

STUDIO DEL MOVIMENTO MEDIANTE ELETTROMIOGRAFIA TELEMETRICA TECNICHE DI STUDIO ED IMPORTANZA PRATICA

R. PURICELLI - A. VILLA - C. BIANCHI

INTRODUZIONE

Tutti gli studi condotti sul movimento hanno lo scopo di dare un quadro globale che possa chiarire alcuni aspetti di quella complessa concatenazione di movimenti che stanno alla base del cammino stesso; aspetti che sono legati sia alla meccanica del sistema locomotorio sia alle funzioni nervose che ne regolano l'esecuzione.

Studi avanzati di carattere bioingegneristico, condotti in questo settore hanno messo in luce la notevole complessità del meccanismo della locomozione (2), (8), (10), (11).

Infatti è proprio grazie ai progressi compiuti in discipline quali la teoria dei sistemi, l'elaborazione automatica dei dati, la biomeccanica e alla ingegnosità delle nuove soluzioni tecniche ed al rigore dei nuovi metodi di ricerca che si è arrivati ad acquisire delle informazioni abbastanza dettagliate, superando molte di quelle difficoltà imposte un tempo dalle limitazioni tecniche.

Qui vogliamo ricordare come un tempo i metodi tradizionali per la determinazione della funzione muscolare erano rappresentati unicamente:

- dallo studio delle origini ed inserzioni del muscolo;
- dalla osservazione degli effetti della stimolazione elettrica;
- dalla osservazione dei muscoli di ammalati con paralisi.

Oggi al contrario, lo studio è più completo, basandosi sul rilevamento dell'attività elettrica che il muscolo sviluppa durante i movimenti specifici. Ciò è possibile grazie all'uso di un apparato elettromiografico che permette la registrazione dell'attività elettrica del muscolo durante il cammino (11).

La notevole complessità del meccanismo della locomozione può essere compresa considerando ad esempio il corpo umano dal punto di vista meccanico, cioè rappresentandolo come un sistema di leve articolate fra loro secondo schemi diversi, il quale è soggetto in ogni istante all'azione di forze interne (le forze muscolari) e di forze esterne

(forze di gravità relative a ciascun segmento scheletrico, e reazioni di appoggio al suolo).

A queste forze bisogna poi aggiungere le *forze di inerzia*, le quali dipendono dalla distribuzione delle masse all'interno del sistema meccanico e dalle accelerazioni impresse a ciascun elemento articolare del sistema.

Da questa sommaria esposizione si può quindi comprendere come la molteplicità delle sollecitazioni a cui è sottoposto il corpo e la complessità strutturale in termini meccanici del corpo stesso, rendano molto difficile analizzare questo sistema senza ricorrere a metodologie piuttosto sofisticate. Questa complessità strutturale comporta, come è facile intuire, un meccanismo di controllo e di regolazione a livello nervoso anch'esso assai complicato.

Perciò i lavori più ambiziosi nel campo della biomeccanica del cammino non possono prescindere dall'impiego congiunto di tecniche e conoscenze diverse.

Così, oltre alla registrazione simultanea dell'attività mioelettrica dei muscoli coinvolti nell'atto locomotorio, che impiega la tecnica *elettromiografica*, si usano:

- metodi cinematografici speciali per il rilievo accurato dei dati cinematici, cioè di quelle informazioni relative all'evoluzione nel tempo dello spostamento, della velocità e dell'accelerazione dei vari segmenti scheletrici;
- le cosiddette *piattaforme di forza* per il rilevamento delle reazioni di appoggio esercitate dal suolo sul corpo;
- conoscenze di *antropometria* (osservando direttamente il soggetto in esame) con le quali è poi possibile valutare la lunghezza dei segmenti mobili, la frazione della massa totale del corpo da attribuire a ciascuno di essi, nonché il baricentro relativo ad ogni segmento.

Sulla scorta di questi dati, mediante l'elaborazione su calcolatori elettronici di algoritmi matematici appositamente studiati, si può risalire da ultimo ad una rappresentazione complessiva dell'atto locomotorio in termini meccanici. La rappresentazione così ottenuta fornisce una base rigorosa da cui partire per eseguire tutta un'ulteriore serie di studi, sia nell'ambito della locomozione sia al di fuori di essa.

