
L'APPLICAZIONE DELLE VIBRAZIONI SUL CORPO UMANO

Informazioni scientifiche

INDICE

Introduzione	4
1. Cosa è la vibrazione	5
2. Neurofisiologia della percezione vibratoria: i recettori del corpo umano	7
3. Classificazione delle vibrazioni	9
3.1. Differenza tra vibrazioni e elettrostimolazione	9
4. La Vibrazione Meccanica come forma di stimolazione Proprioceettiva	10
5. Evoluzione negli studi sulle vibrazioni meccaniche applicate al corpo umano	13
5.1. FV: Il Percorso scientifico	15
5.1.1. La vibrazione meccanica focale (FV) ed i recettori nervosi muscolotendinei	16
5.2. MFV: Struttura ideata per creare effetti positivi indotti da più vibrazioni meccaniche focali	18
6 Un nuovo protocollo di applicazione della vibrazione al corpo umano: ripetitive Muscle Vibration (rMV)	19
6.1 Il primo studio su soggetti sani circa le potenzialità della rMV: Azione della rMV sul controllo della rigidità articolare	20
6.2 I correlati neurofisiologici	21



7	Effetti positivi delle vibrazioni sul corpo umano	24
7.1	Effetti sul sistema ormonale	25
7.2	Effetti sul sistema muscolo scheletrico	26
7.3	Effetti sul tessuto osseo	27
7.4	Effetti sugli anziani	30
7.5	Effetti sull'obesità ed osteoporosi	32
7.6	Effetti nella terapia del dolore	32
7.7	Effetti sulla circolazione sanguinea	33
8	Ricerca ed applicazione della vibrazione meccanica da parte delle Università italiane: Relazione del Congresso del 13 dicembre 2008 apparsa su "Paginemediche.it"- Semplici vibrazioni meccaniche ripetute incrementano le funzioni del cervello, migliorando il controllo muscolo articolare.	35
	Bibliografia	38



INTRODUZIONE

Nell'universo tutto vibra. Anche l'essere umano è interessato da questa realtà, che si manifesta fuori e dentro di lui. La vibrazione è una forza vitale. Per quanto riguarda l'uomo, la vibrazione si deve suddividere in due aree fondamentali: la vibrazione benefica e la vibrazione nociva.

Nella infinita gamma delle vibrazioni, la percezione dell'uomo si colloca in una fascia che va dalla Esterocezione, attraverso le frequenze della sensorialità (i cinque sensi), alla Propriocezione, attraverso le frequenze di risonanza delle proprie cellule e dei propri organi. Le sollecitazioni della vita e le vibrazioni che da esse derivano influenzano in modo tangibile lo stato del benessere e della salute. Fra quelle negative possiamo considerare ad esempio lo stress (introcezione) e il rumore (esterocezione).

Fin dai tempi antichi è conosciuto il valore della terapia vibrazionale. Essa è stata applicata attraverso i suoni, i battimenti di oggetti sul corpo e gli effetti visivi attraverso i colori.

Nell'ultimo decennio la scienza, attraverso la ricerca, è riuscita a dare un volto di approccio terapeutico alla vibrazione meccanica con grandi riscontri positivi per la salute dell'uomo. La vibrazione meccanica ha aperto le porte alla vera terapia globale sull'essere umano.



Capitolo 1

COSA È LA VIBRAZIONE

Il termine “vibrazione” descrive un movimento di tipo oscillatorio intorno ad una posizione di riferimento, ad intervalli regolari.

Il numero di cicli completi compiuti durante l’unità di tempo, ossia il secondo, prende il nome di frequenza. La frequenza viene misurata in Hertz (Hz). L’Hertz definisce quante oscillazioni (vibrazioni) avvengono in un secondo. Ciò che ci riguarda è la vibrazione meccanica.

L’espressione “vibrazione meccanica” si riferisce in particolare ad un’oscillazione meccanica attorno ad un punto di equilibrio. È anche opportuno affermare con chiarezza che dizioni di recente introduzione, come **“energia vibratoria”, non hanno alcun significato scientifico.**

L’oscillazione è il movimento che un punto mobile compie per allontanarsi e ritornare alla posizione di partenza: infatti, spesso si parla anche di piccoli moti intorno alla posizione di equilibrio. Il moto oscillatorio può compiersi in modo periodico o alternativo.



Se si osserva un oggetto durante il moto vibratorio (figura sopra), si possono osservare dei movimenti periodici; il tempo che intercorre tra due passaggi di un punto per la posizione di riferimento (posizione di equilibrio o di partenza) è detto periodo (o ciclo) [s].

La grandezza delle oscillazioni prende nome di ampiezza. Il numero di oscillazioni nell’unità di tempo costituisce la frequenza.

Quotidianamente il corpo umano è sottoposto, consapevolmente e non, a vibrazioni di differente tipologia, da quelle prodotte da un automobile o da un treno a quelle generate da macchine industriali o da utensili come martelli pneumatici, trapani, etc..

Le vibrazioni a bassa, media ed alta frequenza possono avere effetti sia positivi, sia negativi sull’organismo. L’esposizione alle vibrazioni, infatti, può avere serie ripercussioni

sul corpo umano, a seconda del tipo di oscillazione e della durata d'esposizione a cui l'organismo è sottoposto. **Fondamentale è l'ampiezza della superficie di contatto con l'oggetto che vibra, la frequenza della vibrazione, l'ampiezza (potenza d'onda trasmessa), il tempo di esposizione e la direzione di propagazione della stessa.**

Gli effetti negativi sono connessi alle onde d'energia trasferite dalla sorgente vibrante al corpo soggetto all'esposizione: queste infatti provocano diversi effetti su tessuti e organi prima di essere attenuate.

Il corpo umano, come qualsiasi altra macchina, può tollerare solo certi livelli d'energia (onde d'urto) di vibrazione, oltre ai quali, come conseguenza, inizia a deteriorarsi e a soffrire a causa dei danni di lungo termine.

Il corpo umano non vibra come una massa unica con una frequenza naturale, ma gli organi e ogni singolo segmento del corpo umano hanno la propria frequenza di risonanza. Questo provoca un'amplificazione o una attenuazione delle vibrazioni di input da parte di ogni zona del corpo, secondo la propria frequenza di risonanza.

La propagazione dei suoni e dei rumori trasmette energia sotto forma di onde di pressione nell'aria: nel caso delle vibrazioni, l'energia compare sotto forma di onde che si propagano in una struttura solida. Un corpo vibra quando descrive un movimento oscillatorio attorno ad una posizione di equilibrio statico.

L'esposizione del sistema mano-braccio alle vibrazioni, ad esempio, è correlata all'incremento del rischio di insorgenza di lesioni vascolari, neurologiche e muscolo-scheletriche a carico del sistema mano-braccio stesso (es. martello pneumatico).



Capitolo 2

NEUROFISIOLOGIA DELLA PERCEZIONE VIBRATORIA: I RECETTORI DEL CORPO UMANO

La percezione vibratoria costituisce di fatto una sensibilità di tipo meccanico e, per questo motivo, coinvolge delle strutture recettoriali sensibili allo stimolo meccanico, ossia i meccanorecettori (Mouncastle e Rose, 1959 ¹). **I meccanorecettori sono microstrutture con varie funzioni atte a ricevere segnali di tipo vibratorio, provenienti da diverse parti del corpo.**

Da un punto di vista anatomico-strutturale, i meccanorecettori sono provvisti sia di fibre mielinizzate di diverso calibro, che di fibre amieliniche, e si ritrovano in diversi tipi di tessuto, come **la cute, il tessuto muscolare, il periostio, le capsule ed i legamenti articolari**. Nello specifico, **i meccanorecettori muscolari, prendono parte ai fenomeni di risposta riflessa conseguenti allo stiramento dell'unità muscolo-tendinea.**

Questi tipi di meccanorecettori, costituiscono delle strutture altamente specializzate e vengono definiti con il termine di "terminazioni anulo-spirali" dei fusi neuromuscolari. Da un punto di vista funzionale sono connessi a fibre mielinizzate appartenenti al gruppo Ia di Lloyd; queste ultime mostrano una velocità di conduzione elevata che si aggira attorno ai 100 m/s⁻¹ e rispondono selettivamente a stimoli di tipo vibratorio con frequenze da 90 a 150 Hz (Hagbarth, 1973 ²).

Inoltre, **a livello cutaneo, nell'uomo sono identificabili**, mediante tecnica microneurografica, altri **quattro tipi di meccanorecettori**, che possono essere classificati in base all'adattamento ed alle dimensioni del campo recettoriale (Johansson e Valbo, 1983 ³). Tuttavia, **non tutti i quattro tipi di recettori identificati si dimostrano sensibili alla percezione vibratoria**, ed anche quelli che tra questi mostrano di essere recettivi nei confronti dello stimolo vibratorio, **fanno registrare delle differenze nella risposta dettate dalla frequenza dello stimolo vibratorio stesso** (Mountcastle e coll.,1969 ⁴).

Mountcastle e coll. (1969), in seguito a studi effettuati sull'animale, hanno classificato le unità recettoriali deputate alla **ricezione sensitiva dello stimolo tremore-vibrazione** in tre classi, che sono tra loro distinte in base al tipo di terminazione nervosa, all'area del campo d'azione recettoriale, alla proprietà adattive ed alla sensibilità dinamica.

Le tre classi di meccanorecettori così individuati sono:



- **I meccanorecettori ad adattamento rapido**, che risultano essere sensibili al movimento. Sono essenzialmente ritrovabili **a livello del derma** e corrispondono ai **corpuscoli di Meissner**, altrimenti denominati FA-1 (Fast Adaptation-1).
- **I meccanorecettori ad adattamento lento**, sempre **localizzati nel derma**, corrispondono ai **dischi di Merkel** o SA-1 (Slow Adaptation-1). Mostrano recettività sia nei confronti del movimento, sia nei confronti dell'intensità dello stimolo meccanico a cui sono sottoposti.
- **I corpuscoli del Pacini** o FA-2 (Fast Adaptation-2), localizzati **nel tessuto sottocutaneo**.

Studi condotti da Cosh⁵ (1953), sulla soglia percettiva vibratoria, prima e dopo anestesia cutanea, dimostrarono che la soglia recettoriale per la sensibilità vibratoria, si trova **a livello sottocutaneo**. Per questo motivo, **i corpuscoli del Pacini**, possono essere considerati a tutti gli effetti **come i meccanorecettori maggiormente coinvolti nella percezione vibratoria**. A conferma di quest'ipotesi, occorre sottolineare come nell'individuo anziano si verifichi un'elevazione della soglia di percezione vibratoria concomitante ad una perdita dei corpuscoli del Pacini (Cauna e Mannan, 1958⁶).

Per quello che riguarda i meccanorecettori situati **a livello del derma**, quelli che ricoprono il ruolo **maggiormente rilevante nell'ambito della percezione vibratoria** sono i **corpuscoli di Meissner**, che però mostrano un'attivazione di tipo selettivo per gli stimoli **vibratori di bassa frequenza**, di valore compreso tra i **5 ed i 40 Hz** (La Motte e Mountcastle, 1975⁷). A questo proposito, occorre ricordare che **la sensazione psicofisica a livello liminare percepisce le vibrazioni di bassa frequenza, attorno ad un valore di 40 Hz, come una sensazione di tremore**, altrimenti definita con il termine "**flutter**" (Talbot e coll., 1969⁸). Al contrario, **per le vibrazioni di frequenza maggiormente elevata**, dell'ordine di circa **100 Hz**, viene percepito un **sensazione di vibrazione vero e proprio**. Per questo motivo, si può ragionevolmente addebitare la percezione dell'effetto **flutter (fluttuazione)** ai corpuscoli di Meissner, la cui ricezione ottimale si trova appunto nel range compreso tra i 5 ed i 40 Hz, mentre la percezione dello stimolo vibratorio, sarebbe da addebitarsi essenzialmente ai corpuscoli del Pacini, che mostrano una frequenza vibratoria ottimale attorno ai 100 Hz, anche se, in verità, il loro range recettoriale spazia dai 90 ai 600 Hz (Loewenstein e Skalak, 1966⁹).



