

VALUTAZIONE

ELETTROMIOGRAFICA DELL'ATTIVITA' DI MUSCOLI DEGLI ARTI INFERIORI E DEL TRONCO DURANTE LA MARCIA IN SOGGETTI NORMALI NON ATLETI

ROMANO PURICELLI - ENRICO ARCELLI - ALBERTO VILLA - CARLO Z. BIANCHI

L'azione, nelle varie fasi del passo, di muscoli dell'arto inferiore e del tronco è stata indagata con la elettromiografia telemetrica, cioè mediante la raccolta e la registrazione a distanza dell'attività elettrica dei muscoli, in soggetti normali non atleti.

Il principio fondamentale della elettromiografia è che la fibra muscolare, quando venga raggiunta dallo stimolo nervoso partito dal motoneurone, diventa sede di una attività elettrica che si manifesta con un potenziale d'azione che percorre tutta la fibra; un elettrodo posto alla superficie (elettrodo di superficie) o inserito nel tessuto muscolare (elettrodo a inserimento) consente di raccogliere tali variazioni di attività elettrica.

La trasmissione via radio dei segnali dell'attività elettrica dei muscoli è stata da noi utilizzata al momento che, in un tipo di attività come quella del cammino, questa tecnica consente ai soggetti di muoversi in condizioni del tutto naturali, senza quelle limitazioni che invece necessariamente si avrebbero con allacciamenti diretti all'elettromiografo.

1. APPARECCHIATURE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATE

Nella presente indagine si sono sempre utilizzati elettrodi di superficie, sia per la maggiore facilità di applicazione e rimozione rispetto a quelli a inserimento, sia per il fatto che per i nostri fini si richiedeva una visione globale della contrazione muscolare e non era necessaria una massima selettività dei segnali mioelettrici.

Si sono usati due elettrodi che avevano incorporato un pream-

plificatore miniaturizzato e che erano collegati con una coppia di trasmettitori in modulazione di frequenza.

Alla scarpa del soggetto in esame venivano applicati tre piccoli interruttori (Fig. 1), di

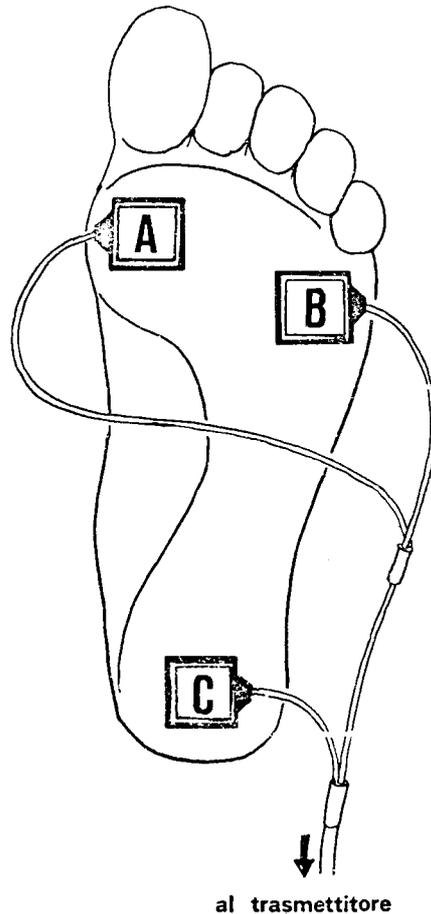


Fig. 1

cui uno sotto il tallone e due, collegati in parallelo, sotto l'avampiede; data la loro posizione, durante la marcia, entravano in azione secondo una certa sequenza e ciò generava un segnale elettrico da noi definito

Telepodogramma (TPG) (Figura 2).

Poiché nella nostra ricerca utilizzavamo un trasmettitore a due canali, avevamo la possibilità di registrare contemporaneamente il TPG e l'elettromiografia di un dato muscolo e potevamo così correlare l'attività di tale muscolo con le diverse fasi del passo.

In alternativa avevamo la possibilità di registrare il segnale elettrico di due diversi muscoli.

L'elettromiografo da noi utilizzato era fornito:

— di un oscilloscopio a raggi catodici per una visione diretta dei tracciati elettromiografici e del TPG;

— di un sistema di registrazione, su carta fotosensibile, in grado di accogliere frequenze di oltre 10.000 cicli/secondo, grazie all'assenza di parti meccaniche scriventi;

— di un sistema audio.

2. METODO DI INDAGINE

Nel soggetto da esaminare sono stati applicati gli elettrodi di superficie sui muscoli che si volevano indagare, e, sotto la pianta del piede calzando le scarpe da lui usate abitualmente (o, in un numero limitato di casi a piedi scalzi), gli interruttori per la registrazione del TPG.

Il trasmettitore veniva fissato sulle spalle del soggetto mediante cinghie, in modo tale da non dare impaccio alcuno.

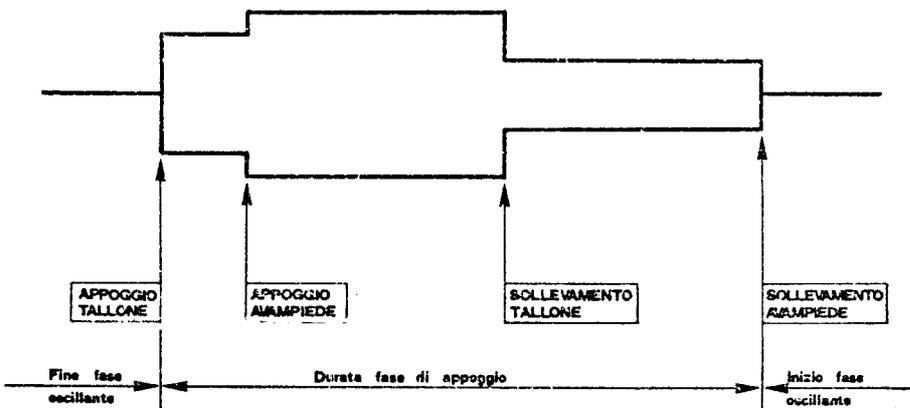
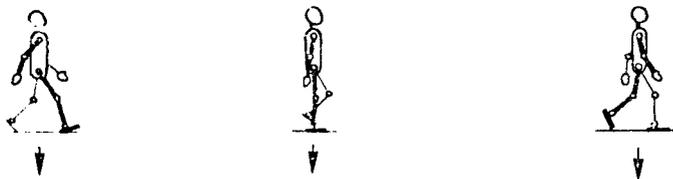
Il soggetto veniva invitato a camminare ad andatura costante su un percorso piano.

Durante la registrazione veniva escluso l'apparato di amplificazione audiovisiva dell'elettromiografo per evitare condizionamenti del soggetto che stava camminando.

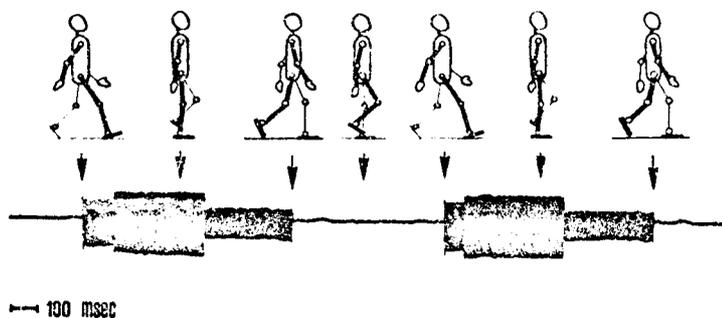
3. RISULTATI OTTENUTI - INTERPRETAZIONE BIOMECCANICA

E' necessario premettere che non esiste un quadro elettromiografico e biomeccanico completamente sovrapponibile in tutti i soggetti, a causa della diversità individuale della struttura fisica e del modo di camminare: del resto, data la complessità nelle relazioni tra i vari parametri, piccole variazioni di velocità del passo e, in generale, della cinematica del movimento, determinano necessariamente notevoli cambiamenti nel quadro dinamico delle forze muscolari.

In una descrizione del coordinamento muscolare globale, esistono perciò alcune variazioni, anche sensibili, attorno a valori medi che si ripetono.



