

LA VIBRAZIONE

C. CELLETTI, F. CAMEROTA, R. CASALE

OBIETTIVI. Descrivere le diverse forme di utilizzo della vibrazione meccanica, le caratteristiche fisiche nonché le applicazioni terapeutiche in medicina riabilitativa.

CONTENUTI. La parte principale del capitolo è dedicata alla descrizione delle caratteristiche fisiche della vibrazione con cenni di neurofisiologia ad essa correlate; inoltre vengono descritti gli studi determinanti per la comprensione delle possibili applicazioni terapeutiche ed infine vengono descritti i principali campi applicativi.

CHE COSA DICE AI RICERCATORI. Negli ultimi anni sono stati pubblicati vari lavori sulle possibilità applicative della vibrazione meccanica; la letteratura suggerisce la necessità di condurre studi su ampie popolazioni per valutare l'efficacia di questo trattamento in particolare nei disturbi del tono muscolare (ipertono e ipotono) che interessano diverse patologie quali le paralisi cerebrali infantili, le disabilità neurologiche conseguenti a danni cerebrovascolari, la sclerosi multipla e la malattia di Parkinson.

CHE COSA DICE AI CLINICI. Nell'ambito dei diversi trattamenti di terapia fisica, l'utilizzo della vibrazione meccanica deve essere considerato come una forma terapeutica efficace la cui utilità lo identifica come uno strumento valido nel trattamento di diverse patologie.

DEFINIZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI

È noto che il muscolo sottoposto a vibrazioni prodotte da particolari apparecchiature produce effetti biologici in relazione ai diversi recettori che vengono stimolati.

Le caratteristiche neurofisiologiche, gli effetti biologici e le possibili applicazioni terapeutiche sono oggetto di studio sin dalla seconda metà dell'ottocento quando nel 1892 Jean Martin Charcot in una delle sue letture trattò il tema della vibrazione meccanica nei disordini neurologici. In *“Vibrazione terapeutica: applicazione di rapide e continue vibrazioni nel trattamento di alcuni disordini del sistema nervoso”* vengono descritte le possibili applicazioni terapeutiche della vibrazione nel trattamento di alcune patologie del sistema nervoso. In questa lettura Charcot ha riassunto la storia della vibrazione terapeutica e ha focalizzato la sua esperienza sul morbo di Parkinson. Un anno dopo la sua

morte, sebbene Gilles de la Tourette avesse continuato a studiare la vibrazione, le osservazioni di Charcot andarono in gran parte dimenticate¹.

È per altro noto che la pallestesia [comp. del gr. *πάλλω* «vibrare» e -estesia] è una sensibilità complessa e profonda del sistema nervoso (detta anche sensibilità vibratoria) che si esamina facendo vibrare un diapason in corrispondenza di una superficie ossea non ricoperta da muscoli; è una modalità sensoriale complessa, che comprende il tatto e la rapida alternanza di stimolazioni pressorie. Le strutture sensoriali cutanee in grado di registrare le stimolazioni pallestetiche sono i corpuscoli di Pacini (sensazione e percezione); la trasmissione avviene a livello delle corna dorsali del midollo e risale le colonne dorsali fino ai nuclei talamici.

L'oscillazione (movimento che un punto mobile compie per ritornare alla posizione di partenza) meccanica generata da onde di pressione che si trasmettono attraverso corpi

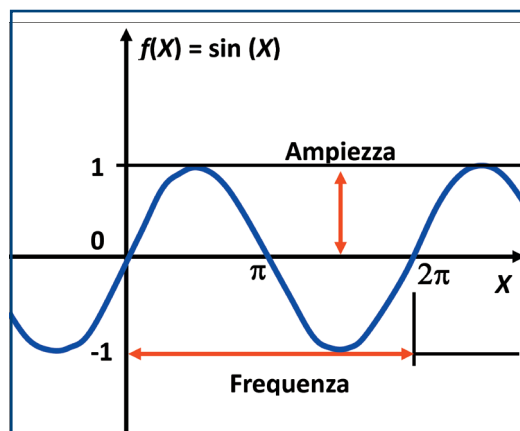


Figura 9.75 – Le caratteristiche dello stimolo vibratorio.

solidi elastici genera una vibrazione che si caratterizza principalmente per due parametri: frequenza e ampiezza (Fig. 9.75). La frequenza è data dal numero degli eventi, identici tra loro, che vengono ripetuti in una data unità di tempo. L'ampiezza definisce invece l'entità della variazione e si può esprimere con unità di grandezza sia di spostamento (millimetri o sue frazioni) sia di forza (Newton o kg o loro sottomultipli).