Capitolo 3

CLASSIFICAZIONE DELLE VIBRAZIONI

Le vibrazioni possono essere classificate in funzione di diversi parametri.

Oltre che dalla frequenza, le vibrazioni sono caratterizzate anche da altri parametri, anche se meno determinanti, strettamente connessi tra loro, quali l'ampiezza, la velocità e l'accelerazione.

L'accelerazione è un parametro importante per la valutazione della risposta corporea alle vibrazioni, in quanto l'uomo avverte più la variazione di uno stimolo che non il suo perdurare.

Per poter ottenere il massimo dell'effetto benefico, bisogna considerare la durata dell'esposizione, l'area in cui viene somministrata la vibrazione, la frequenza di risonanza emessa, il fattore ergonomico (la posizione posturale), la condizione psicologica e i fattori ambientali.

Bisogna quindi considerare il punto di applicazione della vibrazione. Per questo motivo le vibrazioni possono essere distinte in:

- vibrazioni trasmesse da una sola sorgente al corpo intero;
- vibrazioni con più sorgenti e che coinvolgono il corpo intero.

3.1 DIFFERENZA TRA ELETTROSTIMOLAZIONI E VIBRAZIONE

L'elettrostimolazione sembra essere proficua nel post-traumatico, nel post-operatorio o come massaggio per riattivare la funzionalità iniziale oppure per l'utilizzo delle correnti analgesiche tipo TENS.

Non si parla di vantaggi legati alla prestazione e alla corretta funzionalità biomeccanica.

A differenza della vibrazione, la risposta muscolare della stimolazione elettrica è circoscritta. Inoltre non prevede la stimolazione dei sistemi propriocettivi presenti in muscoli, tendini e articolazioni, in quanto la stimolazione elettrica non esercita, come la meccanica, effetti sui meccanorecettori di Pacini e di Meissner.

Mentre con la vibrazione meccanica si attiva l'intero apparato muscolare attraverso il sistema propriocettivo, l'elettrostimolatore ottiene solo la contrazione dei muscoli agonisti, con conseguente assenza di stimolo del sistema propriocettivo a danno delle importanti funzioni della coordinazione intermuscolare.

Capitolo 4

LA VIBRAZIONE MECCANICA COME FORMA DI STIMOLAZIONE PROPRIOCETTIVA

Il fisiologo russo Pavlov dimostrò nel 1927 che l'opportuna associazione di due adeguati stimoli poteva modificare alcune funzioni motorie e/o comportamentali del gatto (paradigmi di condizionamento neuronale associativo, per l'associazione temporale di due stimoli). Successivamente tale fenomeno è stato definito a livello cellulare e si venne a parlare di **Long Term Potentiation (LTP)**, ovvero di un **potenziamento a lungo termine (mesi) di selezionate reti nervose**.

Ogni anno alcune centinaia di pubblicazioni scientifiche mostrano una molteplicità di metodiche per indurre fenomeni di LTP in reti neuronali. **Gli effetti dei condizionamenti associativi si caratterizzano per una persistenza di settimane o mesi a fronte di minuti od ore di condizionamento**, grande ampiezza degli effetti e meccanismi del tutto fisiologici in quanto queste procedure possono solo attivare meccanismi fisiologici. Dato questo corpus di lavori è apparso possibile indurre una **forma di LTP nella rete propriocettiva, migliorando così rapidamente e a lungo termine la performance muscolare, utilizzando una procedura molto semplice e del tutto non invasiva**.

Negli ultimi 10 anni alcuni gruppi di ricerca, afferenti a **diversi istituti universitari** (*Dipartimento di Scienze dell' Apparato Locomotore e Scuola di Medicina dello Sport Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Cattedra di Medicina Fisica e Riabilitazione. Dipartimento Medicina Interna, Sez. Fisiologia Umana e Dipartimento di Specialità Medico Chirurgiche sez.Ortopedia, Università degli Studi di Perugia, Istituto di Fisiologia Umana Università Cattolica Roma, Dipartimento di Scienze e Società, Facoltà di Scienze Motorie Università di Cassino*) hanno cercato di individuare uno stimolo meccanico vibratorio in grado in primo luogo di non provocare alcun danno, in secondo luogo di avere effetti terapeutici **agendo sulla rete di controllo propriocettiva**.

Ciò ha portato a sviluppare una ricerca circa l'impiego di sequenze di microstimoli meccanici, percepiti come vibrazione dal paziente, ma in realtà costituenti **un vero codice leggibile dal Sistema Nervoso Centrale ed in grado di potenziarne marcatamente alcune selezionate funzioni motorie**. Si è accertato che questa procedura, molto semplice e del tutto non invasiva, **induce una forma di LTP nella rete propriocettiva, migliorando rapidamente e a lungo termine la performance muscolare**.

Lavori molto recenti convergono su due aspetti: la vibrazione meccanica per avere effetti persistenti deve durare un tempo adeguato (10-15 minuti). Per quanto riguarda l'aumento

del tono muscolare dei muscoli gravitari, la vibrazione meccanica deve avere una frequenza¹⁰ cui il sistema circuitale propriocettivo appare particolarmente sensibile (90-120 hz), e deve essere somministrata a muscoli rilassati. Inoltre, per il potenziamento dei muscoli scheletrici, oltre al segnale prodotto dalla stimolazione meccanica vibratoria occorre avere la partecipazione del paziente attraverso la contrattura dei muscoli bersaglio. Lo stimolo meccanico è quindi associato alla contemporanea contrazione volontaria del muscolo stimolato: in tal modo sulla rete di controllo del muscolo giungono 2 stimoli contemporanei, uno indotto dal paziente, il secondo dato dalla vibrazione.

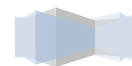
L'applicazione ideale si sviluppa in 3 trattamenti di 10 minuti al giorno per 3 giorni consecutivi. Ogni seduta deve essere separata da 3 a 10 minuti di rilasciamento muscolare e sospensione dello stimolo vibratorio (il ciclo di 3 sedute può essere svolto in un tempo di 45 minuti al giorno per 3 giorni consecutivi). I risultati di queste ricerche sono stati presentati in sedi congressuali¹¹.

Gli effetti unilaterali sui soggetti sani, la rapidità di manifestazione degli effetti (24 ore) nei pazienti ortopedici suggeriscono un'azione diretta del trattamento sul sistema nervoso centrale. Inoltre il recupero di stabilità su una gamba sola ad occhi chiusi nei pazienti con ricostruzione dell'ACL (legamento crociato anteriore) consente di desumere che il **trattamento eseguito abbia avere modificato l'analisi dell'informazione propriocettiva. La persistenza degli effetti infine suggerisce l'effettiva induzione di modifiche plastiche della circuitazione propriocettiva.** Non sono mai stati osservati effetti collaterali.

Si tratta di una strada completamente nuova che mira a "riprogrammare" (quasi una sorta di "up grade" informatico) **le reti nervose di controllo muscolare.** Tale nuova frontiera del training (sportivo, ma anche riabilitativo) si basa su un principio fondamentale: **la performance muscolare non è dovuta alla massa muscolare disponibile, ma a come viene gestita.**

Un esempio macroscopico è offerto dagli sprinters: Mennea e i suoi contemporanei avevano masse muscolari minori di oltre il 50% rispetto agli sprinters di oggi, ma i loro tempi sono stati ben difficili da battere. Erano macchine muscolari di gran lunga più efficienti di quelle attuali. La ragione è nota da tempo alla neurofisiologia: il loro sistema nervoso era in grado di gestire la muscolatura in modo ottimale, i loro allenamenti puntavano alla fluidità del rendimento così da conseguire la massima efficacia.

Oggi, purtroppo aiutati dalla chimica, per avere più potenza si cerca la massa contrattile, ma il rendimento diventa sempre meno efficace.



Poiché dunque l'efficacia dipende di gran lunga più dal controllo della massa muscolare che non dal suo volume, è fondamentale incrementare questa funzione.

Esistono tecniche, basate sull'elaborazione di sequenze di segnali a vibrazione meccanica, atte ad ottenere forme di Long Term Potentiation (LTP) su specifiche funzioni nervose. Grazie a queste tecniche è possibile agire direttamente sul controllo neuromuscolare con effetti straordinariamente potenti (incrementi di varie decine di punti percentuali), rapidi (con applicazioni di pochi minuti ripetuti in brevi periodi) e persistenti (settimane o mesi).

È notevole che questo nuovo sistema non solo produca effetti del tutto impressionanti nella dimensione, ma si configuri come una metodica in antitesi al doping. Quest'ultimo infatti spinge il soggetto oltre le sue possibilità e lo porta a spendere in termini energetici ben più di quanto l'organismo sia disposto a fare. Potenziare il controllo motorio significa invece ottimizzare il gesto atletico, consentendo un risparmio energetico in ogni movimento, e dunque consentendo un maggior numero di movimenti a parità di spesa energetica.

Il migliore controllo consente di concentrare ed esprimere la forza esplosiva pur non aumentandola: aumentano le performance grazie ad una migliore gestione muscolare.



Capitolo 5

EVOLUZIONE NEGLI STUDI SULLE VIBRAZIONI MECCANICHE APPLICATE AL CORPO UMANO

Ciclicamente, nel mondo scientifico, si risveglia l'interesse per possibili applicazioni terapeutiche o sportive della vibrazione meccanica e queste ricerche, negli anni, hanno dato luogo ad una letteratura imponente.

I **primi lavori scientifici** riguardanti l'utilizzo delle vibrazioni a scopo terapeutico sull'uomo (il così detto esercizio terapeutico vibratorio) **risalgono al 1949**, quando **Whedon e coll.**, 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 con 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 (1997); 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 (tecnica poi abbandonata per i suoi scarsi risultati). In entrambi i casi il campo applicativo di queste apparecchiature era quello di tentare di ottenere una **stimolazione della 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.**

Dal 1994 ad oggi il Prof. C. Rubin ha focalizzato i suoi studi nella comprensione dei meccanismi cellulari responsabili della crescita, della **guarigione e dell'omeostasi dell'osso** e in particolare, nell'analizzare in quale maniera stimoli biofisici (meccanici ed altri), mediano tali risposte¹². I risultati ottenuti dai suoi lavori mostrano come questi stimoli inducano **un'inibizione dell'osteopenia**, la promozione della ricrescita ossea all'interno di protesi o in difetti scheletrici, e anche una **guarigione più rapida delle fratture.**

Tuttavia sino al 1987 tutti gli studi riferiti alle vibrazioni meccaniche erano rivolti agli effetti sull'apparato scheletrico, quindi la cura dell'osteoporosi, recupero dei traumi,



decalcificazione ossea, degenerazione ossea, e diminuzione della calcificazione negli astronauti. Solamente alla fine degli anni '80 comparvero i primi studi sulla possibilità di **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, e i benefici delle vibrazioni controllate cominciarono ad essere analizzati anche dal punto di vista muscolare.