Infatti, secondo Pedotti (11):

- limitandoci agli studi più recenti, si può constatare che essi sono incentrati essenzialmente su due aspetti complementari:
 - 1) Gli studi che, nell'ambito della neurofisiologia, partendo dalle ipotesi sherringtoniane sull'attività degli archi riflessi, analizzano l'attività e l'organizzazione dei meccanismi nervosi che presiedono all'attività di base.
 - 2) Gli studi che si propongono di dare una descrizione rigorosa e quantitativa della biomeccanica della locomozione sia per mettere

a punto protesi avanzate, sia per risalire ai livelli superiori della struttura organizzativa.

Sempre secondo l'autore, nello studio di questo sistema la bioingegneria può giocare un ruolo fondamentale.

Nell'ambito dei nostri studi sulla marcia, da diverso tempo stiamo indagando sull'attività di alcuni muscoli dell'arto inferiore in relazione alle varie fasi del ciclo del cammino, servendoci del rilevamento elettromiografico e della trasmissione via radio di questi segnali.

Accenniamo, qui di seguito, alle tecniche che ci hanno permesso di affrontare uno studio del genere.

TECNICHE

L'elettromiografia è una fondamentale metodica atta ad analizzare l'attività dei muscoli, sia spontanea sia provocata.

L'esecuzione di una corretta analisi elettromiografica durante il normale cammino presenta tre problemi principali:

- prelievo dei segnali elettromiografici;
- garantire libertà di movimento e naturalezza dei gesti;
- correlare l'attività mioelettrica registrata con le diverse fasi del passo.

Il problema del prelievo dei segnali si pone in quanto occorre scegliere il tipo di elettrodi da impiegare.

Dal punto di vista dell'ampiezza del segnale elettrico e degli eventuali artefatti, la soluzione migliore è quella di elettrodi inseriti direttamente nella sorgente del segnale, ovvero all'interno dei muscoli in esame. Due sono le possibilità:

- elettrodi ad ago;
- elettrodi a filo sottile.

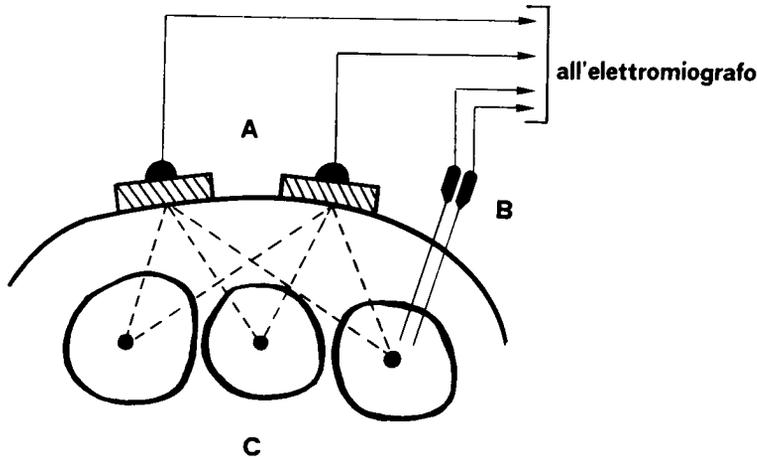
Per gli studi di muscoli sottoposti a variazioni considerevoli di lunghezza (come appunto durante la marcia) gli elettrodi ad ago sono assolutamente da scartare, per via della rigidità e del traumatismo provocato.

Rimangono così quelli a filo, che sono senz'altro gli elettrodi ad inserimento più interessanti e versatili. Abbiamo però scartato anche questi per via delle maggiori difficoltà nella loro preparazione ed inserimento, fissando definitivamente la nostra scelta sugli *elettrodi di superficie*, cioè elettrodi che vengono applicati sulla superficie cutanea al di sopra del muscolo che si vuole esaminare.

Principali svantaggi di questo tipo di rilevamento sono:

- limitazione dello studio ai muscoli superficiali;

- scarso potere di localizzazione dell'esatta sorgente dei segnali, specie se vi sono più muscoli vicini fra loro (fig. 1).



- A) elettrodi di superficie
- B) elettrodi ad inserimento
- C) muscoli

Fig. 1

Malgrado questi inconvenienti, la comodità dell'impiego di questi elettrodi e il loro carattere « incruento » ci hanno convinti ad adottarli definitivamente. Ne abbiamo perciò realizzati alcuni esemplari sottoforma di una piccola e leggera scatoletta metallica (circa 40 x 20 x 10 mm) contenente un preamplificatore miniaturizzato, connesso direttamente ad un paio di elettrodi di argento applicati su una faccia della scatoletta (fig. 2).

