



Centro Internazionale dei Disturbi di Apprendimento Attenzione e Iperattività

Direttore Prof. Giuseppe A. Chiarenza, Neuropsichiatra infantile, Neurologo

Sede: 20125 Milano - Via Edolo 46 - Tel. 026697487 - Cell. 3487703089

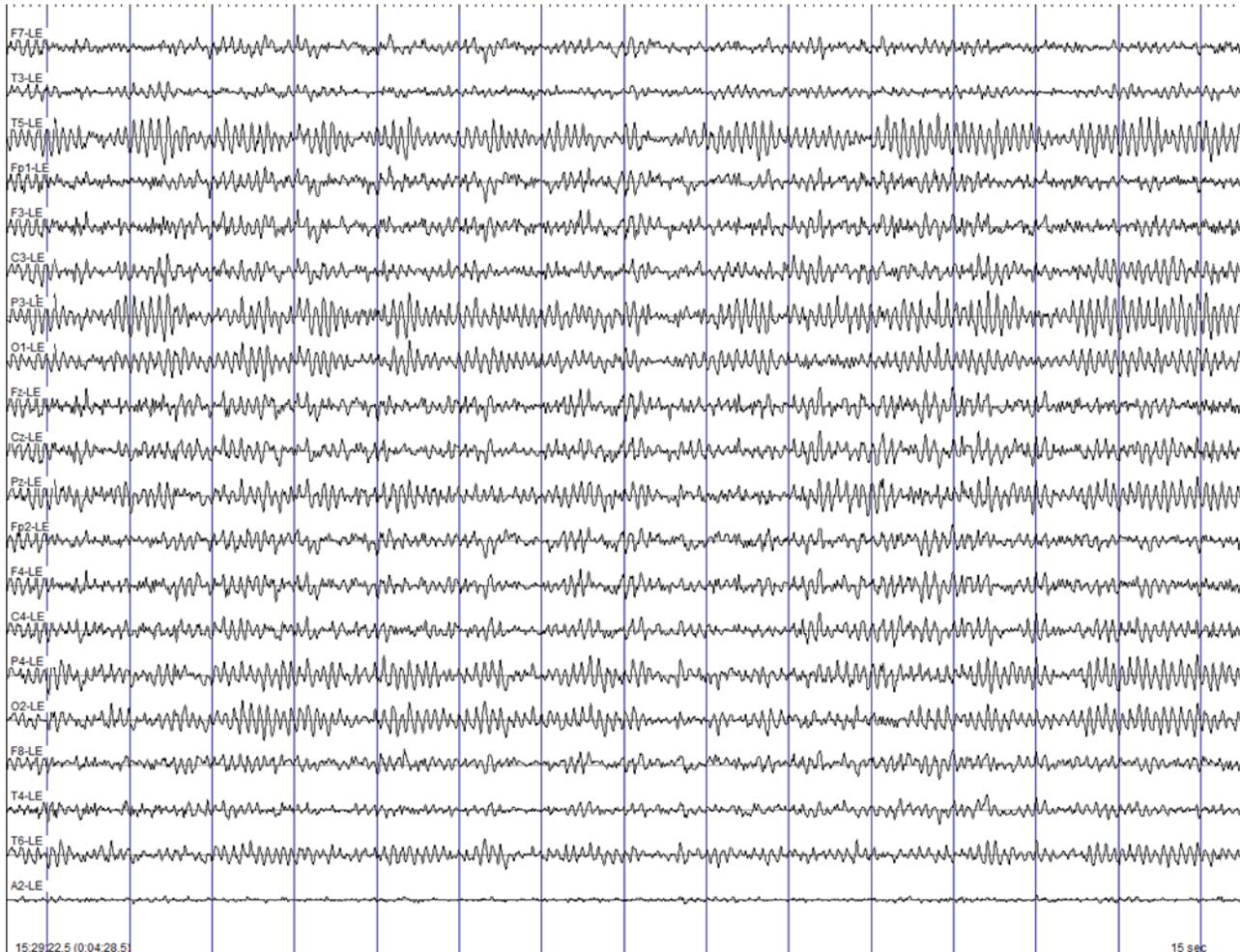
CHE COS'È IL NEUROFEEDBACK: DEFINIZIONE

Il neurofeedback (NF) è un metodo terapeutico per modificare il funzionamento del cervello mediante l'invio, in tempo reale, d'informazioni al paziente dei cambiamenti, istante per istante, dello stato elettrico del suo cervello (elettroencefalogramma [EEG]). Il metodo di solito utilizza un'analisi statistica avanzata dei dati dell'EEG (EEG quantitativo=QEEG) per fornire, in tempo reale, questo riscontro (feedback) al paziente. L'invio costante di queste informazioni porta ad un condizionamento dell'EEG del paziente che, in modo forse sorprendente, può avere l'effetto di modificare terapeuticamente cognizione, emozioni e comportamento. In parole più semplici si tratta di allenare il proprio cervello a modificare il suo stato elettrico per raggiungere uno stato di benessere. La figura 1 mostra un elettroencefalogramma di un soggetto normale registrato da 19 sensori.

Questa breve esposizione presenta le evidenze scientifiche che stanno alla base del NF insieme ad alcuni cenni storici sulle prime ricerche sull'uso di questa tecnologia per il trattamento di vari disturbi neuropsichiatrici.

Vi invitiamo a leggere le risposte alle domande più frequenti alla fine di questa presentazione. Se avete altre domande sul neurofeedback, si prega di inviare una email a cidaaimilano@gmail.com. Saremo lieti di fornire una risposta più precisa alle vostre domande.

Figura 1: Elettroencefalogramma di un soggetto normale registrato da 19 sensori.



Per lungo tempo le prime tecniche di NF hanno fatto uso di solo 2 o 4 sensori senza l'impiego dell'EEG quantitativo che richiede un numero maggiore di sensori. Successivamente, grazie anche allo sviluppo tecnologico di computer molto più veloci in grado di analizzare rapidamente la massa enorme di dati quali quelli che provengono dall'EEG, sono stati sviluppati numerosi nuovi protocolli di NF. Molti di questi prevedono l'uso dell'elettroencefalografia quantitativa per migliorare il valore clinico del trattamento con NF.