I russi Nazarov e Spirav lavoravano per il governo Russo e i loro studi sulle vibrazioni vennero impiegati a supporto delle attività ginniche degli astronauti nello spazio. Nei primi anni '90, gli americani riuscivano a stare nello spazio non oltre i 120 giorni ed avevano sempre gravissimi problemi muscolari ed ossei, mentre gli astronauti russi riuscirono a stracciare record su record facendo stazionare nello spazio, sulla stazione orbitante MIR due astronauti per ben 450 giorni.

Da allora le ricerche in questo specifico campo si sono fatte più dettagliate grazie soprattutto agli studi condotti dal **Prof. Carmelo Bosco, uno dei massimi esponenti dello studio della risposta del corpo umano alle vibrazioni meccaniche**. Egli elaborò un metodo di allenamento (AV - Allenamento Vibratorio) in grado di migliorare la potenza, la resistenza e la velocità del soggetto in esame, mediante l'esecuzione di semplici esercizi su una pedana vibrante a determinate frequenze, permettendo inoltre di curare anziani e infortunati, senza dover ricorrere a spiacevoli terapie di rieducazione ¹³.

Nel 2007 è apparso sulla rivista "New athletic Research in Science Sport" (Bisciotti, 2007) un lavoro coordinato dalla Facoltà di Scienze dello Sport dell'Università di Lione (Francia) e dalla Scuola Universitaria Interfacoltà in Scienze Motorie di Torino. ¹⁴ L'articolo dice:

"Gli effetti della somministrazione controllata di vibrazioni sul corpo umano sono noti sin dal 1949, data del primo lavoro scientifico in quest'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. Un ulteriore, anche se non molto conosciuto, ambito terapeutico delle vibrazioni, è costituito dalla riabilitazione funzionale. Lo scopo di questo lavoro è quello di illustrare i principi neurofisiologici del lavoro vibratorio."

Oggi possiamo **definire due forme** in cui le vibrazioni meccaniche possono giungere in relazione al nostro corpo:



1. La prima è in grado di stimolare potentemente e selettivamente alcuni tipi di recettori nervosi implicati nel controllo motorio. È quindi limitata a singoli muscoli o piccoli gruppi di muscoli adiacenti e viene così definita **Focal Vibration (FV)**;
2. La seconda forma interessa l'intero corpo. Viene applicata con postura in completo scarico funzionale, con articolazioni in decoaptazione. È somministrata in punti precisi, con frequenze mirate. Questa applicazione, a irradiazione limitato e in punti simmetrici, non determina la generazione e la propagazione di basse frequenze armoniche, dannose per le strutture del corpo umano, ma interessa esclusivamente la stimolazione dei meccanorecettori cutanei. Questa forma viene definita **Multi Focal Vibration (Keope MFV)**.

5.1 FOCAL VIBRATION (FV): IL PERCORSO SCIENTIFICO

La FV consente un utilizzo molto preciso dello stimolo vibrazionale. È largamente utilizzata nella ricerca per attivare il sistema propriocettivo di singoli muscoli od articolazioni. Si è tentato a lungo di utilizzarla a scopi terapeutici, essendo ben nota la sua azione sui fusi neuromuscolari¹⁵.

Mentre la pedana vibrante ha una diffusione massiva lungo il corpo, determinata da un'unica sorgente posta in zona plantare, la FV e la MFV, restando confinate a piccoli distretti, impediscono il fenomeno tipico della propagazione di segnali meccanici attraverso strutture disomogenee come i tessuti biologici (adipe, cute, muscoli, ossa, cartilagini, connettivi, ecc.), ossia la distorsione del segnale applicato. Con la FV, e così anche con la MFV, si conosce quale segnale viene applicato, quali terminazioni nervose si stimolano e quale segnale giunge ai centri.

In anni recenti si sono individuati alcuni parametri della FV in grado di modificare in modo persistente il controllo motorio. In particolare la ricerca ha evidenziato **3 aspetti rilevanti**:

1. come già ampiamente documentato da molti autori¹⁶, la frequenza della vibrazione deve essere un segnale "puro", costituito da un'unica armonica, ovvero da un'unica frequenza, in grado di dare luogo ad un fenomeno di "driving";
2. gli effetti persistono solo se si applicata una frequenza pura, compresa tra 90 e 120 Hz ¹⁷ (per quanto riguarda lo stimolo del tono muscolare);
3. gli effetti persistono se la stimolazione viene protratta per almeno 10 minuti ¹⁸. Inoltre la FV e la MFV sono in grado di modificare l'eccitabilità corticale dell'area motrice primaria, sia durante la vibrazione, sia dopo la fine della vibrazione ¹⁹. Alcuni gruppi di ricerca hanno quindi affrontato il problema in modo sistematico,

così da definire un protocollo applicativo in grado di ottenere risultati ripetibili e quindi valutabili nei meccanismi sottesi^{20 21 22 23}.

5.1.1 LA VIBRAZIONE MECCANICA FOCALE (FV) ED I RECETTORI NERVOSI MUSCOLOTENDINEI

Muscoli e tendini possiedono due tipi di recettori nervosi innervati da fibre di medio e grande calibro, quindi con velocità di conduzione elevata, i fusi neuromuscolari e gli organi tendinei di Golgi (GTO, Golgian Tendon Organ).

I primi mediante fibre sensitive convenzionalmente chiamate Ia (primarie, con velocità di conduzione compresa tra 72 e 120 m/s) e II (secondarie con velocità di conduzione compresa tra 24 e 72 m/s) avrebbero la funzione di controllare velocità ed estensione dell'allungamento o accorciamento delle fibre muscolari²⁴.

I secondi, le cui fibre nervose sono denominate Ib (con velocità di conduzione compresa tra 72 e 120 m/s), sono considerati essere destinati a rilevare le tensioni sviluppate da singole unità motrici²⁵.

Nel 1963 il Prof. R. Bianconi, primo docente di Fisiologia Umana dell'Università Cattolica di Roma, dimostrò come la vibrazione meccanica, applicata ad un singolo muscolo, ad opportune ampiezze e frequenze, fosse in grado di attivare selettivamente e in modo differenziato afferenze fusali primarie (Ia) e secondarie (Iib) o GTO, a seconda delle caratteristiche dello stimolo.

Inoltre, non solo venne dimostrata la possibilità di attivare in modo del tutto non invasivo classi selezionate di recettori, ma si evidenziò un altro aspetto di straordinaria importanza per la ricerca: **per determinate caratteristiche di frequenza ed ampiezza della vibrazione applicata, questi recettori generano frequenze di potenziali d'azione fedeli alla frequenza di vibrazione applicata, guidando (fenomeno del "driving") le afferenze attivate ad una frequenza di scarica identica a quella di stimolazione**^{26 27}.

Il "driving" consente di guidare un'AFFERENZA FUSALE PRIMARIA a frequenze di 20 o 30 o 100 Hz, applicando vibrazioni a frequenza di 20 o 30 o 100 Hz, senza dover usare stimoli elettrici o dover isolare chirurgicamente fibre nervose, ma semplicemente applicando una vibrazione meccanica su un singolo muscolo.

Con opportune frequenze ed ampiezza di vibrazione è possibile sia selezionare le afferenze attivate, sia determinare la frequenza di potenziali d'azione inviata al Sistema Nervoso Centrale.



Per la prima volta si potevano inviare a specifici centri del Sistema Nervoso Centrale (quelli che lavorano utilizzando le informazioni dai fusi e dai GTO) frequenze di potenziali d'azioni predefinite, scegliendo opportunamente i parametri della vibrazione, seguendo, al tempo stesso, modalità di attivazione non invasive e vie afferenti fisiologiche. Si trattava di un radicale cambiamento delle modalità di stimolazione di vie sensitive rispetto a quelle realizzate, mediante stimolazione bio-elettrica, su interi tronchi nervosi od anche su singole fibre: situazioni queste altamente non fisiologiche ed aspecifiche.



5.2 MULTI FOCAL VIBRATION (KEOPE MFV)

STRUTTURA IDEATA PER CREARE EFFETTI POSITIVI INDOTTI DA PIÙ VIBRAZIONI MECCANICHE FOCALI

Dall'anno 1991 il Centro di Ricerca sul Comportamento Umano (Centro A.M. di Sirtori - LC) ha iniziato e successivamente concluso un lavoro sulla costruzione di una struttura ergonomica ideale per l'applicazione di vibrazioni sul corpo umano.

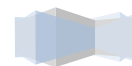
Il corpo umano può essere considerato come un sistema ad n gradi di libertà, non vibra come una massa unica con una sola frequenza naturale, ma ogni massa, ovvero ogni sua parte ha una propria e specifica frequenza di risonanza, e pertanto **l'applicazione delle vibrazioni non può essere effettuata partendo da un unico punto del corpo e propagandone poi gli effetti sul resto del corpo**. Ciò non solo non produce i risultati desiderati, ma genera effetti negativi sull'intero organismo.

L'optimum si ottiene localizzando le vibrazioni in specifiche aree corporee, in modo ben preciso, così da focalizzare l'effetto della vibrazione nella zona desiderata, dove è quindi necessario applicare le vibrazioni, evitando inutili dispersioni. Come spiegato nel capitolo precedente, è proprio questo l'elemento centrale alla base dell'applicazione focale.

In anni recenti il Centro AM individua una **nuova modalità** di applicazione della vibrazione sul corpo umano: Multi Focal Vibration, che opera attraverso la **vibrazione meccanica a frequenze mirate**, applicata su **aree del corpo specifiche**, corrispondenti a precise inserzioni delle catene muscolari; **aree che coinvolgono l'intero apparato muscolo scheletrico**.

Ciò è stato possibile grazie ad una precedente invenzione: Keope, l'unica struttura ergonomica essenziale che consente al corpo umano di assumere una **postura in completo scarico funzionale**. Tale struttura riduce al minimo il contatto con il corpo, eliminando così compressioni inutili e migliorando la circolazione ematica, la ventilazione polmonare e riducendo il lavoro cardiaco. Inoltre questa struttura permette **l'applicazione delle vibrazioni in decoaptazione vertebrale e delle grosse articolazioni**.

L'azione di alcuni micro vibratori in zone specifiche con frequenze mirate consente di massimizzare i benefici effetti della vibrazione dimostrati dalle molteplici ricerche scientifiche degli ultimi anni.



Capitolo 6

UN PROTOCOLLO DI APPLICAZIONE DELLA VIBRAZIONE AL CORPO UMANO

Come abbiamo evidenziato nei capitoli precedenti, da più di 40 anni è noto che la vibrazione meccanica localizzata a singoli muscoli è in grado di attivare potentemente i propriocettori muscolotendinei. Trattandosi di uno stimolo del tutto non doloroso e non invasivo, durante tali anni si è lungamente tentato di utilizzare tale procedura per migliorare il controllo motorio. Tuttavia, i miglioramenti, quando presenti, risultavano svanire pochi istanti dopo il termine della vibrazione.

Recentemente sono stati individuati parametri di vibrazione e un protocollo applicativo in grado di indurre modifiche plastiche, e dunque persistenti, del controllo motorio. Questi risultati aprono nuovi ed inediti spazi alla riabilitazione, in quanto il controllo della rigidità articolare sfugge in larghissima parte alla nostra coscienza, e ciò costituisce un grave ostacolo al lavoro del fisioterapista.

L'Istituto di Fisiologia Umana, l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, l'Istituto di Medicina Fisica e Riabilitazione Università La Sapienza di Roma hanno svolto una serie di esperimenti.

