

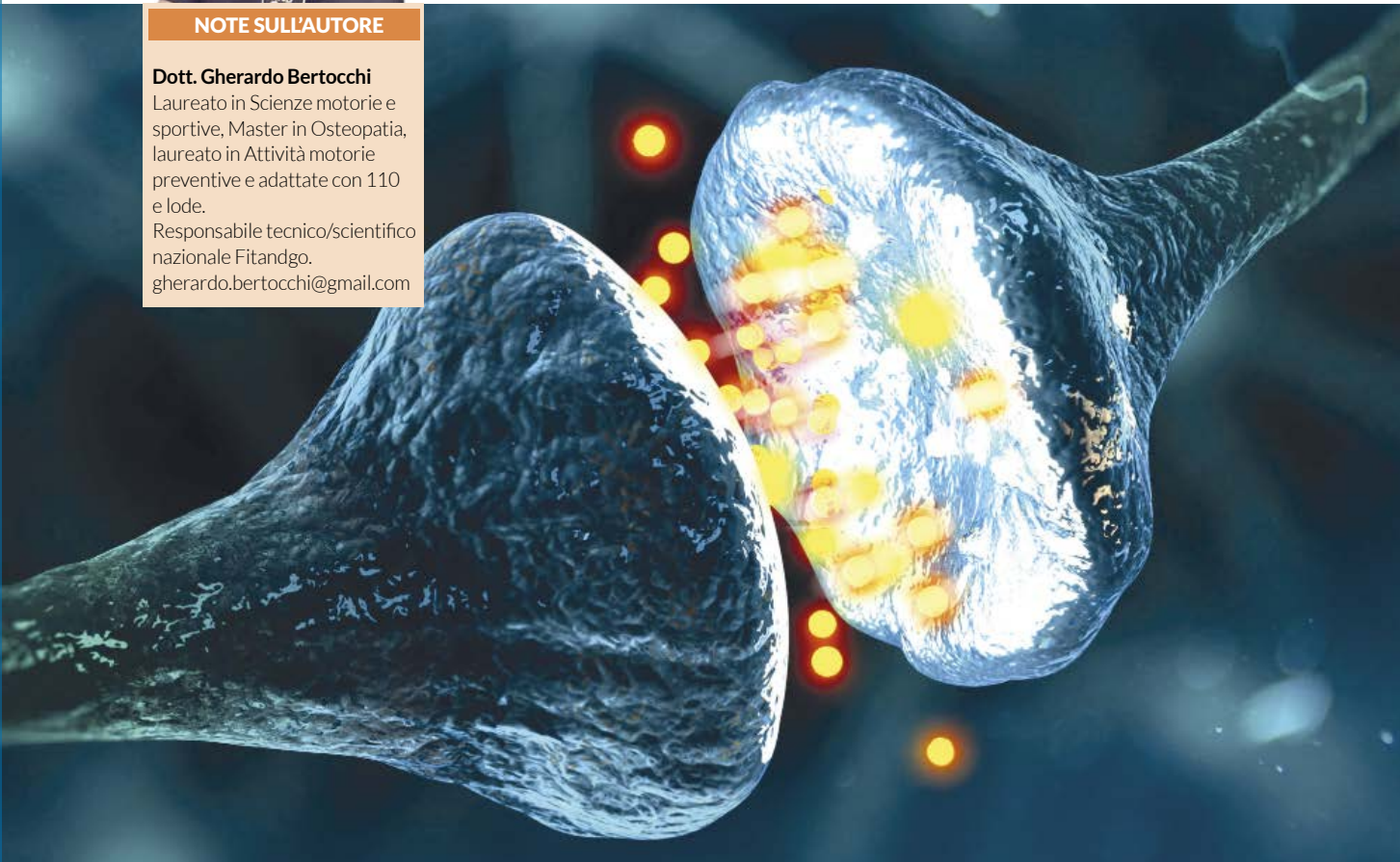


NOTE SULL'AUTORE

Dott. Gherardo Bertocchi

Laureato in Scienze motorie e sportive, Master in Osteopatia, laureato in Attività motorie preventive e adattate con 110 e lode.

