

Aspetti neurofisiologici ed applicativi dell'allenamento vibratorio

di Gian Nicola Bisciotti Ph. D.

Centro di Ricerca e d'Innovazione per lo Sport,
Facoltà di Scienze dello Sport dell'Università Claude Bernard di Lione (F)

Abstract: Gli effetti della somministrazione controllata di vibrazioni sul corpo umano sono noti sin dal 1949, data del primo lavoro scientifico nell'ambito specifico. Tuttavia, solamente quaranta anni più tardi fu scientificamente riconosciuto il valore terapeutico delle vibrazioni per ciò che riguarda il loro effetto osteogenico, che giustifica la loro applicazione in medicina geriatrica in senso generale ed in alcune patologie specifiche come l'osteoporosi. Inoltre, recentemente gli effetti fisiologici indotti dalle vibrazioni, sono stati sfruttati per indurre particolari adattamenti, in termini di aumento della forza contrattile nei suoi vari aspetti, anche in campo sportivo. Lo scopo di questa review è quello di definire i vari campi applicativi dell'allenamento vibratorio e di chiarire i principi fisiologici che giustificano il loro razionale di utilizzo.

Introduzione

Quotidianamente, probabilmente nella maggior parte dei casi senza nemmeno rendercene conto, il nostro corpo è sottoposto a vibrazioni di differente tipo, basti pensare a quando viaggiamo in autobus, in treno, oppure in automobile, solamente per citare i casi più ordinari. Molte altre categorie di persone invece, sottopongono il loro corpo a vibrazioni di ben altro genere, come quelle causate da macchinari quali i veicoli pesanti, i martelli pneumatici, oppure molti altri utensili manuali. Esattamente come per il caso del nostro apparato acustico, che può captare suoni piacevoli oppure estremamente sgradevoli, il nostro corpo può essere sottoposto a vibrazioni del tutto gradevoli, come ad esempio il leggero beccheggio od il piacevole rollio di una barca, oppure decisamente spiacevoli, come nel caso in cui si percorresse una strada dissestata con un mezzo scarsamente ammortizzato. Da un punto di vista meccanico, possiamo affermare che un corpo vibra quando quest'ultimo descrive un movimento di tipo oscillatorio intorno ad una posizione di riferimento. Se prendiamo come esempio un modello meccanico costituito da un corpo di massa m , che sia vincolato ad una molla la cui costante elastica viene indicata con K e lo poniamo in oscillazione, potremo osservare come la massa m si muova con regolarità nei confronti della posizione di equilibrio statico. Inoltre, potremo notare come il movimento osservabile abbia un carattere periodico, in altre parole, ad intervalli di tempo regolari si riprodurrà eguale a se stesso (figura 1)

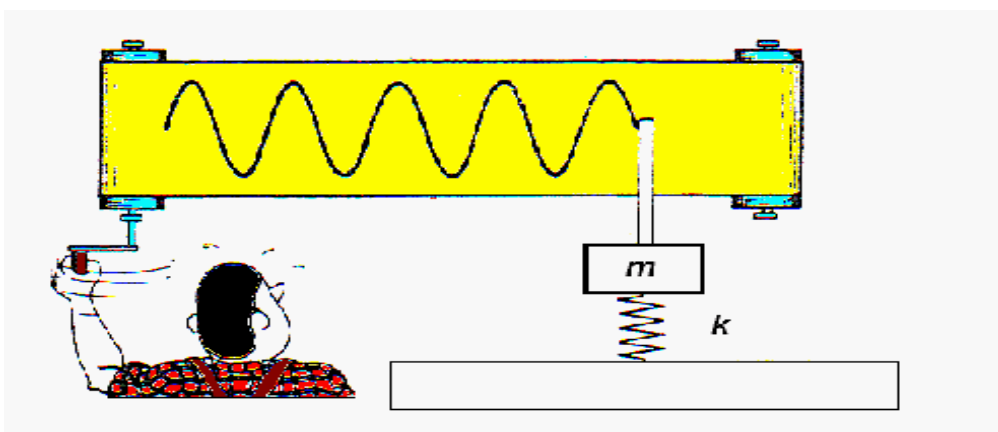


Figura 1: in un sistema costituito da una massa vincolata ad una molla e posto in oscillazione si produrrà un movimento regolare di carattere periodico.