I risultati hanno evidenziato che un'esposizione a tale vibrazione per 10 minuti continuativi, per 3 volte al giorno, per 3 giorni consecutivi, è adeguata ad ottenere il massimo effetto con il minor tempo applicativo. Inoltre si è osservato che eseguire una vibrazione di 30 minuti continuativi, senza effettuare un sia pur brevissimo intervallo, riduce marcatamente gli effetti, probabilmente a causa del fenomeno dell'habituation. A causa di questa ripetitiva esposizione alla vibrazione, si è introdotta la denominazione rMV (repetitive Muscle Vibration - Vibrazione ripetuta sui Muscoli).

Infine, gli effetti sono riscontrabili solo se il soggetto tiene in leggera contrazione volontaria, isometrica, il muscolo da trattare durante tutto il periodo in cui la vibrazione è attivata. Inizialmente tale condizione è stata scelta per facilitare la trasmissione della vibrazione meccanica nel contesto muscolare, grazie all'aumento della rigidità indotto dalla contrazione muscolare e per incrementare la sensibilità dei fusi neuromuscolari mediante la concomitante attivazione dei circuiti gamma. Successivamente, si è attribuito a tale aspetto del protocollo un ruolo ben maggiore.



6.1 IL PRIMO STUDIO SU SOGGETTI SANI CIRCA LE POTENZIALITÀ DELLA rMV: Azione della rMV sul controllo della rigidità articolare

Uno studio in doppio cieco, determinante nel definire gli effetti e nell'intuire i meccanismi d'azione di questo particolare sistema integrato, costituito da un protocollo e un dispositivo "ad hoc", è stato condotto su soggetti sani²⁸, applicando la rMV sul muscolo Quadricipite.

Lo studio ha suggerito che l'azione della vibrazione protratta era in grado di modificare persistentemente (test eseguiti 15 giorni dopo il trattamento) il controllo motorio della principale articolazione trattata. In particolare i soggetti presentavano uno spiccato aumento (+40%) della resistenza alla fatica all'esercizio ripetuto (movimenti di leg extension sotto carico).

Tale aumento è stato attribuito ad un miglioramento del controllo della rigidità articolare, indotto da una riduzione dell'impedenza articolare dettata dalle coattivazioni muscolari. La parallela diminuzione del tempo di salita della massima forza di contrazione isometrica (rimasta questa invariata, prima e dopo il trattamento) è stata attribuita alla più fine stabilizzazione articolare, manifestata dalla probabile riduzione delle coattivazioni, che consentiva al Sistema Nervoso di far esplodere con maggiore efficacia la forza del Quadricipite.

In sintesi il protocollo sviluppato presentava alcuni effetti del tutto inediti e ne suggeriva i possibili meccanismi. In particolare si evidenziava che:

1. l'applicazione di una vibrazione a bassa ampiezza (< 0,1 mm), a 100 Hz, per 10 minuti consecutivi, 3 volte al giorno, per 3 giorni consecutivi, è in grado di indurre modifiche importanti e persistenti nella performance motoria.
2. la rMV sembra agire direttamente sul controllo motorio, incrementando il controllo articolare ed in particolare il controllo della rigidità articolare.

Le novità introdotte da questo studio erano veramente cospicue, infatti si delineava, con questo primo studio, un sistema integrato costituito da un protocollo ed una particolare strumentazione in grado di indurre in soli 90 minuti effetti sul controllo motorio della durata di almeno 15 giorni e di grande intensità.

Inoltre il meccanismo d'azione appariva risiedere in una modifica del controllo della rigidità articolare, quindi in un'azione diretta sul Sistema Nervoso Centrale e su un parametro: **la rigidità articolare**. La rigidità articolare è uno dei parametri più complessi e determinanti nel controllo motorio. In particolare il controllo della rigidità articolare è il nodo della riabilitazione motoria, ed è interamente gestito al di fuori del controllo

volontario e dunque modificabile dal terapeuta solo attraverso vie indirette e dunque difficili, lunghe ed incerte.

È un aspetto che condiziona quasi tutte le patologie motorie, si pensi alle spasticità o alle ipotonie muscolari (rispettivamente eccessi e deficit della rigidità articolare) e alle conseguenze che queste hanno nel deficit motorio, nella qualità della vita e all'ostacolo che costituiscono al binomio terapeuta-paziente per giungere a strategie motorie corrette.

In conseguenza di tali deduzioni lo studio è stato esteso a situazioni in cui la rigidità articolare risultava esplicitamente alterata, sia nel senso di un deficit, sia nel senso di un incremento.

6.2 I CORRELATI NEUROFISIOLOGICI

Entrambi gli studi sopra descritti hanno suggerito che **la rMV fosse in grado di indurre modifiche** plastiche nel Sistema Nervoso Centrale, in particolare **a carico dei circuiti di controllo del muscolo trattato** e forse di quelli correlati funzionalmente. Questi risultati rendevano indispensabile cercare dei correlati neurofisiologici ai dati ottenuti dallo studio della performance motoria.

Il meccanismo innescato appariva in grado di modificare la gestione della rigidità articolare, un controllo molto complesso che richiede l'interazione di numerosi gruppi di unità motrici appartenenti a muscoli anatomicamente diversi, con fini e rapide modifiche nel corso dello svolgimento dell'atto motorio. **Modifiche plastiche del Sistema Nervoso andavano dunque ricercate "in alto" nel Sistema Nervoso Centrale. Si è quindi rivolta l'attenzione alla corteccia motrice primaria (M1).**

Mediante una tecnica non invasiva e relativamente semplice da applicare, la Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS), è possibile stimolare micro-aree di tale regione. Le cellule piramidali attivate attivano a loro volta popolazioni motoneurali spinali e il segnale elettrico muscolare evocato (Magnetic Evoked Potential, MEP) da tale stimolazione corticale può essere registrato mediante un EMG di superficie. È così possibile studiare l'estensione corticale delle aree implicate nel controllo di particolari muscoli, il loro livello di eccitabilità e, mediante procedure un poco più complesse, meccanismi di controllo esercitati da circuiti corticali su queste stesse aree.

Per questo studio, condotto da Barbara Marconi ²⁹, ricercatrice della Fondazione S. Lucia e della Fondazione EBRI, insieme ad altri collaboratori, è stata applicata la rMV sul muscolo Flessore Radiale del Carpo su soggetti sani.



L'applicazione della TMS ha permesso di evidenziare come il trattamento con rMV stimolasse meccanismi inibitori intracorticali sulle aree relative al muscolo trattato, mentre le aree corrispondenti al muscolo antagonista (l'Estensore Comune delle dita) risultavano essere facilitate. **Gli effetti erano presenti solo nella combinazione contrazione muscolare volontaria + vibrazione** e persistevano almeno 15 giorni, con un ritorno alla situazione antecedente la rMV entro 30 giorni dal trattamento.

La necessità di associare insieme contrazione muscolare volontaria + vibrazione suggerisce che il fenomeno plastico sia indotto da un meccanismo di tipo associativo, che implica un'attivazione associata di popolazioni cellulari diverse.

Da un punto di vista di significato funzionale, si ritiene che un aumento dell'inibizione nei circuiti intracorticali di M1 favorisca l'individuazione dei muscoli da impiegare nel corso del movimento, riducendo le contrazioni indesiderate, o, in senso più generale le co-contrazioni indesiderate. Questo meccanismo è accentuato, naturalmente, dai processi di inibizione reciproca corticale, per cui l'attivazione di un gruppo muscolare inibisce l'antagonista e viceversa. Il trattamento con rMV appare dunque in grado di attivare entrambi questi meccanismi, che, funzionalmente, si ritiene contribuiscano alla regolazione delle co-contrazioni.

Il meccanismo delle co-contrazioni è, nel bene e nel male, determinante nei nostri movimenti, ma costituisce, come già accennato, anche un grave problema nel training e nella riabilitazione.

Le co-contrazioni sono determinanti nel regolare la stiffness articolare, ma, al tempo stesso sono causa di maggior dispendio energetico e metabolico, minore efficienza muscolare, maggiore fatica, minore velocità di esecuzione. I risultati dello studio con la TMS sono apparsi dunque coerenti con quanto ipotizzato negli studi precedenti^{30 31}: **la rMV risulta in grado di potenziare meccanismi di controllo motorio, ritenuti essere implicati nel controllo articolare.**

La possibilità che la rMV produca una riduzione delle co-contrazioni ed una migliore gestione agonista/antagonista è inoltre coerente con l'aumento di resistenza alla fatica e con la riduzione dei tempi di esplosione della forza osservati su soggetti sani.

Il miglioramento delle co-contrazioni, da un lato indispensabili, dall'altro ostacolo all'esecuzione motoria, è molto difficile, così come il controllo articolare in senso più largo. Si tratta infatti di regolazioni che sfuggono alla nostra volontà e coscienza e dipendono interamente dall'azione del Sistema Nervoso Centrale. Qualunque intervento su di esse è quindi solo altamente indiretto e dunque oltremodo lungo e faticoso, come testimoniano le caratteristiche del training sportivo e della riabilitazione motoria. **La rMV, in base a questi**

risultati, appare in grado di agire direttamente, rapidamente e in modo del tutto non invasivo su tali meccanismi.

Nello studio della Marconi la situazione torna a quella antecedente alla rMV entro 30 giorni, mentre i soggetti con ricostruzione dell'ACL, seguiti fino a 120 giorni dopo il trattamento, senza ripetizioni di questo, continuavano ad incrementare la loro performance. Tali differenze risiedono probabilmente nella mancata possibilità di consolidamento degli effetti plastici nel caso di trattamento del Flessore Radiale del Carpo nei soggetti sani rispetto a quanto accadeva nei pazienti con ricostruzione dell'ACL. Nei primi infatti, dopo trattamento rMV, il gruppo muscolare trattato continuava ad essere utilizzato come precedentemente al trattamento. Nei secondi invece la riabilitazione stimolava ulteriormente il controllo del ginocchio. La situazione neuromotoria del flessore del Carpo era dunque fisiologicamente ricondotta alla situazione "normale" nei soggetti sani, mentre nei pazienti operati la riabilitazione spingeva ad incrementare e, soprattutto, consolidare gli effetti della rMV.

Queste considerazioni sottolineano l'importanza dell'interazione tra rMV ed esercizio, sulla base sia dei dati sperimentali ottenuti dall'impiego della rMV, sia di quanto noto dalla neurofisiologia.

Per riassumere, alcuni punti appaiono rilevanti nelle varie ricerche sulla rMV:

- ✓ **La rMV è un protocollo non invasivo, basato su una vibrazione di ampiezza particolarmente bassa.** La stimolazione appare del tutto tollerabile **dai 4 anni in su**, facile da applicare, anche se basata su una serie di regole molto rigide. Analogamente i parametri della vibrazione debbono essere del tutto costanti e piccole variazioni possono annullare i risultati, questo rende la strumentazione quasi imm modificabile sotto il profilo tecnico.
- ✓ La rMV non è scindibile dalla riabilitazione, si tratta solo di una procedura destinata ad aprire nuove porte alla riabilitazione, migliorando, con azione diretta sul Sistema Nervoso Centrale, il controllo della rigidità articolare. Una riabilitazione specifica e mirata dovrà sfruttare al meglio quanto ottenuto. I successivi interventi su un paziente con la rMV vanno definiti insieme ai terapisti o, meglio ancora, attuati dagli stessi terapisti secondo il progetto terapeutico impostato.
- ✓ La rMV sta dando evidenza su quanto da tempo la riabilitazione afferma e cioè che la cronicità non significa la fine dei miglioramenti. Risultati importanti, spesso mostrati in video nei convegni sono stati ottenuti a più di 10 anni dalla lesione.
- ✓ La rMV per la fisioterapia si presenta come la **possibilità di entrare in settori che oggi sono quasi abbandonati: gli over 80**, le lesioni neurologiche croniche.

