su sette giocatori di pallamano. Nel primo esperimento, dopo l'esecuzione delle prove di valutazione funzionale, i soggetti del gruppo sperimentale furono sottoposti a trattamento di vibrazione sinusoidale verticale "vibrazione totale del corpo" (VTC) usando la piattaforma vibratoria Galileo 2000 (Unitrem, Roma).

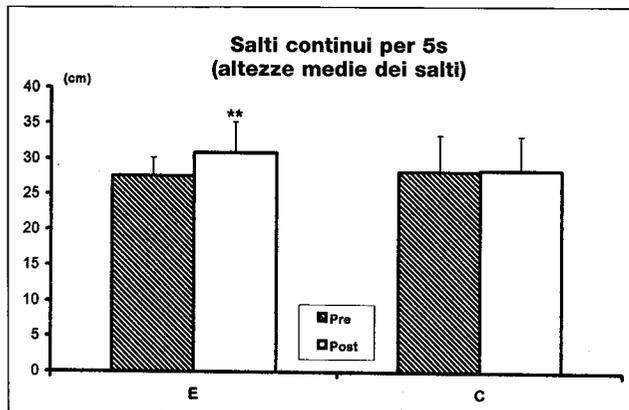


Fig. 3 - Valori medi del sollevamento del centro di gravità durante 5s di salti continui, misurato prima (pre) e dopo (post) dieci giorni di trattamento con vibrazione totale del corpo sia nel gruppo sperimentale (E), che nel gruppo di controllo (C). Gli asterischi denotano la variazione statisticamente significativa ($P < 0.01$).

La frequenza della vibrazione venne fissata a 26 Hz (spostamento = 10mm; accelerazione = 5.4 g. Gli atleti furono sottoposti a dieci minuti di vibrazione totale, somministrati in due differenti serie di cinque minuti ciascuna. Ogni serie era costituita dalla ripetizione di un minuto ciascuno di vibrazione a cui seguiva un minuto di pausa ripetuto per cinque volte. Tra le pause venne rispettato un periodo di riposo di 8 minuti. La somministrazione del trattamento vibratorio venne realizzata mentre gli atleti si trovavano sopra la piattaforma vibratoria, in posizione di semiaccosciata (angolo al ginocchio di 90 gradi). Successivamente venne realizzato un secondo esperimento in cui furono somministrati sette minuti di vibrazione totale del corpo (un minuto di vibrazione ed uno di pausa) in giocatori di pallamano ben allenati. Tutti i soggetti dei due esperimenti dopo aver eseguito un periodo di riscaldamento furono sottoposti al test di Bosco (1983) che prevedeva le seguenti prestazioni: salto verticale con il contromovimento (CMJ), e salti continui eseguiti per cinque secondi (5s CJ). Nel primo esperimento il test di Bosco venne somministrato il giorno prima ed il giorno dopo il periodo di dieci giorni di trattamento. Ai soggetti del secondo esperimento il test di Bosco venne somministrato prima ed immediatamente dopo la somministrazione dei sette minuti di vibrazione. Nell'ultimo

esperimento venne eseguito anche un prelievo di sangue prima e dopo il trattamento con la vibrazione. Questo servì alla determinazione della concentrazione serica di testosterone (TS), cortisolo (CS). Nel primo esperimento la somministrazione di due serie di cinque minuti ciascuno di vibrazione al giorno, protratto per dieci giorni, determinò un miglioramento della capacità di salto (l'altezza media e massima potenza meccanica) solo durante i 5s CJ (Fig. 3 e 4), mentre non furono osservate variazioni nel CMJ.

Nel gruppo di controllo non venne notato nessun miglioramento sia nel CMJ che nei 5s CJ. Nel secondo esperimento, in cui venne studiato la risposta neuromuscolare ed ormonale dopo una seduta di sette minuti complessivi di vibrazione si notò non solo un decremento della prestazione di salto nel CMJ e della potenza meccanica durante i 5s di CJ (Fig. 5), ma anche un parallelo decremento della concentrazione serica di TS e CS (Fig. 6). È un fenomeno ben conosciuto, quello provocato da una seduta di allenamento classico di sollevamento pesi (della durata di due ore circa), che induce fatica delle funzioni neuromuscolari in atleti ben allenati (23). Il curriculum dell'allenamento, il volume, l'intensità, il tipo di esercizio, e la pausa rispettata tra le contrazioni contribuiscono a determinare la grandezza della perturbazione neuromuscolare (19, 23). Recentemente è stato osservato un decremento delle funzioni neuromuscolari