Tre principali metodologie di NF sono oggi disponibili: NF di superficie in tempo reale con punti z, ([https://it.wikipedia.org/wiki/Standardizzazione \(statistica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Standardizzazione_(statistica))), NF di volume con l'uso della tomografia elettromagnetica a bassa risoluzione (LORETA) e il NF con la risonanza magnetica funzionale (fMRI).

Il NF di superficie in tempo reale con punti z utilizza da 2 a 4 o più sensori applicati al cuoio capelluto per monitorare l'attività elettrica del cervello di una specifica zona anatomica. Utilizza calcoli computerizzati, continui e in tempo reale, basati sui dati del QEEG e li confronta con un database normativo corrispondente all'età del soggetto, usando i punti z per misurare le differenze rispetto alla normale attività EEG. I punti z rappresentano il numero di deviazioni standard di un'osservazione ovvero lo scostamento superiore (positivo) o inferiore (negativo) rispetto ad una media. I punti z ovvero le deviazioni standard relative a una popolazione di riferimento età-dipendente forniscono un'indicazione in tempo reale dell'instabilità delle reti cerebrali. Questi punti z forniscono una guida per allenare i pazienti verso un'attività elettrica quantitativamente normale ($z=0$) nelle regioni cerebrali associate ai disturbi riportati dal paziente.

Se il NF di superficie usa 2 o più sensori, si può modificare anche un altro parametro dell'EEG quantitativo, la coerenza. Essa fornisce la misura del numero di connessioni e comunicazioni tra gruppi di neuroni. Ovviamente se viene utilizzato solo 1 sensore la coerenza non può essere utilizzata per il trattamento con NF.

Il NF di superficie comporta la misurazione dell'ampiezza dell'attività dei neuroni che si trovano direttamente sotto il sensore. Questa attività ha origine dal 95% dei neuroni sottostanti al sensore fino ad una distanza di 6 cm ed è il risultato dell'insieme di tutte le frequenze mescolate insieme.

