

Nuove evidenze scientifiche della vibrazione indotta sulla forza esplosiva prodotta con e senza pre-stiramento

Riccardo Di Giminiani¹, Renato Manno², Renato Scrimaglio¹⁻³

¹ Facoltà di Scienze Motorie-Università di L'Aquila

² Istituto di Medicina e Scienza dello Sport, Coni, Roma

³ Dipartimento di Fisica-Università di L'Aquila

Introduzione

Recentemente è stato introdotto un metodo di allenamento specifico per sviluppare la forza e la potenza del muscolo basato sulla applicazione delle vibrazioni meccaniche sussultorie mediante l'utilizzo di pedane vibranti (3, 4, 5, 6, 17, 18).

La vibrazione meccanica utilizzata come esercizio in ambito sportivo e riabilitativo-rieducativo è caratterizzata da un movimento oscillatorio prodotto con apposite pedane (Figura 1) (whole-body vibration) (6, 31), o cavi vibranti e manubri se lo stimolo coinvolge un distretto muscolare (Figura 2) (5, 17, 18). I parametri meccanici che ne determinano il carico di lavoro sono rappresentati:

- dall'ampiezza della vibrazione (spostamento picco-picco, in mm);

- dai cicli di oscillazione nel periodo T (frequenza di vibrazione, in Hz);
- e dall'intensità di vibrazione (accelerazione, m/s^2), vale a dire

dal rapporto tra l'ampiezza delle oscillazioni e l'intervallo di tempo in cui queste avvengono.

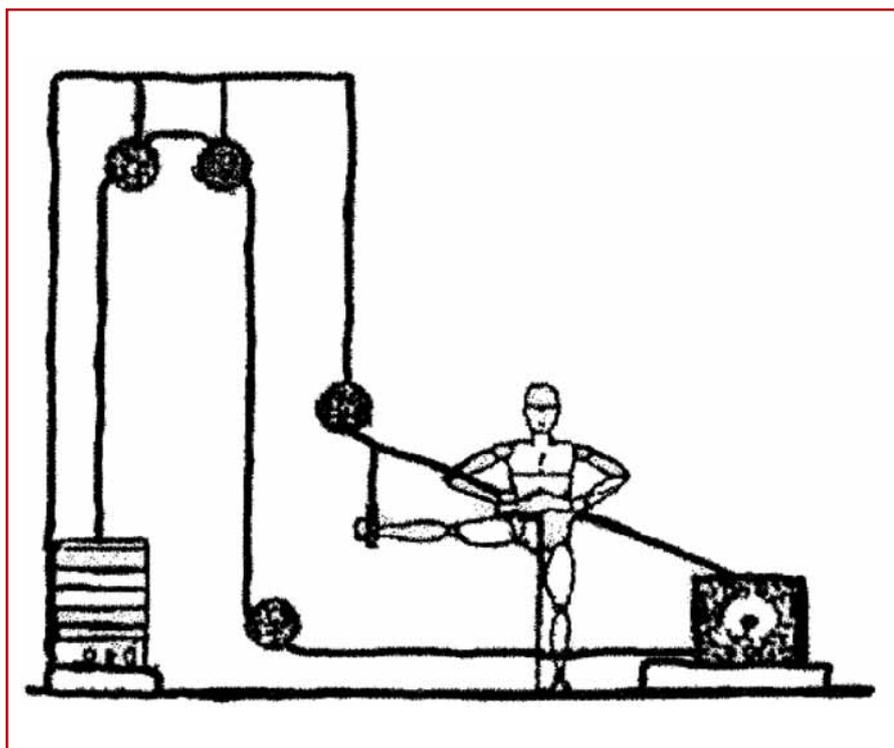
Nei diversi studi riportati in letteratura sono state applicate vibrazioni con frequenze dai 15 ai 44 Hz, ampiezze di circa 2-10 mm ed accelerazioni che variano da 3,5 fino a 15 g (9).

Effetti delle vibrazioni applicate in campo sportivo

Gli effetti delle vibrazioni sulla forza e potenza muscolare sono stati esaminati con differenti protocolli di trattamento sia in seguito ad esposizione acuta sia cronica. In acuto, il trattamento vibratorio applicato mediante cavi vibranti e manubri produce sia un incremento della potenza degli arti superiori (8-10%) (4, 18), sia un miglioramento dell'efficienza neuromuscolare (4). Similmente,



Figura 1 - Posizione dei soggetti assunta sulla pedana vibrante utilizzata per le somministrazioni delle vibrazioni totali del corpo.



l'uso di pedane vibranti incrementa la capacità di salto (4,0%), la potenza meccanica erogata (7%) dagli arti inferiori, il livello circolante di alcuni ormoni (Testosterone ed ormone della crescita) (6), inoltre produce un marcato shift delle relazioni forza-velocità e potenza-velocità (5).