Responsabile tecnico/scientifico nazionale Fitandgo.
gherardo.bertocchi@gmail.com



EFFETTI DI UNA ESPOSIZIONE CRONICA ALLO STIMOLO VIBRATORIO SU UN MODELLO SPERIMENTALE MURINO

di Gherardo Bertocchi

INTRODUZIONE

Quando si parla di plasticità ci si riferisce, di solito, alla particolare proprietà che ha un solido di subire deformazioni di notevole ampiezza che permangono al cessare della sollecitazione che le ha prodotte.

L'impiego scientifico di questo termine ha trovato ovvia collocazione in discipline come la fisica e l'ingegneria con lo scopo di descrivere le proprietà meccaniche tipiche di alcuni materiali. Solo in tempi più recenti il termine "plasticità" ha trovato applicazione anche in campo neurobiologico, con riferimento alla "modificabilità" dimostrata dal sistema nervoso in risposta all'esposizione di determinate "esperienze". I fenomeni plastici all'interno del sistema nervoso centrale (SNC) rappresentano ormai la necessaria premessa teorica per poter ipotizzare inter-

venti finalizzati a contenere o a superare esiti di patologie anche molto gravi che costituiscono il presupposto fondamentale per la formulazione di qualsiasi intervento riabilitativo. Parallelamente, si è andato sempre più affermando in campo scientifico il concetto che vede la sfera cognitiva collegata a quella motoria.

Studi effettuati sugli animali e sull'uomo hanno confermato che l'esercizio agisce positivamente su diversi aspetti del funzionamento cerebrale, sull'apprendimento e sulla memoria, proteggendo dalla neurodegenerazione e alleviando la depressione. Il movimento aumenta la plasticità sinaptica, modificando direttamente la struttura della sinapsi e potenziandone la forza, rafforzando allo stesso tempo i sistemi che supportano la plasticità, come il metabolismo e la funzione vascolare.



Queste modificazioni strutturali e funzionali sono state dimostrate in diverse aree cerebrali, ma gli studi più significativi sono stati condotti a livello ippocampale.

ADATTAMENTI ALL'ALLENAMENTO VIBRATORIO

Ad oggi sono numerosi gli studi inerenti i possibili effetti positivi dell'AV sulla prestazione. Bosco et al. (1998) riferiscono di come un allenamento della durata di 10 giorni costituito dalla somministrazione di vibrazioni sinusoidali ad una frequenza di 26 Hz, in ragione di 5 serie giornaliere della durata di 90 secondi ciascuna, abbia portato ad un significativo incremento della produzione di potenza meccanica durante l'esercitazione di salti continui della durata di 5 secondi. Runge et al. (2000) riferiscono di un aumento del 18% della potenza degli arti inferiori in una popolazione anziana sottoposta ad AV con le seguenti modalità: 3 sedute a settimana, 3 serie da 2 minuti alla frequenza di 27 Hz, per una durata complessiva di 12 settimane.

Un altro recente studio (Torvinen e coll., 2002) riporta di un significativo aumento della prestazione di salto, pari all'8.5%, dopo 4 mesi di AV condotto su di un gruppo di adulti non-atleti, Decluse e coll. (2003) hanno prelevato dati, dopo un AV condotto, rispettando i seguenti parametri:

- intensità e durata delle sedute progressiva (inizialmente 3' portati a 20' alla fine del periodo d'allenamento);
- frequenza compresa tra 35 e 40 Hz;
- frequenza degli allenamenti trisettimanale;
- durata totale 12 settimane.

I risultati riportati sono: un aumento significativo della forza isometrica e dinamica, degli arti inferiori, pari al 16,6% ed al 9,0 %. Alla luce di questi risultati, appare chiaro come l'AV comporti un adattamento biologico che risulta in ultima analisi essere correlato ad un effetto di potenziamento neurale, simile a quello indotto dall'allenamento di forza e/o di potenza. Recentemente alcuni Autori (Carrol e coll., 2001; Carrol e coll., 2002) hanno avanzato l'ipotesi che l'allenamento di forza possa modificare le connessioni tra le cellule corticospinali e i motoneuroni spinali. Gli interneuroni dislocati nel midollo spinale ricevono input sia dalle fibre afferenti, che da

quelle discendenti, oltre che dalle fibre di altri interneuroni, influenzando a loro volta l'attività dei motoneuroni.