Capitolo 7

EFFETTI POSITIVI DELLA VIBRAZIONE SUL CORPO UMANO

Il sistema muscolo-scheletrico costituisce una complessa macchina biologica preposta alla locomozione umana. Per poter svolgere e realizzare le varie richieste funzionali, questo sistema cambia continuamente struttura e metabolismo, rispondendo all'uso con modificazioni sia nella forma, sia nella forza. I due sistemi sono disegnati per poter sostenere lo stesso livello di tensione a cui viene sottoposta la struttura ossea.

Un "sovraccarico" (movimento corporeo) costante assicura uno stimolo biologico attraverso fattori strutturali e metabolici, mantenendo i tessuti, sia delle ossa, sia dei muscoli, dentro un limite di sicurezza funzionale. Un periodo di riposo prolungato a letto o di immobilizzazione causata da infortuni può indebolire le sue strutture tanto da limitarne le funzioni. Qualche malattia comune, come l'osteoporosi o le miositi, riduce la qualità e la quantità delle strutture ossee e muscolari con la relativa degenerazione, che si manifesta con sintomi clinici. Quando i carichi giornalieri da sostenere sono drasticamente ridotti, ne scaturisce una rimarchevole atrofia muscolare la cui semi - vita dura circa 8-10 giorni, con un degrado selettivo della struttura proteica che forma la componente contrattile del muscolo, specialmente a carico delle fibre lente. Questa è la causa principale che favorisce la disfunzione e la diminuzione della forza sia delle ossa, sia di muscoli con il sopraggiungere della vecchiaia.

È stato dimostrato che esercizi di piccola durata, ma di altissima intensità, producono effetti positivi sulle strutture osseo-muscolari e articolari; tanto che sia la massa, sia la forza, sono mantenute ad un livello elevato in risposta a questi sforzi ciclici. Tuttavia normalmente l'uomo è sedentario, specie se avanti con gli anni. E, spesso, la sua attività fisica si riduce alla semplice locomozione per le normali funzioni quotidiane. **La locomozione umana che si realizza giornalmente rappresenta lo stimolo meccanico minimo che assicura il tono muscolare di base. Ecco perché è consigliato ai vecchi di camminare molto.** Questo stimolo, che generalmente viene richiesto per vincere la forza di gravità, è appena sufficiente per proteggere le ossa dalle fratture. Infatti, durante la locomozione, al momento dell'impatto al suolo, un treno di onde d'urto viene generato e trasmesso lungo tutto il corpo. Queste vibrazioni vengono trasmesse attraverso il piede, la gamba, la colonna vertebrale e il collo. Tutto ciò rappresenta un forte stimolo per la formazione delle ossa durante la vita dell'uomo. Sfortunatamente **la moderna concezione della vita limita fortemente l'attività di movimento**, con un forte incremento dell'ipocinesia e quindi ciò si risolve in un effetto negativo sul sistema muscolo-scheletrico. Per compensare la mancanza di movimento sono stati pianificati diversi

progetti per stimolare ed indurre la popolazione ad aumentare l'attività fisica, purtroppo per mancanza di attrezzature e per uno stile di vita errato tutto ciò non avviene. O avviene in scarsissima quantità. Spesso insufficiente ad evitare rischi.

Ecco che **la ricerca ha dimostrato come la vibrazione meccanica rappresenta un forte stimolo per l'intero organismo e specialmente per il sistema neuro-muscolare e scheletrico. Di seguito vengono riassunti i principali effetti positivi della vibrazione meccanica, riscontrati dalla ricerca scientifica negli ultimi 40 anni.**

7.1 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE SUL SISTEMA ORMONALE

Come noto da tempo, esiste una relazione tra la disciplina sportiva praticata e il profilo ormonale dell'atleta. L'esercizio ripetuto è, infatti, in grado di indurre una significativa risposta ormonale, non solo in termini di adattamento all'esercizio stesso, ma anche sotto forma di risposta a lungo termine rispetto ad esso.

Analogamente, anche l'applicazione di vibrazioni meccaniche al corpo umano è in grado di produrre una **risposta ormonale di tipo adattivo**, producendo, ad esempio, **un aumento della concentrazione plasmatica di testosterone (T) e dell'ormone della crescita (GH)**, contestualmente ad una **diminuzione della concentrazione di cortisolo (C)**. **L'aumento di T e GH è riconducibile all'azione dei metabo-recettori muscolari**, 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.

Come riportato in uno studio del Prof. Carmelo Bosco (2000), **alla variazione di concentrazione di questi ormoni si accompagna anche un aumento della potenza meccanica dei muscoli sottoposti alla vibrazione**, tale da indurre all'ipotesi che, anche se i due fenomeni avvengono indipendentemente l'uno dall'altro, possano avere alla base dei meccanismi in comune.

Tra gli ormoni la cui secrezione viene fortemente stimolata dalle vibrazioni meccaniche, dobbiamo ricordare, in primo luogo, **la serotonina (5-Idrossitriptamina)**, un'amina biogena derivata dalla decarbossilazione del 5-idrossitriptofano. La serotonina viene prodotta dalle cellule enterocromaffini della mucosa intestinale ed è presente nel sistema nervoso, nella muscolatura liscia e nelle piastrine del sangue. È un potente vasocostrittore locale e possiede un effetto ipotensivo generale, inoltre svolge un ruolo importante nella emostasi, stimolando la riparazione dei vasi lesi.



La vibrazione stimola inoltre la **produzione di neurotrofine**, una famiglia di proteine, a cui appartiene anche l'NGF, che agiscono **regolando la morte cellulare naturale dei neuroni che si verifica durante lo sviluppo**. Le **neurotrofine** sono inoltre **capaci di stimolare**, in vitro, **la sopravvivenza di distinte popolazioni di neuroni**.

Anche le **endorfine**, neuropeptidi oppioidi che mimano l'azione analgesica e gli effetti sul comportamento propri della morfina (azione morfino-simile), **vengono fortemente stimulate dall'esposizione alle vibrazioni**.

In ultimo dobbiamo ricordare come **le vibrazioni stimolino la secrezione di IGF-I, o somatomedina C, che rappresenta uno dei due fattori di crescita polipeptidici** (il secondo è rappresentato dall'IGF-II) ed è costituito da molecole formate da 70 aminoacidi, che presentano il 45% di omologia con l'insulina. **Il ruolo fisiologico dell'IGF-I è quello di mediare l'azione dell'ormone della crescita, stimolando lo sviluppo scheletrico**.

7.2 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE SUL SISTEMA MUSCOLO SCHELETRICO

Durante la locomozione, al momento dell'impatto al suolo, un treno d'onde viene generato e trasmesso lungo tutto il corpo attraverso il piede, la gamba, la colonna vertebrale e il collo. Questo treno d'onde rappresenta un forte stimolo per l'intero organismo, soprattutto per il sistema muscolo-scheletrico, in quanto rappresenta la minima stimolazione meccanica che assicura il mantenimento del tono muscolare di base. Infatti, muscoli e ossa interagiscono e reagiscono continuamente sotto l'azione di un carico costante, appunto rappresentato dal peso del corpo.

Quando questo carico giornaliero viene meno, ad esempio a causa di un periodo di riposo prolungato a letto, o di immobilizzazione causata da infortuni, le strutture si possono indebolire tanto da limitarne le funzioni e portare, in particolare, ad una atrofia muscolare.

Si è dimostrato che l'applicazione di vibrazioni meccaniche di elevata intensità e di breve durata producano effetti positivi sulla struttura ossea, muscolare e articolare tanto che, sia la massa, che la forza dei tessuti, sono mantenute ad un elevato livello, con conseguente riduzione della perdita muscolare ed ossea ³².

Questi cambiamenti nella risposta neuromuscolare sono da attribuirsi principalmente all'aumento **dell'attività dei centri motori superiori** e al sostanziale miglioramento dei comandi nervosi che regolano la risposta neuromuscolare.



Le vibrazioni meccaniche, applicate localmente al muscolo e/o alla struttura tendinea (40 Hz), provocano l'attivazione dei recettori dei fusi neuromuscolari (muscle spindle receptors), a livello del complesso muscolo-tendineo direttamente sollecitato, ma anche dei gruppi muscolari adiacenti.

Questo tipo di risposta da parte del muscolo alla sollecitazione vibratoria viene definito con il termine di "riflesso tonico di vibrazione" (RTV).

È scientificamente documentato il fatto che il RTV induca un aumento della forza contrattile dei gruppi muscolari coinvolti e ciò si traduce in un evidente cambiamento sia della relazione forza-velocità, sia della relazione forza-potenza ³³.

L'allenamento vibratorio, può quindi essere assimilato ad un susseguirsi di contrazioni di piccola ampiezza, le quali portano a modesti ma significativi cambiamenti di tipo ritmico della lunghezza del complesso muscolo-tendineo sottoposto a vibrazione. Questo particolare comportamento meccanico induce una facilitazione nell'eccitabilità del riflesso spinale.

A tale proposito, infatti, **alcuni studi hanno proposto che il RTV operi in maniera predominante, se non esclusiva, attraverso gli alfa motoneuroni e non utilizzi gli stessi patterns corticali efferenti di cui si avvale il movimento volontario. Tuttavia, è anche possibile che il RTV, indotto dalle vibrazioni stesse, induca un aumento del reclutamento delle unità motorie tramite un'attivazione dei fusi neuromuscolari e dei pattern di attivazione polisinnaptici** ³⁴.

7.3 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE SUL TESSUTO OSSEO

L'apparato scheletrico assolve sostanzialmente tre funzioni:

- la prima è fornire supporto meccanico a muscoli e tendini, in modo tale da permettere il movimento;
- la seconda è proteggere gli organi vitali;
- mentre la terza consiste nel fornire una riserva organica di calcio rivolta alla stabilizzazione della calcemia.

Per questi motivi lo scheletro, in qualunque età biologica, non costituisce una massa inerte ma al contrario, un'entità plastica in continuo rinnovamento: basti pensare al processo di rimodellamento osseo che si registra durante l'accrescimento, oppure alla necessità di idonei fenomeni riparativi nel caso di frattura, senza dimenticare il ruolo di riserva organica di calcio.

Il comportamento plastico è orchestrato da due fenomeni fisiologici ben precisi:

- l'osteoriassorbimento, assicurato dagli osteoclasti;



- l'osteof ormazione riconducibile all'attività degli osteoblasti.

Dal rapporto intercorrente tra questi due fenomeni, tra loro fisiologicamente antagonisti, risulta il possibile mantenimento, la perdita oppure l'acquisizione di massa ossea.

È noto da tempo come il fattore meccanico rivesta un ruolo di cruciale importanza nell'ambito del controllo dinamico del rimodellamento osseo, permettendo alla struttura ossea di potersi adattare nei confronti dello sforzo. Per questo motivo la diminuzione degli impegni di tipo meccanico a livello scheletrico può costituire un serio problema in termini di mantenimento della massa ossea. Ad esempio, **l'immobilizzazione gessata, può essere la causa di un'importante quanto rapida perdita ossea, facilmente reversibile nell'adulto, ma in gran parte definitiva nel paziente in età geriatrica.**

I meccanismi attraverso i quali l'attività fisica è in grado di influire positivamente sul processo di rimodellamento osseo sono relativamente complessi. Da un punto di vista cellulare sembrerebbe che solamente gli osteoblasti siano forniti di meccanocettori e che, proprio per questo motivo, siano in grado di rispondere positivamente nei confronti di un aumento delle forze di compressione. Per la stessa ragione fisiologica, una diminuzione di queste ultime è in grado di diminuire l'attività osteoblastica, lasciando invariato il processo di riassorbimento osseo.