IL NF di volume con la tomografia elettromagnetica a bassa risoluzione (LORETA). Il LORETA è una tecnica di localizzazione tridimensionale di una sorgente applicata al QEEG di un individuo. La miscela di frequenze sotto ciascun sensore viene scomposta in singole bande di frequenza (delta: 0–4 Hz, theta: 4–8 Hz, alfa 8–12 Hz, beta 12–20 Hz, gamma >20 Hz) e collegata a sorgenti tridimensionali all'interno del cervello con una precisione, in molte situazioni, di circa 1 cm.

Il NF di volume che usa il LORETA fornisce una stima della posizione delle reti neurali e dei generatori cerebrali del paziente all'interno di una banda di frequenza, chiamati moduli o hub (ad es. Cingolo anteriore, insula, giro fusiforme). Questa tecnica permette al medico di tradurre i dati QEEG in una immagine tridimensionale che corrisponde e assomiglia alle immagini di una risonanza magnetica cerebrale associate ad uno stato di malattia (Figura 2). Il NF di volume sebbene richieda una preparazione più laboriosa, poiché in ogni sessione deve essere applicato un caschetto o cuffia con 19 sensori,

quale l'organismo "apprende". Perché questo apprendimento si verifichi il NF si basa sulla misurazione dell'attività elettrica cerebrale spontanea o evocata in seguito alla somministrazione di specifici stimoli sensoriali. L'attività cerebrale evocata prende il nome di potenziali evocati cerebrali. Un potenziale evocato può essere negativo o positivo rispetto all'attività media di base. N100 è un potenziale negativo, che compare in una sede specifica del cervello a seconda della modalità sensoriale in seguito alla somministrazione di uno stimolo. P100 è un potenziale evocato positivo nella stessa regione. Supponiamo che un sensore stia registrando un potenziale evocato P100 in una particolare area del cervello e l'obiettivo del trattamento con NF, per trattare un certo sintomo, è quello di modificare il potenziale evocato positivo P100 in un potenziale negativo N100. Seguendo i metodi del condizionamento operante, ogniqualvolta che, per caso, un potenziale N100 inizia a comparire, viene fornito un rinforzo positivo. Il rinforzo positivo per un gatto potrebbe essere il latte versato in una ciotola. Nell'uomo durante il trattamento con NF, al paziente viene fornito un rinforzo positivo attraverso la presentazione di un segnale uditivo o visivo ogniqualvolta l'attività elettrica si modifica nel modo desiderato. Il cervello in questo modo imparerebbe a generare questo potenziale evocato N100 per ottenere il rinforzo positivo associato a questo potenziale. Questo esempio mostra come, attraverso il condizionamento operante, il NF opera fornendo una ricompensa ogniqualvolta compare nel cervello quel particolare e desiderato evento elettrico. Con l'allenamento, questo pattern elettrico inizia presto ad apparire prima della ricompensa, portando ad una maggiore frequenza di comparsa dell'evento elettrico desiderato. In modo simile negli esseri umani, se un quadrato appare sullo schermo durante una sessione di NF ogniqualvolta ricorre un particolare ritmo EEG (ad es. Delta 0–4 Hz, theta 4–8 Hz, alfa 8–12 Hz, beta 12–20 Hz, gamma >20 Hz), quel ritmo EEG, alla fine continuerà a manifestarsi in anticipo rispetto alla comparsa del quadrato, una volta instauratosi un condizionamento.

Conoscendo la posizione anatomica di un particolare evento elettrico associato ad una mirata funzione cerebrale, il NF può essere utilizzato per modificare un'ampia varietà di funzioni cerebrali, compresi condizioni patologiche quali stati depressivi, di ansia, di dipendenza, di anomalie indotte da lesioni e disturbo da deficit di attenzione/iperattività (ADHD). Pertanto è essenziale per il NF avere un sistema di nozioni di anatomia funzionale per mappare le sedi di queste funzioni nel cervello.