L'interazione di questi diversi input determina le modalità di reclutamento delle unità motorie nel corso del movimento. Durante l'AV questo pattern propriocettivo viene fortemente stimolato, l'incremento della forza che si registra dopo un periodo d'allenamento è in parte imputabile, soprattutto nel primo periodo in cui non si è ancora verificato alcun fenomeno ipertrofico, ad un'ottimizzazione di questo meccanismo di feedback propriocettivo (Gandevia, 2001).

L'aumento transitorio della forza contrattile e della produzione di potenza da parte del muscolo dopo essere stato sottoposto a vibrazione, potrebbe basarsi sugli stessi meccanismi di facilitazione neurale (Delecluse e coll., 2003). Inoltre alcuni studi dimostrerebbero come l'AV possa migliorare la capacità di forza esplosiva grazie ad una maggiore sincronizzazione delle unità motorie implicate nel movimento, oltre che ad un miglioramento della coordinazione dei muscoli sinergici, unito ad un aumento dell'inibizione degli antagonisti (Bosco e coll., 2000). Tuttavia, è corretto ricordare come alcuni autori riportino come l'effetto di potenziamento del gesto indotto dalle vibrazioni, sia di tipo transitorio e si vanifichi nell'arco di circa 60' dopo la somministrazione delle stesse (Torvinen e coll., 2002; Delecluse e coll., 2003).

Questa transitorietà del potenziamento provocato dalle vibrazioni può esser spiegato da due fattori: il primo è costituito dal fatto che il RTV induce un sostanziale ma temporaneo miglioramento dell'utilizzo del riflesso miotatico da stiramento (Delecluse e coll., 2003); il secondo invece è basato sull'influenza positiva esercitata dal RTV nel facilitare la produzione di un'alta frequenza di scarica nelle unità motorie ad alta soglia d'attivazione, ossia quelle costituite da fibre di tipo FT (Bongiovanni e coll., 1990).

È comunque importante sottolineare, che al di là di questo particolare aspetto, l'AV effettuato in maniera razionale e sistematica, può indurre positivi e duraturi adattamenti neuromuscolari (Bosco e coll., 1999). Un ulteriore interessante aspetto dell'AV è che attraverso quest'ultimo è possibile effettuare una stimolazione preferenziale delle fibre di tipo FT (Rittweger e coll., 2001).

Questa selettività di reclutamento sarebbe dovuta al fatto che il RTV viene trasmesso grazie all'attivazione delle fibre afferenti, le quali sono responsabili, tramite gli a motoneuroni, principalmente dell'attivazione delle fibre muscolari di tipo II (Hagbarth, 1973).

