

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA



Facoltà di Medicina e Chirurgia

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

LE VIBRAZIONI ED IL LORO UTILIZZO NELLA PREVENZIONE E NELLA RIABILITAZIONE DI PATOLOGIE DELL'ARTO INFERIORE

Relatore: Erica Parola

Stefano Colombo
Matricola: 3093883

INDICE

Cap. 1 – INTRODUZIONE	PAG 4
Cap. 2 – PRINCIPI GENERALI	PAG 6
2.1 LA CONTRAZIONE MUSCOLARE	PAG 6
2.2 IL SISTEMA PROPRIOCETTIVO	PAG 6
2.3 INTEGRAZIONE DELLE INFORMAZIONI SENSORIALI CON I COMANDI MOTORI	PAG 7
Cap. 3 – LE VIBRAZIONI	PAG 8
3.1 COSA SONO LE VIBRAZIONI	PAG 8
3.2 COME SI USANO LE VIBRAZIONI	PAG 9
3.3 IL RIFLESSO TONICO VIBRATORIO (TVR)	PAG 11
Cap. 4 – LE VIBRAZIONI ED I SUOI EFFETTI	PAG 12
4.1 EFFETTI SUL SISTEMA MUSCOLO SCHELETRICO	PAG 12
4.2 EFFETTI SUL SISTEMA OSSEO	PAG 15
4.3 EFFETTI SULLA CIRCOLAZIONE SANGUIGNA	PAG 19
Cap. 5 – CONCLUSIONI	PAG 20
Cap. 6 – BIBLIOGRAFIA	PAG 22

INTRODUZIONE

Anche se già negli anni '50 erano stati evidenziati i benefici della somministrazione controllata di vibrazioni sul corpo umano, solo in tempi recenti molti studiosi hanno analizzato gli effetti legati ad una metodologia d'allenamento basata sulle vibrazioni, o più precisamente sulle *Whole Body Vibration* o *WBV*.

La seguente tesi si pone l'obiettivo di verificare i principi su cui si basa il vibration training e la sua applicazione nella prevenzione e nella riabilitazione di patologie dell'arto inferiore. Questo lavoro si propone di ricercare in letteratura dei lavori scientifici che ne dimostrino o ne smentiscano l'efficacia all'interno di un progetto riabilitativo, che riguardi patologie dell'arto inferiore, o in un ambito di prevenzione, sia in soggetti sportivi che in anziani.

CENNI STORICI

La pubblicazione dei primi lavori scientifici sui benefici indotti dall'utilizzo a scopo terapeutico delle vibrazioni risale al 1949, anno in cui Whedon e coll. riscontrarono gli effetti positivi derivanti dalla somministrazione di vibrazioni, generate da uno speciale letto oscillante, sul metabolismo anormale di alcuni pazienti allettati.

Successivamente, nel 1956, Hettinger dimostrò come la somministrazione controllata di ben definite vibrazioni con frequenza di 50 Hz potesse aumentare l'area di sezione del muscolo, oltre a diminuire il tessuto adiposo all'interno dello stesso.

Dopo oltre trent'anni, nel 1987, Nazarov e Spivak pubblicarono uno studio riguardante il possibile incremento delle capacità contrattili dei muscoli sottoposti a sollecitazioni di tipo vibratorio.

La ricerca terapeutica ha invece condotto Schiessl, nel 1997, a brevettare un macchinario capace di generare oscillazioni di tipo rotazionale, mentre nello stesso anno Fritton e coll. predisponavano una macchina basata sulle oscillazioni di tipo traslatorio.

Entrambe queste macchine avevano come campo di applicazione la stimolazione della crescita ossea, attraverso l'utilizzo di vibrazioni che possono essere definite come "osteogeniche".

In effetti, nel 1998, Flieger e collaboratori dimostrarono in alcuni studi sperimentali come negli animali sottoposti a trattamento vibratorio si fosse effettivamente riscontrato un incremento nella proliferazione ossea.

2 – PRINCIPI GENERALI

2.1 - La contrazione muscolare

In natura possiamo identificare sostanzialmente due tipi di contrazione muscolare.

Si parla di contrazione *isometrica* quando un muscolo sviluppa tensione ma non produce nessun movimento esterno; ciò comporta una contrazione statica.

L'altro tipo di contrazione, definita *anisometrica*, è quella che produce variazioni di lunghezza del muscolo: allungamento (lavoro eccentrico) e accorciamento (lavoro concentrico) con il relativo spostamento delle strutture anatomiche su cui agisce. [1]

Nell'ambito delle contrazioni anisometriche è possibile inoltre identificare un terzo regime di lavoro, detto *pliometrico*, definito anche ciclo "stiramentoaccorciamento" composto dai due regimi eccentrico-concentrico, laddove il tempo di accoppiamento delle due fasi avviene in tempi brevissimi.

La contrazione avviene quando, in seguito ad uno stimolo nervoso, i filamenti di actina e di miosina, che compongono il sarcomero, reagiscono e attraverso le teste della miosina formano il cosiddetto "cross-bridge", ovvero il ponte acto-miosinico per mezzo del quale i due filamenti scorrono uno sull'altro accorciando il sarcomero.