Per rilevare specifici eventi elettrici nel cervello, i sensori EEG sono posizionati sul cuoio capelluto in corrispondenza di aree anatomiche ben precise descritte da Brodmann, da cui hanno preso il nome. L'obiettivo è quello d'individuare determinate funzioni associate a queste aree.

Un certo ritmo può essere individuato da un sensore posizionato sul cuoio capelluto (ad esempio, corrispondente a T3, usando il Sistema Internazionale 10–20 illustrato in Fig. 1).

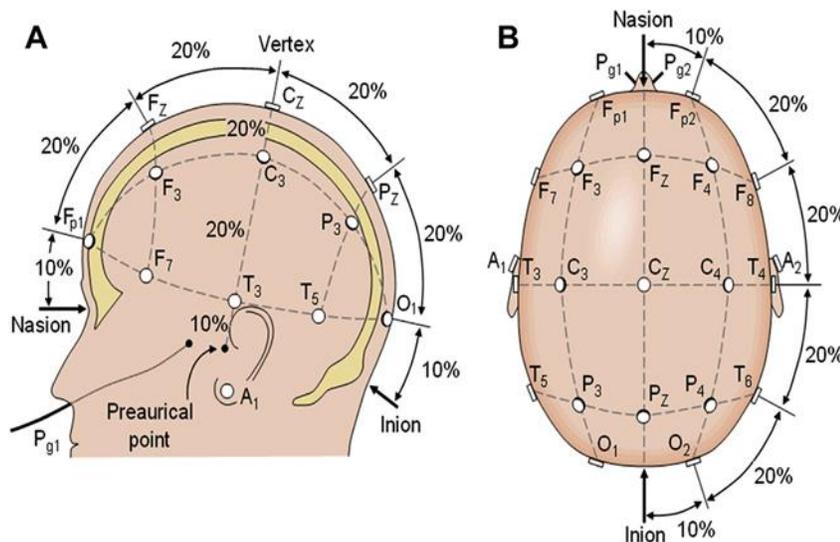


Fig. 1. Il sistema internazionale 10–20 visto da (A) sinistra e (B) dall'alto, sopra la testa. A, lobo dell'orecchio; C, centrale; F, frontale; Fp, polare frontale; O, occipitale; P, parietale; Pg, rinofaringeo.

Ad esempio, T3 è associato alle aree di Brodmann 22/42 che si trovano sul giro temporale superiore. La prosodia affettiva è associata a quest'area di Brodmann nell'emisfero cerebrale di destra mentre l'elaborazione del linguaggio in quello di sinistra. Potenziali evocati anormali in questa regione possono essere identificati usando l'EEG. L'uso del NF su aree specifiche di Brodmann che generano potenziali evocati anormali associati a sintomi o disturbi specifici può riportare quella zona del cervello ad un funzionamento normale e, si spera, ridurre i sintomi del disturbo. Il NF si basa sulla capacità del clinico di collegare i sintomi e le lamentele di un paziente ad una ben precisa disregolazione dell'EEG in particolari regioni cerebrali, note per essere associate a funzioni specifiche. La Fig. 2 mostra le varie regioni anatomiche del

cervello, originariamente classificate da Brodmann nel 1909 in base alla loro microarchitettura e funzioni, osservate in molti pazienti con varie tecniche.