Nell'analizzare gli effetti cronici è interessante notare che quando alla vibrazione prodotta da cavi vibranti sono associati esercizi convenzionali per lo sviluppo della forza (sitting bench-pull exercise), la tensione prodotta dalle braccia viene incrementata del 49,8% risultando essere significativamente maggiore se comparata al 16,1% ottenuto con un allenamento di forza "puro". Inoltre, anche l'incremento di flessibi-

Figura 2 - Cavi vibranti utilizzati per le vibrazioni applicate in un distretto corporeo (modificata da: Issurin e coll., 1994).





lità degli arti inferiori in seguito alla somministrazione dello stesso tipo di vibrazioni appare più elevato rispetto alla metodica convenzionale (43,6 vs 19,2%) (17).

Nell'esposizione a vibrazioni totali del corpo l'aumento di forza è del 16,6 % (12) e del 24,4% rispettivamente dopo 12 e 24 settimane di trattamento (28). In questi studi, la risposta adattativa del sistema neuromuscolare è comparabile a quella evidenziata in programmi di allenamento di moderata intensità utilizzando i pesi come carico gravitazionale (14,4%) (12) o di fitness (16,5%) (28).

Controversi effetti cronici sono stati riportati in seguito a vibrazioni totali del corpo su alcune espressioni di forza (ad esempio nella capacità di salto); vale a dire in movimenti caratterizzati da rapidissime contrazioni muscolari ed improvvise variazioni della accelerazione gravitazionale.

Bosco e coll. (1998) hanno mostrato che 10 giorni consecutivi di vibrazioni totali del corpo sono in grado di produrre un miglioramento della capacità di salto verticale (12%). In linea con questo risultato, Torvinen e coll. (2002) e Delecluse e coll. (2003)

hanno ottenuto modificazioni simili nel salto verticale effettuato con pre-stiramento (CMJ) del 8,5% e del 7,6% rispettivamente dopo 16 e 12 settimane di trattamento. Dall'altro canto, de Ruyter e coll. (2003) ha rivelato che la capacità di salto (CMJ) non viene influenzata da 11 settimane di trattamento vibratorio.

In sintesi, si può affermare che in letteratura è mancante l'evidenza scientifica conclusiva sugli effetti cronici indotti nella forza esplosiva dalle vibrazioni totali del corpo anche per la disparità dei protocolli di trattamento che sono stati utilizzati (Tabella 1).

Lo stimolo vibratorio può essere variato in molteplici modi; ti-

Tipo di vibrazione indotta	Autore	Soggetti	Durata del trattamento	Frequenza	Effetto
WBV	Verschueren S e coll., 2004	Femmine post-menopausa (58-74 anni)	3 volte a settimana per 24 settimane	35-40 Hz	Forza isometrica-dinamica 15-16%/ Densità ossea 0,93%
WBV	Bosco C e coll., 2000		10 volte per 60"	—	Concentrazioni ormonali (T) (GH) (C)
WBV	Russo R e coll., 2003	Femmine post-menopausa (60 anni)	6 min a seduta per 2 volte a settimana per 6 mesi	28 Hz	Potenza muscolare 6%/ nessun effetto sulle caratteristiche dell'osso
WBV	de Ruyter CJ e coll., 2003	Giovani studenti allenati maschi e femmine (20 anni)	5 min a seduta per 3 volte a settimana per 11 settimane	30 Hz	Nessun effetto
Cavi vibranti	Martin JB e Park HS, 1997		/	40-200 Hz	Sincronizzazione delle unità motorie
Cavi vibranti	Welsh CL, 1980		8x 30" - 3x 30"	40-120 Hz	Effetti sul flusso sanguigno
WBV	Rittweger JM e coll., 2003		3 tipi di studio	/	Effetti sul tempo di reazione con e senza WBV
WBV	Torvinen S e coll., 2003	Studenti maschi e femmine (19-38 anni)	4 min a seduta per 2/3 volte a settimana per 8 mesi	25-45 Hz	Nessun effetto sull'osso/ incremento forza esplosiva 7,8%

Tabella 1 - Schema riassuntivo degli effetti indotti dalle vibrazioni nei diversi protocolli di trattamento riportati in letteratura (WBV; Vibrazioni Totali del Corpo).



po, intensità, frequenza e durata, pertanto i risultati possono anche essere diversi, di conseguenza è fondamentale definire quale tipo di stimolo vibratorio risulti più efficace e, soprattutto più sicuro per l'integrità del sistema muscolo-scheletrico.

Utilizzo della frequenza individuale nell'allenamento mediante pedane vibranti (WBV)

Nella tradizionale metodologia di allenamento, adattamenti specifici dipendono dal programma di allenamento impiegato (13, 29).

Investigazioni sull'attività elet-

tromiografica (IEMG) dei muscoli dell'arto inferiore, hanno rivelato un rimarcabile potenziamento neurogeno, durante esercizi pliometrici, indotto dal pre-stiramento (Drop Jump) in comparazione con altri tipi di esercizi (Squat Jump and Counter Movement Jump) (32).