I meccanocettori della cute rispondono a queste oscillazioni con un codice di impulsi in cui ogni potenziale di azione determina un'onda sinusoidale. I meccanocettori si differenziano per la soglia di vibrazione alla quale si attivano: i recettori del Merkel sono maggiormente responsivi a vibrazione di bassa frequenza (5-15 Hz); i corpuscoli del Meissner sono sensibili a stimoli con frequenze intermedie (20-50 Hz) mentre i corpuscoli del Pacini rispondono a stimoli ad alta frequenza (60-400 Hz) e a 250 Hz rilevano vibrazioni di bassa ampiezza (pari a 1 micron). (Fig. 9.76).

Lo stimolo vibratorio viene trasdotto da recettori situati nella cute e nel tessuto sottocutaneo. Nella cute sia glabra che pelosa sono stati identificati mediante tecnica microneurografica nell'uomo integro e collaborante, 4 tipi di meccanocettori raggruppati in base

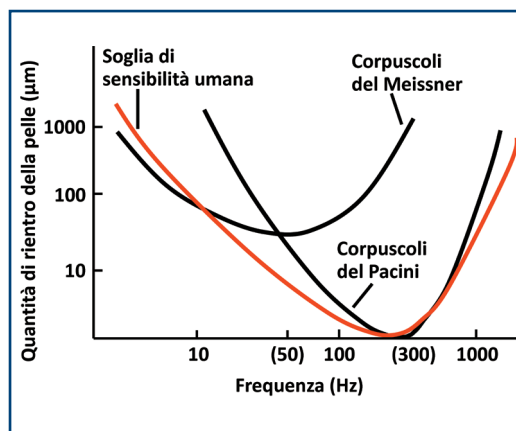


Figura 9.76 – ??????

all'adattamento ed alle dimensioni del campo recettoriale². Fra questi, i corpuscoli del Pacini sono meccanocettori a rapido adattamento e sono considerati i recettori che maggiormente rispondono alla vibrazione con frequenze di massima risposta attorno ai 250 Hz. Essi sono distribuiti particolarmente sul palmo delle mani e dita, sulla pianta del piede, nel periostio, nelle fasce e attorno ai tendini³. I corpuscoli del Pacini sono anche coinvolti nella trasmissione dello stimolo tattile e del dolore.

La capacità di avvertire gli stimoli vibratori dipende dalle soglie cui sono sintonizzati i recettori. La percezione di una stimolazione vibratoria come una serie di eventi ripetitivi dipende dalla attivazione in modo sincrono dei recettori situati sotto il dispositivo. L'intensità degli stimoli vibratori viene codificata dal numero complessivo di fibre nervose sensitive attivate più che dalla loro frequenza di scarica che codifica invece la frequenza degli stimoli vibratori.

Meccanocettori altamente specializzati sono i fusi neuromuscolari; essi rispondono allo stiramento delle terminazioni anulospirali allo stimolo vibratorio⁴. Sono connessi funzionalmente a fibre mielinizzate del gruppo la di Lloyd. Queste fibre hanno un diametro che varia dai 12 ai 20 micron, con

una velocità di conduzione elevata attorno ai 120 m/s. Rispondono selettivamente a stimoli vibratorii attorno ai 150 Hz⁵. I recettori di Meissner sono coinvolti nella percezione dello stimolo vibratorio ma a differenti frequenze, al di sotto dei 100 Hz (attorno ai 50-70 Hz), e sono responsabili della sensazione cosiddetta di flutter.

Da un punto di vista anatomico-strutturale, i meccanorecettori sono provvisti oltre che di fibre mielinizzate di diverso calibro, anche 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

A livello cutaneo, nell'uomo sono identificabili, mediante tecnica microneurografica, diversi tipi di meccanorecettori, che possono essere classificati in base all'adattamento ed alle dimensioni del campo recettoriale². Tuttavia, non tutti i 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 stesso⁶. Mountcastle⁷ 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, che 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.