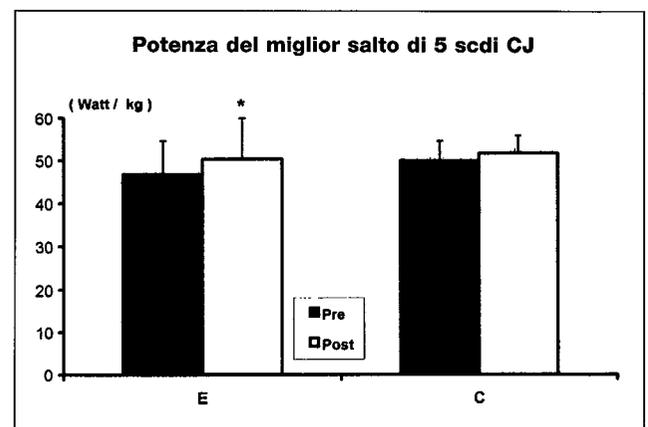


Fig. 4 - Potenza meccanica riscontrata nel salto migliore durante 5s di salti continui, registrata prima (pre) e dopo (post) dieci giorni di trattamento con vibrazione totale del corpo sia nel gruppo sperimentale (E), che nel gruppo di controllo (C). L'asterisco denota la variazione statisticamente significativa ($P < 0.05$).

(attivazione elettromiografica e potenza muscolare) valutate durante l'esecuzione di 1/2 squat e di squat completo dopo una sessione di allenamento di forza massimale (10). Questi autori hanno suggerito che la riduzione dell'attività elettromiografica, osservata dopo una seduta di allenamento, poteva essere attribuita ad una riduzione dell'attività dei motoneuroni fasici per minimizzare l'effetto della fatica ed evitare quindi la riduzione della trasmissione neuromuscolare (e.g 1, 29). L'effetto della fatica, causata dalla seduta di allenamento, potrebbe essere indotta, con molta probabilità, dall'accumulazione di acido e la contemporanea liberazione di H^+ che condurrebbe automaticamente ad un abbassamento del livello di pH. Una depressione del trasporto del Ca^{2+} , dopo la fatica, potrebbe condurre ad una riduzione delle caratteristiche contrattili del muscolo (34), includendo la diminuzione della capacità di eccitazione-contrazione, in modo tale che per ogni singola membrana eccitata verrebbe generata meno tensione miofibrilla-

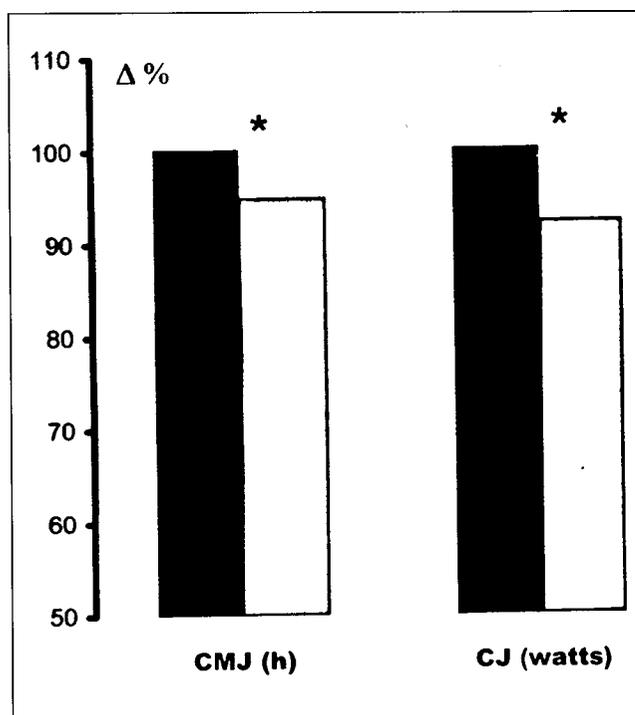


Fig. 5 - Sollevamento del centro di gravità (h) nella prestazione di CMJ e la potenza meccanica (watts) dei muscoli estensori delle gambe durante 5s di salti continui (CJ), misurato prima (colonne in nero) e dopo (colonne in bianco) sette trattamenti di vibrazione (di un minuto ciascuno) totale del corpo. L'asterisco denota la variazione statisticamente significativa ($P < 0.05$).