2.2. – Il sistema propriocettivo

Se, come si ritiene, il movimento costituisce la principale forma di espressione e di comunicazione, è assolutamente comprensibile come il corpo umano possieda e sviluppi continuamente un sistema di controllo motorio che riesce ad analizzare e valutare in tempo reale le informazioni sensoriali che sono continuamente rilevate dal sistema propriocettivo.

Con il termine "propriocezione" si intende il flusso dei segnali che coinvolge, insieme ai recettori periferici, le strutture più primitive del sistema nervoso: midollo spinale, tronco dell'encefalo e parte primordiale del cervelletto. Tali strutture vengono definite sottocorticali, in quanto non entrano nel dominio della coscienza.

Ad ogni istante milioni di informazioni provenienti dai vari recettori periferici presenti in pelle, muscoli, tendini, articolazioni, occhio e orecchio interno sono messe a disposizione dei centri nervosi. Queste strutture sono sempre attive ed efficienti ma la capacità di interpretare questi segnali per produrre risposte motorie adeguate tendono progressivamente a ridursi. La capacità di interpretare i segnali e produrre una risposta tende quindi ad adattarsi al livello di utilizzo. [2]

2.3 – Integrazione delle informazioni sensoriali con i comandi motori

Le informazioni rilevati dagli analizzatori sono utilizzate per correggere gli errori di movimento attraverso un meccanismo di controllo retroattivo definito a *feedback* o per poter pianificare ed eseguire un movimento in anticipo rispetto alla normale elaborazione, attraverso un sistema di anticipazione definito a *feedforward*.

L'integrazione delle informazioni sensoriali, come detto, avviene a tre livelli (midollo spinale, tronco encefalico, corteccia cerebrale) organizzati in modo gerarchico e in parallelo, in modo da consentire di poter inviare comandi motori non soltanto ai livelli gerarchicamente inferiori.

Tale possibilità di lavorare in parallelo conferisce alle funzioni un certo grado di ridondanza dei sistemi motori che può sembrare antieconomica dal punto di vista energetico, ma che è invece fondamentale per il recupero funzionale dopo lesioni circoscritte del sistema nervoso centrale.

Tale duplicazione nella gestione delle informazioni consente inoltre di imparare a trattare più trasformazioni sensori-motorie simultaneamente, accorciando così i tempi di reazione a stimoli noti.

Ai tre livelli gerarchici sopra menzionati si aggiungono altre due formazioni molto importanti per le funzioni motorie: il *cervelletto* che “regola” l'attività delle strutture motorie del tronco encefalico e della corteccia motoria, aggiorna e perfeziona i programmi motori e i *nuclei della base* che sono più probabilmente implicati nella pianificazione del movimento. [3]

3 – LE VIBRAZIONI

3.1 - Cosa sono le vibrazioni

Sono di recente introduzione delle particolari pedane in grado di riprodurre variazioni delle forze gravitazionali grazie all'applicazione di vibrazioni, definite con il nome di Whole Body Vibration (WBV), all'intero sistema corporeo.

Queste onde vibratorie vengono trasmesse dalla parte distale del soggetto, in contatto con la pedana, e permettono un lavoro muscolare in contrazione o in allungamento.

L'intensità del carico vibrante è dipendente dall'accelerazione della vibrazione, a sua volta legata alla frequenza ed all'ampiezza dell'oscillazione. [4]

Possiamo dunque identificare i seguenti parametri biomeccanici che vanno a caratterizzare le nostre vibrazioni:

- Ampiezza dell'oscillazione: (misurata in millimetri, mm) indica la distanza tra la pedana ed il piano orizzontale.
- Frequenza: (misurata in Hertz, Hz) indica il numero di oscillazioni nell'unità di tempo.
- Accelerazione: (misurata in G) indica l'aumento della velocità della vibrazione.

Lo stimolo meccanico prodotto dalle vibrazioni viene percepito dall'apparato muscolo scheletrico che immediatamente si adatta alla variazione posturale attraverso l'attivazione riflessa della muscolatura. [5]

Stimoli vibratorii a basse frequenze (sino a 80 Hz) sono rilevati dai corpuscoli di Meissner; quelli a frequenze più elevate (fino a 500 Hz) dai corpuscoli del Pacini.

Le rapide variazioni di lunghezza del complesso muscolo tendineo causate dalle vibrazioni vengono percepite inoltre dai propriocettori dei fusi neuromuscolari, determinando un'attivazione riflessa del muscolo analogamente a quello che si verifica durante l'esecuzione di un balzo a ginocchia bloccate.

Questi modesti ma significativi cambiamenti di lunghezza fanno sì che l'Allenamento Vibratorio sia sostanzialmente assimilabile ad un cadenzato susseguirsi di contrazioni

eccentriche e concentriche di piccola ampiezza, anche se l'allenamento con le vibrazioni, basandosi principalmente su posizioni statiche, ci potrebbero indurre a pensare erroneamente di trovarci in presenza di contrazioni puramente isometriche. [6]

Le vibrazioni inoltre producono dei microspostamenti che sono recepiti da tutte le strutture propriocettive quali gli Organi Tendinei del Golgi, i fusi neuromuscolari, i corpuscoli di Meissner per stimoli vibratorii fino ad 80 Hz di frequenza e i corpuscoli del Pacini per frequenze fino a 500 Hz.