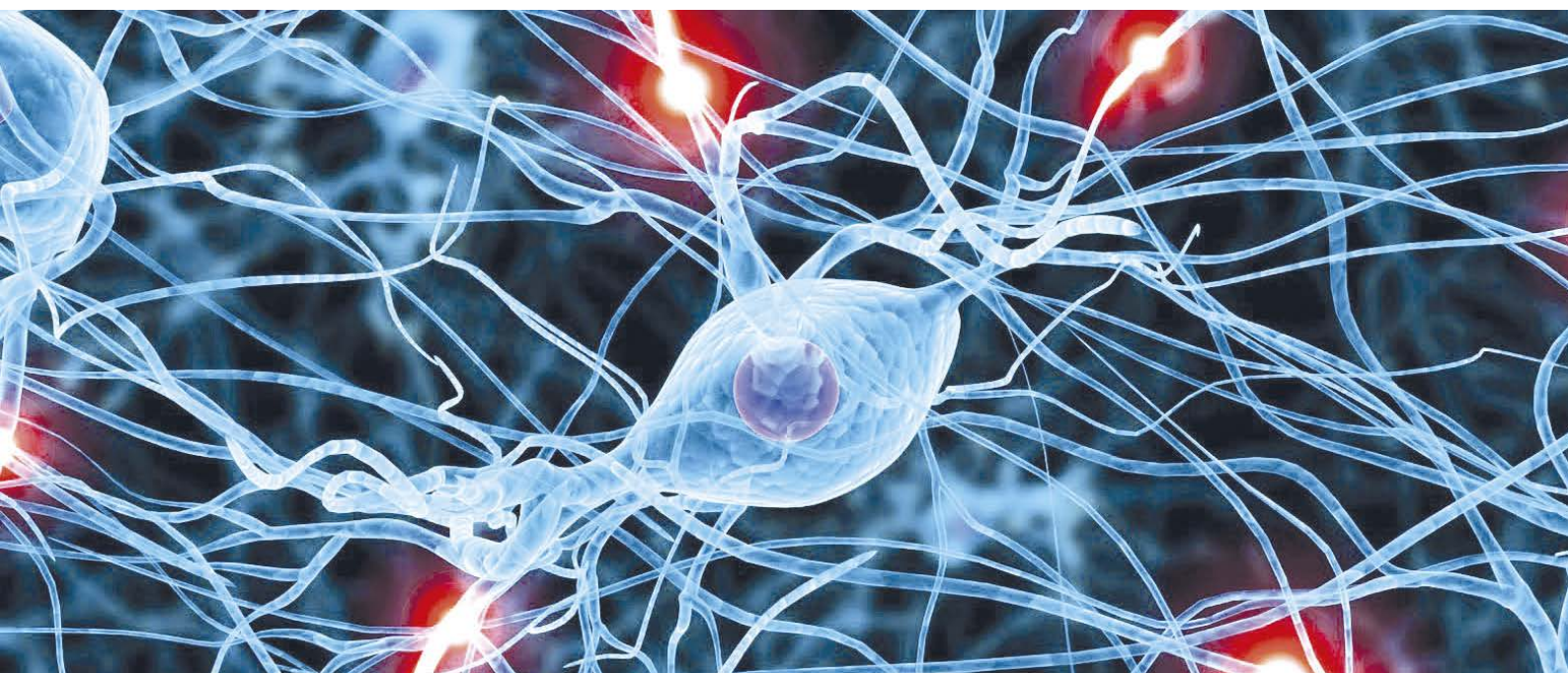
In effetti durante l'AV, il corpo subisce delle importantissime sollecitazioni accelerative, ad esempio ad una frequenza di 30 Hz con un'ampiezza d'oscillazione di 5 mm, si è sottoposti ad un'accelerazione pari a 18 volte l'accelerazione di gravità (Rittweger e coll., 2001), mentre in una classica esercitazione di drop jump (salto preceduto da una caduta verso il basso) l'accelerazione sviluppata risulta pari a solamente 5 g. Il fatto di essere sottoposti a forze accelerative di simile entità può risultare un fattore cruciale nel determinare un incremento della potenza espressa nelle azioni balistiche che, di fatto, sono caratterizzate dalla possibilità, da parte dell'atleta, di poter produrre importantissime forze accelerative (Bosco e coll., 2000).

Sempre a questo proposito, al fine di sottolineare il potenziale d'efficacia dell'AV, basti pensare che 10 minuti di AV durante il quale si sia sottoposti ad un'accelerazione di 17 g, corrispondono allo stesso carico accelerativo che si svilupperebbe effettuando per 40 sedute d'allenamento 200 drop jumps cadendo dall'altezza di 100 cm (Bosco e coll., 2000). Un ultimo importante aspetto delle vibrazioni è l'effetto miorilassante indotto da queste ultime a particolari frequenze di

somministrazione (18-20 Hz) (Rittweger e coll., 2003). Questo particolare aspetto può risultare di grande importanza al fine di ottimizzare e/o complementare i programmi di lavoro basati su tecniche di stretching, oppure in protocolli riabilitativi specifici, come nel caso ad esempio del lower back pain (Rittweger e coll., 2003; Rittweger e coll., 2002)¹.