- Per sormontare il secondo problema, abbiamo realizzato un semplice sistema di trasmissione via radio dei segnali rilevati, il quale ci consente di trasmettere due canali contemporaneamente. La trasmissione avviene secondo la cosiddetta « modulazione di frequenza » (M.F.) il che garantisce una ricezione chiara e quasi priva di disturbi elettrici.
- Il terzo problema è stato affrontato e risolto applicando sotto la pianta del piede tre piccoli interruttori a pressione (localizzati come in fig. 3).

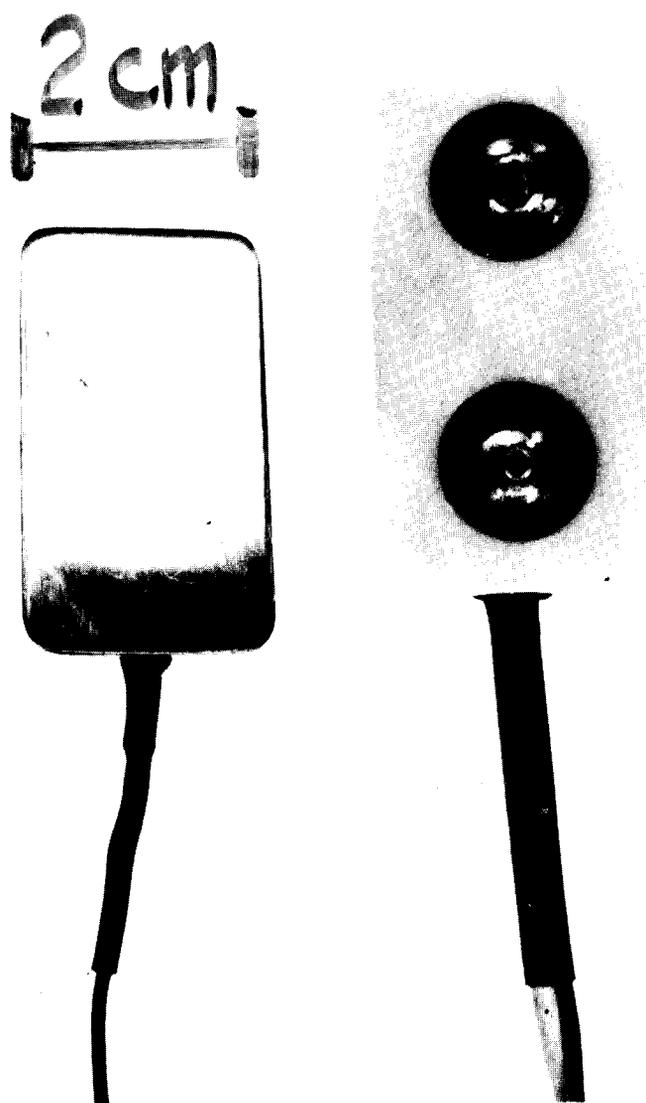


Fig. 2 - Elettrodi di argento impiegati per il prelievo dei segnali elettromiografici.

Durante il cammino l'azionamento di questi interruttori avviene secondo una certa sequenza in base alla quale un opportuno circuito fornisce un segnale elettrico caratteristico detto telepodogramma (TPG), la cui interpretazione è illustrata nelle figure 4, 5, 6, 7 e 8.

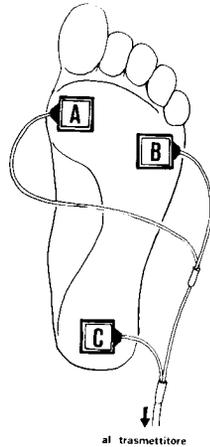


Fig. 3 - Interruttori a pressione applicati sotto la pianta del piede per permettere di correlare l'attività mioelettrica registrata con le diverse fasi del passo.

Dato che disponiamo di due canali di trasmissione, se inviamo attraverso uno di questi canali il segnale elettromiografico proveniente da un muscolo di una gamba, mentre sull'altro canale inviamo il segnale del TPG relativo allo stesso arto, all'atto della ricezione e della registrazione su nastro fotosensibile otteniamo un doppio tracciato dal quale appare chiaramente l'evoluzione temporale dell'attività mioelettrica in relazione alla fase meccanica del passo. Riportiamo diversi esempi di registrazioni effettuate sui muscoli degli arti inferiori. Figg. 9, 10, 11, 12.