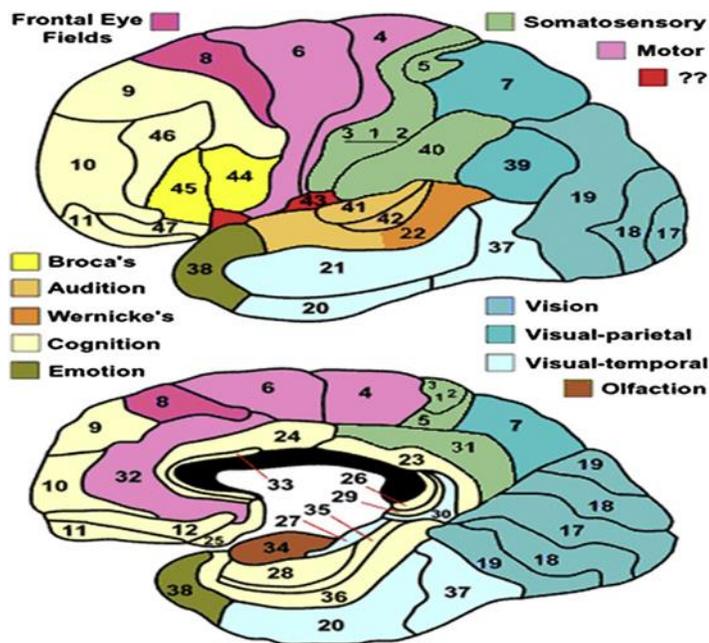


Fig. 2. Varie funzioni associate a particolari aree di Brodmann.

Le aree di Brodmann sono regioni cerebrali macroscopiche con una citoarchitettura funzionale comune che variano in dimensioni da circa 1 cm a 6 cm. Un EEG quantitativo può fornire una precisa descrizione di queste aree di Brodmann per ciascun individuo. Dopo una valutazione con il QEEG dei ritmi cerebrali anomali in definite regioni cerebrali, il trattamento con NF mira a modificare i sottosistemi disregolati e i loro collegamenti verso un funzionamento normale. Valutazioni periodiche con il QEEG durante il trattamento possono essere utilizzate per monitorare l'efficacia del trattamento. La valutazione è simile all'uso di un esame del sangue per identificare i suoi componenti devianti (ad esempio, aumento degli enzimi epatici) che possono essere collegati ai sintomi del paziente e aiutare a prendere decisioni terapeutiche e monitorare l'efficacia del trattamento.

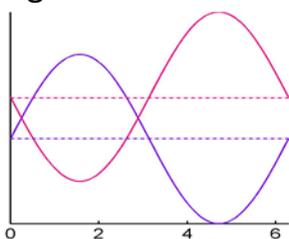
COME IL NEUROFEEDBACK CAMBIA L'ATTIVITÀ ELETTRICA CEREBRALE

La registrazione delle onde elettriche cerebrali su un elettroencefalogramma è il risultato diretto dei potenziali elettrici sinaptici prodotti da reazioni chimiche all'interno delle sinapsi nelle reti neurali. Semplificando, ci sono 2 tipi di sinapsi chimiche che producono le onde EEG. In primo luogo, le sinapsi veloci dove sono presenti i

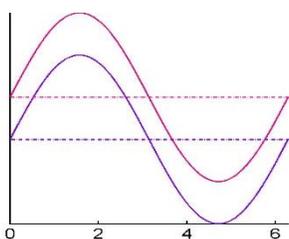
neurotrasmettitori glutammato e l'acido gamma-aminobutirrico (GABA), che sono associati ai canali ionici ad apertura rapida (da 0 a 80 millisecondi). In secondo luogo, le sinapsi lente composte da dopamina, serotonina, acetilcolina e noradrenalina, associate a canali ionici a bassa tensione (da 100 millisecondi a 1 secondo). Questi potenziali post-sinaptici eccitatori e inibitori danno origine a potenziali locali (Local Field Potential, LFP). Questi LFP influenzano l'attivazione dei potenziali d'azione nei neuroni piramidali vicino alla superficie del cervello.

Le onde elettriche cerebrali così generate possono essere modificate dal condizionamento operante una volta individuate le reti neurali su cui agire con il NF. Il condizionamento operante dell'EEG comporta cambiamenti nelle sinapsi secondo un meccanismo che viene chiamato "ripristino di fase" (phase reset). Supponiamo che desideriamo, attraverso il CO, rinforzare una certa frequenza, ad es. 5 Hz nell'ambito della banda theta. Quando quella desiderata frequenza compare sull'EEG, si verifica un'esplosione di potenziali d'azione che colpiscono i dendriti e i corpi dei neuroni piramidali. Il tempo necessario perché si verifichi questo cambiamento nella banda di frequenza è definito come durata di sfasamento ("phase shift duration"). Questo fenomeno può essere visto sull'EEG quando le stesse frequenze non sono sincronizzate (Fig. 3: phase shift). Quando si verifica un blocco di fase, si dice che le frequenze sono sincronizzate (Fig. 3: phase lock).

