

L'ELETTROSTIMOLAZIONE NEUROMUSCOLARE

L'elettrostimolazione é una pratica sviluppata già da molto tempo e trae le sue origini dagli esperimenti condotti da Luigi Galvani nel 1791.

In quel periodo infatti questo scienziato ebbe modo di scoprire che i muscoli di una rana si contraevano allorché venivano stimolati dalla corrente; questi primi esperimenti destarono molto interesse nel mondo scientifico e aprirono la strada ad uno studio sempre più profondo sul rapporto tra fenomeni elettrici ed attività fisiologica nel il corpo umano.

Tra gli scienziati che diedero un contributo particolarmente significativo dobbiamo ricordare:

1. Ranvier (1873); Per primo osservò che i muscoli bianchi si contraggono più rapidamente dei muscoli rossi e scoprì le modalità di conduzione degli stimoli lungo il nervo.
2. Weiss (1901); Scoprì e definì la precisa relazione che vi è tra la quantità di corrente e la durata temporale della stessa per produrre una contrazione muscolare.
3. Lapicque (1909); Riconobbe il valore delle acquisizioni realizzate da Weiss e se ne servì per definire la curva intensità-durata. Definì anche due parametri fondamentali nel campo della stimolazione muscolare:
 - a) Reobase : l'intensità di corrente necessaria per raggiungere la soglia di eccitazione del muscolo
 - b) Cronassia : la durata minima necessaria di uno stimolo per produrre un contrazione con un'intensità di corrente uguale al doppio della reobase
4. Bourguignon (1935); Determinò che, ai fini dell'elettrostimolazione, il punto motore del muscolo corrisponde alla proiezione sulla pelle della Placca motrice.
5. Zoll (1952); Aprì l'era della stimolazione artificiale del muscolo cardiaco; Dimostrò infatti che uno stimolatore elettrico può produrre e mantenere artificialmente l'attività contrattile del cuore.

In questi ultimi 50 anni la scienza della stimolazione funzionale del muscolo (elettrostimolazione neuromuscolare) ha compiuto grandi passi in avanti giovandosi dei progressi tecnologici in campo elettronico e in modo particolare dell'impiego dei microprocessori e di materiali hi-tech nella realizzazione di questi dispositivi.

Inoltre si sono sperimentati numerosi tipi di corrente che si differenziano per la forma dell'onda ed altre caratteristiche.

Nel campo dello sport l'elettrostimolazione venne sperimentata per la prima volta in URSS nei primi anni sessanta e se ne cominciò a parlare in occasione delle Olimpiadi di Montreal, dove parteciparono molti atleti sovietici che si erano allenati con elettrostimolatori; Le correnti usate allora vennero definite "correnti di Kotz" dal nome del prof.Kotz, che aveva lavorato a lungo sulle modalità di stimolazione muscolare e sui loro effetti sulle prestazioni sportive.

Il prof.Kotz era giunto alla conclusione che stimolazione più efficace per l'incremento della forza muscolare era data da una corrente faradica interrotta di 50 hz (10 msec di stimolo alternati a 10 msec di pausa) in cui la fase di stimolo veniva modulata con un'onda sinusoidale a 2500 hz.

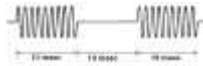


Fig.1 La tipica forma d'onda delle correnti utilizzate dal Prof.Kotz

I risultati ottenuti dagli atleti sovietici grazie all'elettrostimolazione hanno prodotto una progressiva diffusione di questa nuova metodologia in tutti i campi dello sport e dell'attività motoria.

Attualmente, a più di 30 anni di distanza dalla prima comparsa dell'elettrostimolazione nel mondo dello sport, dobbiamo constatare che alla diffusione sempre più ampia si è accompagnata un'evoluzione importante dal punto di vista costruttivo di questi dispositivi, dal punto di vista funzionale e, infine, dal punto di vista della metodologia dell'allenamento e delle possibili applicazioni.

PRINCIPI DELL'ELETTROSTIMOLAZIONE NEUROMUSCOLARE

STRUTTURA E FUNZIONE DEL MUSCOLO

I muscoli del corpo umano possono essere divisi in tre categorie:

- 1-muscoli scheletrici (striati o volontari)
- 2-muscoli lisci o involontari
- 3-il muscolo cardiaco.

MUSCOLO SCHELETRICO

Il muscolo scheletrico è il tipo di muscolo più familiare e conosciuto da ogni persona. Questo tipo di muscolo collega fundamentalmente le ossa tra di loro, riveste la struttura scheletrica ed è responsabile della postura e della locomozione. Benchè il muscolo scheletrico sia spesso messo in contrazione per via riflessa, meccanismo su cui non è possibile esercitare il controllo, il muscolo scheletrico è chiamato volontario perché è il solo tipo di muscolo che può essere controllato in modo cosciente.

I muscoli scheletrici possiedono anche una particolare struttura che li differenzia ulteriormente: La presenza di due molecole proteiche, actina e miosina, organizzate secondo una particolare struttura spaziale conferisce al muscolo un particolare aspetto a bande alternate da cui deriva il nome di muscolo striato.