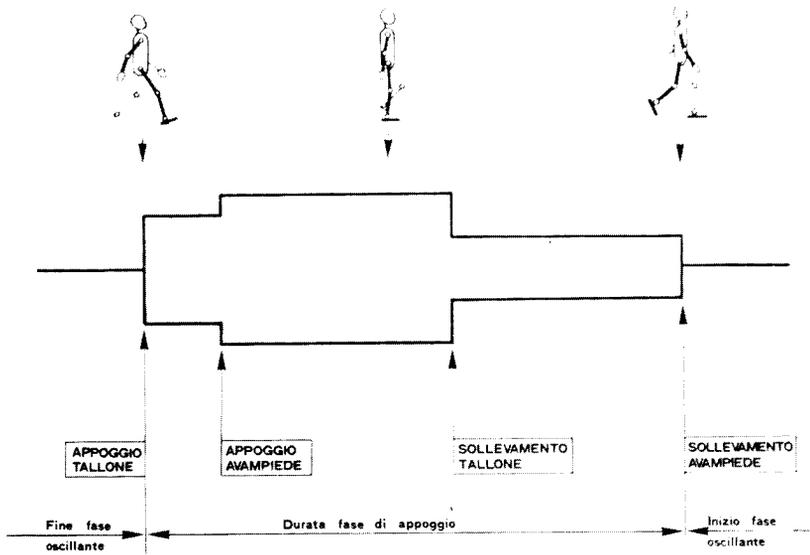
IMPORTANZA PRATICA

Per ciò che concerne l'utilità di uno studio elettromiografico sull'attività dei muscoli durante il cammino, siamo convinti che i risultati che se ne possono ricavare non sono fini a se stessi.

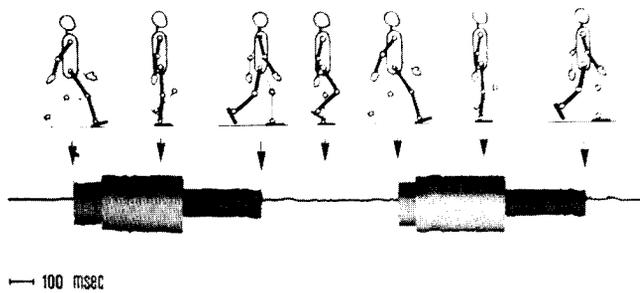
Beninteso, limitandosi alla sola elettromiografia non si potranno ottenere quei parametri globali che solo l'impiego di tecniche e conoscenze diverse permettono di ricavare.

Un risvolto pratico, di notevole interesse, di questi studi è quello di permettere una migliore analisi dei passi patologici e di conseguenza la loro migliore risoluzione.

Infatti, la conoscenza di criteri di coordinamento dell'attività dei muscoli e di quello che è il modello del cammino, il che costituisce poi lo scopo di una ricerca come quella da noi eseguita, può costituire il punto di partenza per affrontare problemi quali:



SCHEMA DEL TELEPODOGRAMMA (TPG)



TELEPODOGRAMMA EFFETTIVO

Fig. 4 - T.P.G.: schema del telepodogramma e telepodogramma effettivo.

- la stimolazione programmata nei soggetti colpiti da paralisi degli arti inferiori;
- l'ottenimento di segnali mioelettrici per comandare protesi automatiche degli arti.

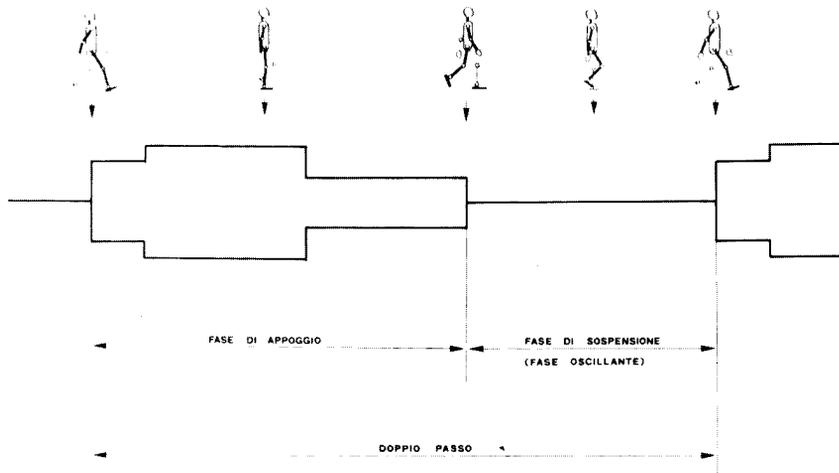


Fig. 5 - Illustrazione della fase di appoggio e di sospensione (oscillante) nell'ambito di un Doppio Passo.