Le vibrazioni maggiormente usate in terapia hanno una frequenza variabile tra i 20 e i 300 Hz, anche se una frequenza intorno ai 100 Hz è stata considerata soddisfacente per la maggior parte delle applicazioni. Generalmente gli autori convengono che l'ampiezza ottimale dello stimolo vibratorio possa variare tra 1 e 2 mm; ampiezze più grandi tendono a determinare un sovrastimolo per il muscolo e per le ossa.

Nello stesso tempo le diverse frequenze della vibrazione hanno effetti significativi sul corpo umano: vibrazioni che hanno un range di frequenza compresa tra i 2,5-5 Hz generano forti risonanze nelle vertebre del collo e nella zona lombare con amplificazione fino al 250%; vibrazioni tra i 4-6 Hz generano risonanza nel tronco con amplificazione fino al 200%; vibrazioni tra i 20-30 Hz generano la risonanza maggiore tra la testa e le spalle con amplificazione fino al 350%.

NEUROFISIOLOGIA

La vibrazione con le caratteristiche di ampiezza e di frequenza descritte è in grado di indurre il riflesso tonico vibratorio o TVR^{8,9}, contrazione muscolare che si mantiene per tutto il tempo dell'applicazione della vibrazione; la vibrazione di bassa ampiezza (maggiore di 3 mm) con frequenza di 100 Hz è in grado di indurre una contrazione nel muscolo sottoposto a vibrazione e questa contrazione aumenta lentamente sino al raggiungimento di una soglia. La

contrazione sostenuta dal muscolo vibrato è associata ad un simultaneo rilasciamento del suo antagonista. L'informazione afferente indotta dalla vibrazione attraverso le terminazioni è simile all'effetto dell'attivazione fusimotoria.

La scarica afferenziale indotta dall'applicazione della vibrazione a livello muscolare è stata studiata a partire da Bianconi nel 1963⁴ e con Goodwin nel 1972¹⁰ i quali hanno osservato come fosse in grado di indurre una distorsione sistematica del senso di posizione dell'articolazione del gomito quando veniva vibrato uno dei muscoli dell'articolazione. Come o in relazione a quale meccanismo l'informazione proveniente dalle terminazioni muscolari venisse utilizzata dal sistema nervoso centrale risultava sconosciuta sebbene si sapesse che le informazioni sensitive venivano trasmesse arrivano in corteccia sensorimotoria nell'area 3a e che le registrazioni dalle fibre afferenti erano attive durante la contrazione isometrica.

Con Hagbarth e Eklund nel 1968¹¹ furono pubblicati studi sugli effetti motori della vibrazione in pazienti con diversi tipi di disordini motori secondari a danno a carico del sistema nervoso centrale, in particolare quelli associati a spasticità e rigidità.

Negli anni a seguire Beverly Bishop ha studiato le caratteristiche neurofisiologiche della stimolazione vibratoria e le possibili applicazioni terapeutiche¹²⁻¹⁵; osservò che nell'uomo sano l'applicazione della vibrazione ad alta frequenza sui muscoli e sui tendini era in grado di evocare una contrazione riflessa con un lento aumento in un periodo variabile dai venti ai sessanta secondi; questa contrazione muscolare involontaria è stata chiamata Riflesso Tónico Vibratorio⁸. Ogni ciclo di vibrazione allunga il muscolo ed eccita selettivamente le terminazioni primarie del fuso muscolare che si attiva ad ogni ciclo di vibrazione.

Nonostante i documentati effetti benefici indotti dalla vibrazione nella spasticità

la maggior limitazione era data dalla durata dell'effetto limitata al periodo di applicazione della vibrazione che comunque era limitato ad uno o due minuti a causa della comparsa di frizione sulla cute per cui l'applicazione della vibrazione diventava intollerabile. La vibrazione veniva applicata sul muscolo o sul tendine con una frequenza di 150 Hz e una ampiezza di 1,5 mm.

Successivamente sono stati individuati alcuni parametri della vibrazione in grado di modificare il controllo motorio; in particolare per quel che riguarda la frequenza della vibrazione, questa deve essere un segnale puro in grado di dar luogo al fenomeno del "driving" i cui effetti risultano persistenti se applicata in un range compreso tra 70 e 120 Hz e per un tempo di almeno 10 minuti. Con queste caratteristiche la vibrazione appare in grado di modificare l'eccitabilità corticale dell'area motrice primaria sia durante che dopo l'applicazione.