I muscoli scheletrici, a causa della grande richiesta di energia necessaria per l'attività, sono caratterizzati da elevata concentrazione di enzimi necessari alla glicolisi e sono ricchi di mitocondri.

Il muscolo scheletrico (striato e volontario) è stimolabile ed allenabile con l'elettrostimolazione.

LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

Il muscolo scheletrico (striato) è composto da numerosi elementi lunghi e paralleli, chiamati fibre muscolari, che vanno da tendine a tendine e che per mezzo di questi ultimi si inseriscono sulle ossa .

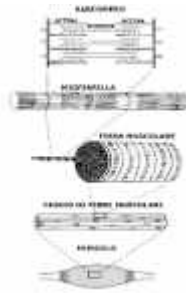


Fig.2 La strutturazione gerarchica del tessuto muscolare.

Le fibre muscolari contengono fasci di elementi filiformi, circondati dal reticolo sarcoplasmatico, che prendono il nome di miofibrille ed ogni miofibrilla è costituita a sua volta da una sequenza di tanti microscopici elementi cilindrici, i sarcomeri, collegati tra loro in senso longitudinale che costituiscono il motore contrattile del muscolo.

Il sarcomero ha una struttura fatta a forma di cilindro e al suo interno contiene filamenti sottili di actina, che sono collegati alle estremità dello stesso (linee Z), intercalati con filamenti più spessi di miosina .



Fig.3 Disegno della sezione longitudinale di un sarcomero; sono ben visibili i filamenti di actina e di miosina.

Quando un impulso elettrico raggiunge il muscolo, un potenziale d'azione si propaga lungo l'esterno della membrana cellulare e attraverso il sistema di tubuli a T penetra profondamente nella cellula muscolare e provoca il rilascio di ioni Ca^{++} all'interno dei sarcomeri.

Il calcio liberato promuove l'aggancio di particolari elementi del filamento spesso di miosina con i filamenti sottili di actina e la realizzazione di ponti tra queste due molecole (ponti acto-miosinici); la rotazione che avviene sulla parte distale del ponte (testa) produce uno scorrimento dei filamenti tra di loro che il vero meccanismo della contrazione.

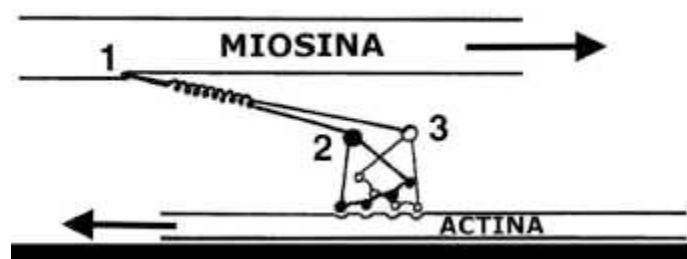


Fig.4 La rotazione della testa della miosina dalla posizione 2 alla posizione 3 produce lo spostamento reciproco dei filamenti di actina e miosina; questo meccanismo è la base di ogni contrazione muscolare.

Lo scorrimento reciproco dei filamenti provoca infatti l'avvicinamento delle linee Z e l'accorciamento del sarcomero che, sommandosi a quello di tutti i sarcomeri posti in serie genera l'accorciamento totale del muscolo che si verifica in ogni contrazione muscolare.

L'energia necessaria per realizzare le reazioni chimiche necessarie allo svolgimento di questo processo chimico-fisico viene ottenuta dalla scissione dell'ATP (Adenosintrifosfato) in ADP (Adenosindifosfato) + P.

NB: I filamenti non cambiano di lunghezza quando il muscolo si contrae, ma scorrono tra di loro variando la reciproca posizione.

MODALITA' DI CONTRAZIONE:

SCOSSA SINGOLA, TETANO INCOMPLETO E TETANO COMPLETO

Quando il muscolo riceve un'impulso elettrico entra in contrazione, sia che l'impulso provenga dal cervello, sia che sia stato prodotto da una stimolazione elettrica.

Uno stimolo singolo produce tuttavia solo una breve contrazione o "scossa singola" seguita dall'immediato ritorno del muscolo alla lunghezza di riposo.

Se lo stimolo viene però ripetuto rapidamente per molte volte di seguito possiamo osservare che gli effetti della contrazione si sommano a causa della sovrapposizione delle fasi di contrazione e dell'impossibilità del muscolo a rilassarsi.

Questo fenomeno viene chiamato tetano incompleto.

Sia la scossa singola che il tetano incompleto non si osservano normalmente nell'attività volontaria dell'uomo.

Invece uno stato di contrazione muscolare provocato da una stimolazione ripetuta del nervo motore con una frequenza così alta da fondere le singole scosse e renderle indistinguibili tra di loro è chiamato "tetano completo". In questo caso il muscolo si contrae, si indurisce a causa della tensione che si genera al suo interno ed esprime una forza misurabile alle sue estremità tendinee.