Figura 3



Phase shift



Phase lock

Per descrivere uno sfasamento o uno spostamento di una frequenza prendiamo questo esempio. Immaginiamo che una famiglia sia a cena nel giorno di Natale e improvvisamente compare un parente inaspettato che nessuno vede da anni. La famiglia passa dal concentrarsi sulla cena al parente sulla porta. Col tempo, man mano che sempre più membri della famiglia riconoscono il parente inatteso, sempre più membri della famiglia spostano la loro attenzione e si avvicinano alla porta. Se viene concesso più tempo, più membri della famiglia si spostano verso la porta. Questa analogia si applica anche ai cambiamenti di fase nel cervello.

Maggiore è la durata dello sfasamento, maggiore è il numero di neuroni che vengono reclutati. Quando questa esplosione di attività neuronale si verifica in modo sincrono in milioni di neuroni, si verifica un cambiamento nelle frequenze EEG, ad es. da theta 4–8 Hz a alfa 8–12 Hz o viceversa.

Quando tutti i membri della famiglia arrivano alla porta, si verifica un blocco di fase (ovvero la frequenza EEG è la stessa per quella determinata banda). Durante il condizionamento operante, un certo ritmo in una banda viene rafforzato quando aumenta la durata del blocco di fase ovvero quando si realizza il fenomeno della sincronizzazione e diminuisce la frequenza dello sfasamento. Allo stesso modo, un ritmo viene inibito (assenza di feedback) quando la durata del blocco di fase viene ridotta e la frequenza dello sfasamento aumenta. Durante il NF, il cambiamento dell'attività EEG di un individuo può essere rafforzato mediante uno stimolo visivo e/o uditivo. Man mano che il NF continua, ovvero il paziente padroneggia il livello di difficoltà mantenendo la frequenza preferita, il rinforzo è sempre più difficile da ottenere poiché il medico innalza il livello di difficoltà incrementando il periodo di tempo in cui il paziente deve mantenere la frequenza selezionata allo scopo di allenare il cervello a nuove sfide.

Le sinapsi chimiche veloci di tipo eccitatorio dominano i circuiti cortico-corticali a lunga distanza mentre le sinapsi veloci inibitorie servono i circuiti a breve distanza. I neurotrasmettitori ad azione lenta hanno anche l'effetto di modellare e plasmare i meccanismi di un fenomeno chiamato "potenziamento a lungo termine" (LTP). Modifiche alle sinapsi si verificano durante "il blocco di fase". Neurotrasmettitori, come la dopamina, vengono rilasciati in previsione di ricevere una ricompensa (rinforzo

positivo) che viene data quando determinati eventi EEG si verificano durante il blocco di fase. I neurotrasmettitori rilasciati durante il blocco di fase possono influenzare la plasticità strutturale all'interno del cervello. Il blocco di fase produce un miglioramento di lunga durata nella trasmissione del segnale tra 2 neuroni che deriva dalla loro esplosione sincrona associata con una maggiore formazione di dendriti ed un aumentato rilascio di neurotrasmettitore nelle sinapsi. Questo fenomeno di modifica delle sinapsi si chiama "potenziamento a lungo termine", LTP, e richiede la crescita e lo sviluppo di sinapsi durante l'apprendimento. Kandel ha ricevuto il premio Nobel nel 2000 per il suo lavoro che collega il fenomeno di LTP a DNA, RNA e produzione di proteine associate all'apprendimento e alla formazione della memoria. Il blocco di fase attraverso LTP provoca l'apprendimento neuronale a livello molecolare che porta un paziente in corso di trattamento con NF verso un normale funzionamento. Ciò spiega la permanenza dell'effetto terapeutico del Neurofeedback nel tempo.