re (15). A tale proposito, dovrebbe essere ricordato, che l'effetto generato sul comportamento neuromuscolare, da sette trattamenti, di un minuto ciascuno, di vibrazione totale (VTC), è simile a quello che si riscontra dopo una sessione di allenamento di forza massimale della durata di circa due ore. Infatti sia l'allenamento di forza massimale che sette trattamenti di un minuto ciascuno di vibrazione indussero ad una forte perturbazione del comportamento neuromuscolare dei muscoli estensori delle gambe degli atleti esaminati. Dato che durante codesti esperimenti non furono usati rilevamenti elettromiografici, il meccanismo esatto e la localizzazione precisa in cui avvenne la perturbazione neuromuscolare non poté essere evidenziata. In ogni caso il decremento sia del CMJ che della prestazione nel CJ, dopo il trattamento di WBV, suggeriscono che il comportamento muscolare degli atleti esaminati subì un sostanziale peggioramento delle funzioni a livello miogeno e neurogeno. Tali assunzioni sono sorrette dal fatto che fattori miogeni influenzano fortemente la prestazione di CMJ, mentre i meccanismi di feedback propriocettivi (riflessi miotatici) sono fortemente attivati durante la prestazione di CJ. Infatti il CMJ è fortemente influenzato sia dalla capacità di reclutamento temporale dei motoneuroni che dalla struttura morfologica e la percentuale di fibre veloci presenti nei muscoli estensori delle gambe (4). In contrasto, non esiste alcun dubbio che il ruolo dei riflessi da stiramento sia fondamentale nella prestazione di CJ (p.e. 6).

La prestazione di CJ è modulata essenzialmente dalla regolazione della "stiffness", che a sua volta come evidenziato da Hoffer ed Anderseen (20), è regolata dall'attivazione delle fibre intrafusali e modulata dai corpuscoli tendinei del Golgi (CTG), che operano attivamente nella regolazione della tensione e lunghezza e tensione del muscolo stesso (21). Che l'effetto della vibrazione abbia potuto influenzare fortemente il sistema biologico, è suggerito dal fatto che, oltre a notare modificazioni del comportamento neuromuscolare, sono stati osservati potenti perturbazioni nel profilo ormonale degli atleti studiati nel secondo esperimento (Fig. 5). Le risposte alla vibrazioni non sono dissimili a quelle notate dopo una seduta di allenamento di forza (10, 23). L'effetto del semplice

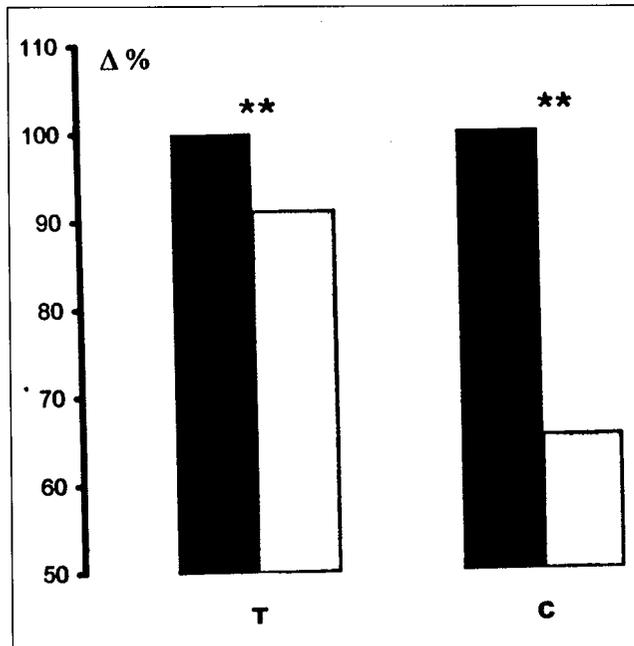


Fig. 6 - Concentrazione serica di Testosterone (T) e Cortisolo (C) misurati prima (colonne in nero) e dopo (colonne in bianco) sette trattamenti (di un minuto ciascuno) di vibrazione totale del corpo. Gli asterischi denotano la variazione statisticamente significativa ($P < 0.01$).