Cardinale e Bosco (2003) hanno arguito che un effetto simile dovrebbe essere prodotto dalle vibrazioni totali del corpo (Whole-Body Vibration; WBV), probabilmente a causa delle caratteristiche del carico, il quale, analogamente agli esercizi pliometrici incrementa il carico gravitazionale (fino a 2 g) imposto sul sistema neuromuscolare. Pertanto l'utiliz-

zo della risposta elettrica del muscolo (EMG) durante l'esposizione alle WBV, come un indice neuromuscolare, appare appropriata per identificare la frequenza individuale di stimolazione, vale a dire la strategia neurale del reclutamento delle unità motorie necessaria per indurre adattamenti specifici. Precedenti investigazioni condotte sulla attività elettrica (EMGrms) del bicipite brachiale in pugili di livello nazionale, mostrarono una modificazione significativa dell'attività neurale durante il periodo del trattamento vibratorio (localizzato sul muscolo) fino a due volte maggiore di quella registrata nelle normali condizioni di riposo (4, 10).

In sintesi, similmente all'altezza di caduta ottimale (ODH), che nelle esercitazioni pliometriche costituisce il carico gravitazionale specifico per indurre la più elevata risposta del riflesso da stiramento modulando la velocità di allungamento del muscolo (7, 32), una frequenza di vibrazione individuale provoca una risposta massimale durante le WBV (2).

Alla luce di queste osservazioni le frequenze di vibrazione non dovrebbero essere stabilite aprioristicamente ed applicate indiscriminatamente nei soggetti come purtroppo accade, bensì determinate individualmente allo scopo di definire le caratteristiche neuromuscolari individuali.

A tal proposito, Di Giminiani, e coll., (14) hanno mostrato l'effetto prodotto da 8 settimane di trattamento vibratorio (WBV) su alcune variabili del sistema neuromuscolare in soggetti maschi e

femmine (studenti di Scienze Motorie) utilizzando una frequenza individuale. La frequenza di vibrazione ottimale in ciascun soggetto venne determinata monitorando la EMGrms dei muscoli estensori dell'arto inferiore durante un test vibratorio a diverse frequenze di vibrazione (20-25-30-35-40-45-50-55 Hz) della durata di 20s. Le diverse prove vennero svolte senza seguire un ordine e la frequenza di vibrazione nella quale si registrava la più alta attività elettromiografica del muscolo vasto laterale (EMGrms) fu scelta come frequenza ottimale per l'allenamento vibratorio.

I soggetti del gruppo sperimentale furono esposti a WBV mediante una pedana vibrante chiamata Nemes LS-B (Bosco-System, Italia) che produce una vibrazione con ampiezze di circa

~2 mm; ed accelerazioni da 1,1 a 53,6 m/s². In questo esperimento la somministrazione di due serie di cinque minuti ciascuno di vibrazione separate da una pausa di 4 minuti per tre giorni a settimana, protratta per otto settimane, determinò un miglioramento statisticamente significativo della capacità di elevazione durante salti verticali eseguiti con pre-stiramento della durata di 10 secondi (Continuous Rebound Jump; CRJ) e senza (Squat Jump; SJ) rispettivamente del 22% (Figura 3) e del 12% (Figura 4). Viceversa, nel gruppo di controllo non venne notato alcun miglioramento nelle diverse modalità esecutive.

Risultati così rilevanti dopo un breve periodo di trattamento (soltanto 8 settimane), non evidenziati in nessuno altro studio scientifico accreditato, mettono in eviden-

za la frequenza della vibrazione come variabile determinante nell'amplificare la grandezza della perturbazione neuromuscolare. Questi risultati dovrebbero essere presi in considerazione quando si designano studi e/o programmi allenanti sulle vibrazioni e sottolineano l'importanza di determinare la frequenza individuale affinché lo stimolo vibratorio sia adeguato alle caratteristiche neuromuscolari dei soggetti in maniera da produrre adattamenti biologici significativi e specifici.

Meccanismi potenziali che mediano l'effetto delle WBV sul sistema neuromuscolare

Sinteticamente, il disegno sperimentale di Di Giminiani e coll.