Tali strutture inducono il muscolo ad una risposta adattiva attraverso delle contrazioni muscolari riflesse (riflesso miotattico) stimolando così, oltre che le capacità propriocettive, anche la funzionalità del sistema neuromuscolare di produrre forza durante la fase di contrazione che segue lo stiramento.

Nel corso degli anni innumerevoli studi hanno provato che lo stimolo indotto dalla vibrazione produce un miglioramento della forza massima, della forza esplosiva, della resistenza, della forza veloce e della flessibilità muscolare, oltre a stimolare il profilo ormonale. [7]

3.2 – Come si usano le vibrazioni

L'allenamento con le vibrazioni si basa, come tutti i tipi di allenamento, sulla quantità di lavoro alla quale il soggetto si sottopone, quantità che nel caso specifico dell'Allenamento Vibratorio corrisponde al tempo di esposizione di ogni singola serie.

Ogni sessione di lavoro non dovrebbe mai superare il tempo complessivo di circa 25/30 minuti, compreso il recupero.

Ogni esercizio inoltre dovrebbe essere eseguito per un massimo di 90 secondi e dovrebbe essere seguito da un sufficiente tempo di riposo per consentire il necessario recupero al Sistema Nervoso Centrale e a quello Periferico, entrambi ampiamente sollecitati durante l'allenamento vibratorio.

Tali parametri di allenamento sono infatti il risultato medio ottenuto nei protocolli di lavoro per i quali sono stati registrati dei risultati positivi e che possono essere quindi considerati come termine di riferimento; si ritiene inoltre opportuno che l'allenamento con le vibrazioni sia eseguito non oltre le 3/4 volte alla settimana e che inizialmente il tempo di esposizione

dell'esercizio non superi i 30 secondi, per aumentare solo dopo aver raggiunto un completo adattamento al carico di lavoro.

Le tipologie di lavoro che possono essere proposte al soggetto sottoposto all'AV possono essere raggruppate in 3 diverse categorie identificate sulla base del tipo di lavoro proposto, ovvero:

- *lavoro isometrico*: mantenimento di posizioni statiche con carico naturale o sovraccarico non superiore al 50% del peso corporeo;
- *lavoro dinamico*: esecuzione di normali esercizi di muscolazione direttamente sulla pedana, svolti generalmente con l'uso dei sovraccarichi;
- *lavoro statico-dinamico*: tecnica di lavoro che alterna esercizi isometrici a esercizi dinamici, normalmente svolto con sovraccarichi. [8]

Basandosi sul principio del ciclo "Stiramento-Accorciamento" sono stati inoltre codificati vari modelli di allenamento specifico che prevedono l'uso delle vibrazioni ad una frequenza di 30 Hz; queste vibrazioni creando accelerazioni di 3,6G sottoporrebbero i muscoli estensori delle gambe ad un lavoro paragonabile a quello che si realizza eseguendo 3000 salti verticali cadendo da 60 cm (salto pliometrico). [9]

Il tempo di lavoro durante un salto verticale, infatti, è inferiore a circa 200ms mentre l'accelerazione raggiunge 3,4G; possiamo quindi calcolare che, per eseguire 3000 salti, il tempo totale di stimolo è di 10 minuti.

Lo stimolo meccanico della vibrazione, a queste condizioni, appare quindi paragonabile a quello che si realizza nel salto pliometrico, con il vantaggio che, al contrario di quest'ultimo, può essere applicato per lungo tempo.

Mentre infatti durante un balzo si determinano delle condizioni biomeccaniche critiche per i muscoli (estensori delle gambe e flessori del piede) e per i tendini che vengono stirati per una lunghezza tanto elevata da rasentare le condizioni di rottura (4,5 cm), con l'utilizzo delle vibrazioni il pre-stiramento non supera 0,5 cm. [10]

Lo stimolo vibratorio può quindi essere associato all'effetto allenante sia della forza massima che di quella esplosiva.

Non si può poi escludere che attraverso la vibrazione si possa ottenere un miglioramento della co-contrazione dei muscoli sinergici e un incremento dell'inibizione di quelli antagonisti.

Questi suggerimenti sono sorretti fortemente dai risultati presentati recentemente da Bosco e coll. (2001), che hanno potuto verificare in un gruppo di calciatori professionisti, in seguito ad un periodo di allenamento vibratorio, un miglioramento marcato pari a 12,0 cm nella flessibilità dei muscoli del tronco e dei flessori del ginocchio attraverso il test “seat and reach” (il soggetto seduto a gambe tese deve allungare gli arti superiori e il tronco verso la punta dei piedi).

3.3 – Tonic Vibration Reflex (TVR)

L'allenamento vibratorio nasce originariamente come lo sviluppo del riflesso tonico vibratorio prodotto dalla vibrazione tendinea.