In figura 1 è rappresentata quella che può essere definita come la più semplice delle funzioni periodiche, ossia il "moto armonico". L'andamento in funzione del tempo di questa

funzione è rappresentato da un onda di tipo sinusoidale descrivibile dalla sua ampiezza D e dal suo periodo T.

Il numero dei cicli completi compiuti durante l'unità di tempo, ossia durante un secondo, è detto frequenza, la quale viene misurata in Hertz (Hz). La frequenza è legata matematicamente al periodo T attraverso la seguente relazione:

$$f = 1/T$$

Dove f è la frequenza espressa in Hz e T il periodo espresso in secondi.

Per cui ad esempio ad un periodo di 0,04 secondi corrisponderà un frequenza di 25 Hz. Le vibrazioni possono essere suddivise in due gruppi principali: le vibrazioni deterministiche e le vibrazioni random. Appartengono al primo gruppo tutte le vibrazioni che possono essere descritte grazie a delle espressioni matematiche in grado quantificare le variazioni, in funzione del tempo, dei valori istantanei d'ampiezza. Tipiche di questo gruppo sono le vibrazioni provocate dai macchinari di tipo meccanico (fig. 2).

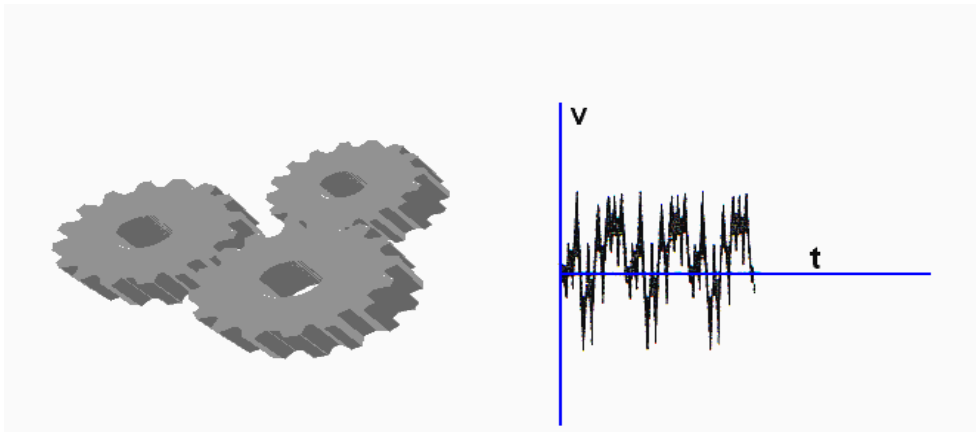


Fig 2: le vibrazioni provate dalle strumentazioni meccaniche costituiscono tipici esempi di vibrazioni deterministiche.

I fenomeni appartenenti al secondo gruppo, ossia le vibrazioni random, possono al contrario essere descritti solamente attraverso dei parametri statistici, dato che costituiscono fenomeni vibratorii il cui andamento nel tempo descrive un moto irregolare e del tutto casuale, tale da rendere impossibile la previsione del suo valore istantaneo. Una carriola di sassi che viene svuotata costituisce un tipico esempio di vibrazioni random (figura 3).