Quasi tutte le contrazioni muscolari che avvengono normalmente nel corpo umano hanno le caratteristiche di un "tetano completo".

CLASSIFICAZIONE DEI DIVERSI TIPI DI FIBRE MUSCOLARI

I muscoli scheletrici sono composti da un'insieme di fibre muscolari ed hanno forme diverse in relazione alle funzioni meccaniche che sono chiamati a svolgere; differenze importanti tuttavia si possono riscontrare in un'esame istologico delle fibre e sono strettamente legate alle modalità con cui un determinato muscolo viene chiamato a compiere il suo lavoro. L'analisi delle fibre effettuata con la tecnica della colorazione chimica ha rivelato la presenza diversificata di enzimi di tipo aerobico ed anaerobico, e la stessa tecnica ha permesso di mettere in evidenza le variazioni che avvengono nell'attività di questi enzimi.

FIBRE di tipo I

Questo tipo di fibre sono anche chiamate ST fibers (fibre a contrazione lenta) o SO fibers (fibre lente a metabolismo ossidativo).

Il motoneurone che le innerva è tonico e con bassa velocità di conduzione.

Sono fibre di colore rosso (la colorazione è dovuta alla presenza della molecola di mioglobina) che hanno una lenta velocità di contrazione ed un metabolismo energetico prevalentemente ossidativo. Al loro interno vi è un gran numero di mitocondri e di enzimi ossidativi che spiegano il motivo per cui in queste fibre ha luogo la maggior parte dei processi di fosforilazione ossidativa intra-mitocondriale. A queste funzioni metaboliche è collegato anche un contenuto in lipidi e mioglobina molto alto.

La fibra muscolare di tipo I è molto resistente alla fatica poiché è responsabile di tutti i tipi di attività di natura tonica, lenta e legata al mantenimento della postura.

Queste fibre sono circondate da una fitta rete di capillari che permette lo svolgimento ottimale del metabolismo aerobico in un'attività prolungata e caratterizzata da modeste espressioni di forza.

Le fibre di tipo I sono di grande importanza in tutti gli sport di endurance: running, ciclismo, nuoto, sci di fondo, ecc.

FIBRE di tipo IIa

Sono anche chiamate FTa fibers (fibre a contrazione rapida) o FOG fibers (fibre rapide a metabolismo ossidativo-glicolitico).

Queste fibre sono innervate da un motoneurone di tipo fasico, caratterizzato da una velocità di conduzione più alta del motoneurone tonico.

Il loro colore è bianco (dovuto all'assenza di mioglobina) e sono caratterizzate da un'attività metabolica mista. Sono infatti ricche di glicogeno e di enzimi glicolitici ma contengono anche mitocondri ed enzimi mitocondriali; il metabolismo nel suo complesso è più anaerobico che ossidativo.

Anche queste fibre sono provviste di una rete di capillari che assicura l'apporto di ossigeno necessario per i processi aerobici.

La fibra di tipo IIa è pertanto capace di esercitare contrazioni rapide e caratterizzate da un discreto sviluppo di forza, ma anche sostenute nel tempo per una relativa resistenza alla fatica.

FIBRE di tipo IIb

Sono chiamate FTb fibers (fibre a contrazione rapida) o FG (fibre rapide a metabolismo glicolitico).

Questo tipo di fibra è innervata da un motoneurone fasico, con un corpo cellulare ed un assone di grandi dimensioni, che trasmette gli impulsi al muscolo ad una velocità molto elevata.

Queste fibre sono bianche ed hanno un contenuto molto elevato in glicogeno ed enzimi glicolitici per sviluppare una potente attività energetica di tipo anaerobico.

La contrazione è assai rapida e sviluppa elevati valori di forza; la mancanza quasi completa di mitocondri rende queste fibre incapaci di sostenere un'attività protratta e, quindi, facilmente affaticabili.

Le fibre di tipo IIb hanno una grandissima importanza in tutte le attività umane caratterizzate da espressioni di forza esplosiva e, naturalmente, in tutti gli sport di potenza: Sprint, lanci, salti, ecc.

FIBRE di tipo IIM

E' stato descritto un tipo di fibre con caratteristiche analoghe a quelle delle fibre IIb ma con una risposta alla stimolazione spostata verso frequenze superiori (intorno a 100-110 hz).

I LIMITI DELLE ATTUALI CLASSIFICAZIONI

L'attuale classificazione delle fibre muscolari è dettata più dalla necessità di fissare una serie di categorie da utilizzare a fini pratici che dalla realtà biologico-funzionale del sistema muscolare nell'uomo.

Sicuramente le fibre si collocano in una gamma continua di differenti livelli di organizzazione metabolica che sono prodotti dalle richieste funzionali corrispondenti alle differenti forme di attività umana in generale e di prestazione sportiva in particolare.

LA DISTRIBUZIONE NEL MUSCOLO DEI DIFFERENTI TIPI DI FIBRE

Nei muscoli si possono trovare in percentuale diversa i tipi di fibre descritti prima, e questo rapporto tra le due principali categorie (tipo I e tipo II) può variare in modo sensibile.