Il TVR è il risultato di una contrazione riflessa ad una stimolazione locale del tendine o del muscolo che genera un'attività muscolare riscontrabile anche tramite un incremento del tracciato EMG. Possiamo quindi definire il TVR come la risposta da parte del muscolo alla sollecitazione vibratoria che induce quindi un aumento della forza contrattile dei gruppi muscolari coinvolti. [11]

Un altro effetto provocato dalla vibrazione meccanica è l'attivazione dei recettori dei fusi neuromuscolari sia a livello del complesso muscolo-tendineo direttamente sollecitato che dei gruppi adiacenti.

In sostanza, si verifica un ritmico accorciamento muscolare associato ad un contestuale allungamento tendineo; a tal proposito si ipotizza che il TVR operi in modo predominante, se non esclusivo, attraverso gli α motoneuroni e non utilizzi gli stessi pattern corticali efferenti di cui si avvale il movimento volontario. [12]

L'aumento dell'attività riscontrata con EMG evidenzia come i muscoli siano capaci di fornire forza attraverso questo metodo, al di fuori quindi del controllo motorio del SNC.

L'aumento della capacità contrattile del gruppo muscolare sottoposto a vibrazioni, si traduce in un evidente spostamento verso destra sia della relazione forza-velocità che di quella forza-potenza. [9]

4 - LE VIBRAZIONI E I SUOI EFFETTI

In questo capitolo sarà affrontato l'effetto dell'Allenamento Vibratorio sul sistema osseo e su quello muscolare, ponendo in risalto il legame fra forza muscolare e massa ossea e l'interazione fra queste componenti che sono alla base del movimento umano.

Sarà inoltre discusso di come l'AV possa diventare uno strumento di prevenzione e cura di quelle patologie legate al costante decadimento dell'efficienza della struttura ossea legata all'avanzare dell'età.

Infatti è noto che durante la locomozione, al momento dell'impatto al suolo, un treno di onde d'urto 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, ma soprattutto per il sistema neuro-muscolare e per la formazione delle ossa durante la vita dell'uomo.

La vita moderna ha portato la maggior parte della popolazione ad forte incremento dell'ipocinesia, che si risolve in un effetto negativo sul sistema muscolo-scheletrico.

Per compensare la mancanza di movimento sono stati elaborati 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 misura spesso insufficiente ad evitare rischi.

4.1 - Effetti sul sistema muscolo-scheletrico

L'allenamento della forza muscolare costituisce, senza dubbio, la miglior metodologia di allenamento per incrementare le capacità del muscolo scheletrico umano o per mantenere le sue funzionalità. La ricerca sulle vibrazioni era partita proprio per scopi terapeutici per poi allargarsi ad altri settori come quello sportivo.

Un periodo di riposo prolungato a letto o di immobilizzazione forzata causata da infortuni o da una operazione medica, può indebolire il sistema muscolo scheletrico tanto da limitarne le funzioni.

A tale proposito è stato suggerito un nuovo metodo di allenamento che utilizza come fattore di stimolo gli effetti indotti dalla vibrazione meccanica.

Infatti è stato dimostrato che il trattamento con vibrazione meccanica, riproducendo quegli stimoli forniti dalla forza di gravità che rappresentano le stimolazioni responsabili per lo sviluppo del tessuto muscolare ed osseo sia durante la vita quotidiana sia durante esercizi eseguiti in allenamento, sia durante un riposo forzato o una fase riabilitativa, rappresenta un forte stimolo per l'intero organismo e specialmente per il sistema neuromuscolare e scheletrico.

L'allenamento della forza muscolare si concretizza attraverso due fasi di adattamento e modificazione.

I primi miglioramenti della forza muscolare sono infatti attribuibili a fattori neuromuscolari quali reclutamento, sincronizzazione, coordinazione inter e intramuscolare, miglioramento dei riflessi da stiramento ed inibizione degli organi tendinei del Golgi.

I successivi miglioramenti sono attribuibili a fattori strutturali ed in particolare all'aumento della sezione trasversa del muscolo, fenomeno meglio conosciuto come ipertrofia.

In uno studio del 1998 Bosco e coll. hanno dimostrato che la stimolazione applicata attraverso la vibrazione totale del corpo è infatti in grado di migliorare significativamente la capacità di salto, relativamente all'altezza media e alla massima potenza meccanica, durante l'esercitazione di salti continui di 5 secondi, mentre non sono osservati miglioramenti nell'esecuzione del salto con contromovimento.

Queste osservazioni hanno indotto gli studiosi a ipotizzare che l'allenamento con le vibrazioni migliori i meccanismi di feedback propriocettivo, in quanto durante l'esecuzione di 5 secondi di salti continui sono i propriocettori neuromuscolari ad essere massicciamente sollecitati. La prestazione di CJ è inoltre modulata essenzialmente dalla regolazione della *"stiffness"*, che a sua volta è regolata dall'attivazione delle fibre intrafusali e modulata dal corpuscoli tendinei del Golgi.

A supporto di tale affermazione va inoltre evidenziato che la prestazione durante il CMJ è fortemente influenzata dalla capacità di reclutamento volontario, dalla struttura morfologica e dalla percentuale di fibre veloci che compongono i muscoli estensori della gamba.