trattamento di solo sette minuti di vibrazione indusse alla soppressione dell'attività dei sistemi ipofisi-surrene ed ipofisi-gonadi indicati dal decremento della concentrazione serica di T e C osservata dopo la vibrazione. Le variazioni del profilo ormonale indotte dalla vibrazione totale del corpo furono connesse al decorso del comportamento neuromuscolare. Infatti il decremento delle prestazioni di CMJ a CJ (Fig. 5) furono accompagnate da una parallela diminuzione della concentrazione serica di Testosterone e Cortisolo (Fig. 6). A tale proposito è interessante fare notare che recentemente è stato osservato un comportamento simile, dopo una seduta di allenamento di forza massimale (10), dato che venne osservata una correlazione negativa tra la variazione della concentrazione serica di T ed il rapporto EMG / Potenza Muscolare durante una prova di valutazione funzionale di 1/2 squat eseguito con sovraccarico di 2 volte il peso del corpo. Questi autori suggerirono, che dopo una seduta pesante di allenamento di forza massimale, il decremento di T subito durante il lavoro, richiese una

attivazione esagerata del sistema nervoso per mantenere la potenza muscolare elevata anche alla fine della seduta di allenamento.

Se queste osservazioni sono corrette, si potrebbe suggerire, che un livello adeguato di ormone sessuale maschile, potrebbe compensare l'effetto della fatica, assicurando una migliore efficienza neuromuscolare specialmente delle fibre veloci (10). Dato che non è da escludere la possibilità che la fatica possa indurre ad una riduzione della sensibilità delle componenti contrattili dei muscoli agli ioni calcio (36). Il testosterone sembra possa compensare il disordine che si provoca nel momento della *eccitazione-contrazione* del muscolo, causato prevalentemente nelle fibre veloci, aumentando la capacità di regolazione ionizzante del meccanismo della pompa del Ca^{2+} , come recentemente dimostrato in esperimenti su animali (32). In ogni caso ancora è da dimostrare come il T possa agire sulle miofibrille dei muscoli veloci, durante uno sforzo acuto, dato che tutti gli studi condotti hanno mostrato l'effetto fisiologico su tutto l'organismo, senza fornire informazione alcuna sugli eventi occorrenti a livello molecolare. Alla luce di queste considerazioni, sapendo che un volume di lavoro elevato potrebbe causare una forte inibizione del T e che queste situazioni possono essere paragonati a quello che si riscontra nei lavori lunghi di endurance (13), si potrebbe suggerire che la VTC agirebbe sull'organismo in modo simile a quello provocato dagli allenamenti di forza massimale.

Secondo gli studi scientifici più accreditati, all'inizio dell'allenamento della forza massima sia le capacità neuromuscolari che la concentrazione serica di T diminuiscono (5, 18). Continuando con l'allenamento, dopo diverse settimane 6-8, segue un periodo di supercompensazione dove si riscontra un miglioramento della prestazione ed un aumento di T (e.g 16, 19). A tale riguardo si dovrebbe fare notare che dopo 10 giorni di trattamento di VTC, applicato 10 minuti al giorno, indusse ad un marcato miglioramento della prestazione di forza esplosiva, simile a quella valutata nei presenti esperimenti (vedi Fig. 3 e 4). Dall'altra parte, ad enfatizzare l'effetto della vibrazione sono i risultati osservati con il gruppo di controllo. Infatti meno di due settimane di allena-