Esistono gruppi muscolari che sono tipicamente costituiti da fibre di tipo I, come il soleo, e muscoli che hanno solo fibre di tipo II come il muscolo orbicolare, ma nella maggior parte dei casi abbiamo una compresenza di tipi diversi di fibre.

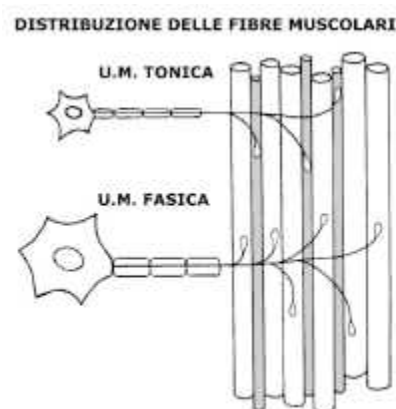


Fig.5 In questo disegno si possono notare fibre di tipo diverso frammiste tra loro; pur essendo contigue le diverse fibre rispondono agli stimoli dei rispettivi motoneuroni.

Gli studi condotti sulla distribuzione delle fibre nel muscolo hanno messo in evidenza lo stretto rapporto che intercorre tra il motoneurone (tonico o fasico)

e le caratteristiche funzionali delle fibre da esso innervate ed hanno dimostrato come una specifica attività motoria (e sportiva in particolare) possa determinare un adattamento funzionale delle fibre ed una modificazione delle caratteristiche metaboliche delle stesse.

Specchietto riassuntivo dei diversi tipi di fibre muscolari

Unità motoria	Motoneuroni	Tipo di metabolismo	Tipo di contrazione	Tipo di fibra	Frequenza di stimolazione (indicativa)
Tonica	Tonici: Bassa velocità di conduzione	SO (ossidativo)	ST (contraz.lenta)	I a	Hz 10 - 50
Fasica	Fasici: Media velocità di conduzione	FOG (ossidativo-glicolitico)	FTa (contraz.veloce)	II a	Hz 50 - 70
Fasica	Fasici: Alta velocità di conduzione	FG (glicolitico)	FTb (contraz.rapida)	II b	Hz 70 - 100
Fasica	Fasici: Alta velocità di conduzione	FG (glicolitico)	FTm (contraz.rapida)	II m	Hz 100 - 120

PARAMETRI E TECNICA DELL'ELETTROSTIMOLAZIONE

FORMA DELL'IMPULSO

Da quando è iniziata la pratica dell'elettrostimolazione sono state utilizzate e sperimentate diverse forme d'impulso per stimolare il muscolo. Le ricerche e la pratica in campo clinico e sportivo hanno dimostrato che i migliori risultati si ottengono con le correnti che hanno una forma dell'impulso rettangolare.

Questa particolare forma dell'impulso è simile a quella degli impulsi che provengono dai motoneuroni e garantisce la massima efficacia nel provocare la contrazione del muscolo. Si possono così impiegare valori molto bassi di intensità e durata dell'impulso per stimolare i muscoli mantenendo sempre molto elevato il confort nel soggetto trattato.

DURATA DELL'IMPULSO

La durata dell'impulso elettrico deve essere il più vicina possibile al valore tipico della cronassia del nervo motore che innerva il muscolo che andiamo a stimolare.

L'ampiezza dell'impulso può variare dai 200 microsecondi per i muscoli dell'arto superiore ai 300-400 microsecondi dell'arto inferiore.

L'uso della quantità minima di energia elettrica (intensità x durata) costituisce un elemento essenziale per ottimizzare la corrente durante una stimolazione

elettrica; essa costituisce infatti il principale fattore che determina l'assenza di sensazioni nocicettive (sensazioni di dolore) a livello cutaneo.

IMPULSO BIFASICO SIMMETRICO E COMPENSATO

La corrente continua o galvanica non è ben tollerata dalla pelle e dai tessuti attraversati e comporta anche rischi di bruciature cutanee e di danni ai tessuti da essa attraversati; in presenza di placche e protesi metalliche può generare fenomeni di ionizzazione e di elettrolisi degli stessi.

Gli effetti galvanici cutanei, che sono già in parte evitati grazie all'uso di impulsi rettangolari di durata uguale alla cronassia, vengono totalmente eliminati se all'onda rettangolare positiva segue immediatamente un'onda negativa di uguali dimensioni.

Questo succedersi di due onde rettangolari uguali ma di segno opposto (impulso bifasico simmetrico e compensato) fa sì che la media elettrica sia nulla e, di conseguenza, non vi sia alcuna pericolosa polarizzazione dei tessuti superficiali e profondi attraversati dalla corrente.

STIMOLAZIONE A CORRENTE COSTANTE

Quando un muscolo deve essere stimolato elettricamente per via trans-cutanea vengono applicati generalmente due elettrodi in senso longitudinale sopra il ventre del muscolo stesso.

La corrente, durante la stimolazione, fluisce da un elettrodo all'altro e produce la contrazione del muscolo.