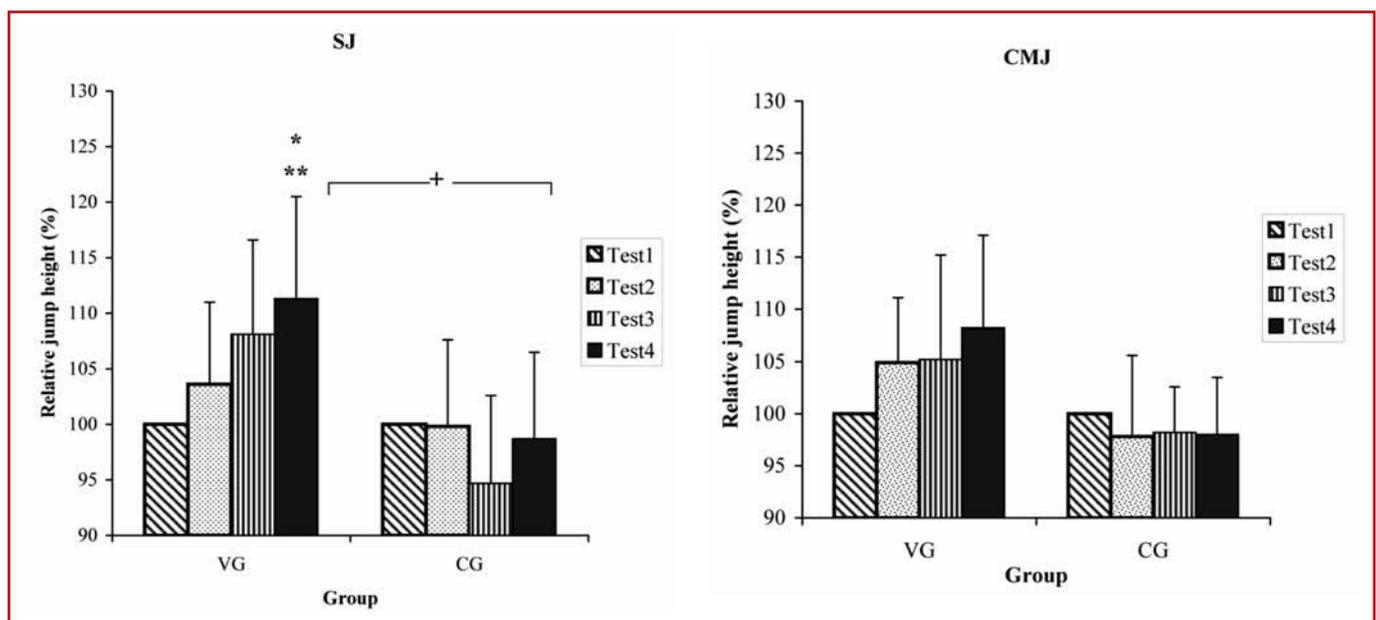


Figura 3 - L'altezza relativa di salto nello Squat Jump (SJ) e nel Counter Movement Jump (CMJ) è presentata nelle diverse prove di valutazione effettuate (Test1 = prima del trattamento, Test2 = dopo 4 settimane di trattamento, Test3 = dopo otto settimane di trattamento, Test4 = una settimana dopo la cessazione della vibrazione). I valori sono stati normalizzati ai valori ottenuti nel Test1 (100%) sia nel gruppo sperimentale (VG) sia nel gruppo di controllo (CG). + Differenza significativa tra i due gruppi. *Differenza significativa rispetto al Test1, ** differenza significativa dal Test2, *** differenza significativa dal Test3 (modificato da: Di Giminiani e coll.).