Gli evidenti miglioramenti delle funzioni muscolari indotte dalla somministrazione di trattamenti vibratori producono sollecitazioni assai efficaci sulle funzioni biologiche delle ossa su cui si inseriscono; di fatto, la forza generata dal tessuto muscolare è fortemente correlata allo sviluppo della massa ossea ed alla sua capacità di resistenza meccanica.

La struttura ossea sottoposta ad un alto livello di stress meccanico, come nel caso dell'esercizio intenso, è in grado di sopprimere il meccanismo di rimodellamento osseo, facilitando in tal modo il processo conservativo. Tuttavia, solamente allenamenti intensi e prolungati si dimostrano in grado di influenzare positivamente la densità minerale della massa ossea (BMD). L'efficacia delle sollecitazioni muscolari si evidenzia specialmente sull'asse trasversale, che è quello più debole e quindi più soggetto a fratture.

A causa della loro elevata intensità e durata, gli esercizi fisici non si adattano perfettamente ad una popolazione anziana o a soggetti che presentano fratture.

L'applicazione di vibrazioni, al contrario, permette una sollecitazione intensa dell'apparato scheletrico e muscolare, senza richiedere un alto grado di impegno da parte del paziente, rivelandosi in tal modo una strategia di intervento particolarmente adatta in determinati casi. Anche se si sta studiando una spiegazione univoca e chiara del fenomeno, **l'azione delle vibrazioni meccaniche nei confronti dei meccanismi di rimodellamento osseo è evidente e riportato in molti studi clinici effettuati su pazienti**

affetti da fratture ossee od osteoporosi. In entrambi i casi, **i soggetti trattati con terapia vibratoria hanno mostrato un'accentuazione vera e propria dell'attività osteogenica**³⁵.

L'applicazione della terapia vibratoria è quindi in grado di interferire positivamente sul metabolismo osseo, anche in presenza di una degenerazione osteoporotica e, data l'evidenza di come la terapia vibratoria sia in grado di favorire un aumento della BMD, si può affermare che questa costituisce un mezzo terapeutico di elezione in medicina geriatrica nell'ambito delle terapie atte alla cura ed alla prevenzione dell'osteoporosi.

L'osteoporosi è un'osteopatia metabolica ad eziologia complessa, caratterizzata da una riduzione localizzata o generalizzata di tessuto osseo, la cui matrice osteoide, a seguito di uno squilibrio tra velocità di sintesi e velocità di degradazione, pur rimanendo normalmente mineralizzata, risulta essere quantitativamente ridotta. All'esame radiologico sono visibili una rarefazione ossea, un assottigliamento ed una riduzione numerica delle trabecole, nonché un aumento degli spazi midollari. Si distingue una forma senile e post-menopausale, ed una forma secondaria ad immobilizzazione prolungata od a disturbi endocrini. In particolare, nella popolazione femminile, il deficit di estrogeni che si registra nel periodo della menopausa, causa un accelerato turnover osseo ed una perdita di massa ossea, per questo motivo l'osteoporosi colpisce una donna su quattro, mentre nella popolazione maschile il rapporto è di un uomo su otto. **L'osteoporosi ha ormai assunto, dato il progressivo aumento dell'età media della popolazione, le dimensioni di un vero e proprio problema socio-economico, che affligge la popolazione anziana (e non solo) su scala mondiale.** Solamente in Italia il costo sociale di questa malattia ammonta a cinquecento milioni di Euro annui. **L'esercizio è fortemente raccomandato ai pazienti afflitti da osteoporosi, sia nell'ambito del suo trattamento, che come forma di terapia preventiva.** In effetti, la fisiologica **stimolazione meccanica indotta dall'esercizio, si rivela particolarmente utile sia nel limitare la perdita ossea, sia nello stimolare l'incremento della massa ossea stessa.** L'osteoporosi infatti, si accompagna ad una maggiore predisposizione alle fratture.

Proprio per gli effetti che ha sui pazienti osteoporotici, a maggior ragione la vibrazione meccanica è applicabile con risultati stupefacenti anche (e soprattutto) a pazienti con fratture agli arti superiori ed inferiori. La vibrazione, infatti, induce un'accelerazione dell'accrescimento osseo che permette la saldatura dell'osso fratturato in tempi estremamente più brevi del normale, con evidenti benefici clinico-economici innanzitutto per il paziente, ma anche per il Servizio Sanitario Nazionale. Si vuole far notare che l'incidenza delle fratture d'anca dovuta alle semplici cadute, raggiunge nella popolazione anziana, cifre dell'ordine del 90%, senza considerare le cosiddette fratture d'anca causate dalla sola riduzione ossea per osteoporosi, pertanto la vibrazione in tal caso risulta di estrema importanza e utilità³⁶.



7.4 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE SUGLI ANZIANI

Nei soggetti anziani, i meccanocettori situati a livello degli osteoblasti, che normalmente rispondono ad un aumento delle forze applicate, diminuiscono la loro risposta a parità di carico complessivo; in tal modo l'attività osteoblastica si disgiunge progressivamente rispetto a quella di tipo osteoclastica, inducendo pertanto una cascata di fenomeni fisiologici che sfociano in una più o meno importante perdita di massa ossea.

Inoltre è noto a tutti come il processo di invecchiamento porti ad una progressiva sedentarizzazione dello stile di vita del soggetto, e anche a **diverse malattie**, tra cui (come accennato precedentemente) **l'osteoporosi**.

La capacità dell'rMV di agire sul controllo delle co-contrazioni ha suggerito due settori di intervento apparentemente opposti, ma in realtà con un comune denominatore, il controllo articolare alterato: **l'instabilità dell'anziano e i quadri neurologici caratterizzati da spasticità**.

Il cattivo controllo articolare nella spasticità è sostanzialmente evidente nello sbilanciamento tra agonisti ed antagonisti e nelle dissinergie. **Nell'anziano il cattivo controllo articolare ha certamente un ruolo importante nella perdita di stabilità e nella diminuzione di forza**. La perdita di stabilità in modo particolare ha una rilevanza notevolissima, essendo **il problema delle cadute un costo sociale enorme**: solo per le conseguenti **fratture di femore** impegna ogni anno oltre **un miliardo di euro** tra costi diretti ed indiretti e la **morte di oltre 16000 over 65 all'anno**. Inoltre il quadro dell'instabilità negli anziani è un tipico circolo vizioso che eventuali cadute accelerano. Il soggetto infatti si sente debole ed instabile, per cui riduce la sua attività fisica ed anche le sue attività quotidiane. Tale riduzione accentua la stanchezza e l'instabilità e il circolo si chiude.

Per lungo tempo si è cercato di recuperare questo deficit cercando di incrementare la forza del soggetto mediante training anche ad alto impatto, per altro difficilmente accettabili per soggetti di età avanzata. In tempi più recenti si è tuttavia data evidenza del ruolo che le co-contrazioni hanno negli anziani e nella perdita di controllo propriocettivo che si sviluppa. In effetti **la perdita di controllo (quindi questa più che la perdita di forza) spinge l'anziano ad irrigidirsi, utilizzando maggiormente le co-contrazioni**³⁷. Si può dire, **paradossalmente, che l'anziano stia in piedi con la forza anziché con l'equilibrio**.

Il primo studio sugli effetti del trattamento con rMV sugli anziani è stato eseguito presso l'Università di Perugia, in collaborazione con l'Università Cattolica e la Sapienza di Roma. Anche in questo studio presentato in forma preliminare nel 2004³⁸ ed oggi in revisione presso lo Eur J Appl Physiol, condotto in doppio cieco ed utilizzando sia la rMV che una

falsa stimolazione, è stato stimolato il **Quadricipite di donne di oltre 60 anni di età**. Le pazienti hanno ricevuto **un solo trattamento di rMV** e nessuna di esse partecipava prima del trattamento e durante il periodo di studio (90 giorni) a programmi di attività fisica.

Anche in questo caso a 24 ore dalla fine del trattamento, gli indici analizzati (la potenza nel balzo e l'oscillazione del corpo nella postura monopodalica) risultavano significativamente migliorati e **nei 90 giorni successivi il miglioramento si accentuava, raggiungendo e mantenendo fino al 90° giorno di studio un incremento di circa il 35% nella potenza delle gambe di circa il 40% nella stabilità.**

Il lungo mantenimento dei risultati in questo caso è stato attribuito al consolidamento degli effetti plastici, grazie allo spontaneo incremento delle semplici attività quotidiane. **Le partecipanti** allo studio, **trattate con rMV** (negli altri due gruppi non è stato osservato alcun effetto), pur non svolgendo alcun training specifico, **hanno tutte riferito di muoversi con meno fatica e più agevolmente nel corso della giornata, per fare la spesa, le pulizie di casa, salire le scale ecc..** Il quadro suggerisce che l'rMV abbia spezzato il circolo vizioso descritto, favorendo l'incremento ed il mantenimento per consolidamento degli effetti plastici.

Questo studio oltre a confermare le ipotesi formulate da Marconi e collaboratori ha messo in evidenza uno **spiccato aumento della potenza delle gambe**. Quest'ultimo dato può essere spiegato con una migliore stabilità articolare e diminuite co-contrazioni, ma ci si è chiesto se possa essere presente anche un migliore **reclutamento di unità motrici**.

Quest'ultima ipotesi è stata di fatto confermata da un nuovo studio con la TMS, condotto ancora dal gruppo della Dr Marconi ed in fase di stesura.

Soggetti over 65, sottoposti a rMV presentano un'importante riduzione della soglia nelle popolazioni neuronali che controllano il Quadricipite, parallela ad un incremento dell'inibizione intracorticale e della facilitazione reciproca dei flessori della gamba. Il miglioramento di questi 3 parametri che tipicamente peggiorano con l'età, il loro persistere migliorati per almeno un mese (nei soggetti anziani la TMS è molto disagiata e non si possono fare molti test), profilano un'azione di contrasto della rMV nei confronti di un deterioramento motorio tipico dell'invecchiamento. Al tempo stesso si dà evidenza che tale deterioramento non è affatto irreversibile e, anzi, esistono notevoli riserve plastiche anche nel Sistema Nervoso Centrale di soggetti anziani.



7.5 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE SULL'OBESITÀ E SULL'OSTEOPOROSI

Dai più recenti studi condotti dal Prof. C. Rubin (2009), si apprende come **segnali meccanici di bassa intensità** (LMMS - low magnitude mechanical signals) siano in grado di **sopprimere la crescita del grasso subcutaneo e viscerale**, promuovendo allo stesso tempo la **rigenerazione ossea**. Questi processi hanno luogo grazie alla diretta **stimolazione**, da parte dei segnali meccanici, **delle cellule staminali mesenchimali pluripotenti** (MSCs), che sono cellule immature con la capacità di autorinnovarsi e differenziarsi continuamente in cellule specializzate tessuto - specifiche. Infatti, **da queste cellule prendono origine**, tra le tante vie differenziative, **l'osteoblastogenesi e l'adipogenesi**, che portano alla **formazione rispettivamente degli osteoblasti e degli adipociti**.

La stimolazione meccanica delle MSCs attiva in maniera direttamente proporzionale l'osteoblastogenesi e in maniera indirettamente proporzionale l'adipogenesi, tramite l'attivazione dei fattori di trascrizione Runx2, per gli osteoblasti, il quale promuove la differenziazione, e il fattore PPAR γ , per gli adipociti, che invece la sopprime. **In questo modo tale metodica può rappresentare una strategia sicura, non invasiva e non farmacologica atta a prevenire l'obesità e anche l'osteoporosi** ³⁹.