SCHEMA DEL TELEPODOGRAMMA (TPG)



TELEPODOGRAMMA EFFETTIVO

Fig. 2

3.1. MUSCOLI INTRINSECI DEL PIEDE

3.1.1. *Muscolo pedidio (m. extensor digitorum brevis)*

Come è stato fatto notare da alcuni autori (19) l'attività dei muscoli intrinseci del piede è marcata nella fase di distacco del tallone dal suolo e diventa nulla subito dopo il distacco della punta da terra.

La ricerca da noi effettuata sul m. pedidio ha in gran parte con-

fermato ciò. Dalla Fig. 3 si può infatti notare:

a) che fino a metà dell'appoggio a piatto del piede sul terreno la sua attività è pressoché nulla;

b) nella seconda metà della fase di appoggio e in un breve periodo iniziale della fase oscillante l'attività è massima e pressoché costante;

c) che per tutta la rimanente parte della fase oscillante l'attività è nulla.

Il pedidio in definitiva, avendo una linea d'azione pressoché parallela all'asse longitudinale del piede, ha una funzione stabilizzatrice del piede (in particolare nei confronti delle articolazioni tarsali), durante la fase di appoggio e di spinta (Fig. 4).

3.2. MUSCOLI DELLA GAMBA

3.2.1. *Muscolo peroneo lungo (m. peroneus longus)*

Dai tracciati (Fig. 5) si vede come il muscolo peroneo lungo presenti la massima attività a partire dal momento del distacco del tallone dal suolo, quando l'appoggio è sul solo avampiede. L'attività è invece del tutto nulla nella fase oscillante del passo.

Tale muscolo, dunque, entra in azione soprattutto nella fase propulsiva del cammino.

La sua funzione è quella di aumentare il valgismo del piede, facendo sì che l'appoggio, nella fase di spinta, passi sulla prima testa metatarsale.

La piccola attività che si nota al momento dell'appoggio a terra del tallone, è verosimilmente dovuta a segnali mioelettrici provenienti dal vicino m. tibiale anteriore, molto attivo in questa fase del cammino.

3.2.2. *Muscolo tibiale anteriore (m. tibialis anterior)*

I tracciati (Fig. 6) del m. tibiale anteriore dimostrano i suoi due momenti di intervento:

a) durante la fase di oscillazione, con un massimo di intensità subito dopo il distacco da terra delle dita, un calo a metà e una ripresa fino al termine di tale fase;

b) nella fase di appoggio del tallone al suolo, in diretta continuazione con l'attività della fase precedente.

Netto e tipico è l'arresto dell'attività dal momento dell'appoggio del piede a piatto, fino al termine della fase di appoggio.

Come si può vedere dalla Figura 7 a, nella fase iniziale dell'oscillazione (flessione dorsale del piede) la funzione del muscolo è quella di impedire che, durante l'avanzamento dell'arto

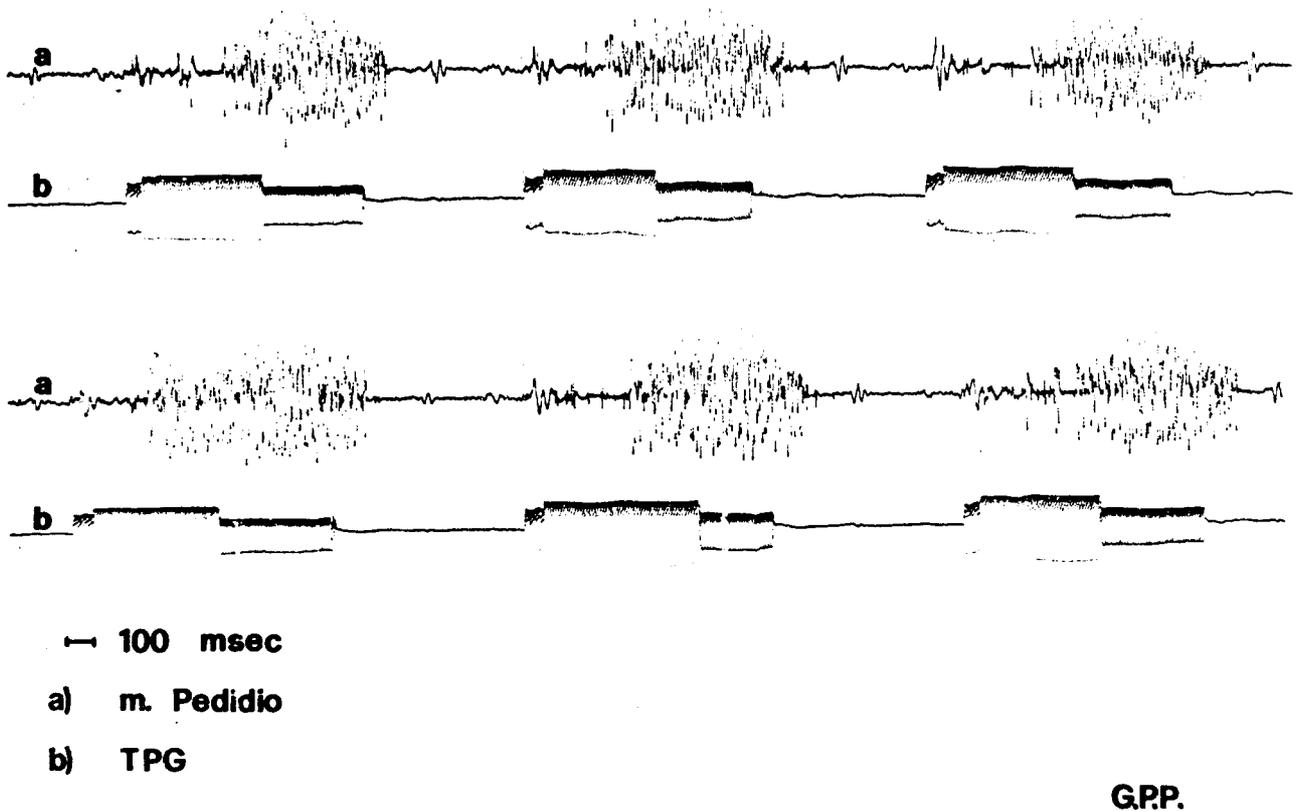


Fig. 3

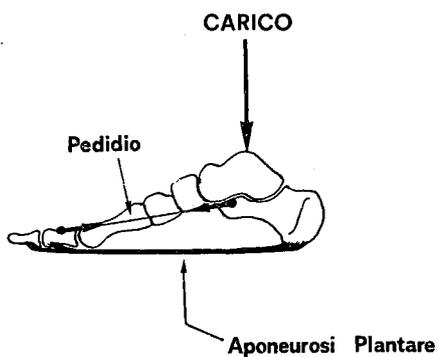


Fig. 4

inferiore, la punta del piede strisci sul terreno.

Dalla Fig. 7 b, si vede invece come nella fase finale dell'oscillazione e in quella iniziale del-

l'appoggio, il m. tibiale anteriore abbia una funzione frenante: impedisce infatti che l'appoggio a terra del piede a piatto avvenga in modo brusco, sotto la spinta prodotta dall'inerzia e dal peso del corpo. Esso, cioè, agisce in maniera eccentrica, modulando il contatto del piede con il terreno.

3.2.3. Muscolo tricipite surale (*triceps surae*) (*m. gastrocnemius*, *m. soleus*)

Dalla Fig. 8 si può vedere come l'attività dei mm. gemelli sia nulla nella fase oscillante, mentre aumenti in maniera progressiva a partire da circa la metà della fase di appoggio, quando il piede è a piatto sul terreno; si ha un massimo di attività a circa due terzi della fase di spinta.