mento indirizzato sulle qualità tecniche e tattiche, come si poteva supporre, non indusse modificazione alcuna delle caratteristiche meccaniche e della capacità funzionali dei muscoli esaminati (9). Logicamente questi risultati non ci dovrebbero sorprendere, dato che in precedenti esperimenti, le capacità di forza esplosiva valutate con prestazione di salto, non furono minimamente migliorate dopo quattro settimane di attività, sia in studenti fisicamente attivi (18), che in giocatori di pallavolo (5). Pertanto, secondo codeste osservazioni, si potrebbe suggerire che gli adattamenti biologici indotti dal trattamento della vibrazione sono simili a quelli provocati da allenamenti di forza esplosiva (esercizi di salti e balzi) e forza dinamica massima (esercizi di forza massima). Questo suggerimento è consistente con le conoscenze relative al fatto che alcune componenti nervose specifiche ed il meccanismo di feedback propriocettivo sono le prime strutture influenzate da un allenamento di forza esplosiva e massima (5, 18). Allenamenti eseguiti con SSC (balzi, salti in alto dopo caduta da una certa altezza, ecc.) realizzati con elevati carichi di pre-stiramento possono favorire il miglioramento dei riflessi miotatici ed aumentare la soglia di eccitazione dei Corpuscoli Tendinei del Golgi. Questi ultimi favorirebbero la possibilità di reclutare un numero più elevato di unità motorie durante la fase eccentrica (5). Ci sono diverse possibilità di come l'allenamento di forza esplosiva potrebbe influenzare e migliorare l'attivazione nervosa. Per esempio aumentando la sincronizzazione delle unità motorie reclutate (27).

Inoltre non si può escludere un miglioramento della co-contrazione dei muscoli sinergici e un incremento dell'inibizione dei muscoli antagonisti. In ogni caso, qualunque sia il meccanismo responsabile per il miglioramento dell'attivazione neuromuscolare, dopo allenamento di forza esplosiva, sembrerebbe che il trattamento con vibrazione migliori i meccanismi di feedback propriocettivo.

Questa affermazione viene sorretta dal fatto che durante i 5s di CJ, propriocettori neuromuscolari vengono sollecitati massicciamente, e la prestazione di CJ dopo il trattamento con vibrazione registrò un marcato miglioramento. Al contrario, la mancanza

di modificazione osservata durante il CMJ nel gruppo sperimentale, dopo la vibrazione, suggerisce innanzi tutto che durante la prestazione di CMJ i meccanismi propriocettivi di biofeedback non operano in modo efficace. Infatti, questi esercizi sono fortemente influenzati dalla capacità di reclutamento volontario e dalla struttura morfologica (percentuale di fibre veloci) che compongono i muscoli estensori delle gambe (4). Durante il trattamento vibratorio sia il corpo che i muscoli vengono sottoposti a piccole variazioni di lunghezza (stiramento-accorciamento). Durante il trattamento con vibrazione del muscolo quadricipite femorale, è stato dimostrato da Burke e coll. 1996 (12) che venivano sollecitati i riflessi da stiramento (riflesso miotatico). Che la vibrazione possa provocare un'azione eccitatoria attraverso le fibre intrafusali dei motoneuroni interessati è stato suggerito anche da Lebedev e Peliakov (24). A tale proposito è stato dimostrato, che la vibrazione potrebbe guidare ed attivare i motoneuroni attraverso il riflesso spinale Ia, sviluppando tensione muscolare senza l'attivazione dei motoneuroni provocata da stimoli provenienti dall'area motoria (33). È stato pure suggerito che i riflessi da vibrazione operano prevalentemente o esclusivamente direttamente sull'alfa-motoneurone (11), e non utilizzata la medesima via efferente di origine corticale come avviene usualmente durante una contrazione volontaria. I risultati presentati da Kasai e coll. (22), sono consistenti con il fatto che la vibrazione induce l'attivazione delle fibre intrafusali ma non soltanto dove viene applicata la vibrazione, ma anche nei muscoli contigui. Anche se si conosce che la vibrazione meccanica (10-200 Hz) applicata al ventre muscolare o al tendine può sollecitare una contrazione riflessa (p.e. 17). Questa risposta denominata "riflesso tonico da vibrazione" (TVC), non è ancora conosciuto se può essere stimolato da VTC a bassa frequenza (10-30 Hz), anche se è stato ipotizzato che avvenga (37). Inoltre è stato dimostrato che la vibrazione agisce non solo sul tessuto nervoso ma anche su quello muscolare (30). Cinque ore al giorno di vibrazione applicata solo per due giorni furono sufficienti per indurre un incremento della sezione trasversale sia delle fibre lente che di quelle veloci