Proprio a riguardo di quest'ultima patologia è stato recentemente svolto uno studio (Foti C, Annino G, Bosco C et al., 2009) ⁴⁰, su un gruppo di donne osteoporotiche per mostrare gli effetti positivi indotti dal trattamento vibratorio associato anche all'attività fisica. Tale studio ha interessato 26 donne di 63 anni, affette da questa patologia. Sono state divise in due gruppi, uno di controllo e uno sperimentale. Tutte sono state sottoposte ad un programma di training per un'ora, tre volte alla settimana per 4 mesi, e solo il gruppo sperimentale a seguito del training veniva sottoposto a vibrazione di bassa intensità e a frequenza di 30 Hz. Al termine dello studio, il gruppo sperimentale ha mostrato un incremento della densità ossea, mentre nel gruppo di controllo non si sono verificati cambiamenti rilevanti. È stato quindi dimostrato come **tale metodo rappresenta**, associato anche all'attività fisica, **un intervento forte, non invasivo e l'unico non farmacologico per il trattamento dell'osteoporosi**.

7.6 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE NELLA TERAPIA DEL DOLORE

L'effetto analgesico delle vibrazioni si basa sulla teoria del "gait control", già enunciata da Melzack e Wall nel 1965, sui cui si fonda il razionale scientifico delle correnti di tipo TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation). Esattamente come nel caso dell'utilizzo

delle TENS, anche le vibrazioni si mostrerebbero in grado di produrre una sorta di "barrage" afferente lungo le fibre mielinizzate di tipo Ia, di intensità tale da poter essere definito come un vero e proprio effetto di "busy line" ⁴¹ .

Anche da un punto di vista clinico, oltre che sperimentale, sembrerebbe potere essere giustificato affermare che la vibrazione abbia un effetto neurofisiologico, di tipo però solamente segmentario. Questa affermazione è inoltre suffragabile sia dalla rapidità con la quale si registra l'effetto analgesico, che dal suo altrettanto rapido declino, fattori che testimonierebbero la "pura" inibizione segmentaria spinale, esercitata dalle vibrazioni, sulle afferenze Ia, per ciò che riguarda la trasmissione degli input nocicettivi ⁴².

Le vibrazioni, l'utilizzo del caldo e del freddo e le correnti elettriche, sono, in letteratura, i metodi maggiormente citati come mezzi di stimolazione periferica a scopo antalgico ⁴³, anche se le vibrazioni, tra questi, appaiono comunque come la metodica meno utilizzata. In bibliografia è possibile riscontrare come le vibrazioni siano state essenzialmente utilizzate, a scopo antalgico, per il dolore di origine cefalica ⁴⁴, nei dolori muscoloscheletrici ^{45 46 47}, nell'ambito di alcune patologie dolorose di origine neurogena e nel low back pain ^{48 49}.

I tempi applicativi delle vibrazioni utilizzate a scopo antalgico, variano, in funzione dei diversi protocolli di lavoro sperimentale, da 5 a 30 minuti, mentre il valore di frequenza ritenuto generalmente maggiormente efficace a questo scopo, si aggira attorno ai 100 Hz. In linea generale la tecnica applicativa prevede che la vibrazione sia effettuata omolateralmente, sul dermatomero su cui si registra la sede del dolore, effettuando, con l'apparecchiatura vibratoria una certa pressione. A seguito di 5 minuti di applicazione vibratoria il dolore scompare o, quantomeno, si attenua sensibilmente, per ripresentarsi però a distanza di 5-10 minuti dalla fine dell'applicazione stessa. Al contrario, se l'applicazione vibratoria è della durata di 30 minuti, l'effetto antalgico può mantenersi sino a 5 ore ^{50 51}. È inoltre **interessante segnalare** come, **nel low back pain di media intensità** e non associato a compressione radicolare, **l'applicazione di vibrazioni a 100 Hz di frequenza e di ampiezza pari a 1,5 mm, tramite cilindro vibrante posizionato sul tendine di Achille, sia in grado di diminuire drasticamente, ed in tempi brevi, l'intensità del dolore**⁵².

7.7 GLI EFFETTI DELLA VIBRAZIONE SULLA CIRCOLAZIONE SANGUIGNA

L'applicazione di vibrazioni meccaniche sul corpo produce anche un **aumento della circolazione sanguigna**, con un incremento della velocità media del flusso sanguigno e un considerevole abbassamento dell'Indice di Resistenza, misurati attraverso esami Doppler.

Tuttavia, non essendo stato riscontrato un aumento della velocità massima all'interno del singolo vaso, è possibile che l'aumento della velocità media sia dovuto alla dilatazione dei vasi sanguigni più piccoli riducendo così la resistenza periferica.

Questo aumento della circolazione sanguigna produce effetti benefici sul metabolismo, sull'apporto di ossigeno ai tessuti e favorisce la diminuzione della pressione arteriosa.

Quanto detto rende le vibrazioni particolarmente indicate nei casi di disturbi circolatori quali l'arteriosclerosi o lo scarso drenaggio linfatico.



Capitolo 8

RICERCA E APPLICAZIONE DELLA VIBRAZIONE MECCANICA DA PARTE DELLE UNIVERSITÀ ITALIANE

Relazione del Congresso del 13 dicembre 2008 apparsa su "Paginemediche.it"

SEMPLICI VIBRAZIONI MECCANICHE RIPETUTE INCREMENTANO LE FUNZIONI DEL CERVELLO, MIGLIORANDO IL CONTROLLO MUSCOLO-ARTICOLARE ⁵³

Nuovi e incoraggianti risultati di una procedura chiamata "rMN" (Repeated Muscle Vibration), ottenuti in campo neurologico, ortopedico, nella stabilità delle persone anziane e nel recupero dalla fatica in soggetti sani sono pubblicati sul numero di dicembre del Journal of Neurological Science. Gli studi sono stati condotti da ricercatori dell'Istituto di Fisiologia Umana dell'Università Cattolica di Roma, in collaborazione con Fondazione Santa Lucia e EBRI, Università di Perugia e Università La Sapienza di Roma.

I fondamenti fisiologici e i risultati della procedura sono stati presentati in occasione del Seminario scientifico intitolato "La stimolazione propriocettiva, Il controllo e la riabilitazione motoria. Nuove evidenze cliniche e correlati neurofisiologici", che ha avuto luogo sabato 13 dicembre 2008 presso il Policlinico universitario Agostino Gemelli, promosso dal fisiologo della Cattolica Guido Maria Filippi. Sono intervenuti: Prof. Vito Enrico Pettorossi (Istituto Fisiologia Umana dell'Università di Perugia); Dr. Filippo Camerota (Istituto di Medicina Fisica e Riabilitazione, Università La Sapienza di Roma); Dr. Diego Ricciardi (Dipartimento di Scienze Gerontologiche e geriatriche - Policlinico Gemelli di Roma).

Il protocollo si basa su uno specifico strumento, che sviluppa una sequenza di segnali meccanici di piccolissima ampiezza, che vengono letti da specifici sensori nervosi presenti nei muscoli e inviati al Sistema nervoso centrale. Ciò che appare essere una piccola vibrazione meccanica, è in realtà un codice in grado di riprogrammare selezionate aree del Sistema nervoso. Questa procedura è la prima ad agire in modo semplice, non invasivo e persistente sui controlli nervosi dei muscoli. Tale stimolazione, grazie agli studi condotti dalla Dr. Barbara Marconi (Fondazione Santa Lucia e EBRI) e dal prof Guido M. Filippi (Università Cattolica), è in grado di modificare la funzione di specifiche aree corticali di controllo motorio, attivando meccanismi in grado di favorire un netto miglioramento delle funzioni motorie.

Questi risultati (ora pubblicati sul Journal of Neurological Sciences) sono stati osservati dai



ricercatori Marconi e Filippi in soggetti sani, in pazienti affetti da esiti di ictus cronico (spasticità), anche dopo anni dal danno e in soggetti over 70. Si tratta della prima evidenza sperimentale dell'esistenza di una tale possibilità, per giunta ottenibile con una procedura semplice, non invasiva, sostanzialmente priva di effetti collaterali. La procedura basata su micro vibrazioni localizzate, cui i ricercatori hanno dato il nome di "rMV", Repeated Muscle Vibration,, è stata messa a punto dal professor Filippi, docente nell'Istituto di Fisiologia Umana dell'Università Cattolica di Roma. L'applicazione di particolari sequenze di micro vibrazioni meccaniche ad alcuni muscoli del corpo è in grado di incrementare le funzioni di alcune aree del cervello, migliorando la funzione muscolare.

Il protocollo

Questa procedura, molto semplice nell'esecuzione, (il protocollo prevede l'applicazione della micro vibrazione 3 volte al giorno, 10 minuti ogni volta, per 3 giorni consecutivi ai singoli muscoli su cui si desidera agire), si è dimostrata in grado di produrre effetti tanto positivi quanto sorprendenti in una gamma molto estesa di situazioni: in campo neurologico, della riabilitazione post ictus e della spasticità ed ella flaccidità, nel controllo del senso della fatica e del dolore e nella forza nelle persone anziane a rischio di caduta, nelle patologie ortopediche.

Questo potenziamento è "a lungo termine", perché a fronte di minuti di stimolazione, si mantiene nel tempo per settimane e mesi. Il successivo utilizzo di tale potenziamento (fisioterapia, allenamento) consolida, rinforza e mantiene gli effetti per mesi, in alcune situazioni per molti mesi.

I risultati in campo neurologico, ortopedico, negli anziani e nei soggetti sani

Più in dettaglio, in campo neurologico sulla base dei dati attualmente disponibili la rMV si è dimostrata in grado di incrementare il controllo motorio di ciò che residua da una lesione neurologica in soggetti che abbiano conservato una motilità volontaria residua anche minima. Significativi anche i miglioramenti in soggetti con forme spastiche (da ictus, da trauma), ma con residui di movimenti volontari.

In campo ortopedico la procedura è risultata molto efficace nelle situazioni in cui l'immobilizzazione, a seguito di interventi operatori, o il dolore articolare spingono verso un cattivo uso muscolare. Per esempio, studi preliminari condotti presso il Policlinico Gemelli di Roma hanno mostrato riduzioni del dolore in artrosici gravi pari al 50% a sole 2 settimane dal trattamento.

Nelle persone anziane il trattamento della rMV concentrata sui quadricipiti ha determinato, negli studi finora effettuati dai ricercatori della Cattolica insieme ai colleghi dell'Università di Perugia (Prof. Enrico Pettorossi) e del La Sapienza di Roma, in

collaborazione con il Comune di Roma, l'incremento di potenza pari al 70-75% e della stabilità del 30-35%. In particolare, uno studio condotto su 200 over 65 dei Centri Anziani di Roma ha permesso di evidenziare una diminuzione del rischio di cadute nell'83% dei soggetti e un ripristino della normalità nell' 89%. Tuttavia il miglioramento delle performance muscolari non si limita ai soggetti patologici o debilitati, ma si può estendere ai soggetti sani o a agli sportivi. Il trattamento con rMN ha evidenziato incrementi della resistenza alla fatica pari ad oltre il 40% e aumenti della forza esplosiva pari al 27% in individui giovani, non sottoposti ad alcuna forma di training nei mesi precedenti lo studio e durante lo studio.