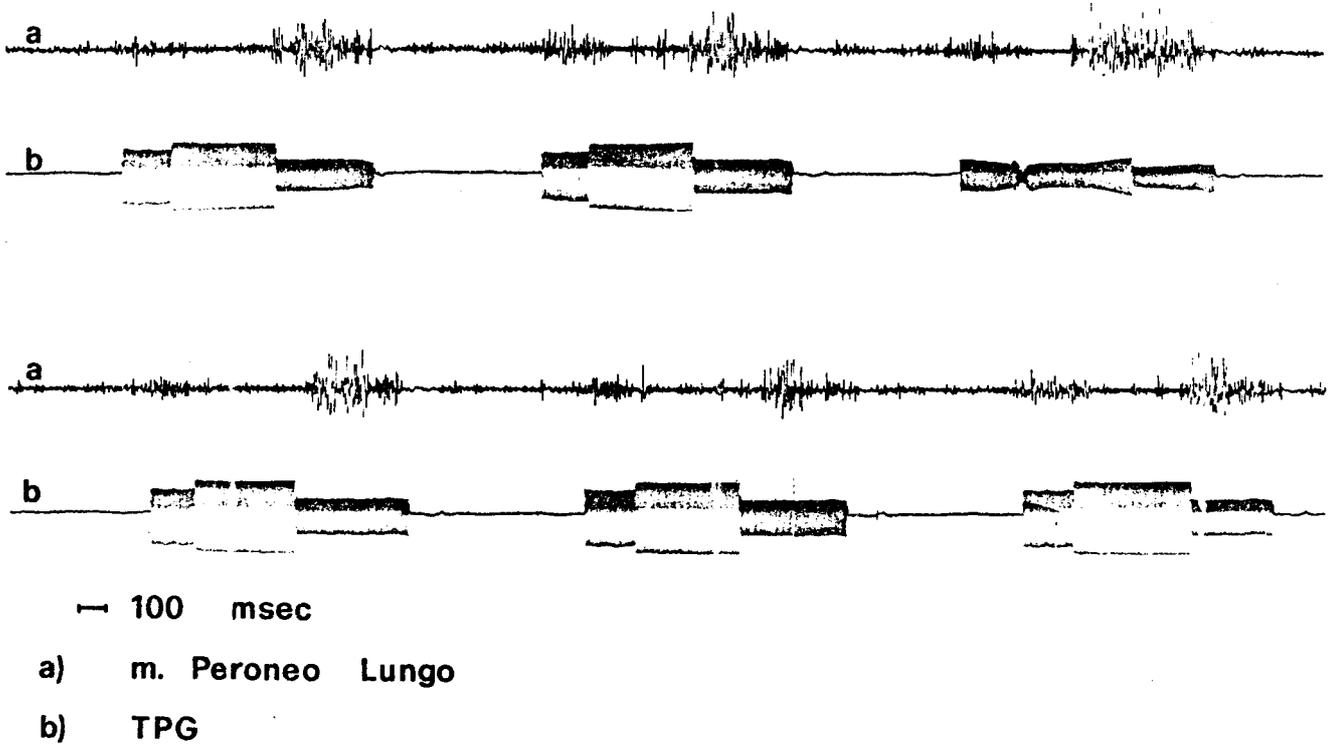
L'attività del m. soleo (Fig. 9), in accordo con i dati della lette-

ratura (6-22-12) è abbastanza simile a quella dei m. gemelli, ma ha inizio un po' più precocemente e presenta un livello più uniforme.

I muscoli della loggia posteriore della gamba (m. gemelli e m. soleo) in definitiva intervengono soprattutto nella fase propulsiva del ciclo del cammino.

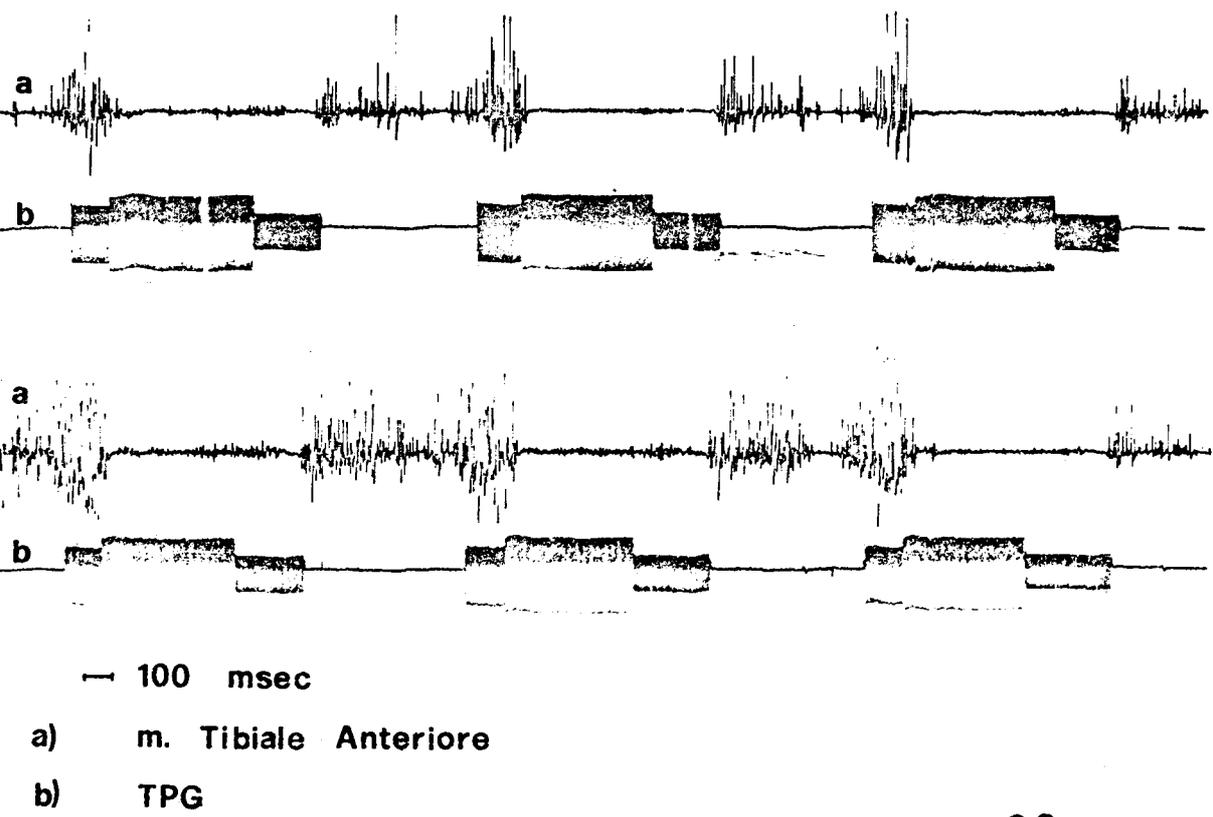
Come si può vedere dalla Figura 10 a, al momento dell'appoggio del piede a piatto al suolo, l'azione del m. soleo è di controllo della flessione della gamba sul piede, è cioè prevalentemente stabilizzatrice della gamba sul piede.

Nel momento in cui il tallone si solleva dal suolo, sia i mm. gemelli che il m. soleo mostrano un aumento della loro attività (Fig. 10 c, e 10 d) per spingere in alto e in avanti il corpo (funzione propulsiva del m. tricipite surale).



C.B.

Fig. 5



G.C.