Nel 1989 con gli studi di Roll¹⁶ si pose l'attenzione sul parametro Ampiezza e dimostrò che la vibrazione applicata con ampiezze più basse (0.5 mm) era in grado di attivare le terminazioni fusali muscolari primarie (Ia) che risultavano le più sensibili a questo stimolo.

In seguito gli studi di Rosenkranz e Rothwell¹⁷ dimostrarono come un input sensitivo di breve durata applicato ad un muscolo, come la vibrazione, era in grado di modificare il pattern di eccitabilità dei circuiti agendo sull'output motorio sia del muscolo vibrato che dei muscoli adiacenti. Così hanno valutato gli effetti nell'organizzazione sensorimotoria indotta da uno stimolo a lungo termine consistente in una vibrazione applicata in maniera discontinua per 15 minuti con frequenza di 80 Hz e ampiezza di 0,2-0,5 mm (ovvero di ampiezza inferiore a 0.5 mm in modo da non attivare il TVR); conclusero così che uno stimolo sensitivo puro come la vibrazione muscolare è in grado di modellare l'eccitabilità intracorticale mediante una ri-

duzione dell'inibizione ed un aumento della facilitazione intracorticale del muscolo vibrato.

APPLICAZIONI TERAPEUTICHE

Le vibrazioni meccaniche utilizzate a scopo terapeutico possono essere di due tipi principali:

- vibrazioni che coinvolgono l'intero corpo: Whole Body Vibration (WBV);
- vibrazioni che coinvolgono solo limitati distretti corporei: FocalVibration (FV).

La vibrazione meccanica a tipo WBV è una sollecitazione di tipo meccanico ad oscillazioni verticali sinusoidali (ovvero ripetute ritmicamente e costantemente nel tempo) applicata a tutto il corpo. In commercio l'apparecchiatura utilizzata è la pedana vibrante che si caratterizza per la presenza di una piattaforma di appoggio in grado di erogare una vibrazione regolare per caratteristiche.

A partire dagli studi iniziali effettuati da Bosco sulla risposta adattativa del muscolo alla stimolazione con vibrazione^{18, 19}, gli studi a seguire riguardanti le applicazioni terapeutiche hanno mostrato un miglioramento della forza isometrica a livello del

ginocchio, un aumento della potenza muscolare e dell'equilibrio²⁰; tali studi sono risultati efficaci nel trattamento del soggetto anziano²¹; inoltre la WBV è stata anche proposta come trattamento adiuvante l'esercizio fisico nel trattamento dell'osteoporosi²¹.

Le vibrazioni meccaniche focali hanno avuto negli ultimi anni diversi campi di applicazione sia in ambito ortopedico che neurologico. Si differenziano dalla WBV per la possibilità di applicare la vibrazione in maniera focale e selettiva sul singolo distretto muscolare sia con strumenti meccanici vibranti che con stimolazioni mecano acustiche (Fig. 9.77).

Le prime evidenze riguardanti le modifiche che la vibrazione è in grado di indurre sia termini di cambiamento di performance muscolare²³ sia come miglioramento dei parametri di fatica mioelettrica attraverso una modifica centrale dell'ordine di reclutamento, interpretabile come una risposta adattativa al condizionamento indotto dalla vibrazione ad alta frequenza²⁴, hanno permesso a diversi gruppi di studio di effettuare varie sperimentazioni per valutare l'effetto della vibrazione in termini di miglioramento propriocettivo sia in soggetti con postumi di intervento di ricostruzione del legamento