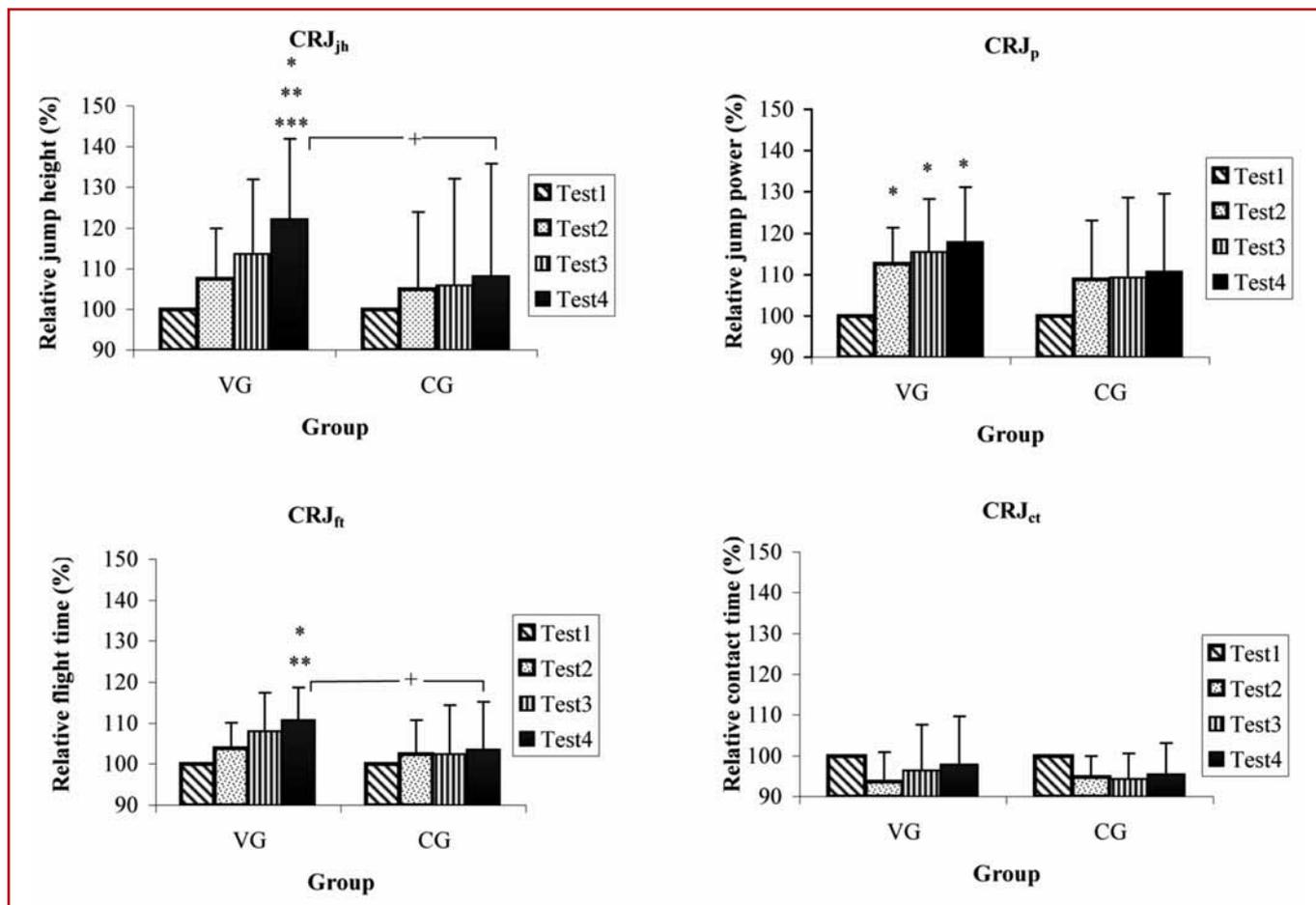


Figura 4 - La variazione relativa nell'altezza di salto (CRJ_h), nella potenza (CRJ_p), nel tempo di volo (CRJ_{ft}) e nel tempo di contatto (CRJ_{ct}) durante il Continuous Rebound Jump 10 s è presentata nelle diverse prove di valutazione effettuate (Test1 = prima del trattamento, Test2 = dopo 4 settimane di trattamento, Test3 = dopo otto settimane di trattamento, Test4 = una settimana dopo la cessazione delle vibrazioni). I valori sono stati normalizzati ai valori ottenuti nel Test1 (100%) sia nel gruppo sperimentale (VG) sia nel gruppo di controllo (CG). + Differenza significativa tra i due gruppi. * Differenza significativa rispetto al Test1, ** differenza significativa dal Test2, *** differenza significativa dal Test3 (modificato da: Di Giminiani e coll.).

(14) in comparazione con altri studi riportati in letteratura mostra tre aspetti rilevanti: Innanzitutto, è stato condotto in soggetti allenati le cui modificazioni, essendo ridotta la capacità adattativa del loro sistema neuromuscolare, attenuate da un livello di attività fisica protratta nel tempo, sono differenti da quelle ottenibili in soggetti sedentari (13, 29); secondariamente, il periodo del trattamento vibratorio è stato più breve di altre investigazioni (soltanto 8 settimane); ed infine, in un

periodo di tempo relativamente breve si sono osservate modificazioni sulla forza esplosiva con pre-stiramento (22%) e senza (12%), non rivelate in nessun'altra sperimentazione scientifica accreditata che abbia utilizzato pedane vibranti nella somministrazione dello stimolo vibratorio.

Relativamente all'ultimo punto, Bosco e coll. (1998) mostrarono un significativo incremento nel Continuous Rebound Jump (CRJ) ma non nel Counter Movement Jump (CMJ) dopo 10

giorni consecutivi di WBV.

Nel suddetto studio, Bosco arguì che i risultati contraddittori potevano essere spiegati dal differente comportamento meccanico dei muscoli dell'arto inferiore durante i due tipi di esercizi, infatti anche se entrambi sono caratterizzati dal cosiddetto ciclo allungamento-accorciamento (SSC), l'attivazione nel CMJ è differente da quella rilevata nel CRJ. Il CMJ è caratterizzato da un ampio movimento angolare e da una bassa velocità di stretch (3-6 rad/s),