In sintesi, il NF utilizza il condizionamento operante per (1) rinforzare particolari ritmi cerebrali rinforzando il blocco di fase e diminuendo lo spostamento di fase, o (2) inibire certi ritmi cerebrali diminuendo la frequenza del blocco di fase e aumentando la frequenza di fase. Gli sfasamenti e i blocchi di fase rinforzati dal NF sono associati a modifiche sinaptiche a lungo termine caratterizzate da cambiamenti nel rilascio dei neurotrasmettitori e nel funzionamento neuronale. Oltre a variare la frequenza e gli sfasamenti, NF può essere utilizzato per modificare il funzionamento sinaptico della rete operando sulla coerenza cerebrale. La coerenza è una misura di accoppiamento tra gruppi di neuroni, o più precisamente una misura del numero di connessioni e comunicazioni (o frequenza di attività) tra gruppi di neuroni con una relazione di fase costante. La coerenza è proporzionale al blocco di fase e inversamente proporzionale allo sfasamento; quando la coerenza funziona bene nelle reti cerebrali, diverse aree del cervello sono in blocco di fase.

I VARI TIPI DI BIOFEEDBACK

NF è un sottotipo di biofeedback in cui i dati EEG vengono utilizzati come feedback per il paziente. Altri tipi di biofeedback includono il biofeedback elettromiografico (EMG) e il biofeedback termico. Il biofeedback EMG misura l'attività elettrica associata alle contrazioni muscolari ed è spesso utilizzato per rilassarsi, per gestire lo stress e il dolore, per migliorare le prestazioni individuali. Il biofeedback termico utilizza un

sensore di temperatura (elettronico, computerizzato, a cristalli liquidi) per rilevare i cambiamenti di temperatura alle estremità (di solito alle dita delle mani o dei piedi). Lo stress o una eccitazione del sistema nervoso provoca la costrizione dei vasi sanguigni alle estremità e il flusso sanguigno ridotto porta al raffreddamento. Il biofeedback termico è usato per addestrare le persone a calmare i meccanismi di eccitazione del sistema nervoso che producono il raffreddamento delle mani o dei piedi, e questo è spesso usato per rilassarsi, per gestire lo stress e il dolore. Al contrario, il NF utilizza specificamente i dati basati sul funzionamento del cervello, in particolare i dati EEG. Il NF di superficie, che usa da 2 a 4 sensori, è stato applicato a partire dagli anni 60, prima dell'avvento del QEEG; il moderno NF di superficie spesso utilizza il QEEG per condurre una valutazione accurata del paziente prima dell'inizio del trattamento con NF. Il LORETA, che necessita di molti più sensori e può acquisire l'EEG da strutture cerebrali più profonde, è un approccio più recente che fa uso integrale del QEEG.

Domande frequenti

Il Neurofeedback viene solo utilizzato per problemi di salute mentale?

Il Neurofeedback può essere utilizzato anche in campo non-clinico per migliorare le proprie prestazioni ("peak performance") in tutti i campi professionali e sportivi. Per recuperare le proprie prestazioni dopo un infortunio o trauma cranico. Viene anche impiegato in alcuni problemi di sonno e per monitorare le modifiche delle funzioni cerebrali in seguito ad una terapia farmacologica.

Mi viene messa in testa dell'elettricità?

No, nessuna energia o elettricità è messa in testa. L'attrezzatura "ascolta" le vostre onde cerebrali.

Qual è la frequenza delle sedute di neurofeedback?

Da un minimo di 1 a 2 sedute a settimana.

Quante sedute di neurofeedback avrò bisogno?

Tipicamente sono necessarie 10 o più sedute, ma in generale non meno di 20.

Per quanto tempo durano i risultati del neurofeedback?

I risultati rimangono generalmente “stabili” finché si mantengano positivi ambienti e comportamenti mentali ed emotivi.

Le attrezzature usate sono certificate?

Le nostre attrezzature usate per il neurofeedback sono approvate da FDA (Food and Drug Administration, USA e approvate in Europa con certificazione CE.

Redatto il 2 aprile 2020

dal Dott. Giuseppe Augusto Chiarenza

Neuroterapeuta certificato BCIA

Direttore del Comitato Scientifico della Società Italiana di Neurofeedback e QEEG