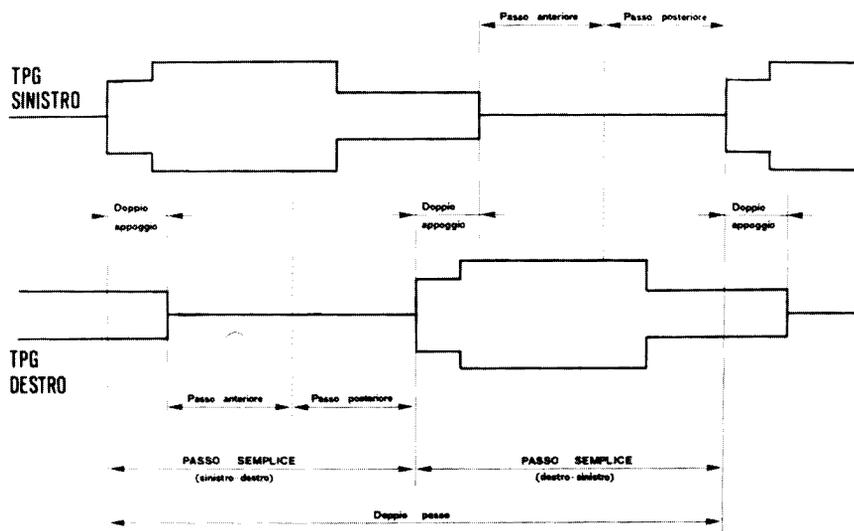


Fig. 6 - Schema con due telepodogrammi, ciascuno relativo ad uno dei due arti inferiori.

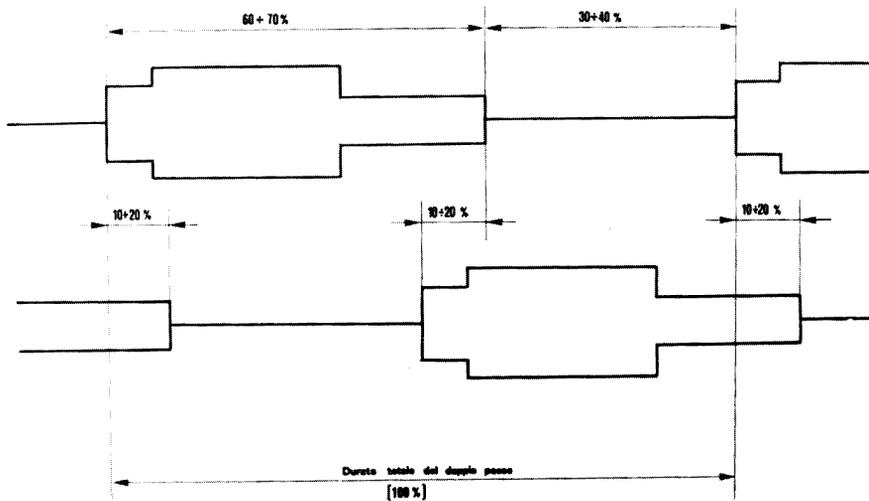


Fig. 7 - Schema con due telepodogrammi illustrante la durata totale del doppio passo e la durata delle varie fasi che lo compongono.