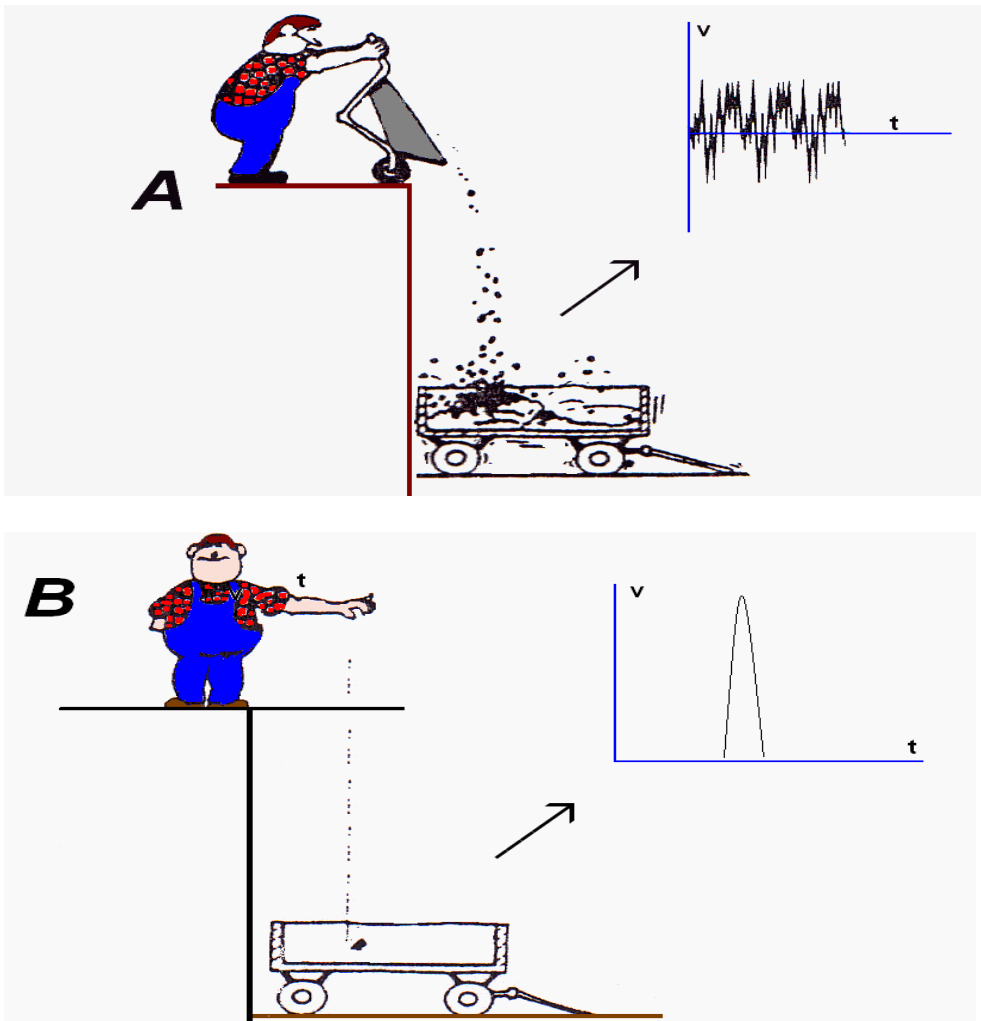


Figura 3: le vibrazioni random sono fenomeni irregolari ed imprevedibili come nel caso della caduta di un carico di sassi (riquadro A). Ai fenomeni non periodici appartengono anche gli shock meccanici, causati da improvvisi rilasci d'energia, come nel caso di un esplosione oppure di un impatto: la loro durata è tipicamente infinitesimale, tendente a zero (riquadro B).

Riconsideriamo ora il sistema meccanico massa-molla, descritto in figura 1 e poniamolo in oscillazione avendo come riferimento un punto x posto sulla massa m . Nel momento in cui il sistema oscilla il punto x si sposta di un certo valore (misurabile in metri, millimetri, oppure micron nel caso di spostamenti di ridottissima ampiezza). Questo spostamento viene compiuto in un certo tempo, da questo consegue che si possa considerare la sua dinamica anche in termini di velocità e d'accelerazione (figura 4). L'accelerazione, come vedremo in seguito, costituisce uno dei parametri cruciali dell'allenamento vibratorio (AV).