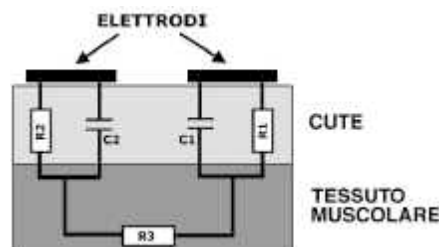


Fig.6 Rappresentazione schematica del comportamento dei diversi tessuti al passaggio della corrente elettrica.

Il sistema elettrodo-cute-tessuto sottostante-cute-elettrodo costituisce tuttavia un sistema che si oppone al passaggio della corrente, e il valore di questa resistenza può variare nel tempo.

La resistenza di questo sistema infatti può variare da una persona all'altra così come in uno stesso soggetto durante la stimolazione poiché dipende da numerosi fattori, come ad esempio:

- ☐ Grado di umidità della pelle
- ☐ Grado di perfusione sanguigna nei tessuti attraversati dalla corrente
- ☐ Presenza di tessuto adiposo.

La stessa dimensione degli elettrodi può influenzare la resistenza al passaggio della corrente: più sono grandi, tanto minore sarà la resistenza.

Un generatore di corrente costante è in grado di fornire sempre un impulso di forma ed intensità costanti nel tempo senza risentire delle variazioni di

resistenza (impedenza) legate allo stato degli elettrodi e dei tessuti che vengono attraversati.

Il flusso di corrente rimane uguale e determina un'azione fisiologica sul muscolo che è più uniforme ed efficace, mentre la stimolazione si mantiene confortevole per il soggetto.

POSIZIONE DEGLI ELETTRODI

Le giunzioni neuro-muscolari o placche motrici sono situate nella zona del ventre muscolare e, normalmente, si possono individuare a circa un terzo della lunghezza del muscolo.

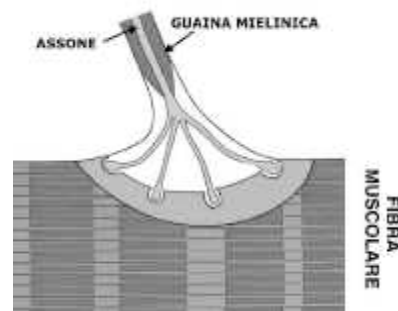


Fig.7 Disegno del punto in cui il nervo che proviene dal motoneurone si ancora alla fibra muscolare formando una giunzione chiamata placca motrice.

In questa zona particolare del ventre muscolare il nervo motore dà origine infatti ad una molteplicità di placche motrici che si trovano in corrispondenza delle fibre muscolari che esso innerva. Il punto motorio corrisponde alla proiezione sulla pelle di questo ventaglio di placche motrici che si trova all'interno del tessuto muscolare.

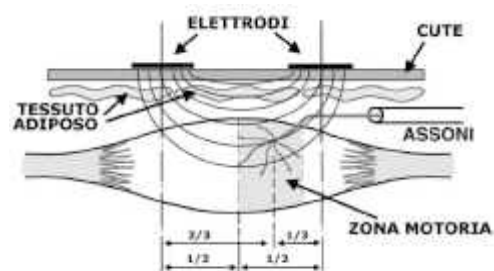


Fig.8 Nel disegno si può vedere chiaramente come il punto motorio corrisponde alla proiezione sulla pelle del punto in cui si trova un ventaglio di placche motrici.

Questo punto è importante perché individua la parte che risponde con maggiore sensibilità alla stimolazione e che, per questo motivo, richiede quantità di energia molto inferiori a quelle necessarie in corrispondenza di altre localizzazioni degli elettrodi.

Le mappe che sono fornite con lo stimolatore hanno il compito di rendere facile la collocazione degli elettrodi in modo tale che si trovino vicini ai punti motori dei muscoli che vogliamo mettere in contrazione.

Per esempio, la collocazione degli elettrodi di traverso al muscolo, anziché longitudinalmente allo stesso, comporta una contrazione molto meno efficace a parità di corrente erogata.

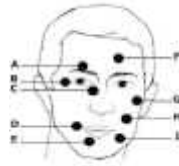


Fig.9 Elenco punti motori del viso: A- muscolo sopracciliare; B- muscolo orbicolare delle palpebre; C- muscolo elevatore dell'ala del naso; D- muscolo orbicolare delle labbra; E- muscolo mentoniero; F- muscolo frontale; G- muscolo massetere; H- muscolo buccinatore; I- muscolo quadrato del mento.

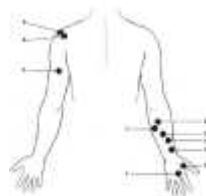


Fig.10 Punti motori dei muscoli posteriori dell'arto superiore: A- m. deltoide (fascio mediale); B- m. deltoide (fascio posteriore); C- m. tricipite; D- m. estensore comune delle dita; E- m. estensore dell'indice; F- m. estensore breve del pollice; G- m. abduuttore lungo del pollice; H- m. I interosseo; I- m. estensore ulnare del carpo; L- m. II interosseo.