Inoltre Burke e coll. (1996) hanno dimostrato che durante il trattamento con vibrazione del muscolo quadricipite femorale veniva sollecitato il riflesso da stiramento (riflesso miotatico). [12]

A tal proposito, Burke e coll. hanno suggerito che i riflessi da vibrazione operino prevalentemente, o esclusivamente, direttamente sul motoneurone *alfa* e non utilizzino la via efferente di origine corticale utilizzata normalmente durante una contrazione volontaria. Numerosi sono inoltre gli studi nei quali è stata dimostrata l'efficacia dell'AV per l'aumento della prestazione; fra questi citiamo:

Decluse e coll. (2003) che hanno registrato un incremento della forza isometrica e di quella dinamica degli arti inferiori, rispettivamente del 16,6% e del 9% al termine di uno specifico programma incrementale, con una frequenza degli allenamenti trisettimanale per una durata totale pari a 12 settimane. [13]

Alla luce di quanto emerso dai diversi studi sulla performance, appare chiaro come l'AV comporti un adattamento biologico che può essere assimilabile all'effetto neurale quale quello indotto da un allenamento di forza e/o potenza di tipo "tradizionale".

Nel 1999 Bosco e coll. hanno inoltre verificato che l'allenamento vibratorio, eseguito in maniera razionale e sistematico, può indurre positivi e duraturi adattamenti neuromuscolari.

Inoltre l'applicazione delle vibrazioni durante esercizi di squat, con e senza carico addizionale, provoca, comparata all'esercizio eseguito senza VS, un sostanziale aumento della spesa energetica rispettivamente del 16,7 e del 41%.

Viene quindi a determinarsi una condizione nella quale la variazione della frequenza, dell'ampiezza della vibrazione o di un incremento di carico incide sul costo metabolico dell'esercizio. [6]

Gli argomenti sopra citati trovano riscontro positivo

Attraverso l'uso della pedana vibrante in diversi studi scientifici, è stato possibile registrare risultati assolutamente positivi anche nell'ambito della riabilitazione fisioterapica. Studi clinici condotti su pazienti con traumi dei nervi periferici e contratture articolari hanno dimostrato l'efficacia del trattamento con vibrazioni accompagnato a metodi di trazione classica (Levitskii e coll., 1997)

Recenti esperimenti hanno evidenziato un significativo miglioramento della flessibilità della colonna vertebrale e dei muscoli flessori delle gambe dopo trattamento vibratorio. Questo metodo, in modo inequivocabile, si è dimostrato essere di gran lunga più efficace dei metodi tradizionali di stretching quali quello ballistico, passivo ed il PNF (Bosco e coll. 2001).

Le vibrazioni assumono un'importanza rilevante anche nella stimolazione cartilaginea (Bosco e coll.). Questo avviene in quanto il liquido sinoviale viene ripetutamente pompato nella cartilagine, queste pressioni intermittenti permettono di mantenere attive le proprietà della cartilagine stessa.

Sono di recente pubblicazione studi che prendono in considerazione aspetti riabilitativi, in particolare: Moezy e coll. (2008) dimostrano il miglioramento dell'equilibrio e della propriocettività in atleti che hanno subito un intervento di ricostruzione ai legamenti crociati del ginocchio. [14]

Juha Kiiski e Coll. (2008) determinano però che la propagazione dell'intensità della vibrazione lungo la catena articolare non dovrebbe superare ampiezze di 0,5 mm in soggetti con articolazioni estremamente fragili. Studio assai utile per casi estremi in riabilitazione. [15]

4.2 - Effetti sul sistema osseo

La funzione principale dell'apparato scheletrico è senza dubbio quella di fornire il supporto architettonico a muscoli e tendini in modo tale da permettere il movimento.

Per poter assolvere in modo corretto a tale compito, in qualunque età biologica, lo scheletro non costituisce una massa inerte ma al contrario si presenta come un'entità plastica in perpetuo rinnovamento (ad es. per l'accrescimento osseo o per la riparazione di fratture) attraverso il bilanciamento di due fenomeni fisiologici quali l'osteoriassorbimento, assicurato dagli osteoclasti, e l'osteof ormazione riconducibile all'attività degli osteoblasti.

Un ruolo cruciale nel controllo dinamico del rimodellamento osseo è ricoperto dall'impegno meccanico a livello scheletrico, che permette alla struttura ossea di potersi adattare allo sforzo sostenuto, in quanto la fisiologica stimolazione meccanica indotta dall'esercizio si rivela particolarmente utile sia nella limitazione dell'osteoclasti che nella stimolazione dell'incremento della massa ossea stessa.

Fattori fondamentali, quindi, in grado di mantenere intatta la struttura e influenzare positivamente la densità minerale ossea (BMD) si rivelano essere l'attività fisica intensa e prolungata e il carico gravitazionale a cui è sottoposto lo scheletro, laddove l'assenza di gravità, a cui si è sottoposti ad esempio durante i voli spaziali, comporta per l'organismo una perdita di calcio totale di circa l'1-2%. [12]

Analizzando quindi la funzionalità del sistema osseo non può non essere preso in considerazione l'aspetto dell'efficienza fisica in rapporto all'aspettativa di vita della popolazione e al mantenimento di tale efficienza attraverso l'attività fisica, come precedentemente detto, spesso insufficiente o totalmente assente specialmente nelle persone anziane.