Fig. 6

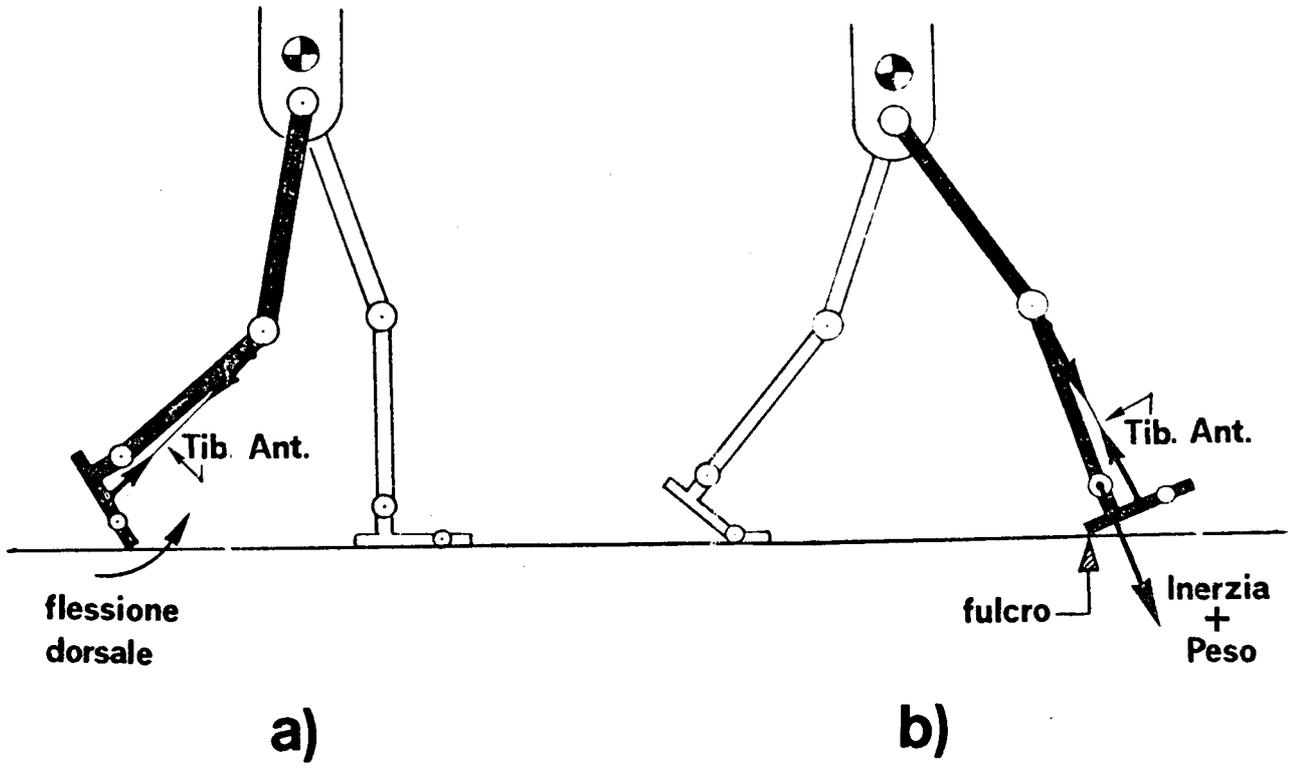
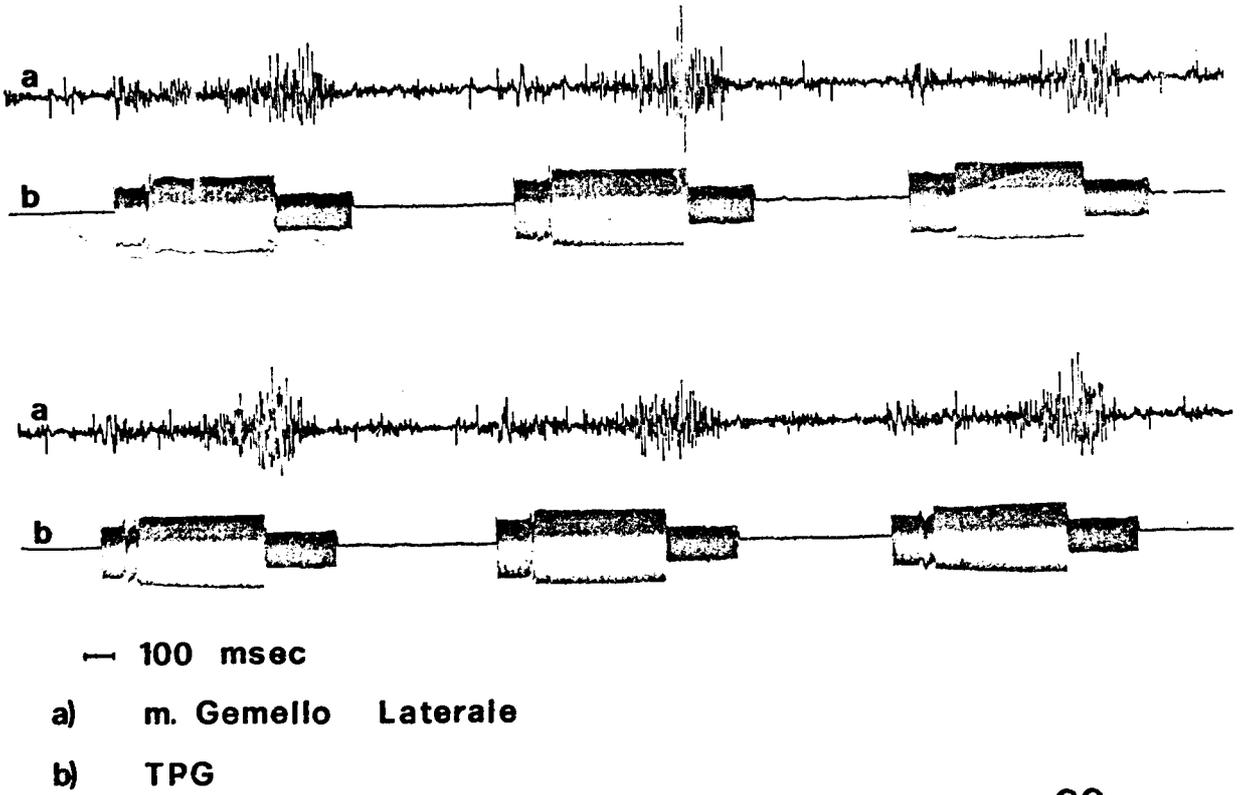


Fig. 7



GC.

Fig. 8



← 100 msec

a) m. Soleo

b) TPG

GC

Fig. 9

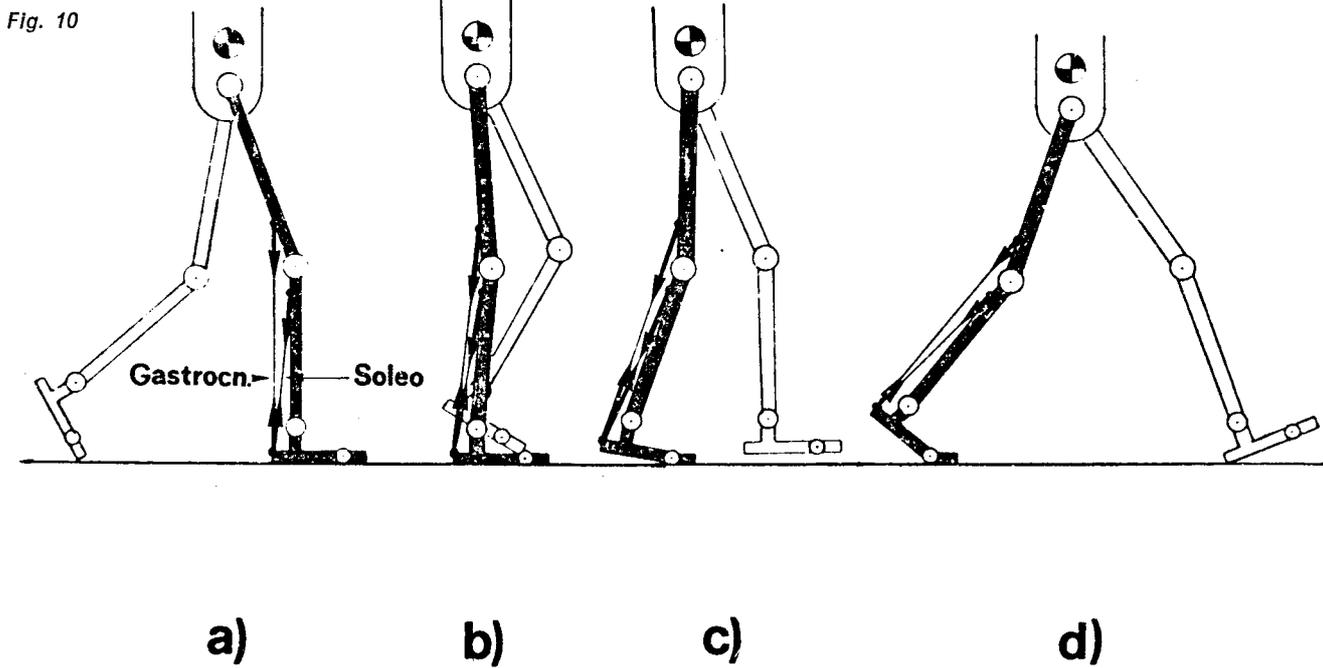


Fig. 10

3.3. MUSCOLI DELLA COSCIA

3.3.1. *Muscolo quadricipite (m. quadriceps)*

E' stata indagata l'attività del m. vasto mediale (m. vastus medialis), del m. vasto laterale (m. vastus lateralis) e del retto femorale (m. rectus femoris) ma non quella del m. vasto intermedio i cui segnali elettrici sono difficilmente rilevabili con elettrodi di superficie.