in due gruppi di ratti sottoposti a due differenti frequenze vibratorie (31). La risposta di adattamento alla simulazione di condizioni di ipergravitazione (1.1 G), applicate solo per tre settimane causarono un forte miglioramento delle funzioni neuromuscolari dei muscoli estensori delle gambe (2). Forze centrifughe (2 G) applicate in forma cronica per tre mesi furono capaci di indurre e modificare la struttura di fibre muscolari (25). Nel primo esperimento anche se il periodo totale dell'applicazione di VTC fu solo di appena 100 min. le perturbazioni del campo gravitazionale indotte dalla vibrazione furono molto elevate (5.4 G). Pertanto le sollecitazioni a cui furono sottoposti i muscoli estensori delle gambe durante VTC sono paragonabili a quello che si realizza eseguendo 200 salti verticali dopo una caduta da 60 cm (salto pliometrico) due volte la settimana per dodici mesi. Infatti il tempo di lavoro durante un salto verticale eseguito dopo una caduta dall'alto è inferiore a circa 200 ms e l'accelerazione sviluppata a fatica raggiunge 4-5 G (3). Ciò significa sollecitare i muscoli per il periodo di due minuti la settimana per un periodo totale di 108 minuti, che equivale a circa la tempo totale di VTC a cui furono sottoposti gli atleti nel primo esperimento.

BIBLIOGRAFIA

1. BIGLAND - RITCHIE B, JONES DA, WOOD JJ (1979) Excitation frequency and muscle fatigue electrical responses during human voluntary and stimulated contractions *Exp Neurol* 64 414-427.
2. BOSCO C (1985) Adaptive responses of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition *Acta Physiol Scand* 124 507-513.
3. BOSCO C (1992) The effects of extra-load permanent wearing on morphological and functional characteristics of leg extensor muscles. Published Doctoral Thesis, Université Jean-Monnet de Saint Etienne, France.
4. BOSCO C, KOMI PV (1979) Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensors muscles *Eur J Appl Physiol* 41 275-284.
5. BOSCO C, KOMI PV, PULLI M, PITTEA C, MON-
TONEN H (1981) Considerations of the training of the elastic potential of the human skeletal muscle *Volleyball IFVB official magazine* 2: 22-30.
6. BOSCO C, VIITASALO JT, KOMI PV, LUTHANEN P (1982) Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle *Acta Phys. Scand.* 114 557-565.
7. BOSCO C., LUHTANEN P., KOMI PV (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping *Eur J Appl Physiol* 50: 273-282.
8. BOSCO C., ZANON S., RUSKO H., et al (1984) The influence of extra loads on the mechanical behavior of skeletal muscle *Eur J Appl Physiol* 53 149-154.
9. BOSCO C., CARDINALE M., TSARPELA O., COLLI R., TIHANYI J., VON DUVILLARD S.P., VIRU A. (1998a) *Biology of Sport*, 15, 3 1-8.
10. BOSCO C., COLLI R., BONOMI R., VON DUVILLARD S.P., VIRU A. (1998b) Monitoring Strength Training *Med Sci Sports Exerc* (in press).
11. BURKE J.R., RYMER W.Z., WALSH H.V. (1976) Relative strength of synaptic inputs from short latency pathways to motor units of defined type in cat medial gastrocnemius *Neurophysiology* 39: 447-458.
12. BURKE, J.R., M.C. SCHUTTEN, D.M. KOCEJA, & G. KAMEN (1996) Age-dependent effects of muscle vibration and the Jendrassik maneuver on the patellar tendon reflex response *Arch. Phys. Med. Rehabil* 77(6) 600-604.
13. DESSYPRISIS, A.K. KUOPPASALMI, and H. Adlercreutz Plasma cortisol, testosterone, androstenedione and luteinizing hormone (LH) in a non-competitive marathon run *J. Steroid Biochem* 7 3-37, 1976.
14. EDINGTON, DV, & V REDGERTON, (1976) The biology of physical activity Boston, MA Houghton-Mifflin.
15. EDWARDS, R.H.T. Human muscle function and fatigue In Human muscle fatigue: physiological mechanism Ciba Foundation symposium, Pitman medical, London, pp 1-18, 1981.
16. GUEZENNEC, Y, L LEGER, F LHOSTE, M AYMONOD, and P C Pesquies Hormone and metabolic response to weight-lifting training sessions *Int J Sport Med* 7 100-105, 1986.