Recentemente l'allenamento vibratorio (AV) è divenuto una realtà molto diffusa sia in ambito professionale, che amatoriale. Durante una seduta di allenamento le accelerazioni, generate dalle vibrazioni, potrebbero raggiungere la testa e, anche se attenuate attraverso il corpo, potrebbero incrementare risposte vestibolari e/o visive, aumentando il rischio di caduta accidentale durante e/o immediatamente dopo l'intervento vibratorio, soprattutto negli anziani. Inoltre, studi discordanti presenti in letteratura hanno evidenziato la difficoltà e la necessità d'impostare un corretto protocollo di AV attraverso l'identificazione della propria frequenza di vibrazione individuale (F.O.V). Ad oggi esiste un solo protocollo, piuttosto lungo (36 minuti), per l'individuazione della F.O.V.

I risultati della ricerca hanno evidenziato che l'AV, con pedana vibrante, siano sicuri e ben tollerati sia nei giovani che negli anziani, suggerendo che, con un'appropriata introduzione alle modalità di esercizio vibratorio, quest'ultimo sia sicuro per la maggior parte delle persone.



Per quanto riguarda la F.O.V è emerso che esistono due possibili alternative al protocollo suggerito dalla letteratura, ugualmente efficaci, ma con tempi molto più ridotti (50 secondi e 20 minuti). Inoltre la posizione assunta durante l'esecuzione del protocollo non sembrerebbe influenzare i risultati della F.O.V.

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

Nel campo dell'allenamento sportivo, soprattutto quando quest'ultimo sia rivolto all'incremento dei livelli di forza esplosiva, rivelandosi di fatto un'ottima metodica alternativa e/o complementare all'allenamento di forza classico (Delecluse e coll., 2003). Come parte integrante di tutti i programmi in cui si ricerchi la massima estensibilità arto-muscolare nonché nei piani di lavoro rivolti a patologie algiche di carattere cronico che possano trarre beneficio da un incremento della compliance muscolo-tendinea (Rittwegere coll., 2002)².

LTP E PLASTICITÀ SINAPTICA

La plasticità sinaptica è la capacità del sistema nervoso di modificarsi al fine di apprendere, memorizzare nuove informazioni e reagire ad eventuali lesioni. I meccanismi responsabili di questi continui cambiamenti vengono ricondotti alla forza delle sinapsi esistenti.

Quest'ultime possono essere modificate per periodi che vanno da alcuni millisecondi a diversi mesi. Il glutammato è alla base di cambiamenti di lunga durata della forza sinaptica che possono esser causati da brevi periodi di attività neuronale, e principalmente da due processi detti potenziamento a lungo termine (LTP), che aumenta la forza sinaptica, e depressione a lungo termine (LTD), che la diminuisce. LTP e LTD sono termini generali che vanno a descrivere la direzione della modificazione dell'efficacia sinaptica. Tali forme di plasticità e vengono mediate da differenti meccanismi di trasduzione del segnale nelle cellule nervose coinvolte.

Il glutammato viene rilasciato come trasmettitore in molte sinapsi eccitatorie del sistema nervoso centrale. Esistono diversi tipi di recettori per il glutammato. In particolare, per quanto riguarda i fenomeni di plasticità sinaptica, svolgono funzioni fondamentali i recettori ionotropici NMDA (agonista del glutammato) e AMPA³⁻⁴.

Nella maggior parte delle sinapsi, i recettori AMPA formano canali permeabili al Na⁺ ed impermeabili al Ca²⁺. I recettori NMDA sono invece permeabili al Ca²⁺, ma la loro attività è inibita dagli ioni Mg²⁺, che vengono intrappolati all'interno del canale ionico. Durante la trasmissione sinaptica di base vengono attivati i recettori AMPA, mentre quelli NMDA risultano bloccati. L'attivazione dei recettori NMDA è resa possibile dalla depolarizzazione di membrana della spina dendritica determinata da una stimolazione tetanica, che rimuove gli ioni Mg²⁺ dal canale ionico, permettendo l'entrata degli ioni Ca²⁺ attraverso il canale NMDA (Figura 1).