I mm. vasti del soggetto cui si riferiscono le Figg 11 e 12 iniziano l'attività già a partire da metà della fase oscillante e la proseguono, con intensità decrescente, per quasi tutta la fase di appoggio.

L'azione del muscolo retto femorale dello stesso soggetto (Fig. 13) ha caratteristiche molto simili, a differenza di quelle che sostengono alcuni autori (6-22), secondo i quali tale muscolo avrebbe invece una attività limitata al periodo a cavallo fra il termine della fase oscillante e l'inizio della fase di appoggio.

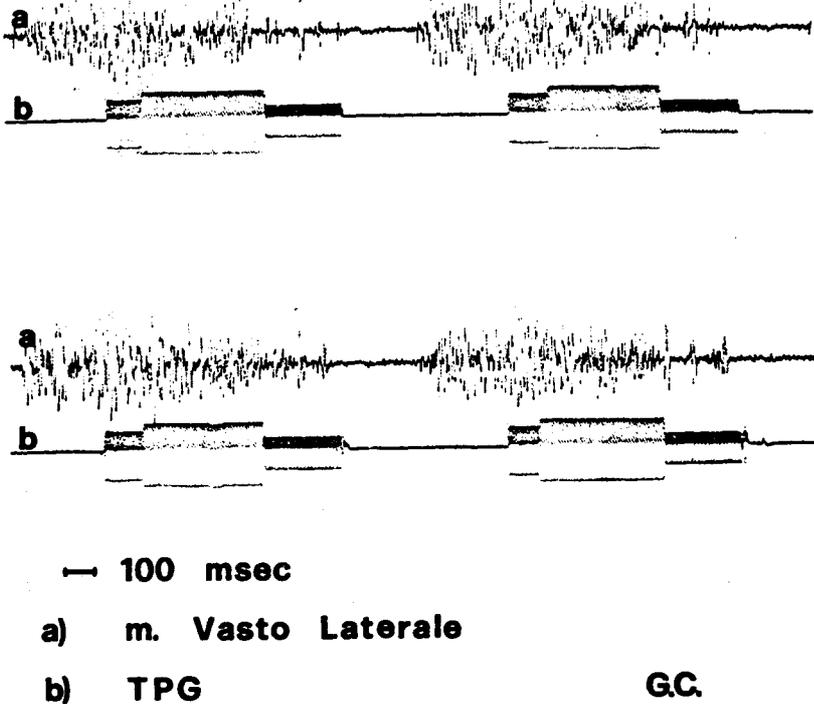
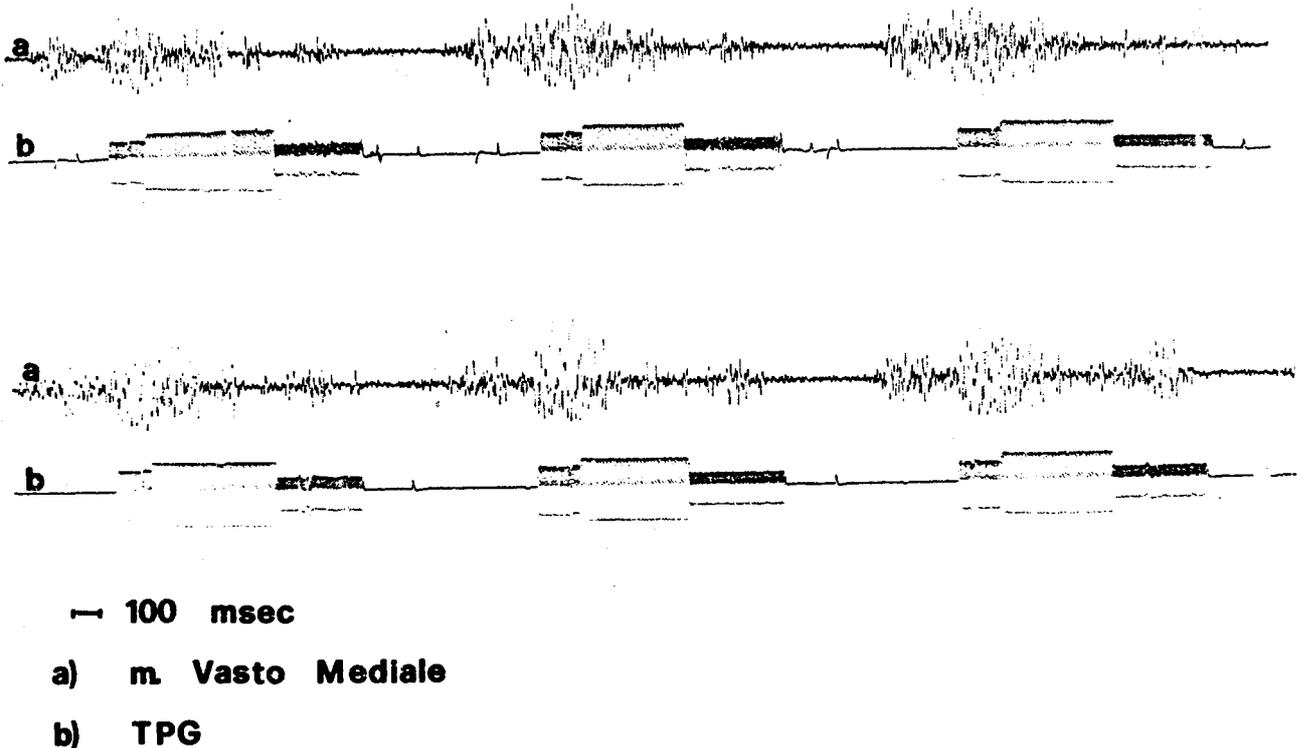


Fig. 11

Fig. 12





← 100 msec

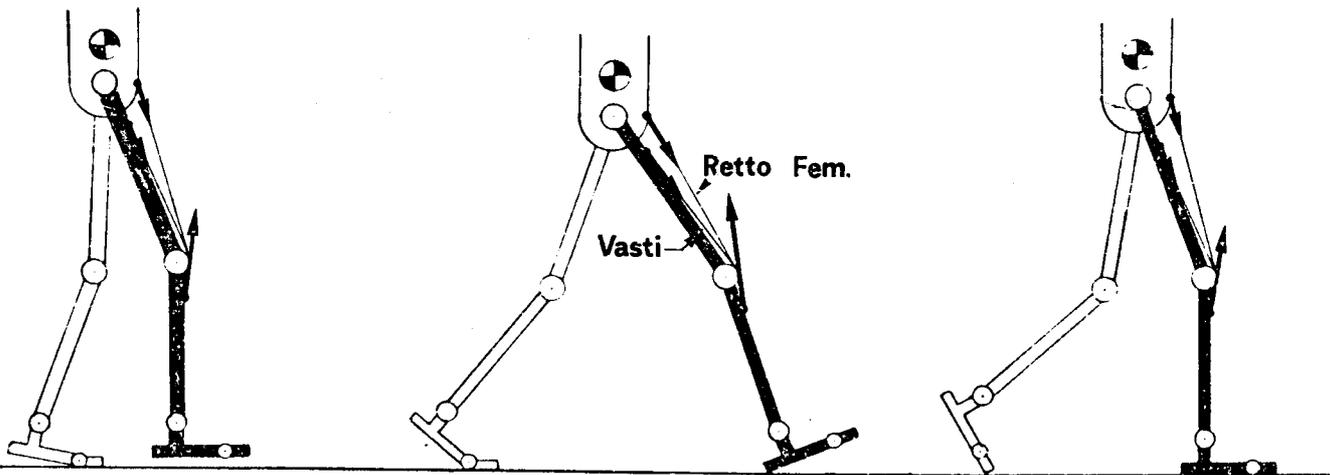
a) m. Retto Femorale

b) TPG

GC.