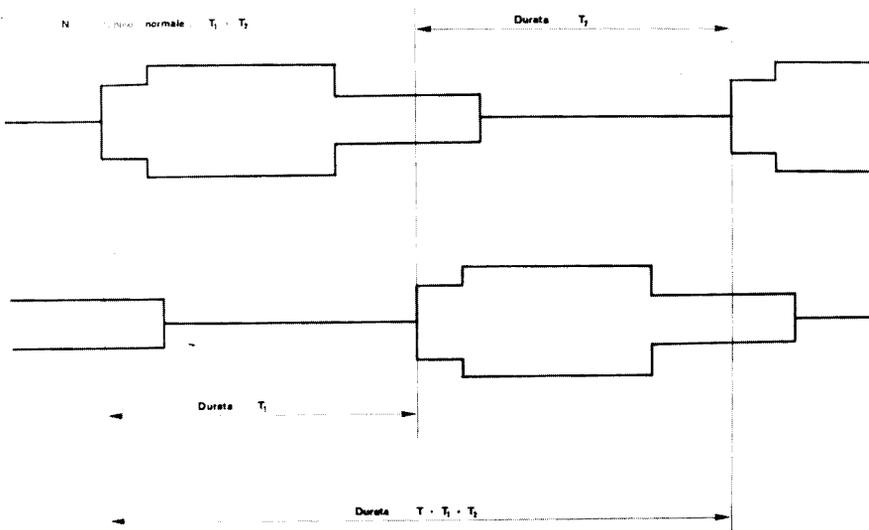
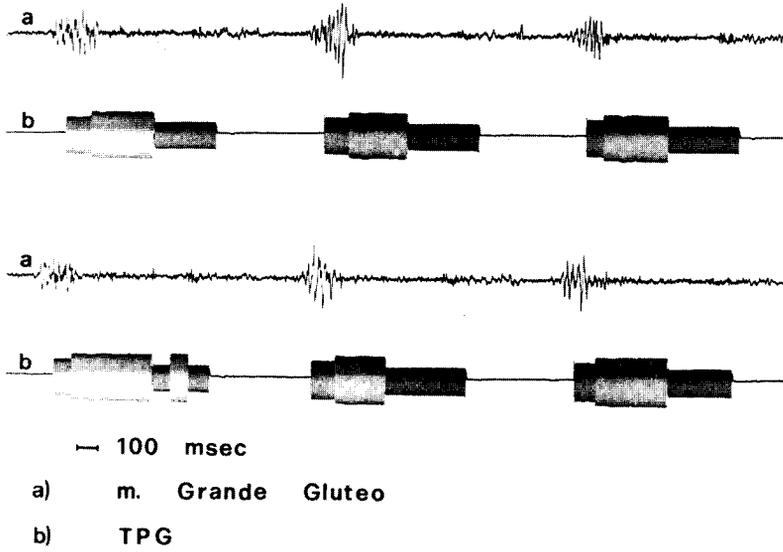
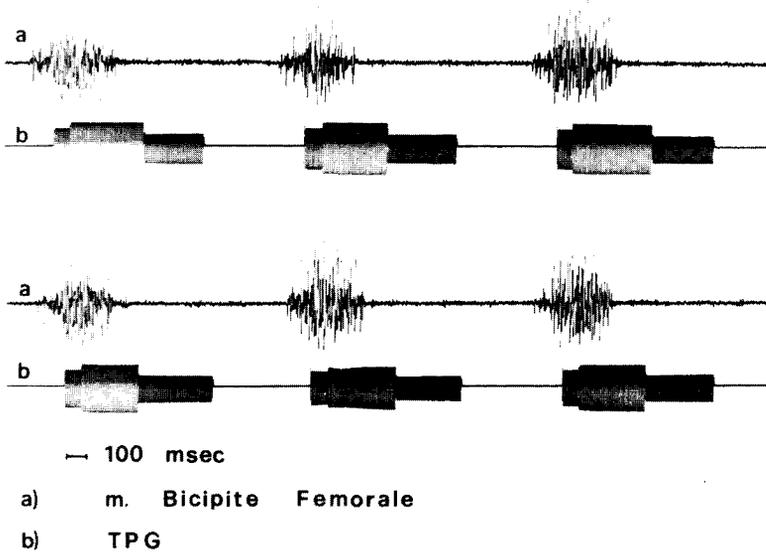


Fig. 8 - Schema con due telepodogrammi illustrante la ritmicità del cammino. Si ha cioè il susseguirsi ritmico dei due appoggi del tallone nel cammino normale.



D.B.

Fig. 9 - Telepodogramma correlato all'attività mioelettrica del m. grande gluteo.



D.B.

Fig. 10 - Telepodogramma correlato all'attività mioelettrica del m. bicipite femorale.

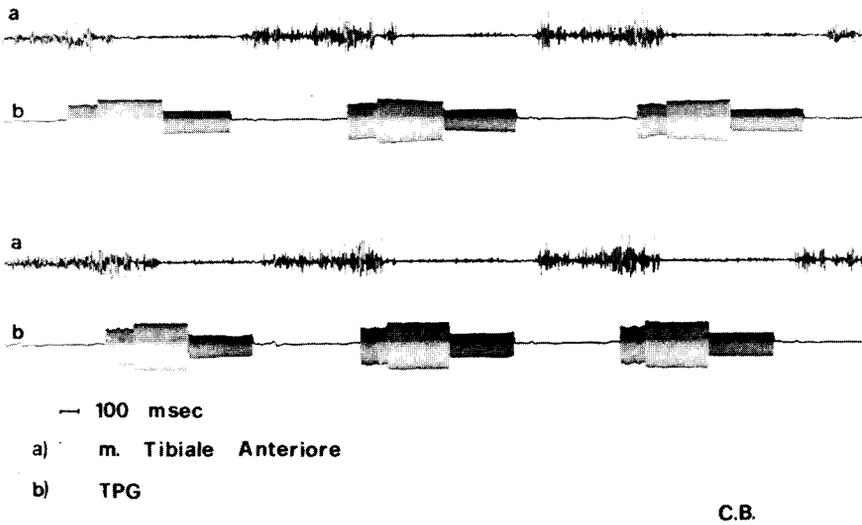


Fig. 11 - Telepodogramma correlato all'attività mioelettrica del m. tibiale anteriore.