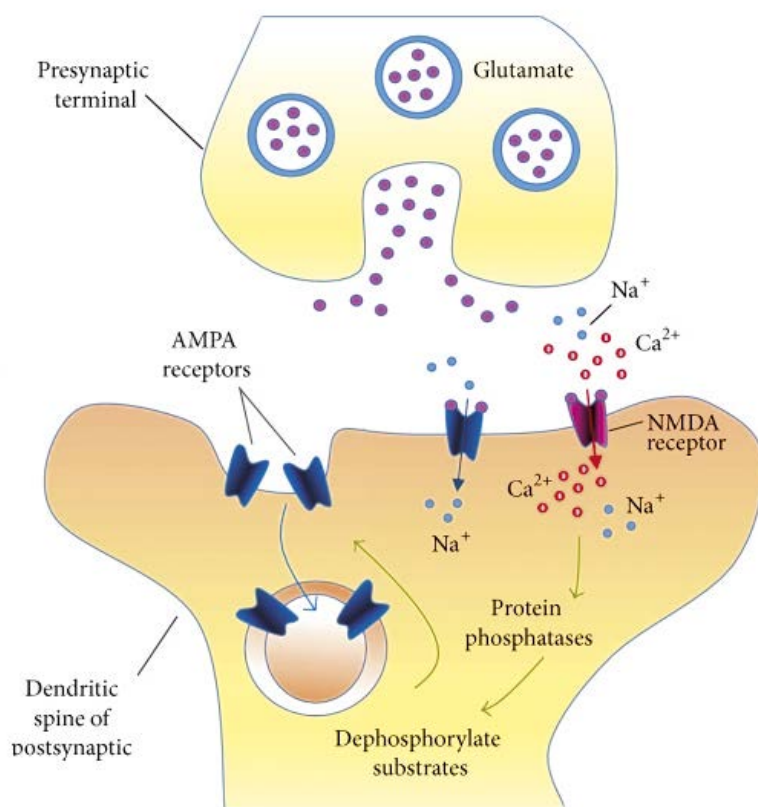


Figura 1

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/LTD-mechanism-a-Ca2-ions-enter-in-small-quantities-through-NMDA-receptors-b_fig2_284032093

L'ingresso del calcio all'interno delle spine dendritiche del neurone post sinaptico produce un aumento dell'ampiezza dei potenziali post sinaptici, dunque il potenziamento a lungo termine (LTP)⁵.

Nello specifico, l'entrata del calcio determina una serie di eventi intracellulari, legati all'attivazione delle protein chinasi (per esempio la protein chinasi A, PKA). Tali proteine, una volta attivate, determinano la fosforilazione del fattore chiave per la trascrizione genica, CREB. Quest'ultimo promuove la trascrizione di numerosi geni specifici, per la trascrizione di nuove proteine e dei geni che codificano il fattore neurotrofico BDNF (Brain-Derived-Neurotrophic-Factor), che favorisce la sopravvivenza dei neuroni.

Il potenziamento a lungo termine è stato riscontrato in molte vie sinaptiche.

L'LTP può richiedere modalità di stimolazione diverse in casi diversi, può decadere con diverso andamento e può implicare meccanismi differenti⁶⁻⁷.

Il ruolo dei recettori NMDA dell'ippocampo, è quello di indurre l'LTP. Esistono a sua volta, dei recettori agonisti del NMDA che bloccano l'induzione dello stesso. L'LTP non si riduce, se i recettori intervengono, nel momento in cui il processo è stato indotto⁸⁻⁹.

Le ricerche sull'LTP cominciarono intorno al 1970 in Inghilterra, quando Timothy Bliss e i suoi colleghi scoprirono che una stimolazione elettrica ad alta frequenza di pochi secondi poteva aumentare la trasmissione sinaptica dell'ippocampo di coniglio per giorni o anche per settimane¹⁰.