Fig. 13

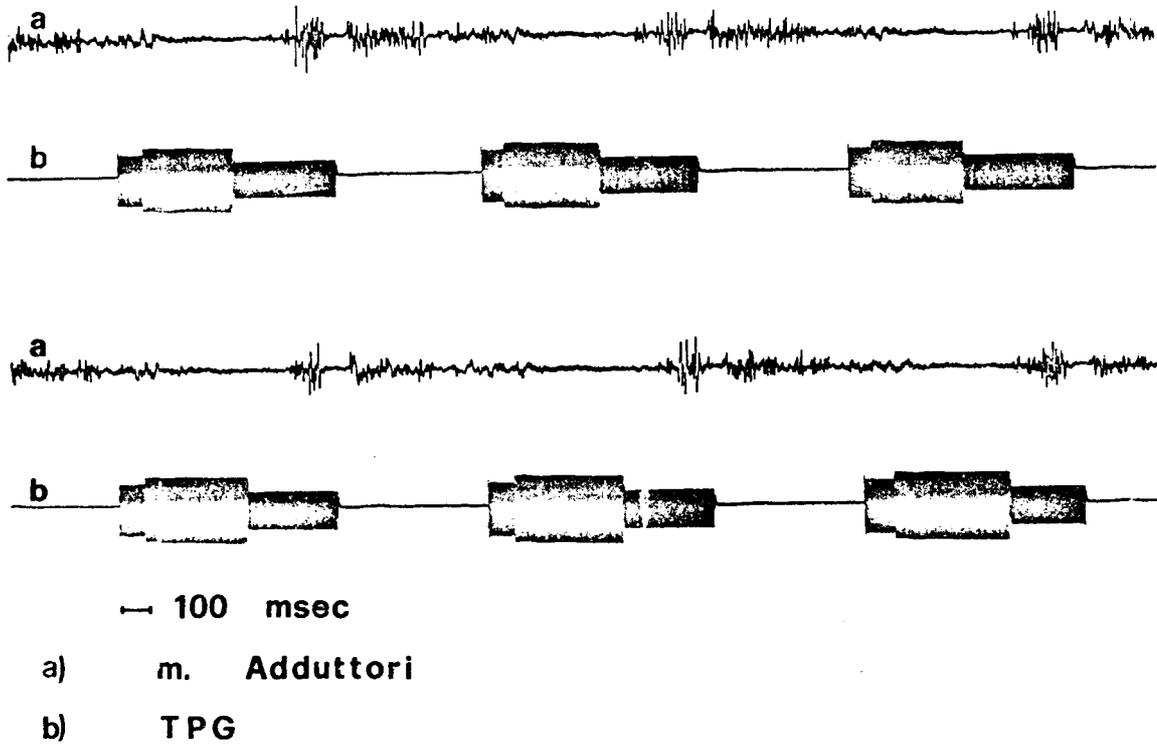
Fig. 14



a)

b)

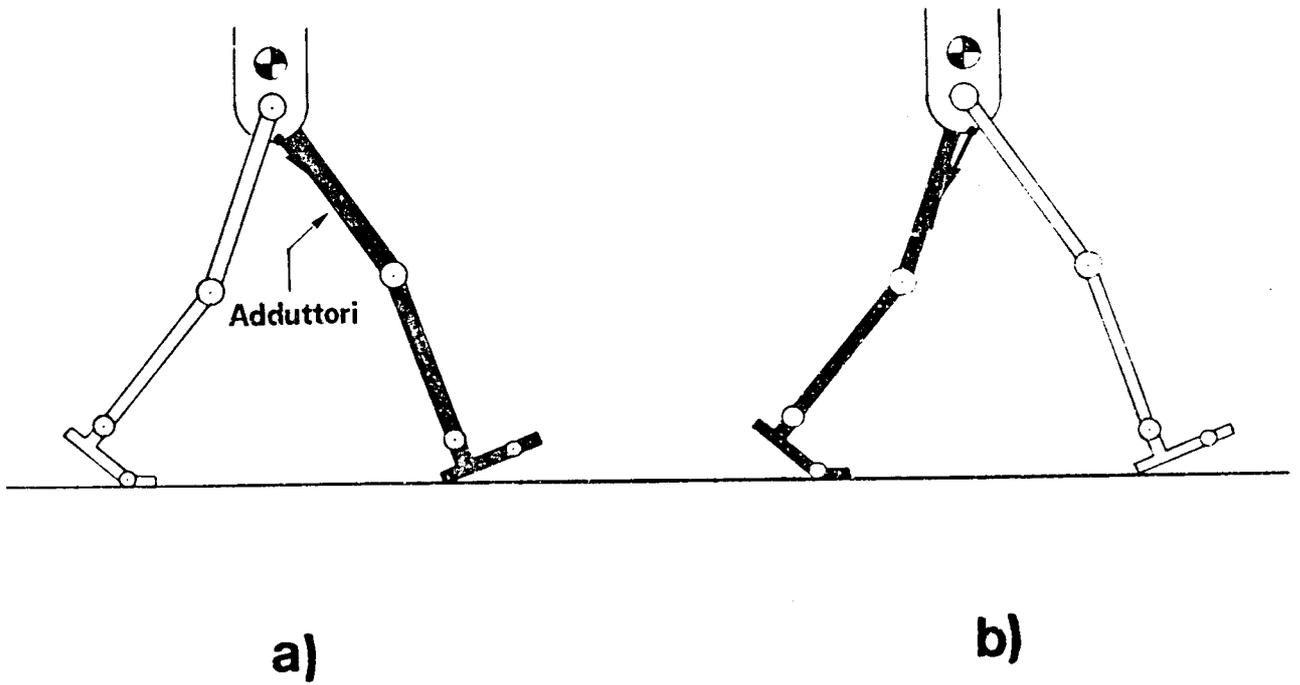
c)



D.B.

Fig. 15

Fig. 16



I momenti funzionali del m. quadricipite in definitiva sono due:

a) nell'ultima parte della fase oscillante e nel momento del contatto del tallone sul terreno (Fig. 14 a - b);

b) durante la fase di appoggio (Fig. 14 c).

Negli ultimi momenti della fase oscillante l'attività potrebbe avere lo scopo di completare il movimento di estensione del ginocchio, movimento iniziato dall'inerzia della gamba, la quale va in estensione passiva appena il femore rallenta la propria flessione sul bacino.

Nella fase di appoggio (Fig. 14 c) la contrazione del quadricipite avrebbe una funzione stabilizzatrice del ginocchio per bilanciarne la tendenza alla flessione.

3.3.2. Muscoli adduttori (*m. grande e lungo adduttore*)

Come si può vedere dalla Fig. 15, l'attività dei muscoli adduttori:

a) inizia nell'ultima parte della fase di appoggio, con un picco in corrispondenza del momento propulsivo;

b) si mantiene per tutta la fase oscillante, via via decrescendo sino all'inizio del nuovo appoggio.

Secondo Sherb (33) vi sarebbe un'attività bifasica dei muscoli adduttori riferibile al fatto che all'atto dell'appoggio del tallone a terra (Fig. 16 a) l'anca si trova in flessione, mentre poi passa in estensione al momento del sollevamento della punta del piede (Fig. 16 b); proprio in questi passaggi dalla flessione alla estensione e viceversa, interverrebbe l'attività estensoria e flessoria di cui sono dotati i muscoli adduttori.

Secondo Bauman (4) il muscolo grande adduttore ha un'attività limitata al momento propulsivo della fase di appoggio.

3.3.3. Muscoli ischio crurali - *m. bicipite femorale (biceps femoris)* - *m. semimembranoso (semimembranosus)*

Dalla Fig. 17 si nota come

l'azione del m. bicipite femorale (capo lungo):

a) inizia nell'ultima parte della fase oscillante;

b) aumenta la sua intensità in corrispondenza dell'appoggio al suolo del tallone e si protrae per tutta la fase di decelerazione.

C'è da notare che, secondo Arienti (1), il capo breve interviene nella fase oscillante, mentre il capo lungo nella fase di appoggio.

Anche il m. semimembranoso (Fig. 18):

a) ha un inizio di attività nella parte terminale della fase oscillante;

b) una continuazione di tale attività in corrispondenza della prima parte della fase di appoggio, con un massimo all'istante dell'arrivo a terra del tallone.