“Per quanto possa sembrare estesa l'applicabilità della procedura e sorprendente l'ampiezza degli effetti – spiega il fisiologo della Cattolica Filippi - si deve ricordare che, come evidenziato dagli studi condotti in collaborazione tra EBRI e Cattolica di Roma, la procedura potenzia le reti nervose e i meccanismi che regolano il controllo muscolare, minimizzando le contrazioni inutili (presenti nella spasticità, negli anziani che temono di cadere, nei soggetti che non hanno acquisito un'adeguata 'fluidità' nel gesto atletico), favorendo il reclutamento delle fibre muscolari (carente nei sedentari per abitudine o per immobilizzazioni terapeutiche). Si tratta quindi di un'azione diretta e mirata su selezionate reti nervose, che svolgono un ruolo primario nel controllare e coordinare ogni nostro movimento”. “Allo scopo di eliminare ogni falsa aspettativa - avverte Filippi - occorre dire che il trattamento non può né compiere miracoli, né sostituire la tradizionale riabilitazione. La rMV aprono nuove e importanti porte alla fisioterapia che deve quindi intervenire in modo specialistico ed adeguato al singolo paziente”.

“Migliorare la funzione di specifiche aree dell'encefalo significa migliorare il rendimento di quei nostri motori che sono i muscoli in termini di forza, di resistenza alla fatica e di coordinazione. In particolare, una cattiva coordinazione si esprime nella spasticità, in strappi muscolari, cattiva funzione articolare e da questa discendono dolore, artrite e artrosi. Quindi agire sulla coordinazione significa agire sulla qualità della vita”, spiega il fisiologo Filippi.

La vibrazione rMN ha parametri rigidi: l'applicazione della micro vibrazione 3 volte al giorno, 10 minuti ogni volta, per 3 giorni consecutivi ai singoli muscoli su cui si desidera agire, tra i quali una frequenza di 100 cicli per secondo. Lo strumento consente di produrre questa vibrazione e, soprattutto, di farla arrivare ai muscoli così come la eroga, senza distorsioni eccessive.

“Questa vibrazione localizzata a singoli muscoli – aggiunge Filippi - è uno stimolo leggero, ma potente per le centinaia di sensori nervosi presenti nei muscoli. Questi 'leggono' i 100 cicli per secondo e li inviano ai centri nervosi che controllano il muscolo trattato. La frequenza impiegata costituisce un 'codice' per questi centri, il cui effetto è un potenziamento delle reti di controllo nervoso. Il Sistema Nervoso Centrale diventa 'più bravo' a controllare e coordinare i fasci muscolari”.



BIBLIOGRAFIA

- ¹ Mountcastle V.B., Rose J.: Touch and kinesthesia in neurophysiology. In: Magoun H.W. (Ed). Handbook of Physiology. American Physiological Society. Vol 1: 387-430, 1959.
- ² Hagbarth K.E.: The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disease. In: New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology. Desmet J.E. Ed. pp 428-443. Karger, Basel, 1973.
- ³ Johansson R.S., Valbo A.B.: Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. Trends in Neurosci. 6: 27-32, 1983.
- ⁴ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronal periodicity and frequency discrimination. J Neurophysiol. 32: 452-484, 1969.
- ⁵ Cosh J.A.: Studies on the nature of vibration sense. Clin Sci. 12: 131-151, 1953.
- ⁶ Cauna N., Mannan G.: The structure of human digital Pacinian corpuscles and its functional significance. J Anat (London). 92: 1-20, 1958.
- ⁷ La Motte R.H., Mountcastle V.B.: Capacities of human and monkeys to discriminate between vibratory stimuli of different frequency and amplitude: a correlation between neural events and psychophysical events. J Neurophysiol. 38:593-559, 1975.
- ⁸ Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J.: Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronal periodicity and frequency discrimination. J Neurophysiol. 32: 452-484, 1969.
- ⁹ Loewenstein W.R., Skalak R.: Mechanical transmission in a Pacinian corpuscle. An analysis and a theory. J Physiol. 182: 346-37, 1966.
- ¹⁰ Rosenkranz K, Rothwell JC. J Physiol 2003; 551.2:649-660; **Rosenkranz K, Rothwell JC.** J Physiol 2004; 561:307-320.
- ¹¹ Effetti della stimolazione meccanica dei propriocettori in donne osteoporotiche in postmenopausa. Congresso Nazionale SINFER 21-23 Settembre 2004 CHIETI; Effect of vibrating proprioceptive activation on the posture of patients after ACL-reconstruction. Assisi 8th Intern. Conf. Orthopaedics, Biomechanics, Sport Rehabilitation Nov 19-21 2004; Persistence des effets de la stimulation mécanique sur le contrôle et l'efficacité musculaire. 35° Congres National S.F.M.K.S 3-4-5 Juin 2005 saint-Tropez – France; Trattamento con energia vibratoria in pazienti affetti da paralisi cerebrale infantile SINFER Catania 2005.
- ¹² Luu Y. K., Pessin J. E., Judex S., Rubin J., Rubin T.C. - Mechanical signals as a non-invasive means to influence mesenchymal stem cell fate, promoting bone and suppressing the fat phenotype. IBMS Bone KEY 6(4):132-149, 2009.
- ¹³ Bosco C., Colli R., Intorini E., Cardinale M., Tsarpela O., Madella A., Tihanyi J., Viru A. - Adaptive responses of Human skeletal muscle to vibration exposure. Clinical Physiology 19,2:183-187, 1999.
- ¹⁴ Gian Nicola Bisciotti - Facoltà di Scienze dello Sport dell'Università di Lione (Francia); Scuola Universitaria Interfacoltà in Scienze Motorie di Torino (Italia); Preparatore atletico F.C. Internazionale (Italia) – “L'applicazione delle vibrazioni in medicina riabilitativa (New Athletic Research in Science Sport) 2007”.
- ¹⁵ G.M. Filippi, F. Camerota, V.M. Saraceni – Articolo “La vibrazione meccanica e la riabilitazione motoria – Una nuova opportunità” – Sci Riabilitaz 2007; 8(2): 55-61.
- ¹⁶ Bianconi R. and van der Meulen J. J. Neurophysiol. 1963; 26:177-90; . Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. J. Physiol. 1967;192;773-800; Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972.

-
- ¹⁷ Rosenkranz K, Rothwell JC *J Physiol* 2003;551: 649-660; Rosenkranz K, Rothwell JC. *J. Physiol.* 2004;561: 307-320.
- ¹⁸ Rosenkranz K, Rothwell JC. *J. Physiol.* 2004;561: 307-320
- ¹⁹ Heath CJ, Hore J & Phillips CG.. *J Physiol* 1976;257:199-227; Hore J, Preston JB & Cheney PD. *J Neurophysiol* 1976;39:484-500; Jones EG & Porter R. *Brain Res Rev*, 1980; 203:1-43
- ²⁰ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ²¹ Brunetti O, Filippi GM, Liti A, Panichi R, Roscini M, Pettorossi VE. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1180-1187;
- ²² Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- ²³ Litta-Modignani R, Blivaiss Bb, Magid Eb, Priede I. *Aerosp Med.* 1964;35:662-7.
- ²⁴ Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972
- ²⁵ Jami L, Petit J. *Exp Brain Res.* 1976 Mar 15;24(5):485-93
- ²⁶ Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. *J. Physiol.* 1967;192;773-800.
- ²⁷ R. and van der Meulen J. *J. Neurophysiol.* 1963; 26:177-90; Matthews PBC. Edward Arnold, London; 1972.
- ²⁸ Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87
- ²⁹ Marconi B, Filippi GM, Koch G, Pecchioli C, Salerno S, Don R, Camerota F, Saraceni VM, Caltagirone C. *J Neurol Sci* 2008;275:51-59
- ³⁰ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ³¹ Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- ³² Runge M., Rehfeld G., Resnicek E. - Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskel Interact* 1: 54-58, 2000.
- ³³ Cormie P, Deane RS, Triplett NT, McBride JM - Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res.* 2006 May;20(2):257-61.
- ³⁴ Bisciotti G. N. - Aspetti neurofisiologici ed applicativi dell'allenamento vibratorio, Ph. D. Centro di Ricerca per l'Innovazione Scientifica della Facoltà di Scienze dello Sport dell'Università Claude Bernard di Lione (F), 2005.
- ³⁵ Chestnut C.H. - Bone mass and exercise (review). *Amer J of Med* 95(5A):345-365, 1993.
- ³⁶ Gutin B., Kasper M.J. - Can vigorous exercise play a role in osteoporosis prevention? (review). *Osteop Int* 2:55-69, 1992.
- ³⁷ Hortobágyi T, del Olmo MF, Rothwell JC *Exp Brain Res* 2006;171:22–329
- ³⁸ Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- ³⁹ Bisciotti G. N. - Attività fisica ed osteoporosi, *New Athletic Research in Science Sport.*195, 2006
- ⁴⁰ Foti C., Annino G., D'Ottavio S., Masala S., Sensi F., Tarpela O., Tranquilli C., Bosco C. - The effect of low-frequency high-magnitude whole body vibration in physical actively osteoporotic women: a pilot study. *Med Sport*, 2008.
- ⁴¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling on pain induced by intraneural electrical stimulation. *Pain.* 18: 239-28, 1984.
- ⁴² Ottoson D., Ekblom A., Hansson P.: Vibratory stimulus for the relief of pain of dental origin. *Pain.* 10: 36-45, 1981.



-
- ⁴³ Procacci P., Maresca M.: Traitements de la douleur par les stimulations périphériques. In: Abdelmoumène M., Cambier J., Ctchlove R., Cosyns P., Jacob M., Maresca M., Meyerson B.A., Michaud G. Procacci P.: La douleur. Masson (Eds), Paris. 59-70, 1979.
- ⁴⁴ Lunderberg T., Ottoson D., Hakansson S., Meyersson B.A.: Vibratory stimulation for the control of intractable chronic orofacial pain. In: Bonica J.J., Lindbloom U., Iggo A.: Advances in pain research and therapy. Vol 5. Raven Press (Eds). New York. 555-561, 1983.
- ⁴⁵ Lunderberg T.: The pain suppressive effect of vibratory stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as compared to aspirin. Brain Res. 284: 201-209, 1984.
- ⁴⁶ Lunderberg T., Abrahamsson P., Bonesson L., Haker E.: Vibratory stimulation compared to placebo in alleviation of pain. Scand J Rehab Med. 19: 153-158, 1987.
- ⁴⁷ Lunderberg T., Nordemar T., Ottoson D.: Pain alleviation by vibratory stimulation. Pain. 20: 25-44, 1984.
- ⁴⁸ Casale R., Giordan A., Tiengo M.: Risposte riflesse nocicettive spinali. Variazione della risposta riflessa nocicettiva. Rall e del dolore lombosciatalgico indotte da TENS e vibrazione. Minerva Anest. 51: 217-229, 1985.
- ⁴⁹ Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. In: Tiengo M e coll. Advances in pain research and therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), New York. 77-83, 1987.
- ⁵⁰ Kempainen P.: Modification of human dental pain threshold by conditioning vibrotactile stimulation at high frequency. Arch Oral Biol. 10: 959-962, 1983.
- ⁵¹ Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E.: Analgesic effect of vibration and cooling on pain induced by intraneural electrical stimulation. Pain. 18: 239-28, 1984.
- ⁵² Casale R., Tiengo M.: Flexion withdrawal reflex: a link between pain and motility. In: Tiengo M e coll. Advances in pain research and therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), New York. 77-83, 1987.
- ⁵³ Policlinico Gemelli, Articolo pubblicato il 15 dicembre 2008 su Paginemediche.it news