Molto del lavoro sperimentale sull'LTP si è concentrato sulle connessioni tra le collaterali di Schaffer e i neuroni piramidali della regione CA1. Se si vanno a stimolare elettricamente le collaterali di Schaffer, si dà origine a potenziali post sinaptici eccitatori (EPSP) nei neuroni post-sinaptici della regione CA1.

Se le collaterali di Schaffer ricevono una stimolazione due o tre volte al minuto, l'ampiezza dell'EPSP rimane costante. Se viene mandata una stimolazione tetanica, ovvero un breve treno di impulsi ad alta frequenza sulle stesse collaterali, si ha la generazione dell'LTP: un prolungato aumento dell'ampiezza dell'EPSP.



L'LTP possiede diverse proprietà¹¹:

- è un fenomeno **stato-dipendente**. Come si è detto precedentemente, la possibilità che l'LTP avvenga è determinata dal grado di depolarizzazione della cellula post sinaptica. Se si stimolano le collaterali con un singolo stimolo in concomitanza con una forte depolarizzazione delle cellule postsinaptiche CA1, aumenta l'ampiezza dell'EPSP. Ciò si verifica solo in un intervallo di 100 millisecondi, dopo la liberazione del neurotrasmettitore presinaptico;
- gode di **specificità**. Quando l'LTP viene indotta dalla stimolazione di una data sinapsi, essa non si verifica in altre sinapsi inattive che si trovano sullo stesso neurone. L'LTP dipende specificamente dalla terminazione afferente. Questa caratteristica è concomitante con il processo di memorizzazione e di apprendimento: se l'attivazione di un gruppo di sinapsi portasse al potenziamento di tutte le altre sinapsi, comprese quelle inattive, risulterebbe difficile il processo di selezione di determinate afferenze;
- gode **dell'associatività**. Come è stato già affrontato, una debole stimolazione non è sufficiente a innescare il potenziamento a lungo termine. Se si attiva una debole stimolazione e contemporaneamente si dà luogo anche ad una forte stimolazione ad una via adiacente, si genera l'LTP nelle sinapsi appartenenti ad entrambe le vie. L'associatività è la caratteristica che ha il compito di collegare tra loro le diverse informazioni.

IPOTESI DI STUDIO

Lo scopo del seguente lavoro, svolto presso l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, nel laboratorio di Elettrofisiologia, della sezione di Fisiologia nel Dipartimento di Medicina dei sistemi, è stato quello di analizzare gli effetti indotti da un allenamento vibratorio in un modello sperimentale murino, sull'espressione del "Potenziamento a Lungo Termine" (LTP) e sull'ultra-struttura del muscolo scheletrico.

Nello specifico si ipotizzano potenziali modificazioni, a livello della "plasticità sinaptica ippocampale", con adattamenti funzionali valutati attraverso uno studio elettro-fisiologico e microscopico.

Studi precedentemente condotti nel laboratorio di elettrofisiologia, hanno evidenziato una "plasticità muscolare", in seguito all'esposizione di differenti protocolli. Dai dati istologici, sono emerse modificazioni della lunghezza, dell'allineamento e delle proprietà morfologiche dei sarcomeri; questi ci fanno ipotizzare la possibilità di un adattamento di queste caratteristiche anche in seguito all'allenamento vibratorio.

RISULTATI

Il lavoro sperimentale portato avanti in questo studio ha condotto ad una serie di risultati sia in vivo che in vitro attraverso l'analisi dei parametri misurati prima, durante e dopo il periodo di allenamento, lo studio elettrofisiologico dell'LTP a livello ippocampale e l'analisi ultrastrutturale. Le valutazioni del peso sono state effettuate ogni settimana prima dell'ultima seduta di allenamento. Per tutti i topi presi in esame si è visto un incremento del peso graduale e crescente.

Le prove dinamometriche evidenziano complessivamente una diminuzione del tempo di sospensione nelle prove finali, pari al 64,1 %.