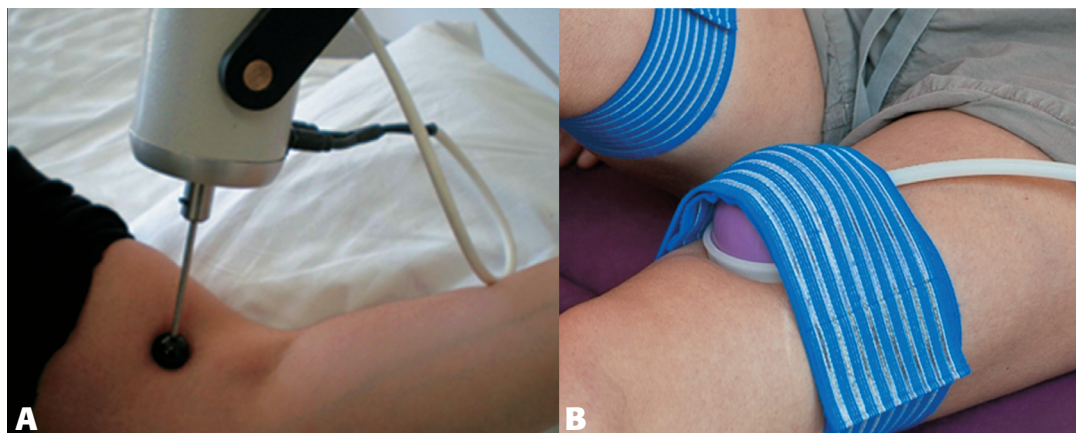


Figura 9.77 – Applicazione della vibrazione meccanica focale con stimolatore meccanico (A) e con stimolatore mecano acustico (B).

crociato anteriore²⁵ che in giovani pallavoliste²⁶ ma anche in donne over 65²⁷ nonché in patologie diverse caratterizzate dal deficit propriocettivo²⁸ e nel piede cadente²⁹. In particolare la valutazione isometrica, isotonica e isocinetica dei soggetti trattati con vibrazione meccanica focale sul quadricipite femorale, hanno evidenziato una riduzione del tempo di sviluppo della forza nel test isometrico, associato ad una riduzione della fatica nel test isotonico e una riduzione del tempo richiesto per generare il picco di forza nel test isocinetico²³. Il miglioramento della stabilità posturale, in termini di riduzione dell'ellissi del centro di pressione, dei soggetti sottoposti ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore, valutata con lo standing in monopodolica sull'arto operato, è risultato presente dopo un giorno dal trattamento ma con una persistenza nelle settimane successive²⁵, indicando un cambiamento plastico nel processamento propriocettivo con un miglioramento del controllo articolare già visto nel soggetto sano²⁴; risultati analoghi sono stati osservati in giovani pallavoliste dove è stato osservato un aumento della potenza esplosiva e reattiva degli arti²⁶. Nel soggetto anziano l'applicazione della vibrazione sui muscoli quadricipiti femorali ha evidenziato un incremento della stabilità a lungo termine ed un aumento della forza muscolare, valutati mediante l'area di oscillazione del centro di pressione, l'altezza del salto verticale e la forza delle gambe.

L'applicazione della FV sul singolo distretto muscolare è in grado di attivare le afferenze fusali di tipo Ia potenziando le reti di controllo motorio. L'associazione tra la stimolazione con FV e la contrazione muscolare per un periodo di tempo prolungato è in grado di determinare una *Long Term Potenziation (LTP)* ovvero un potenziamento a lungo termine di selezionate reti nervose, che determinano un effetto terapeutico prolungato.

La corteccia sensori-motoria dell'uomo ha notevoli proprietà plastiche sia nel soggetto sano che nel soggetto con patologia. Gli studi di neurofisiologia hanno dimostrato che l'esposizione ad una stimolazione sensoriale è in grado di "guidare" la plasticità all'interno delle reti nervose deputate al controllo motorio grazie alle connessioni anatomiche tra regioni omologhe di S1 (corteccia somatosensoriale primaria) e M1 (corteccia motoria primaria)³⁰. Tra i vari tipi di stimolazione sensoriale, la vibrazione muscolare, applicata a bassa intensità ed elevata frequenza, si è rivelata uno stimolo adeguato per attivare selettivamente le afferenze fusali primarie e diversi autori hanno dimostrato come questo tipo di stimolo sia in grado di modificare l'eccitabilità di M1 per un certo periodo di tempo (nell'ordine dei minuti) dopo la fine stimolazione³¹ (Fig. 9.78). Inoltre, si è visto che l'applicazione della vibrazione secondo un protocollo specifico è in grado di indurre modificazioni dell'assetto corticale eccitatorio/inibitorio di M1 in soggetti sani persistendo fino a 2 settimane dopo la fine del trattamento³². Questi dati sembrano dimostrare