17. HAGBARTH, K E, & G. EKLUND (1965) Motor effects of vibratori stimuli in man In Granit R (Ed) Muscular afferents and motor control Proceedings of the First Nobel Symposium, Almqvist and Wiksell, Stockholm.
18. HAKKINEN, K, P V KOMI (1985) Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensors muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises *Scand. J. Sports Sci.* 7 (2) 65-76.
19. HÄKKINEN, H, AND A PAKARINEN (1995) Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages *Int J Sports Med* 16 507-513.
20. HOFFER J A, & S ANDREASSEN (1981) Regulation of soleus muscle stiffness in premaxillary cats Intrinsic and reflex components *J. Neurophysiol.* 45 267-285.
21. HOUK, J C, & W Z RYMER (1981) Neural control of muscle length and tension In V B Brooks (Ed) *Handbook of Physiology. The nervous system* (pp.257-323). Baltimore Waverly Press.
22. KASAI, T, M KAWANISHI, & S YAHAGI (1992) The effects of wrist muscle vibration on human voluntary elbow flexion-extension movements *Exp. Brain Res.* 90: 217-220.
23. KRAEMER, W.J., S.E. GORDON, S.J. FLECK, L. MARCHITELLI, R. MELLO, J.E. DZIADOS, K. FRIEDL, E. HARMAN, C. MARESH, AND A.C. FRY (1991) Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females *Int J Sports Med* 12 228-235.
24. LEBEDEV M.A., & A.V. PELIAKOV (1991) Analysis of the interference electromyogram of human soleus muscle after exposure to vibration *Neirofiziologia* 23 (1) 57-65 (article in Russian).
25. MARTIN, W.D., & E.H., ROMOND (1975) Effects of chronic rotation and hypergravity on muscle fibers of soleus and plantaris muscles of rat *Exp. Neurol.* 49: 758-771.
26. McDONAGH, M.J.N., & C.T.M. DAVIES (1984) Adaptative response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads *Eur.J.Appl.Physiol.* 52 139-155.
27. MILNER-BROWN, H.S., R.B. STEIN, AND R.G. LEE (1975) Synchronization of human motor units possible roles of exercise and supraspinal reflexes *Electroenceph. Clin. Neurophys.* 38 245-254.
28. MORITANI, T., & H. DE VRIES (1979) Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain *Am. J. Phys.Med.* 58:115-130.
29. MORITANI T., MURO M., KIJIMA A. (1985) Electromechanical changes during electrically induced and maximal voluntary contractions electrophysiological responses of different muscle fiber types during stimulated contractions *Exp Neurol* 88 471-483.
30. NECKING, L.E., L.B. DAHLIN, J. FRIDEN, G. LUNDBORG, R. LUNDSTROM, & L.E. THORNELL (1992) Vibration-induced muscle injury An experimental model and preliminary findings *J. Hand Surg.* 17 270-274.
31. NECKING, L.E., R. LUNDSTROM, G. LUNDBORG, L.E. THORNELL, & J. FRIDEN (1996) Skeletal muscle changes after short term vibration. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg Hand Surg.* 30 99-103.
32. ROLLING G.L., E. HURST, R.D. FELL, M. ROHELEDER (1996) Effects of testosterone propionate on strength and eccentric induced muscle damage *Med Sci Sports Exerc* Vol. 28 Suppl, p. S 113.
33. ROTHMULLER, C., & E. CAFARELLI (1995) Effects of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue humans *J. Physiol.* 485: 857-864.
34. SAHLIN, K. INTRACELLULAR pH and energy metabolism in skeletal muscle of man (1978) *Acta Physiol Scand Suppl* 455.
35. SALE, D.G. Neural adaptation to resistance training (1988) *Med Sci Sports Exerc* 20: 135-145.
36. SCHÄDLER, M. Proportionale Aktivierung von ATPase-Aktivität und Kontraktionsspannung durch (1967) Calciurnionen in isolierten contractilen strukturen verschiedener Muskelarten *Pflügers Arch* 296: 70-90.
37. SEIDEL, H. (1988) Myoelectrical reactions to ultra-low frequency and low-frequency whole body vibration *Eur. J.Appl. Physiol.* 57 558-562.
38. Verkoshansky Y (1964). Sono utili i salti in basso. *Legkaija atletika*, no. 7.