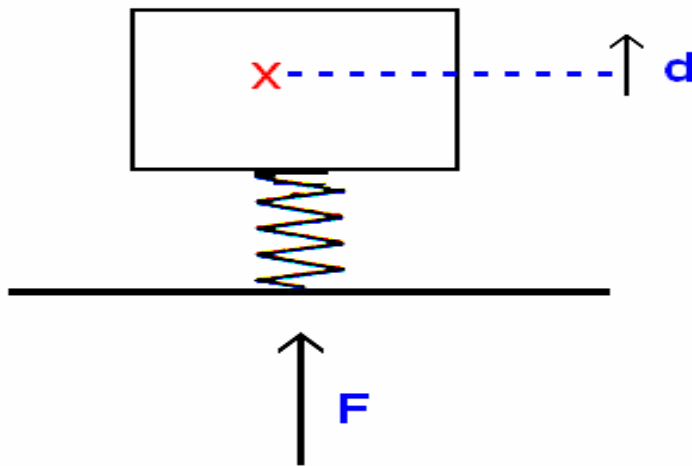


Figura 4: in un sistema in oscillazione sono misurabili, oltre che la frequenza e l'ampiezza dell'oscillazione, i parametri di velocità e d' accelerazione.

L'esposizione alle vibrazioni può avere serie ripercussioni sull'organismo umano ed animale, non a caso esistono delle normative ben precise a questo proposito nell'ambito della medicina del lavoro; tuttavia il punto cruciale concernente la positività o la negatività dell'esposizione alle vibrazioni è costituito dalla loro frequenza ed ampiezza nonché dalla durata dell'esposizione stessa. I risultati degli studi scientifici in proposito, indicano come un periodo d'esposizione ridotto ed una frequenza di vibrazione dell'ordine di 20-30 Hz non solo non comportino alcun effetto negativo a livello organico, ma come, al contrario, possano indurre un positivo adattamento neuromuscolare (Kersch-Schindl e coll., 2001).

Storiografia

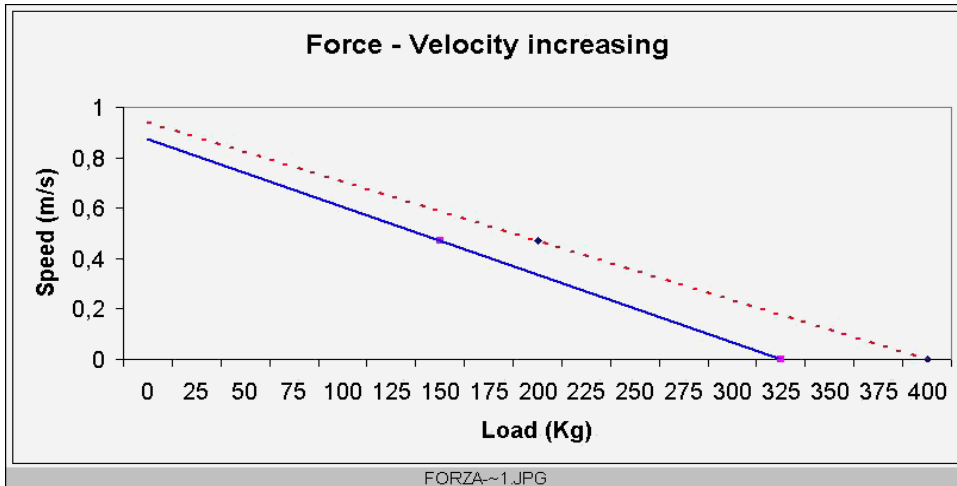
I primi lavori scientifici riguardanti l'utilizzo delle vibrazioni a scopo terapeutico sull'uomo risalgono al 1949, quando Whedon e coll. (1949), riferirono degli effetti positivi ottenuti grazie all'applicazione di vibrazioni generate da uno speciale letto oscillante, sulle anomalie metaboliche di pazienti allettati in immobilizzazione gessata. Un successivo studio sperimentale (Hettinger, 1956), dimostrò come la somministrazione di vibrazioni di frequenza pari a 50 Hz, e generanti un'accelerazione pari a 10 g, fossero in grado di aumentare l'area di sezione muscolare, nonché di diminuire il tessuto adiposo all'interno del muscolo stesso. In campo prettamente terapeutico, quasi quaranta anni più tardi, Schiessl (1997a,b) brevettò l'utilizzo di un macchinario capace di generare oscillazioni di tipo rotazionale, sempre nello stesso periodo Fritton e coll. (1997) misero a punto una macchina basata sulle oscillazioni di tipo traslatorio. In entrambi i casi il campo applicativo di queste apparecchiature era quello di tentare d'ottenere una stimolazione sulla crescita ossea, grazie a delle specifiche frequenze che potremmo definire con il termine di "osteogeniche". Un anno più tardi i lavori sperimentali di Flieger e coll. (1998), dimostrarono come nell'animale sottoposto a vibrazioni si registrasse un incremento nella proliferazione ossea. Solamente alla fine degli anni '80 comparvero i primi studi riguardanti il possibile incremento delle capacità contrattili dei muscoli sottoposti a sollecitazioni di tipo vibratorio (Nazarov e Spivak, 1987), da allora le ricerche in questo specifico campo si sono fatte sempre maggiori ed esaustive.