Il *“paradosso gerontologico”* evidenzia, nella popolazione femminile, la sproporzione fra l'alta aspettativa di vita e la minore efficienza fisica rispetto ai livelli raggiunti dalla popolazione maschile. [16]

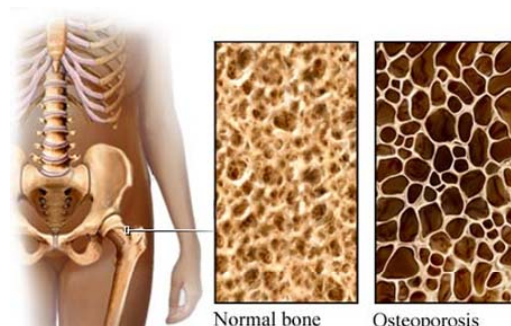
La determinazione della funzionalità dell'apparato locomotore in età geriatrica, oltre ad essere costituita dall'aspetto muscolare degli arti inferiori, è influenzata dalla mobilità muscolo-articolare.

Uno degli aspetti fondamentali da salvaguardare è quindi la potenza muscolare espressa, ovvero il rapporto fra velocità e forza muscolare sviluppata durante il movimento, laddove, in base a quanto enunciato dal paradigma di Utah, la forza generabile dal muscolo è fortemente correlata allo sviluppo della massa ossea ed alla capacità di resistenza meccanica. [16]

In questo contesto di efficienza fisica, merita un approfondimento l'aspetto della riduzione della massa ossea, che si verifica all'interno del sistema scheletrico generalmente dopo i 50 anni, e che colpisce all'incirca il 20% della popolazione femminile sopra i 50 anni e circa il 40% delle donne sopra i 70 anni.

L'osteoporosi è una malattia caratterizzata dalla progressiva riduzione della densità delle ossa e dall'assottigliamento delle ossa stesse al di sotto del limite necessario per lo svolgimento della funzione di sostegno da queste esercitata.

In particolare, la riduzione di massa ossea si accompagna ad un'anomala mineralizzazione del tessuto osseo superstite, cioè ad alcune anomalie del processo attraverso il quale i minerali come calcio e fosforo si depositano all'interno del tessuto osseo.



Questo comporta un deterioramento della sua architettura che ne determina un aumento della fragilità e, di conseguenza, un aumento del rischio di fratture in seguito a traumi anche di minima entità.

L'osteoporosi è dovuta essenzialmente alla perdita di calcio e di sali minerali ed è un fenomeno in parte fisiologico in quanto è conseguenza dei cambiamenti metabolici e ormonali ai quali va incontro l'organismo con l'avanzare dell'età.

Si può parlare di osteoporosi quando il ritmo di riassorbimento di tessuto osseo supera quello di formazione di nuovo tessuto con conseguente perdita di massa ossea e, nel momento in cui la massa ossea diventa inferiore al livello critico, si potrebbero verificare fratture anche dopo traumi, traumi che possono diventare sempre più frequenti con l'ulteriore perdita ossea.

Sebbene i fattori ormonali e metabolici siano i principali regolatori del rimodellamento osseo anche ulteriori fattori fisici, come la forza muscolare e la distribuzione del carico corporeo legata alla postura, contribuiscono alla formazione e al mantenimento di un apparato scheletrico sano.

Dato che la forza muscolare diminuisce con l'invecchiamento, la perdita di massa e solidità ossea nella popolazione in postmenopausa e anziana può dipendere anche dalla riduzione della forza muscolare applicata alle ossa.

La massa scheletrica si adatta, infatti, al carico che deve sostenere; pertanto, il riposo a letto prolungato determina una massa scheletrica inferiore a quella normalmente necessaria per sostenere il corpo.



Se gli esercizi che sono in grado d'indurre un innegabile effetto benefico sull'attività osteoblastica prevedono una fase d'impatto di una certa entità, ci troviamo di fronte ad un paradosso legato al movimento nel soggetto anziano, in quanto la proposta di programmi di lavoro basati su esercitazioni intense poco si adatta all'età del paziente e non può pertanto indurre una piena compliance da parte dello stesso nei confronti dei medesimi programmi.

L'allenamento con le vibrazioni si propone, a tal proposito, come un trattamento non farmacologico non invasivo d'elezione in medicina geriatrica, capace di agire positivamente nell'ambito delle terapie atte alla cura e alla prevenzione dell'osteoporosi, in quanto i riscontrati effetti sull'anabolismo osseo e sull'incremento della forza muscolare rappresentano delle indiscutibili risposte positive, risposte che sono amplificate dalla

possibilità di ottenere tali risultati anche in assenza di un sovraccarico funzionale-articolare a carico del paziente. [17]

Gli effetti positivi sulla densità ossea, oltre ad essere dipendenti dalla risposta del sistema osteo-articolare e muscolare allo stimolo vibratorio, sarebbero comunque legati alle variazioni del sistema endocrino, e in particolare all'aumento dell'ormone della crescita (GH) riscontrato dopo un allenamento vibratorio.