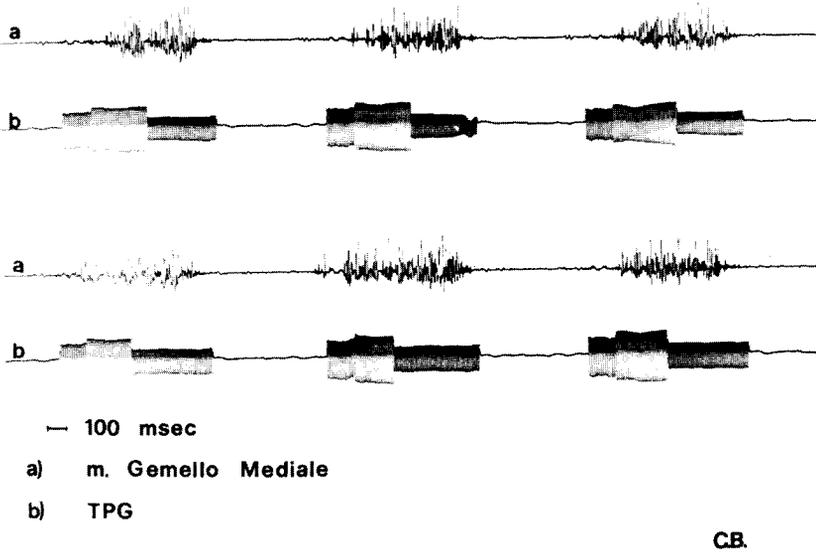


Fig. 12 - Telepodogramma correlato all'attività mioelettrica del m. gemello mediale.

Inoltre apre la possibilità di diagnosticare precocemente attraverso *esami comparati dell'andatura*, l'esistenza di lesioni del sistema nervoso e dell'apparato muscolare e valutarne la localizzazione.

Come si vede, studi di questo genere sono il presupposto per quei problemi preminentemente connessi con la terapia riabilitativa, terapia intesa come recupero funzionale, parziale o totale, di quella vasta gamma di lesioni acquisite o congenite dell'apparato locomotore.

Anche nel campo dello sport, studi di questo genere possono trovare un certo interesse e una certa applicazione pratica. E questo sia che si voglia parlare del recupero funzionale post-traumatico dell'atleta, sia che si cerchi di realizzare il miglioramento di determinate prestazioni, per ottenere le quali necessita la correzione di difetti riscontrati nell'esecuzione di un movimento (cioè la correzione di schemi motori alterati).

Scopi tutti questi che finiscono col presupporre una buona conoscenza non solo di quello che dovrebbe essere il modello del cammino, ma anche, in genere, del complesso sistema di segmenti articolati fra loro e delle relative masse muscolari coinvolti nei movimenti in esame.

Così ad esempio nel caso di un'indagine elettromiografica, sfruttando la tecnica telemetrica, sarà possibile registrare le variazioni delle attività muscolari nell'ambito delle varie prestazioni atletiche, caratterizzate anche da complicati movimenti o dalle varie sedi in cui si svolgono (inclusa l'acqua, la neve, il ghiaccio, rispettivamente per sport quali il nuoto, lo sci, il pattinaggio).

Infatti, mentre molti sport possono essere riprodotti in laboratorio (cicloergometro, vogatore ecc.), per tanti altri ciò non è possibile.

Inoltre i risultati ottenuti in laboratorio non sempre riproducono fedelmente le caratteristiche di quel determinato sport, in quanto viene a mancare quel complesso di situazioni nelle quali l'attività si svolge normalmente.

Queste limitazioni nell'ambito delle ricerche sulle attività sportive vengono invece facilmente superate grazie all'introduzione della telemetria (7).

Grazie a questa tecnica si è arrivati così a registrare simultaneamente *fenomeni fisiologici* quali ECG, respirazione, EMG, EEG e temperatura e *fenomeni meccanici* quali forza, accelerazione e velocità.