I cambiamenti fisiologici indotti dall'AV

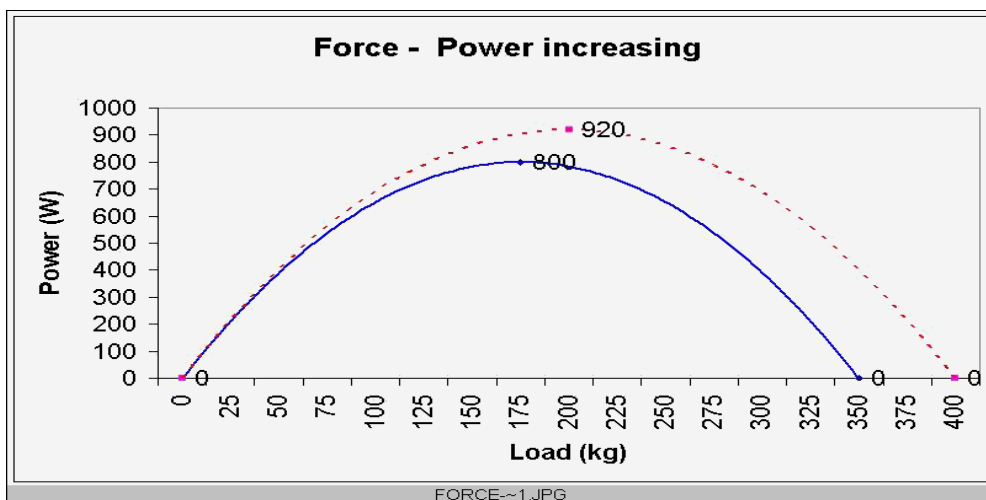
Recentemente molti studi testimoniano di come le vibrazioni inducano delle risposte adattive da parte dell'apparato neuromuscolare umano sia di tipo metabolico che meccanico. Da tempo è nota la correlazione esistente tra la specificità della disciplina sportiva praticata ed il profilo ormonale dell'atleta: atleti praticanti discipline di tipo esplosivo-balistico, come ad esempio gli sprinter, possiedono un'alta concentrazione basale di testosterone (T) (Kraemer e coll., 1995; Bosco e coll., 1996). L'esercizio infatti è in grado d'indurre una significativa risposta ormonale, non solo in termini d'adattamento acuto all'esercizio stesso, ma anche sotto forma di risposta a lungo termine nei confronti di quest'ultimo (Inoue e coll., 1994; Viru, 1994; Kraemer e coll., 1996). Anche l'AV è in grado d'indurre simili risposte ormonali di tipo adattivo, specificatamente una seduta di AV provoca un aumento della concentrazione di T ed ormone somatotropo (GH) contestualmente ad una diminuzione della concentrazione di cortisolo (C) (Bosco e coll., 2000). L'aumento di T e GH è riconducibile all'azione dei metaborecettori muscolari (Kjaer, 1992), mentre la diminuzione del C è probabilmente da imputarsi ad un'insufficiente effetto stimolatorio del comando motorio centrale e del feedback nervoso a livello della muscolatura scheletrica (Knigge e Hays, 1963; Bosco e coll., 2000). Sembrerebbe quindi che l'AV, se opportunamente reiterato, possa indurre degli adattamenti ormonali stabili che testimonierebbero di un altrettanto stabile adattamento, in termini migliorativi, della funzione neuromuscolare (Bosco e coll., 2000).