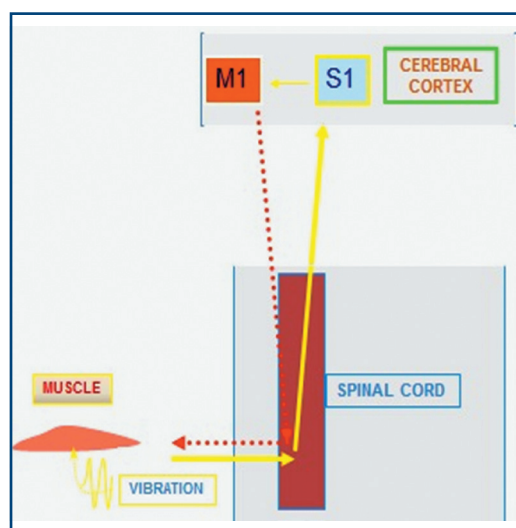


Figura 9.78 – ??????.

che la vibrazione meccanica focale associata ad un trattamento riabilitativo, sia in grado di indurre cambiamenti a lungo termine che determinano un miglioramento della funzione motoria nei pazienti con ictus cronico; questi cambiamenti consistono in una riduzione del tono muscolare e un rimodellamento delle mappe corticali dei muscoli trattati.

I risultati osservati nei soggetti sani in termini di modifica dell'eccitabilità corticale sono stati valutati anche nei pazienti con ictus cronico ove sono stati valutati anche outcome motori³³. Le modifiche di eccitabilità corticale che si sono manifestate sia sul muscolo trattato con FV (flessore radiale del carpo), sia sul suo antagonista (estensore comune delle dita) sono compatibili con un possibile ribilanciamento nei meccanismi di inibizione reciproca corticale, compromessi dopo ictus. È noto che l'aumento della SICI e l'incremento dell'inibizione reciproca corticale sono correlati a fenomeni di recupero funzionale ed alla capacità di focalizzare meglio la contrazione muscolare, diminuendo il grado di co-contrazione durante l'atto motorio volontario. La possibilità di ridurre la spasticità in esito ad ictus cerebrale mediante un trattamento non invasivo e non farmacologico è stata valutata nei soggetti con ictus cronico mediante studi clinici, valutando il miglioramento della funzionalità dell'arto superiore³⁴.

Studi clinici sono stati effettuati su soggetti in età pediatrica affetti da esito di paralisi cerebrale infantile³⁵; le valutazioni strumentali sono state effettuate mediante analisi computerizzata del cammino in soggetti con diplegia spastica mostrando una variazione dei parametri spazio-temporali e cinematici del cammino a distanza di un mese dal trattamento; un aumento della lunghezza del ciclo del passo associata ad un cammino globalmente più simmetrico hanno ipotizzato un ruolo della FV nel recupero motorio sfruttando la plasticità neuronale³⁶.

BIBLIOGRAFIA

1. Goetz CG. Jean-Martin Charcot and his vibratory chair for Parkinson disease. *Neurology* 2009;73:475-8.
2. Vallbo AB, Johansson RS. Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation. *Hum Neurobiol* 1984;3:3-14.
3. La Motte RH, Mountcastle VB. Capacities of humans and monkeys to discriminate vibratory stimuli of different frequency and amplitude: a correlation between neural events and psychological measurements. *J Neurophysiol* 1975;38:539-59.
4. Bianconi R, van der Meulen J. The response to vibration of the end organs of mammalian muscle spindles. *J Neurophysiol* 1963;26:177-90.
5. Hagbarth KE. The effect of muscle vibration in normal man and in patient with motor disorder. *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*. Desmedt editor; 1973. p.428-43.
6. Matthews PB. The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to its tendon. *J Physiol* 1966;184:450-72.
7. Mountcastle VB, Talbot WH, Sakata H *et al.* Cortical neuronal mechanisms in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Neuronal periodicity and frequency discrimination. *J Neurophysiol* 1969;32:452-84.
8. De Domenico G. Tonic Vibration Reflex. What is it? Can we use it? *Physiotherapy* 1979;65:44-8.
9. Eklund G, Hagbarth KE. Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Exp Neurol* 1966;16:80-92.
10. Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PBC. Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contribution to perception by muscle spindles? *Science* 1972;175:1382-4.
11. Hagbarth KE, Eklund G. The effects of muscle vibration in spasticity, rigidity, and cerebellar disorders. *J Neurol Neurosur Psychiatr* 1968;31:207-13.
12. Bishop B. Spasticity: its physiology and management. Part I. Neurophysiology of spasticity: classical concepts. *Phys Ther* 1977;57:371-6.
13. Bishop B. Spasticity: its physiology and man-