È possibile ipotizzare che il decremento del tempo di sospensione possa essere collegato all'aumento del peso in quanto abbiamo osservato una correlazione tra l'aumento ponderale e la diminuzione del tempo di sospensione. Anche per quanto riguarda le prove di endurance, abbiamo riscontrato un peggioramento dovuto ad una diminuzione del tempo di permanenza sul Rotarod. Nella registrazione dell'LTP, il gruppo WBV è stato messo a confronto con un gruppo di controllo di topi non allenati. La fase di induzione mostra nel gruppo allenato una riduzione non significativa del potenziamento, mentre nella fase di mantenimento si osserva una sovrapposizione tra gli andamenti dei due gruppi studiati. Dunque, in base ai dati raccolti, possiamo affermare che l'allenamento WBV non è in grado di indurre un effetto modulatorio positivo sulla plasticità sinaptica.

L'esame istologico ed ultramicroscopico dei muscoli degli arti posteriori degli animali sottoposti al protocollo di allenamento ha evidenziato differenze ultrastrutturali: Infatti due topi (topo 1 e topo 2) non presentano modificazioni della struttura muscolare, mentre negli altri due topi (topo 0 e 3) sono evidenziabili lievi segni di sofferenza a livello mitocondriale e sarcomerico.



CONCLUSIONI

Il protocollo WBV somministrato con tale durata, volume e frequenza, è risultato inadeguato a livello muscolare ed inefficace nel modulare positivamente la plasticità sinaptica; nello specifico, non si evidenziano modificazioni a livello del sistema nervoso centrale.

Studi futuri permetteranno di ottimizzare, partendo dai dati di questo studio pilota, i tempi di esposizione allo stimolo vibratorio, anche in relazione al tipo di pedana vibrante, visto che in letteratura non vi sono dati omogenei sugli effetti stimolo-risposta.

ABSTRACT

When we speak of "plasticity" we usually refer to the particular property that has a solid to undergo deformations of considerable amplitude that remain at the end of the solicitation that produced them.

The scientific use of this term has found obvious place in disciplines such as physics and engineering with the aim of describing the mechanical properties typical of some materials. Only in more recent times has the term "plasticity" been applied also in the neurobiological field, with reference to the "modifiability" demonstrated by the nervous system in response to the exposure of certain "experiences". The plastic phenomena within the central nervous system (CNS) now represent the necessary theoretical premise to be able to hypothesize interventions aimed at containing or overcoming even very serious outcomes that constitute the fundamental prerequisite for the formulation of any rehabilitation intervention. At the same time, the concept that sees the cognitive sphere connected to the motor sphere has been increasingly affirmed in the scientific field.

REFERENZE

1. Gian Nicola Bisciotti Ph.D, Aspetti neurofisiologici ed applicativi dell'allenamento vibratorio, Centro di ricerca d'innovazione per lo sport, Facoltà di Scienze dello Sport dell'Università Claude Bernard di Lione.
2. F.Carlucci, Allenamento vibratorio: principi, sicurezza di utilizzo ed ottimizzazione.
3. Betz, H., Neuron, 5, pp 383-392, 1990
4. Casi clinici del substrato anatomico della memoria dichiarative (H.M, N.A, R.B) Neuroscience, 31, 601-603
5. Madison, D.V., Malenka, R.A. e Nicoll, R.A. Annu. Rev. Neurosci, 14, pp 379-397, 1991
6. Brown, T.H., Kairiss, E.W. e Keenan, C.L., Annu. Rev. Neuroscience, 13, pp 475-551, 1990
7. Collingridge, G.L., Kehl, S.J e McLennan, H., J. Physiol., 334, pp 33-46, 1983
8. Muller, D., Joly, M. e Lynch, G., Science, 242, pp 1694-1697, 1988
9. Bliss, T.V.P (1973) Long-Lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of perforant path, J. Physiol, 232: 331-356
10. Lanfield, P.W., S.A. 1988, Long-term potentiation: From Biophysics to Behaviour. New York, A.R. Liss
11. Papez, J.W. (1937) A proposed mechanism of emotion. Arch. Neurol, Psychiat 38: 725-743