viceversa il CRJ è eseguito con una elevata velocità (10-12 rad/s) accompagnata da un movimento di breve ampiezza. Conseguentemente, Bosco e coll. (1998) hanno suggerito che soltanto nel CRJ dovrebbe esserci la possibilità di un potenziamento neurale di natura riflessa spinale e/o corticale mediato dal sistema fusomotore dinamico-gamma che aumenterebbe la frequenza di scarica delle afferenti primarie. Questa ipotesi è stata confermata parzialmente nella nostra indagine poiché abbiamo mostrato anche un rimarchevole e significativo aumento nello Squat Jump (SJ), il quale è eseguito senza il contro-movimento preparatorio che determina il pre-stretch dei muscoli attivi, ovvero in un movimento balistico connesso alla forza esplosiva durante una contrazione concentrica "pura". Inoltre, la prestazione nello SJ è correlata alle caratteristiche meccaniche delle unità motorie fasiche e alle rispettive fibre veloci suggerendo che i soggetti "veloci" sono capaci di reclutare le unità motorie più rapidamente dei soggetti "lenti" (7, 32). Recentemente, Rittweger e coll. (2003) hanno evidenziato differenze nell'ampiezza del riflesso da stiramento, il quale dopo esercizi di squat con WBV era comparabile a condizioni basali o anche incrementato, mentre risultava diminuito dopo l'esercizio di squat eseguito senza vibrazione. Secondo gli autori, l'ampiezza mantenuta o anche incrementata del riflesso, osservata dopo l'esercizio con vibrazione, è dovuta mol-



to probabilmente ad un aumento dell'eccitabilità del sistema nervoso centrale particolarmente delle unità motorie fasiche.

Un coinvolgimento dei meccanismi neurali centrali applicando vibrazioni meccaniche al complesso muscolo-tendine, è stato rivelato anche dalle analogie tra i pattern di attività delle unità motorie reclutate durante le risposte motorie nel periodo post-vibatorio e nelle contrazioni volontarie (26). In questo ultimo esperimento le stesse unità motorie vengono reclutate sia nelle risposte post-vibatorie sia nelle contrazioni volontarie; secondariamente, il pattern di reclutamento delle unità motorie è simile a quello caratterizzato da tempi di contrazione brevi ed in accordo con il principio della dimensione di Henneman. Inoltre, il pattern del reclutamento rimane invariato a prescindere da qualunque sia l'origine della contrazione.

Una chiara evidenza dell'interessamento della corteccia motoria è fornita dagli studi sugli effetti corticali prodotti dalle vibra-

zioni sul muscolo mediante la registrazione dei potenziali evocati dallo stimolo vibratorio di lunga durata. Il potenziale evocato dalla vibrazione è composto da due componenti. La prima parte del potenziale evocato dalla vibrazione è altamente lateralizzata e la sua distribuzione nella vicinanza del solco centrale controllaterale al braccio stimolato suggerisce una sorgente nella corteccia sensoriale primaria, mentre le parti successive dei potenziali evocati dalla vibrazione hanno una rimarcabile distribuzione simmetrica e diffusa nelle aree frontocentrali (23). Sebbene l'attivazione corticale indotta dalla vibrazione muscolare sia bilaterale, essa causa inibizione delle risposte corticali ai muscoli contro-laterali non vibrati, suggerendo una modulazione transcallosale (21).

La vibrazione meccanica applicata sul ventre o sul tendine del muscolo evoca una contrazione riflessa denominata da Eklund and Hagbarth (1966) Riflesso Tónico Vibratorio (Tonic Vibration Reflex; TVR). La contrazione

riflessa è iniziata con l'allungamento delle terminazioni sensoriali primarie dei fusi neuromuscolari. Le terminazioni primarie possono essere guidate ad una frequenza di scarica in ritmo con la frequenza di vibrazione. Pertanto, se il vibratore sta operando ad una determinata frequenza, la frequenza di scarica dei fusi neuromuscolari è la stessa. È stato anche dimostrato che il TVR, quantificato in termini di massima tensione sviluppata, ha una variabilità individuale. In aggiunta, il miogramma del TVR ha una cinetica più rapida e raggiunge una tensione di plateau maggiore quando il muscolo è allungato (Johnston e coll., 1970). Secondo Martin e Park (1997) l'intensità del TVR dipende dallo stato contrattile iniziale e dal muscolo considerato. Nei muscoli di soggetti normali in cui il TVR non presenta valori elevati, la risposta può essere facilmente aumentata da una contrazione volontaria minimale del muscolo vibrato o contraendo i muscoli controlaterali del braccio in maniera da indurre una facilitazione Jendrassika simile a quella del riflesso fascico da stiramento (19). I muscoli con tendini molto lunghi e sottili, ad esempio, l'estensore e il flessore lungo delle dita, mostrano un TVR in risposta a vibrazione anche se sono completamente rilasciati. Inversamente, i muscoli del quadricipite femorale e del tricipite surale sembrano essere meno rispondenti alla vibrazione probabilmente in relazione alle loro proprietà viscoelastiche (19). Il TVR è risultato an-

che essere più elevato in seguito a contrazioni di condizionamento eseguite a lunghezze muscolari ridotte (24). Queste variazioni nell'intensità del TVR sono state attribuite alle proprietà tissotropiche delle fibre muscolari intrafusali. Per sintetizzare, questi risultati dimostrano l'importanza di tenere in considerazione il tipo di movimento nella designazione degli studi sul TVR.