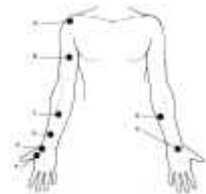


Fig.11 Punti motori dei muscoli anteriori dell'arto superiore: A- m. deltoide (fascio anteriore); B- m. bicipite; C- m. flessore comune delle dita; D- m. flessore del pollice; E- m. abduuttore breve del pollice; F- m. flessore breve del pollice; G- m. flessore ulnare del carpo; H- m. opponente del pollice.

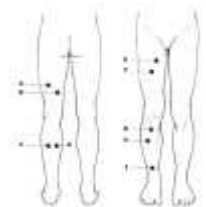


Fig.12 Punti motori dei muscoli dell'arto inferiore: A- m. semitendinoso; B- m. semimembranoso; C- m. gastrocnemio (fascio esterno); D- m. gastrocnemio (fascio interno); E- m. sartorio; F- m. retto anteriore; G- m. tibiale anteriore; H- m. estensore comune delle dita; I- m. estensore lungo dell'alluce.

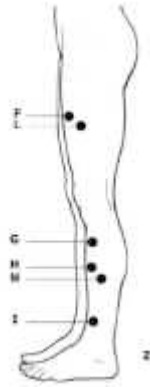


Fig.13 Punti motori dei muscoli dell'arto inferiore: F-m.retto anteriore; G- m.tibiale anteriore; H- m.estensore comune delle dita; I-m.estensore lungo dell'alluce; L-m.vasto laterale; M-m.peroneo laterale.

CARATTERISTICHE DEGLI ELETTRODI

Nelle prime forme di elettrostimolazione muscolare venivano utilizzati elettrodi metallici, abitualmente di rame o di acciaio inossidabile, che conducevano la corrente sulla pelle per mezzo di spugnette imbevute di soluzione salina. Per ovviare ai numerosi inconvenienti che questi dispositivi comportavano vennero introdotti nella stimolazione elettrodi di gomma conduttiva che venivano spalmati di gel conduttivo sulla faccia a contatto con la cute ed erano trattenuti in posizione sul muscolo con bande elastiche.

Attualmente gli elettrodi sono realizzati in morbido elastomero dotato su una faccia di gel conduttivo autoadesivo.

La tecnologia dei materiali usati ha permesso da una parte di avere un'elettrodo aderente e capace di seguire le deformazioni della superficie cutanea determinate dalla contrazione, dall'altra di ridurre drasticamente la resistenza elettrica nell'interfaccia elettrodo-gel-cute.

Lo scadimento delle caratteristiche originali degli elettrodi, per mancanza di manutenzione o per invecchiamento degli stessi, comporta inevitabilmente una notevole diminuzione di efficacia dell'elettrostimolazione.

DIMENSIONI DEGLI ELETTRODI E LORO APPLICAZIONE SULLA PELLE

Tipicamente un'elettrostimolatore necessita di 2 elettrodi per canale; In alcuni casi uno dei conduttori può essere sdoppiato per una migliore distribuzione della corrente e si possono avere 3 elettrodi per canale.

La scelta della dimensione degli elettrodi va fatta sulla base delle seguenti considerazioni:

- 1 – L'elettrodo deve essere grande abbastanza da coprire il maggior numero di punti motori del muscolo;
- 2 – I muscoli grandi necessitano di elettrodi di grandi dimensioni;
- 3 – un'elettrodo di ampia superficie distribuisce uniformemente il flusso di corrente e ne tiene bassa la densità relativa;
- 4 – un'elettrodo di ampia superficie offre una resistenza inferiore al passaggio della corrente, evitando l'insorgere di irritazioni o bruciature della cute.

Normalmente vengono impiegati elettrodi di forma rettangolare che misurano 5 x 9 cm.; per muscoli piccoli o per stimolazioni localizzate si utilizzano elettrodi di forma quadrata che misurano 5 x 5 cm.

Esistono anche elettrodi di altre forme e dimensioni che vengono però impiegati solo per usi specifici o particolari.

Per mantenere a lungo l'efficacia ottimale si devono osservare alcune semplici accorgimenti prima e dopo il loro utilizzo:

- ☐ conservare gli elettrodi in busta sigillata e, preferibilmente, in frigorifero;
- ☐ prima della loro applicazione pulire e sgrassare la pelle con acqua e sapone;
- ☐ depilare la cute nei punti di posizionamento degli elettrodi;
- ☐ dopo la rimozione inumidire la superficie adesiva degli elettrodi per reidratare il gel conduttivo;
- ☐ riposizionare immediatamente gli elettrodi sui fogli di protezione fino all'applicazione successiva.

L'INTENSITA' DELLA STIMOLAZIONE

L'intensità ottimale di stimolazione del muscolo può essere stabilita in modo oggettivo utilizzando dei dinamometri per misurare la forza espressa dal muscolo quando viene stimolato elettricamente.

Così come avviene nei tradizionali metodi di muscolazione con sovraccarico (macchine o bilanceri), anche nell'elettrostimolazione è necessario sviluppare un'elevata percentuale della FMV (Forza volontaria massimale) per ottenere degli effetti allenanti.