Alcuni studi condotti su ratti e ovini hanno evidenziato aumenti della BMD, alla stregua di quanto successivamente è stato possibile riscontrare su soggetti umani tramite la somministrazione di vibrazioni, laddove i risultati hanno dimostrato la capacità di tale trattamento di inibire la riduzione della densità ossea legata alla menopausa, evidenziando anche il legame importante fra il controllo del peso corporeo e l'efficienza dell'apparato scheletrico. [18]

Un ulteriore studio condotto da Gusi e coll. ha inoltre dimostrato come un programma di WBV della durata di 8 mesi produca dei maggiori effetti positivi sulla BMD del femore delle donne sottoposte al trattamento, rispetto al gruppo di controllo che è stato sottoposto a esercizi di walking. [19]

Inoltre, in uno studio condotto nel 2000 da Runge e coll. su un gruppo di volontari con età media di $70,5 \pm 6,78$ anni, è stato possibile verificare come un programma di allenamento della durata di due mesi basato sulla somministrazione di vibrazioni generate da una piattaforma ad asse sagittale sia stato in grado di migliorare la potenza degli arti inferiori, misurata attraverso uno specifico test di sollevamento dalla posizione seduta, di una percentuale del 36%.



Questo ci dimostra come l'Allenamento Vibratorio sia estremamente utile e in grado di interrompere il circolo vizioso che si instaura in un soggetto anziano, permettendo di somministrare allo stesso un'intensa sollecitazione dell'apparato scheletrico e muscolare senza tuttavia richiederli un forte impegno.

Tale metodologia di allenamento si è quindi dimostrata particolarmente utile, qualora applicata in una strategia d'intervento su pazienti osteoporotici, in quanto in grado di interferire positivamente sul metabolismo osseo.

4.3 - Effetti sulla circolazione sanguigna

In questo capitolo cercheremo di evidenziare ulteriori effetti generali provocati dalla somministrazione di stimoli vibratori.

Le sedute di lavoro (siano esse composte da esercizi dinamici, piuttosto che dal semplice mantenimento statico della posizione eretta) producono infatti un aumento della circolazione sanguigna, con un incremento della velocità media del flusso sanguigno e un considerevole abbassamento dell'indice di Resistenza, misurati attraverso l'effetto Doppler, come riscontrato da Kersch-Schindl et altri nel 2001, in uno studio eseguito a livello dell'arteria poplitea.

Tuttavia in questo studio non è stato riscontrato un aumento della velocità massima all'interno del vaso, per cui è plausibile che l'aumento della velocità media sia dovuto all'allargamento dei vasi sanguigni più piccoli che riducono la resistenza periferica.

Tale allargamento dei vasi è stato riscontrato attraverso la verifica di un considerevole aumento del numero dei vasi sanguigni con un diametro di almeno 2 mm, individuati singolarmente nel quadricipite e nel gastrocnemio.

Allo stesso tempo i valori del cuore, relativi alla pressione sanguigna sistolica e diastolica e al numero di battiti, non hanno mostrato alcun cambiamento statisticamente importante rispetto alla norma.

Inoltre, l'allenamento vibratorio, analogamente a quanto avviene per la pratica sportiva "tradizionale", stimola la produzione di neuro-trasmettitori quali la serotonina e la dopamina che influenzano positivamente l'umore e il benessere psicofisico.

5 – CONCLUSIONI

Questa tesi si è posta l'obiettivo di approcciare il concetto di Allenamento Vibratorio, cercando di dimostrare la validità di una metodologia relativamente recente per l'utilizzo finalizzato alla prevenzione e alla riabilitazione di patologie dell'arto inferiore. Tale ricerca a permesso di scoprire vari ed interessanti campi di utilizzo.

Nonostante l'applicazione delle vibrazioni fosse materia di studio da parecchi anni, l'Allenamento Vibratorio non ha attirato l'attenzione di molti scienziati sino alla fine degli anni '80.

Come precedentemente esposto, i parametri biomeccanici fondamentali sulla base dei quali è possibile determinare se gli effetti sul sistema ormonale, sulla circolazione periferica e sulla forza muscolare siano positivi o negativi, sembrano essere la frequenza e l'ampiezza della vibrazione, oltre naturalmente alla durata dell'esposizione alla stimolazione vibratoria.

I risultati degli studi dimostrano infatti che una breve esposizione dell'intero corpo a vibrazioni non troppo elevate e con le corrette pause di recupero non determina gli stessi effetti negativi conosciuti, invece, in caso di una lunga esposizione ad alta frequenza.