In qualche caso può anche essere presente:

c) un'attività alla fine della fase di appoggio (fase di spinta).

La Fig. 19 indica quale può essere l'interpretazione biomeccanica dell'attività mioelettrica dei mm. ischio-crurali:

— verso la fine della fase oscillante (Fig. 19 a) tali muscoli, in particolare il bicipite femorale, frenano l'oscillazione in avanti della gamba;

— nei primi istanti della fase di appoggio hanno una funzione stabilizzatrice dell'anca, in antagonismo con l'inerzia che tende a flettere in avanti il tronco;

— al termine dell'appoggio favoriscono la flessione della gamba; questa attività è però incoostante, in rapporto alle caratteristiche del soggetto e alla velocità del cammino; se infatti, la velocità è discreta, la flessione della gamba avviene anche senza l'intervento dei muscoli ischio-crurali, dal momento che la flessione dell'anca (che si ha a partire da questa fase) comporta, se sufficientemente rapida, un discreto innalzamento della gamba per inerzia. Se, invece, la velocità del cammino è ridotta, le forze di inerzia non sono

sufficienti da sole per ottenere questa flessione ed è quindi necessario l'intervento dei mm. ischio-crurali.

3.4. MUSCOLI DELL'ANCA

3.4.1. Muscolo tensore della fascia lata (*m. tensor fasciae latae*)

Dai tracciati elettromiografici (Fig. 20) si può vedere che questo muscolo:

a) ha una attività principale nei tre quarti iniziali della fase di appoggio;

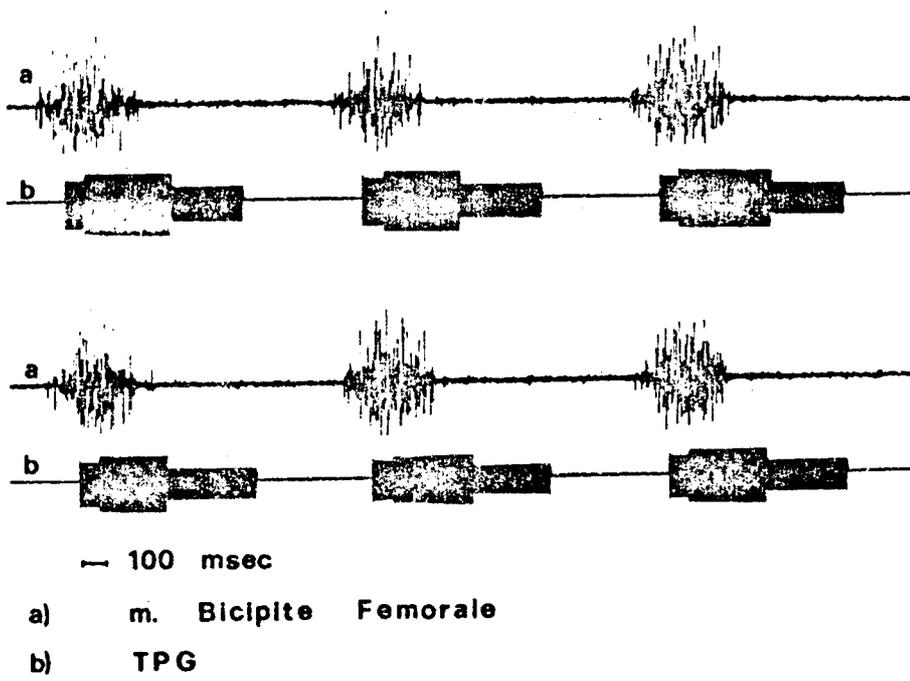
b) ha una successiva attività, meno costante della precedente sia come intensità che come durata, nella parte iniziale della fase oscillante; può poi protrarsi per tutta questa fase oppure, più frequentemente essere presente solo in alcuni istanti di essa; in ogni caso vi è sempre un intervallo che separa l'attività della fase oscillante da quella dell'appoggio.

Il muscolo tensore della fascia lata (Fig. 21) ha prevalentemente una funzione stabilizzatrice del bacino sull'arto inferiore. Avrebbe inoltre una funzione accessoria nell'estensione e nella flessione del ginocchio; controlla, infine, il valgismo del ginocchio.

3.4.2. Muscolo grande gluteo e *m. medio gluteo (mm. gluteus maximus e gluteus medius)*

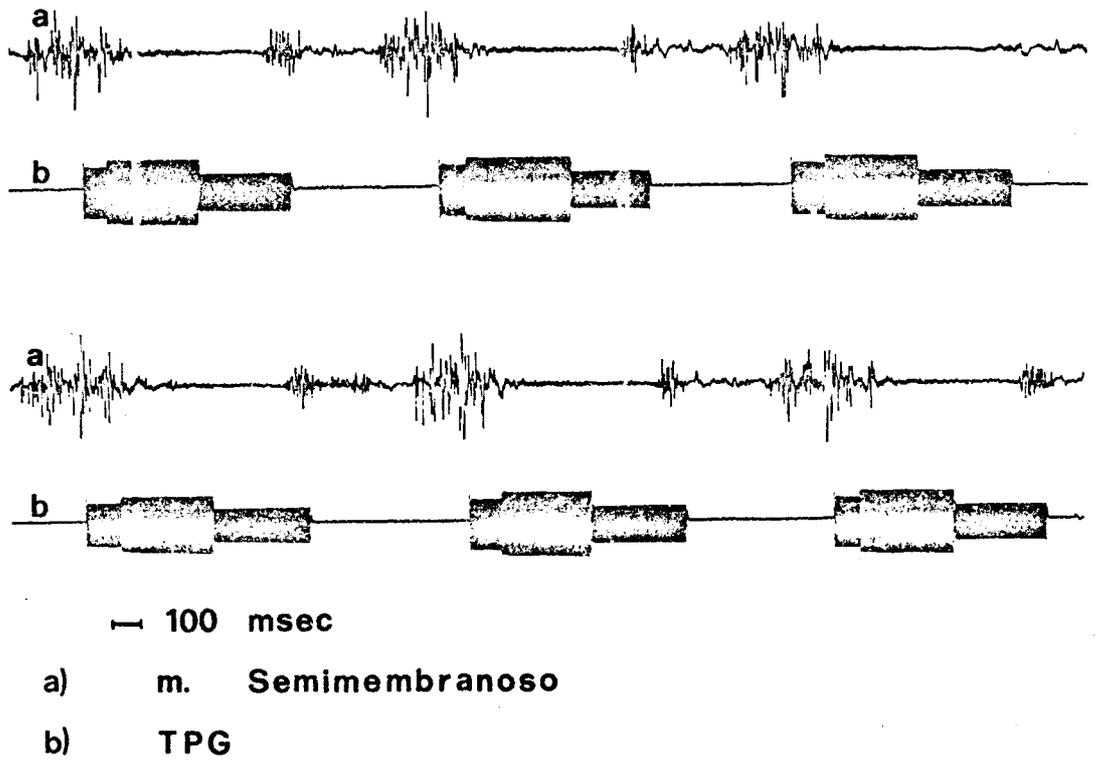
I nostri tracciati elettromiografici (Fig. 22) in accordo con quelli della letteratura (3, 22, 33), indicano che durante il cammino il m. grande gluteo ha una ridotta attività, limitata al passaggio fra la fase oscillante e la fase di appoggio; talvolta, ma in modo incostante, ha una attività durante l'appoggio completo del piede.

Il m. medio gluteo (Fig. 23) ha una attività sensibilmente maggiore di quella del m. grande gluteo, estesa a tutta la fase di appoggio, con un massimo nei due terzi iniziali; l'arresto dell'attività precede di poco o coincide con il distacco della punta dal suolo.