Utilizzando un dinamometro (p.e. ERGOMETER) è possibile, una volta stabilita la posizione di lavoro, valutare la FMV del muscolo che vogliamo allenare in condizioni isometriche. Possiamo infatti applicare gli elettrodi ed innalzare l'intensità della stimolazione elettrica fino a raggiungere un valore di forza pari alla percentuale del FMV desiderata (50%-80%).

La percentuale varia in funzione del tipo di adattamento che vogliamo produrre nel muscolo:

50% - resistenza

60-70% - forza/resistenza e massa

80% - forza massimale e forza esplosiva

In mancanza di strumentazione di misura si può usare un criterio soggettivo per determinare l'intensità di stimolazione: la soglia del dolore che corrisponde alla sensazione di un crampo muscolare.

In questo caso per sviluppare la forza esplosiva e la forza massimale si dovrà utilizzare la massima intensità che si riesce a sostenere per un tempo di contrazione che può andare da 3"/4" a 6"; i lunghi periodi di recupero tra le stimolazioni sono necessari per favorire il recupero.

Per lo sviluppo di forza resistenza si utilizzerà invece l'intensità più alta che si riesce a sostenere per un periodo di almeno 8"/10", mentre le pause saranno pari o leggermente superiori alla durata dello stimolo.

Nell'allenamento di resistenza si userà un'intensità ancora inferiore poiché a fronte di una durata di stimolo identica alla precedente, la durata del recupero è uguale o inferiore al tempo di stimolo.

Da un punto di vista soggettivo possiamo distinguere diversi livelli di attività del muscolo all'aumentare dell'intensità:

- 1** – una sensazione di leggera vibrazione a cui non corrisponde una contrazione apprezzabile del muscolo;
- 2** – una contrazione alternata e discontinua delle fibre muscolari che produce un movimento visibile sulla superficie del muscolo;
- 3** – una contrazione delle fibre muscolari nel loro insieme che danno al muscolo il tipico aspetto della contrazione: fasci muscolari induriti, separati tra di loro. La forza espressa in questa fase non è significativa.
- 4** – una potente contrazione di tutte le fibre muscolari: il muscolo diventa duro (stiffness), i fasci muscolari si gonfiano e si separano ulteriormente, la forza espressa è significativa; se l'articolazione è libera la contrazione produce la totale estensione della stessa, non contrastabile dall'intervento volontario degli antagonisti. L'intensità della contrazione è vicina alla soglia del dolore, ma non è sgradevole né difficile da sopportare.

5- l'intensità troppo elevata porta il muscolo in crampo; la contrazione è dolorosa e insostenibile. Questo stato cessa immediatamente con la diminuzione del livello dell'intensità.

Vi sono altri tipi di elettrostimolazione in cui l'intensità della corrente non è in relazione con la FMV ma, al contrario, con obiettivi diversi come:

- il riscaldamento preparatorio del muscolo prima di un'elettrosimolazione
- il riscaldamento del muscolo prima di un'attività sportiva
- il recupero muscolare
- il defaticamento muscolare
- la capillarizzazione muscolare.

In questi tipi di corrente, caratterizzati da frequenze inferiori ai 10 hz, l'intensità della corrente dovrà essere tale da produrre nel muscolo uno stato paragonabile ai livelli 2 e 3 dello schema precedente.

Nel caso del riscaldamento, per esempio, dobbiamo preparare il muscolo alle forti contrazioni dell'attività successiva e una corrente di bassa frequenza e di bassa intensità aumenta la temperatura del tessuto muscolare, mette in moto i meccanismi energetici ed aumenta l'afflusso di sangue alle zone stimulate; quest'ultimo fattore, producendo una minore resistenza al passaggio della corrente, migliora sensibilmente l'efficacia della stimolazione elettrica.

POSIZIONE DI LAVORO DURANTE LA STIMOLAZIONE ELETTRICA

Le ricerche e le esperienze fatte sulla stimolazione elettrica hanno dimostrato che gli effetti più importanti si ottengono in condizioni isometriche, cioè contro una resistenza che impedisce il movimento delle articolazioni interessate.

Il muscolo in questo modo, pur contraendosi, non riesce a modificare la propria lunghezza, pur esprimendo valori di forza molto elevati.

Per quanto riguarda invece la lunghezza ideale a cui far contrarre il muscolo (sempre in modo isometrico) i lavori condotti da Portmann, un ricercatore canadese, hanno dimostrato che i migliori risultati si ottengono quando il muscolo ha una lunghezza intermedia: non è allungato e non è completamente accorciato. Il muscolo completamente accorciato crea inoltre una condizione di stimolazione muscolare meno confortevole: un facile raggiungimento della soglia del dolore e della situazione di crampo.

Posizioni di stimolazione per alcuni gruppi muscolari:

- Muscolo quadricipite femorale: la posizione ideale è con il soggetto seduto su una leg-extension o altro sedile; il busto è a circa 90° rispetto alla coscia ed il ginocchio è piegato tra i 90° e i 120°. La gamba è trattenuta in posizione da un elemento rigido che la blocca al di sopra della caviglia.