I diversi studi analizzati hanno in particolare evidenziato come l'Allenamento Vibratorio si dimostri particolarmente efficace in quei diversi campi di applicazione che possono rispondere alle diverse esigenze che possono essere espresse nel corso della vita da un singolo soggetto:

Allenamento sportivo: si dimostra un ottimo metodo alternativo e/o complementare all'allenamento di forza classico, soprattutto laddove questo sia rivolto all'incremento della forza esplosiva o all'aumento dell'estensibilità e della flessibilità arto-muscolare, fattori fondamentali che prevengono infortuni all'intero apparato locomotore;

Riabilitazione: può portare benefici in termini generali qualora associato a protocolli riabilitativi e più specificatamente per la completa riabilitazione delle tendinopatie rotulee e degli ischio crurali, in pazienti post-chirurgici con ricostruzione dei legamenti crociati;

Patologie Geriatriche: può essere applicato a particolari patologie geriatriche, quali l'osteoporosi, ed a piani di lavoro riabilitativi e di miglioramento della funzionalità osteo-musco-articolare del soggetto geriatrico, non dimenticando gli effetti positivi sul sistema propriocettivo e la conseguente diminuzione dei rischi di caduta.

Quest'ultima è da considerarsi necessità primaria per evitare un drastico peggioramento della qualità della vita.

Naturalmente il lavoro scientifico relativo agli effetti dell'Allenamento Vibratorio è ancora largamente incompleto, specialmente per quello che riguarda specificatamente gli effetti prodotti dalle Whole Body Vibration sull'intero organismo umano.

Resta infatti da analizzare e definire quale sia il più efficiente protocollo di allenamento e come sia possibile eliminare, o quantomeno ridurre, i rischi per la salute associati ad una eccessiva esposizione ad un carico vibratorio.

Si devono infatti considerare anche gli effetti negativi che la vibrazioni possono avere sulla forza muscolare, qualora l'esposizione alle stesse ecceda i limiti stabiliti dalle normative di sicurezza. Diviene quindi fondamentale che l'uso delle pedane vibranti avvenga sotto il controllo di professionisti del settore che siano in grado di determinare con cura delle tabelle di allenamento possibilmente personalizzate per i singoli soggetti.

6 – BIBLIOGRAFIA

- [1] C. BOSCO, La Forza Muscolare, Soc. Stampa Sportiva Roma, 1997, p. 49.
- [2] D.Riva “Archeopropriocezione” (Sport e medicina) – 2000, 2, marzo – aprile, 49 – 55.
- [3] M. FAVILLA in Fisiologia dell’uomo, EDI-ERMES ed., 2002, pp. 186-187.
- [4] V.B. ISSURIN, Vibrations and their applications in sport, A review, J.Sport Med. Phys, 45, 2005, 324-336.
- [5] Burke J.R., Schutten M.C., Koceja D.M. & Kamen G.: Age-dependent effects of muscle vibration and the Jendrassik maneuver on the patellar tendon reflex response. Arch Phys Med Rehabil, 77, 600-604, 1996.
- [6] Rittweger J., Schiessl H., Felsemberg D.: Oxygen uptake during whole body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. Eur J Appl Physiol, 86, 166-173, 2001.
- [7] Rittweger J., Mutschelknauss M., Felsenberg D.: Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. Clin Physiol, 23, 81-86, 2003.
- [8] G.N. Bisciotti, Le vibrazioni: Aspetti Neurofisiologici, Applicativi e Metodologici, Nuova Atletica Ricerca in Scienze dello Sport, 45, 2006, 5-23
- [9] Bosco C., Cardinale M., Tsarpela O.: Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. Eur J Appl Physiol, 79, 306-311, 1999.

Bosco C., Cardinale M.: Nuove frontiere dell'allenamento sportivo: le vibrazioni. Effetti sul comportamento meccanico del muscolo scheletrico. *Coaching & Sport Science Journal*, 1, 53-58, 1998.

[10] Bosco, 1992. Tesi

[11] Bongiovanni L.G., Hagbarth K.E.: TVR elicited during fatigue from maximal voluntary contractions in man. *J Physiol (Lond)* 423, 1-14, 1990.

Bongiovanni L.G., Hagbarth K.E., Stjernberg L.: Prolonged muscle vibration reducing power output in maximal voluntary contractions in man, *J Physiol*, 423, 15-26, 1990.

[13] Delecluse C., Roelants M., Verschueren S.: Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 1033-1041, 2003.

[14] Moezy A, Olyaei G, Hadian M, Razi M, Faghihzadeh S.: A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med*. 2008 May;42(5):373-8. Epub 2008 Jan 8.

[15] Kiiski J, Heinonen A, Järvinen T, Kannus P, Sievänen H.: Transmission of Vertical Whole Body Vibration to the Human Body. *J Bone Miner Res*. 2008 Mar 18. [Epub ahead of print]

[16] Runge M., Rehfeld G., Resnick E.: Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskel Interact*, 1, 54-58, 2000.

[17] Rubin C., Pope M., Fritton J.C., Magnusson M., Hansson T., McLeod K.: Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibration to the human hip and lumbar spine: determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine*; 28(23), 2621-2627, 2003.

- [18] Rubin C., Recker R., Cullen D., Ryaby J., McCabe J., McLeod K.:Prevention of postmenopausal bone loss by a low magnitude, high frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy and safety. *Journal Bone Mineral Research*, 19(3), 343-351, 2004.
- [19] (Gusi e coll., 2006 Gusi N., Raimundo A., Leal A.:Low-frequency exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disord*, 7(97), 2006.