Esperimenti condotti su soggetti con problemi degenerativi nel midollo spinale a livello cervicale hanno evidenziato una contrazione del muscolo bicipite brachiale o una risposta dei flessori durante la vibrazione del tricipite brachiale. Questa risposta vibratoria antagonista (AVR) sembra essere più frequente nei soggetti che hanno un maggior grado di limitazione funzionale negli estensori del gomito (25).

Inoltre, la forza del TVR ed il grado di sincronizzazione delle unità motorie variano con la frequenza della vibrazione (21). Un recente studio effettuato sull'uomo ha confermato che la vibrazione sul complesso muscolo-tendine esercita un effetto di frequenza-dipendente sull'eccitabilità cortico-spinale e che questo effetto eccitatorio sulla corteccia motoria primaria è mediato dalle afferenti Ia, vale a dire; la dipendenza della frequenza di scarica delle fibre Ia in risposta alla frequenza dello stimolo vibratorio è riflessa in un effetto differenziale di frequenza-dipendente sull'eccitabilità motoria cortico-spinale (30).

Il meccanismo che media l'ef-

fetto della vibrazione sul complesso muscolo-tendine è piuttosto complesso da analizzare poiché consiste di almeno due componenti: una risposta con latenza breve (Short Latency Response; SLR) determinata dall'arco riflesso monosinaptico e mediata dalle fibre afferenti Ia dei fusi neuromuscolari; a questa segue una risposta con latenza media (Medium Latency Response; MLR), della quale molti studi indicano sia trasmessa al midollo spinale dalle fibre afferenti di tipo II (8). Bove e coll. (2003) hanno osservato che, durante la vibrazione applicata localmente sul complesso muscolo-tendine, la frequenza esercita un effetto selettivo sulle fibre afferenti Ia e di tipo II: mentre le Ia sono sensibili a frequenze di vibrazione piuttosto elevate (90 Hz), il gruppo II appare essere influenzato sia dalle basse sia dalle alte frequenze (30-90 Hz). Anche se la prestazione massima nell'arto vibrato e nel controlaterale è ridotta da vibrazioni prolungate del muscolo condotte a frequenze di 30 e 120 Hz, è specificatamente quella di 30 Hz che causa la maggior attenuazione nell'attivazione muscolare del muscolo sottoposto a vibrazione.

Di Gimniani e coll. (14) hanno arguito che l'attività elettromiografica più elevata registrata durante un test vibratorio a diverse frequenze ed applicato mediante pedane vibranti, sarebbe il risultato di una maggiore attività neuronale mediata dalla coattivazione delle fibre Ia e II. Infatti, essendo le fibre Ia più sensibili

alle rapide variazioni di lunghezza del muscolo rispetto alle fibre II (22), dovrebbero essere quelle principalmente attivate dalla stimolazione vibratoria (8). L'ultima analisi spiegherebbe la più ampia estensione degli effetti ottenuta nell'esperimento condotto da Di Giminiani e coll. (14) durante movimenti caratterizzati da una elevata velocità di stiramento (CRJ) rispetto allo Squat Jump (SJ) le cui afferenze, altamente sensibili, sono probabilmente pre-attivate già nella posizione di partenza.

L'adattamento allo stimolo allenante è funzione delle modificazioni indotte dalla ripetizione di esercizi specifici (1). La gravità normalmente fornisce la maggior porzione di stimolo meccanico responsabile dello sviluppo del sistema neuromuscolare nella vita lavorativa e nel processo dell'allenamento. Ad esempio, la risposta adattativa del muscolo scheletrico in seguito a 3 settimane di condizioni ipergravitarie simulate (1,1 g) produce un significativo incremento della po-

tenza meccanica media (10%) sviluppata dagli estensori del ginocchio durante salti verticali eseguiti con cicli allungamento-accorciamento di diverse modalità esecutive (1). Il drastico miglioramento secondo Bosco fu causato principalmente da un rapido adattamento a livello neurogeno e in misura minore a livello delle componenti miogeniche. In maniera simile la WBV impone un'attività ipergravitaria sul sistema neuromuscolare prodotta dalle elevate accelerazioni dell'esercizio vibratorio (3,5-15 g) (9).

Conclusioni ed applicazioni pratiche

Recenti studi hanno focalizzato l'attenzione sulla metodologia in grado di identificare il carico vibratorio individuale che ciascun soggetto può sostenere. Tale metodo è basato sull'uso dell'elettromiografia di superficie (EMG) per valutare la risposta muscolare ottimale a differenti frequenze

di vibrazione.

La definizione di protocolli sicuri basati sulla risposta individuale allo stimolo vibratorio è importante nello studio degli effetti in applicazioni di lungo termine estese anche ad una popolazione più ampia di quella costituita da sportivi.