Un altro effetto provocato dalle vibrazioni meccaniche, applicate al ventre muscolare e/od alla struttura tendinea (10-200 Hz), oppure all'intero corpo (1-30 Hz), è l'attivazione dei recettori dei fusi neuromuscolari (muscle spindle receptors), sia a livello del complesso muscolotendineo direttamente sollecitato, che dei gruppi muscolari adiacenti (Hagbarth e Eklund, 1985; Seidel, 1988). Questo tipo di risposta da parte del muscolo alla sollecitazione vibratoria viene definito con il termine di "riflesso tonico da vibrazione" (RTV) (Hagbarth e Eklund, 1966). E' scientificamente ampiamente documentato il fatto che il RTV induca un aumento della forza contrattile dei gruppi muscolari coinvolti (Hagbarth e Eklund, 1966; Johnston e coll., 1970; Arcangel e coll., 1971; Armstrong e coll., 1987; Matyas e coll., 1986; Samuelson e coll., 1989; Bosco e coll., 2000). Questo aumento della capacità contrattile del gruppo muscolare sottoposto a vibrazioni, si traduce in un evidente spostamento verso destra sia della relazione forza-velocità, che di quella forza-potenza (figura 5), che vengono in tal modo fortemente influenzate positivamente (Bosco e coll., 1999). Questi cambiamenti nella risposta neuromuscolare sono da attribuirsi principalmente all'aumento dell'attività dei centri motori superiori (Milner-Brown e coll., 1975) ed al sostanziale miglioramento dei comandi nervosi che regolano la risposta neuromuscolare (Bosco e coll., 1998). In effetti, il complesso muscolotendineo sottoposto a vibrazione sopporta dei modesti, ma comunque significativi, cambiamenti della propria lunghezza, di tipo ritmico (Kerschman-Shindl e coll., 2001), che fanno sì che l'AV sia sostanzialmente assimilabile ad un cadenzato susseguirsi di contrazioni concentriche ed eccentriche di piccola ampiezza (Rittweger e coll., 2001). Questo particolare comportamento meccanico potrebbe indurre una facilitazione nell'eccitabilità del riflesso spinale (Burke e coll., 1996). A questo proposito, alcuni Autori (Burke e coll., 1976) avanzano l'ipotesi che il RTV operi in modo predominante, se non esclusivo, attraverso gli a motoneuroni e non utilizzi gli stessi patterns corticali efferenti di cui si avvale il movimento volontario. Tuttavia, è anche possibile ipotizzare che il RTV, indotto dalle vibrazioni stesse, induca un aumento del reclutamento delle unità motorie tramite un'attivazione dei fusi neuromuscolari ed i pattern di attivazione polisinfaptici (De Gail e coll., 1966). Contestualmente e coerentemente a questo particolare adattamento neuromuscolare, l'AV provoca una diminuzione del rapporto intercorrente tra segnale mioelettrico di superficie e produzione di potenza, ossia della ratio EMG/P. Un decremento

della ratio EMG/P indica verosimilmente un miglioramento nell'efficienza neuromuscolare (Bosco e coll., 2000). Un ultimo, ma non meno importante parametro fisiologico sul quale le vibrazioni possono influire è costituito dalla circolazione sanguigna, l'AV può infatti determinare una riduzione della viscosità del sangue ed un aumento della velocità media del flusso circolatorio (Kerschan e coll., 2001).