- agement. Part II. Neurophysiology of spasticity: current concepts. *Phys Ther* 1977;57:377-84.
14. Bishop B. Spasticity: its physiology and management. Part III. Identifying and assessing the mechanisms underlying spasticity. *Phys Ther* 1977;57:385-95.
 15. Bishop B. Spasticity: its physiology and management. Part IV. Current and projected treatment procedures for spasticity. *Phys Ther* 1977;57:396-401.
 16. Roll JP, Vedel JP, Ribot E. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study. *Exp Brain Res* 1989;76:213-22.
 17. Rosenkranz K, Rothwell JC. Differential effect of muscle vibration on intracortical inhibitory circuits in human. *J Physiol* 2003;551:649-60.
 18. Bosco C, Cardinale M, Tarpela O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;79:306-11.
 19. Bosco C, Colli R, Intorini E *et al.* Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 1999;19:183-7.
 20. Sitjà-Rabert M, Rigau D, Fort Vanmeerghaeghe A *et al.* Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil* 2012;34:883-93.
 21. Rogan S, Hilfiker R, Herren K *et al.* Effects of whole-body vibration on postural control in elderly: a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr* 2011;11:72.
 22. Wysocki A, Butler M, Shamliyan T *et al.* Whole-body vibration therapy for osteoporosis: state of the science. *Ann Intern Med* 2011;155:680-6.
 23. Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A *et al.* Motor performance changes induced by muscle vibration. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
 24. Casale R, Ring H, Rainoldi A. High frequency vibration conditioning stimulation centrally reduces myoelectrical manifestation of fatigue in healthy subjects. *J Electromyogr Kinesiol* 2009;19:998-1004.
 25. Brunetti O, Filippi GM, Lorenzini M *et al.* Improvement of posture stability by vibratory stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1180-7.
 26. Brunetti O, Botti FM, Roscini M *et al.* Focal vibration of quadriceps muscle enhances leg power and decreases knee joint laxity in female volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2012;52:596-605.
 27. Filippi GM, Brunetti O, Botti FM *et al.* Improvement of stance control and muscle performance induced by focal muscle vibration in young-elderly women: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2009;90:2019-25.
 28. Celletti C, Castori M, Galli M *et al.* Evaluation of balance and improvement of proprioception by repetitive muscle vibration in a 15-year-old girl with joint hypermobility syndrome. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2011;63:775-9.
 29. Camerota F, Celletti C, Don R *et al.* Preliminary evidence of the efficacy of the repetitive muscle vibration therapy in chronic foot drop. *Acupuncture and Related Therapy* 2013;1:27-30.
 30. Feldman DE, Brecht M. Map plasticity in somatosensory cortex. *Science* 2005;310:810-5.
 31. Rosenkranz K, Pesenti A, Paulus W *et al.* Focal reduction of intracortical inhibition in the motor cortex by selective proprioceptive stimulation. *Exp Brain Res* 2003;149:9-16.
 32. Marconi B, Filippi GM, Koch G *et al.* Long-term effects on motor cortical excitability induced by repeated muscle vibration during contraction in healthy subjects. *J Neurol Sci* 2008;275:51-9.
 33. Marconi B, Filippi GM, Koch G *et al.* Long-term effects on cortical excitability and motor recovery induced by repeated muscle vibration in chronic stroke patients. *Neurorehabil Neural Repair* 2011;25:48-60.
 34. Caliendo P, Celletti C, Padua L *et al.* Focal-muscle vibration in the treatment of upper limb spasticity: a pilot randomized controlled trial in patients with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2012;93:1656-61.
 35. Celletti C, Camerota F. Preliminary evidence of focal muscle vibration effects on spasticity due to cerebral palsy in a small sample of Italian children. *Clin Ter* 2011;162:e125-8.
 36. Camerota F, Galli M, Celletti C *et al.* Quantitative effects of repeated muscle vibrations on gait pattern in a 5-year-old child with cerebral palsy. *Case Rep Med* 2011;359:126.