- Muscoli addominali: la posizione ideale vede il soggetto sdraiato in decubito supino sopra un materassino. Le gambe sono piegate con le ginocchia a 90° ed i piedi in appoggio.

- Muscolo Gran Pettorale: la posizione ideale è con il soggetto seduto con la schiena appoggiata al sedile. Le braccia sono orizzontali con i gomiti piegati e rivolti in fuori a 45°. La posizione viene mantenuta grazie alla presenza di leve che bloccano il movimento (butterfly machine) o ad una cintura che passa dietro le spalle e viene trattenuta con le mani.

- Glutei: le posizioni che si possono adottare sono due; la prima prevede che il soggetto sia sdraiato in decubito supino con il bacino anteroverso e la seconda che il soggetto sia in stazione eretta con il busto leggermente inclinato in avanti.

L'ELETTROSTIMOLAZIONE E LA SICUREZZA DELLE APPARECCHIATURE.

Oggi tutte le apparecchiature per elettrostimolazione devono essere sottoposte a certificazione **CE** per apparecchi elettromedicali in quanto devono applicare correnti al corpo umano per produrre la contrazione muscolare.

Nell'uomo la stimolazione nervosa del muscolo richiede un quantitativo minimo di corrente per essere efficace grazie all'efficienza della conduzione del segnale elettrico lungo le fibre nervose mielinizzate dei motoneuroni.

Gli elettrostimolatori devono impiegare una maggior energia per stimolare il muscolo per via trans-cutanea e superare le resistenze che separano l'elettrodo dalle giunzioni neuro-muscolari.

Per questo motivo le apparecchiature sono soggette all'obbligo di certificazione che garantisce l'utilizzatore sul rispetto dei rigorosi criteri di sicurezza richiesti dalla legge.

ELETTROSTIMOLAZIONE E LA MUSCOLAZIONE TRADIZIONALE: PROBLEMATICHE A CONFRONTO

La pratica dell'elettrostimolazione è stata sottoposta, analogamente a quanto avviene nella metodologie tradizionali di muscolazione, a continue verifiche sui risultati che permette di ottenere, ma anche sui possibili rischi che ne possono derivare.

TENSIONI MUSCOLARI E SOVRACCARICO TENDINEO

La stimolazione elettrica del muscolo produce tensioni nel muscolo che sono simili a quelle che verificano con i metodi tradizionali di muscolazione; lo stesso discorso vale per i carichi che vengono generati a livello tendineo.

Non sono noti infatti episodi di rotture muscolari o di tendiniti da sovraccarico conseguenti all'utilizzo di questo sistema di muscolazione.

Si può invece affermare con certezza questi eventi traumatici sono stati riscontrati con la muscolazione effettuata con sovraccarico in regime isotonico.

Nel caso di allenamento effettuato in regime pliometrico le sollecitazioni che investono muscoli e apparato tendineo sono ancora più elevate e responsabili di patologie del sistema muscolare e osteo-articolare.

L'elettrostimolazione dunque non solo non comporta rischi per le strutture interessate, ma offre vantaggi indiscutibili nelle situazioni in cui la muscolazione tradizionale denuncia i suoi limiti.

Le situazioni in cui l'elettrostimolazione è sicuramente superiore agli altri metodi sono:

- ☐ recupero da infortunio e riatletizzazione del soggetto; in questo caso è possibile intervenire precocemente per evitare la perdita di trofismo muscolare conseguente ad immobilità. L'elettrostimolazione infatti consente la stimolazione del muscolo senza movimento delle articolazioni e, quindi, senza sollecitazioni negative.
- ☐ Allenamento muscolare senza sovraccarico articolare; è la tipica situazione dell'allenamento della muscolatura degli arti inferiori che comporta, utilizzando sovraccarichi o la pliometria, elevate sollecitazioni alla articolazioni ed alla colonna.

ELETTROSTIMOLAZIONE E RISCHI VASCOLARI

L'elettrostimolazione è ampiamente usata da tempo in riabilitazione e in fisioterapia. Nel trattamento dei soggetti paraplegici vengono utilizzati protocolli di lavoro con elettrostimoli che prevedono l'applicazione di correnti di intensità molto elevata (fino a al 300% dell'intensità usata in ambito sportivo) e per periodi molto lunghi (alcuni mesi) con applicazioni quasi quotidiane.

Nonostante questo volume molto elevato di lavoro gli specialisti non hanno segnalato alcun inconveniente o problema di carattere vascolare.

CONTROINDICAZIONI ALL'ELETTROSTIMOLAZIONE

Le controindicazioni all'uso dell'elettrostimolazione muscolare sono le seguenti:

- Presenza di patologie (malessere acuto, infezioni, disturbi cardiaci, ecc.)

- Stato di gravidanza
- Presenza di Pace-maker
- Presenza di viti, placche di riduzione ortopedica, protesi ortopediche