A



B

Figura 5: L' aumento della capacità contrattile dei distretti muscolari sottoposto ad AV, si traduce in un sostanziale ed evidente spostamento verso destra sia della relazione forza-velocità (riquadro A), che di quella forza-potenza (riquadro B), che subiscono in tal modo un forte incremento positivo

Vibrazioni e prestazione

Ad oggi sono numerosi gli studi inerenti i possibili effetti positivi dell'AV sulla prestazione. Bosco e coll. (1998) riferiscono di come un allenamento della durata di 10 giorni costituito dalla somministrazione di vibrazioni sinusoidali ad una frequenza di 26 Hz, in ragione di 5 serie giornaliere della durata di 90 secondi ciascuna, abbia portato ad un significativo incremento della produzione di potenza meccanica durante l'esercitazione di salti continui

della durata di 5 secondi. Runge e coll. (2000) riferiscono di un aumento del 18% della potenza degli arti inferiori in una popolazione anziana sottoposta ad AV con le seguenti modalità: 3 sedute a settimana, 3 serie da 2 minuti alla frequenza di 27 Hz, per una durata complessiva di 12 settimane. Un altro recente studio (Torvinen e coll., 2002) riporta di un significativo aumento della prestazione di salto, pari all'8.5%, dopo 4 mesi di AV condotto su di un gruppo di adulti non-atleti. Delecluse e coll. (2003) registrano, dopo un AV condotto rispettando i seguenti parametri: intensità e durata delle sedute progressiva (inizialmente 3' portati a 20 alla fine del periodo d'allenamento), frequenza compresa tra 35 e 40 Hz, frequenza degli allenamenti trisettimanale, durata totale 12 settimane, un aumento significativo sia della forza isometrica, che di quella dinamica degli arti inferiori pari rispettivamente al 16.6 ed al 9.0 %. Alla luce di questi risultati, appare chiaro come l'AV comporti un adattamento biologico che risulta in ultima analisi essere correlato ad un effetto di potenziamento neurale, simile a quello indotto dall'allenamento di forza e/o di potenza. Recentemente alcuni Autori (Carrol e coll., 2001; Carrol e coll., 2002) hanno avanzato l'ipotesi che l'allenamento di forza possa modificare le connessioni tra le cellule corticospinali ed i motoneuroni spinali. Gli interneuroni dislocati nel midollo spinale ricevono input sia dalle fibre afferenti, che da quelle discendenti, oltre che dalle fibre di altri interneuroni, influenzando a loro volta l'attività dei motoneuroni. L'interazione di questi diversi input determina le modalità di reclutamento delle unità motorie nel corso del movimento. Durante l'AV questo pattern propriocettivo viene fortemente stimolato, l'incremento della forza che si registra dopo un periodo d'allenamento è in parte imputabile, soprattutto nel primo periodo in cui non si è ancora verificato alcun fenomeno ipertrofico, ad un'ottimizzazione di questo meccanismo di feedback propriocettivo (Gandevia, 2001). L'aumento transitorio della forza contrattile e della produzione di potenza da parte del muscolo dopo essere stato sottoposto a vibrazione potrebbe basarsi sugli stessi meccanismi di facilitazione neurale (Delecluse e coll., 2003). Inoltre alcuni studi dimostrerebbero come l'AV possa migliorare la capacità di forza esplosiva grazie ad una maggiore sincronizzazione delle unità motorie implicate movimento, oltre che ad un miglioramento della coordinazione dei muscoli sinergici unito ad un aumento dell'inibizione degli antagonisti (Bosco e coll., 2000). Tuttavia, è corretto ricordare come alcuni Autori riportino come l'effetto di potenziamento del gesto indotto dalle vibrazioni, sia di tipo transitorio e si vanifichi nell'arco di circa 60' dopo la somministrazione delle stesse (Torvinen e coll., 2002; Delecluse e coll., 2003). Questa transitorietà del potenziamento provocato dalle vibrazioni può esser spiegato da due fattori: il primo dei quali è costituito dal fatto che il RTV induce un sostanziale ma temporaneo miglioramento dell'utilizzo del riflesso miotattico da stiramento (Delecluse e coll., 2003) ed il secondo invece basato sull'influenza positiva esercitata dal RTV nel facilitare la produzione di un'alta frequenza di scarico nelle unità motorie ad alta soglia d'attivazione, ossia quelle costituite da fibre di tipo FT (Bongiovanni e coll., 1990). E' comunque importante sottolineare, che al di là di questo particolare aspetto, l'AV effettuato in maniera razionale e sistematica, può indurre positivi e duraturi adattamenti neuromuscolari (Bosco e coll., 1999). Un ulteriore interessante aspetto dell'AV è che attraverso quest'ultimo è possibile effettuare una stimolazione preferenziale delle fibre di tipo FT (Rittweger e coll., 2001). Questa selettività di reclutamento sarebbe dovuta al fatto che il RTV viene trasmesso grazie all'attivazione delle fibre afferenti, le quali sono responsabili, tramite gli a motoneuroni, principalmente dell'attivazione delle fibre muscolari di tipo II (Hagbarth, 1973). In effetti durante l'AV il corpo subisce delle importantissime sollecitazioni accelerative, ad esempio ad una frequenza di 30 Hz con un ampiezza d'oscillazione di 5 mm, si è sottoposti ad un'accelerazione pari a 18 volte l'accelerazione di gravità (Rittweger e coll., 2001), mentre in una classica esercitazione di Drop Jump (salto preceduto da una caduta verso il basso) l'accelerazione sviluppata risulta pari a solamente 5 g. Il fatto di essere sottoposti a forze