A questo proposito sono significativi i lavori di alcuni autori in questi ultimi tre anni, i quali sfruttando la tecnica elettromiografica hanno potuto stabilire quali muscoli entrano in funzione ad esempio nell'atto di pedalare (6), nel nuoto (3), (9) oppure alla partenza delle corse veloci in posizione eretta o in ginocchio sui blocchi (4).

E' così possibile individuare il gruppo muscolare maggiormente sollecitato in una determinata fase di movimento, per poi eventualmente procedere al potenziamento dello stesso allorché se ne deduce una insufficienza.

Scopo finale, sarà in ogni caso quello di cercare di ottimizzare la complessa concatenazione di movimenti che contraddistingue ciascuna specialità sportiva.

BIBLIOGRAFIA

- BASMAJIAN J. V.: « *L'elettromiografia nell'analisi dinamica delle funzioni muscolari* » Piccin Ed. - Padova 1971. Titolo originale: « *Muscles alive. Their functions revealed by electromiography* ».
- CAPPOZZO A., LEO T., PEDOTTI A.: « *A general computing method for the analysis of human locomotion* ». Rapporto dell'Istituto di Automatica dell'Università di Roma e del Centro di Studio dei Sistemi di Controllo e Calcolo automatici del C.N.R. - Dicembre 1973.
- CLARYS J. P., JISKOOT J. and LEWILLIE L.: « *A kinematographical, electromiographical and resistance study of water-polo and competition front crawl* ». *Medicine and sport*, vol. 8: *Biomechanics III* pag. 446-452, Karger-Basel 1973.
- DESIPRÉS M.: « *Comparison of the kneeling and standing sprint starts* ». *A kinematographical analysis incorporating electromiography*. *Medicine and sport* vol. 8: *Biomechanics III*, pag. 364-369, Karger-Basel 1973.
- DUCROQUET R. J. P.: « *La marche et les boiteries* ». Ed. Masson, Paris 1965.
- GRIMES D. L. and FLOWERS W. C.: « *A three dimensional hip goniometer with improved external references* ». *Proceedings: Engineering in Medicine and Biology*. Vol. 16, october 1974, 49.3.
- HOUTZ S. J. and FISCHER F. J.: « *An analysis of muscle action and joint excursion during exercise on a stationary bicycle* ». *J. Bone and Joint Surgery* 41-A: 123-131, 1959.
- ISHIKO T.: « *Application of telemetry to sport activities* ». *Biomechanics I*, 1st. Int. Seminar, Zurich 1967, pag. 138-146, Karger-Basel - New York 1968.
- KRISHNAN R. C., ANAND D. K., ZAJAK F. E.: « *Relationship of speed of walking to the applied moments in human leg joints* ». *Proceedings: Engineering in Medicine and Biology*. Vol. 16, october 1974, 49.4.
- LEWILLIE L.: « *Muscular activity in swimming* ». *Medicine and sport - vol. 8: Biomechanics III*, pag. 440-445, Karger-Basel, 1973.
- PEDOTTI A.: « *Analisi e caratterizzazione della locomozione umana* ». *La Settimana degli Ospedali - Quaderno n. 3*, pag. 29, 1975.
- PEDOTTI A., CAPPOZZO A., GILARDI L.: « *Analisi del coordinamento muscolare nella deambulazione* ». *Atti del 1° Convegno-mostra di Bioingegneria 1972*. Fast Milano - ANIPLA.
- PIETRA P., TANZI F.: « *Valutazione elettromiografica dell'attività muscolare* ». *Atleticastudi*, pag. 154-159. Aprile-ottobre 1975.
- PURICELLI R., CASARIN G.: « *Studio e.m.g. dell'attività del muscolo tibiale anteriore durante la deambulazione* ». *Europha Medico Phisica*, vol. 10, n. 1, genn.-marzo 1974.
- PURICELLI R., FERRARIO A., CASARIN G., VILLA A.: « *Studio elettromiotelemetrico dell'attività dei muscoli ischiocrurali durante la deambulazione* ». *Riabilitazione* 1975, 8/2, pag. 65-72.
- PURICELLI R., CASARIN G., COMOLLI C.: « *L'attività del muscolo lungo peroneo durante la deambulazione. Studio elettromiografico* ». *La Riabilitazione* n. 3. Luglio-settembre 1973. Tamburini Editore - Milano.

OSPEDALE di CIRCOLO e FONDAZIONE E. S. MACCHI di VARESE
DIVISIONE DI RECUPERO E DI RIEDUCAZIONE FUNZIONALE

PRIMARIO: Dott. E. MORONI BULGHERONI