Questi risultati dovrebbero essere presi in considerazione quando si designano programmi di allenamento che utilizzano la vibrazione indotta mediante delle pedane e sottolineano l'importanza di determinare la frequenza di vibrazione individuale in modo da rilevare lo stimolo più adeguato alle caratteristiche neuromuscolari individuali al fine di produrre adattamenti biologici marcati e specifici e, soprattutto più sicuri per l'integrità del sistema muscolo-scheletrico.

Indirizzo per corrispondenza:

Via Dante Alighieri 5 - 64013 Corropoli (TE) - cell. 347-6245514

mail: digi.e@tiscalinet.it

Bibliografia

Bosco C (1985) Adaptive response of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiol Scand* 124: 507-513

Bosco C (2002) Comunicazioni personali.

Bosco C, Cardinale M, Colli R, Tihanyi J, von Duvillard SP, Viru A (1998) The influence of whole body vibration on jumping ability. *Biol Sport* 15: 157-164

Bosco C, Cardinale M, Tsarpela

O (1999a) The influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* 79: 306-311

Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, Tihanyi J, von Duvillard SP, Viru A (1999b) Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19: 183-187

Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela

O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, Viru M, De Lorenzo A, Viru A (2000) Hormonal responses to whole body vibrations in man. *Eur J Appl Physiol* 81: 449-454

Bosco C, Komi PV (1979a) Mechanical characteristic and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol* 41: 275-284

Bove M, Nardone A, Schieppati M (2003) Effects of leg muscle tendon vibration on group

- la and group II reflex responses to stance perturbation in humans. *J Physiol* 550(2): 617-630
- Cardinale M, Bosco C (2003) The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc and Sport Review* 31: 3-7
- Cardinale M, Lim J (2003) Electromyographic activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res* 17: 621-4
- de Ruyter CJ, Van Rask SM, Schilperoort JV, Hollander AP, de Haan A (2003) The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol* 90: 595-600
- Delecluse C, Roelants M, Verschueren S (2003) Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1033-41
- Deschenes MR, Kraemer WJ (2002) Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil review* 81: S3-16
- Di Giminiani R, Tihanyi J, Scrimaglio R (in Stampa). The effect of vibration on explosive and reactive strength applying individualized frequencies. *J of Sports Sci*.
- Eklund G, and Hagbarth KE. (1966). Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Exp. Neurol.* 16: 80-92.
- Enoka R (2002). *Neuromechanics of human movement*. Ed. Human Kinetics
- Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G (1994) Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J of Sports Sci* 12: 561-566
- Issurin VB, Tenenbaum G (1999) Acute and residual effect of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur training athletes *J of Sport Science* 17: 177-182
- Jackson SW, Turner DL (2003) Prolonged muscle vibration reduces maximal voluntary knee extension performance in both the ipsilateral and the contralateral limb in man. *Eur J Appl Physiol* 88: 380-386
- Johnston RM, Bishop B, Coffey GH (1970) Mechanical vibration of skeletal muscles. *Physical Therapy* 50: 499-505
- Kossev A, Siggelkow S, Kapels HH, Dengler R, Rollnik JD (2001) Crossed effects of muscle vibration on evoked-motor potentials. *Clinical Neurophysiology* 112: 453-456
- Martin BJ, Park HS (1997) Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur J Appl Physiol* 75: 504-511
- Münste TF, Jöbges EM, Wieringa BM, Klein S, Shubert M, Sönke J, Dengler R (1996) *Human evoked potentials to long duration vibratory stimuli: role of muscle afferents*. *Neuroscience letters* 216: 163-166
- Nordin M, Hagbarth KE (1996) Effects of preceding movements and contractions on the tonic vibration reflex of human finger extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 156: 435-440
- Ribot-Ciscar E, Butler JE, Thomas CK (2003) Facilitation of triceps brachii muscle contraction by tendon vibration after chronic cervical spinal cord injury. *J Appl Physiol* 94: 2358-2367
- Ribot-Ciscar E, Roll JP, Gilhodes JC (1996) Human motor unit activity during post-vibratory and imitative voluntary contractions. *Brain Research* 716: 84-90
- Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D (2003) Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol & Func Im* 23: 81-86
- Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S (2004) Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med abstract* 25: 1-5
- Sale DG (1988) Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc review* 20: 135-45
- Steyvers M, Levin O, Verschueren SM, Swinnen SP Frequency-dependent Effects of muscle tendon vibration on corticospinal excitability: a TMS study. *Exp Brain Res* 151: 9-14
- Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen Tero AH, Pasanen M, Kontulainen S, Jarvinen Teppo LN, Jarvinen Markku, Oja P, Vuori Ilkka (2002) Effect of four month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1523-1528
- Vitasalo JT, Bosco C (1982) Electromechanical Behaviour of human muscles in vertical jumps. *Eur J Appl Physiol* 48: 253-261