accelerative di simile entità può risultare un fattore cruciale nel determinare un incremento della potenza espressa nelle azioni balistiche che, di fatto, sono caratterizzate dalla possibilità, da parte dell'atleta, di poter produrre importantissime forze accelerative (Bosco e coll., 2000). Sempre a questo proposito, al fine di sottolineare il potenziale d'efficacia dell'AV, basti pensare che 10 minuti di AV durante il quale si sia sottoposti ad un accelerazione di 17 g , corrispondono allo stesso carico accelerativo che si svilupperebbe effettuando per 40 sedute d'allenamento 200 drop jumps cadendo dall'altezza di 100 cm (Bosco e coll., 2000). Un ultimo importante aspetto delle vibrazioni è l'effetto miorilassante indotto da queste ultime a particolari frequenze di somministrazione (18-20 Hz) (Rittweger e coll., 2003). Questo particolare aspetto può essere di grande importanza al fine di ottimizzare e/o complementare i programmi di lavoro basati su tecniche di stretching, oppure in protocolli riabilitativi specifici, come nel caso ad esempio del lower back pain (Rittweger e coll., 2003; Rittweger e coll., 2002).

Conclusioni.

L'AV si presenta quindi particolarmente efficace in tre campi applicativi tra loro ben distinti: nell'ambito delle strategie rivolte a particolari patologie geriatriche, come nel caso dell'osteoporosi, e comunque in tutti quei piani riabilitativi e non atti al miglioramento della qualità di vita, intesa in termini di livello di funzionalità articolare, muscolare e neuromuscolare, del soggetto d'interesse geriatrico.

Nel campo dell'allenamento sportivo, soprattutto quando quest'ultimo sia rivolto all'incremento dei livelli di forza esplosiva, rivelandosi di fatto un'ottima metodica alternativa e/o complementare all'allenamento di forza classico (Delecluse e coll., 2003).

Come parte integrante di tutti i programmi in cui si ricerchi la massima estensibilità artomuscolare nonché nei piani di lavoro rivolti a patologie algiche di carattere cronico che possano trarre beneficio da un incremento della compliance muscolo-tendinea (Rittweger e coll., 2002).

<ul style="list-style-type: none">✓ Nei piani di lavoro rivolti al miglioramento della funzionalità osteo-muscolo-articolare del paziente d'interesse geriatrico✓ Quale terapia fisica d'elezione nel paziente osteoporotico✓ Nell'atleta come metodo alternativo e/o complementare nei piani d'allenamento rivolti all'incremento delle caratteristiche di forza esplosiva.✓ Come terapia antalgica nel chronic lower back pain✓ Come complemento nei piani riabilitativi e di lavoro in cui si richieda un'ottimizzazione delle tecniche atte ad ottenere un miglioramento dell'estensibilità del complesso muscolo-tendineo

Tabella 1: sintesi dei possibili campi applicativi dell'allenamento vibratorio