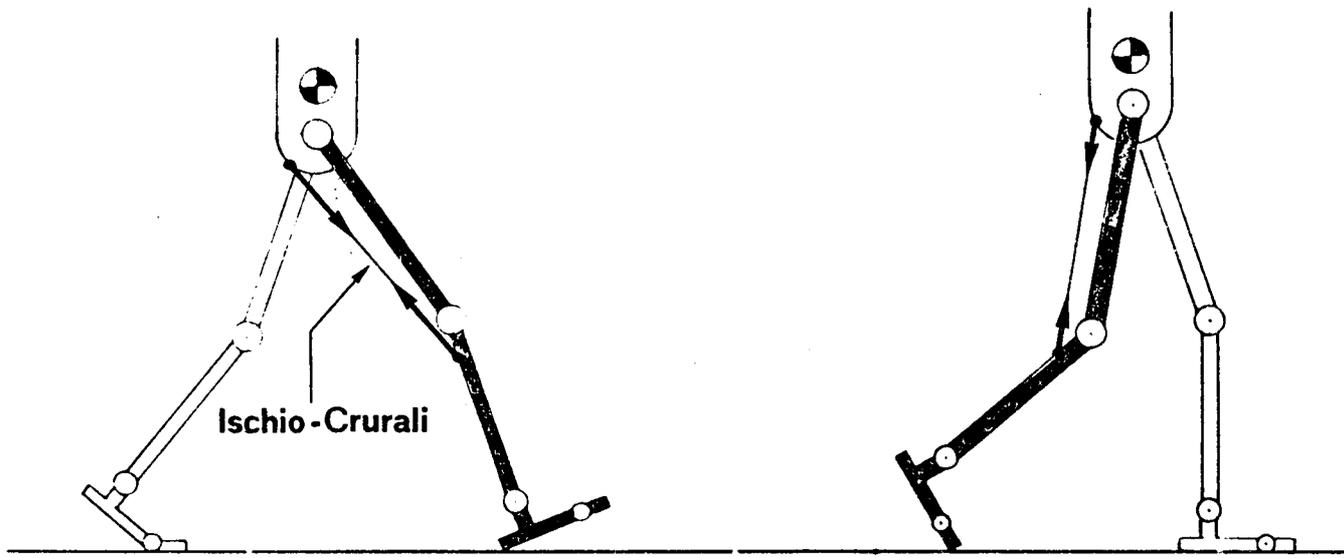
D.B.

Fig. 17



D.B.

Fig. 18



a)

b)

Fig. 19

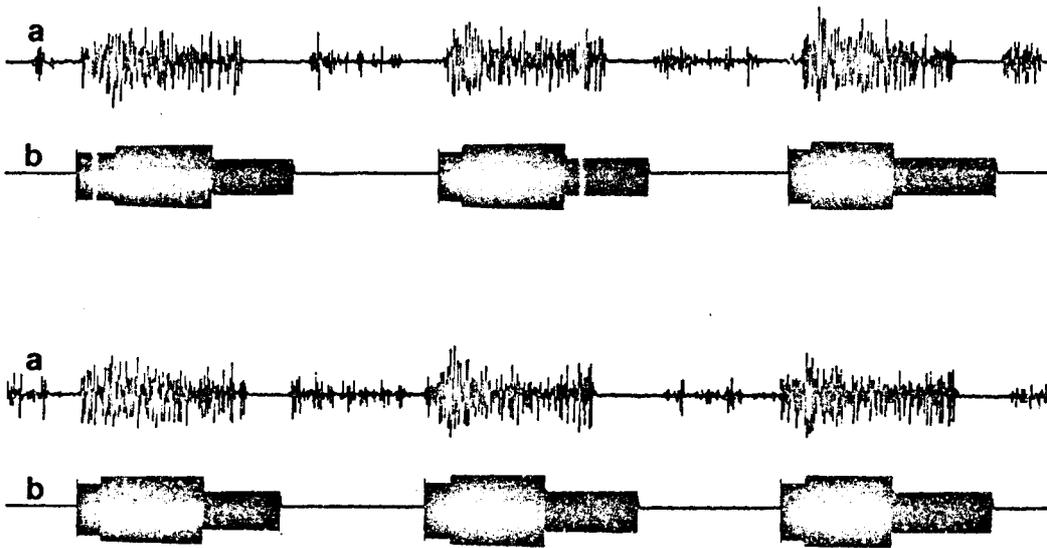


Fig. 20

└ 100 msec

a) m. Tensore della Fascia Lata

b) TPG

D.B.

Tensore
Fascia Lata

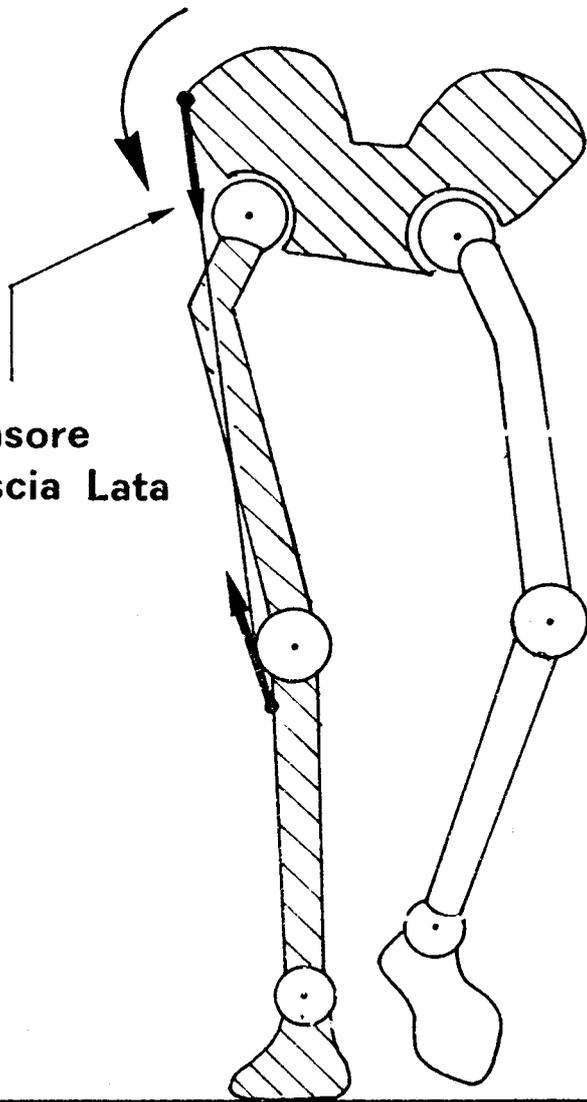
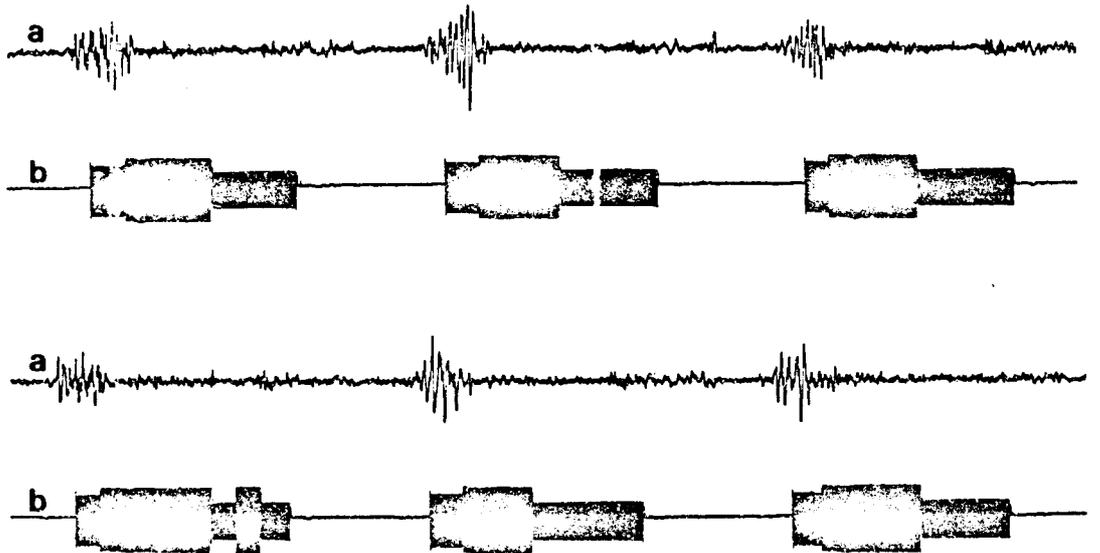


Fig. 21



← 100 msec

a) m. Grande Gluteo

b) TPG

D.B.

Fig. 22

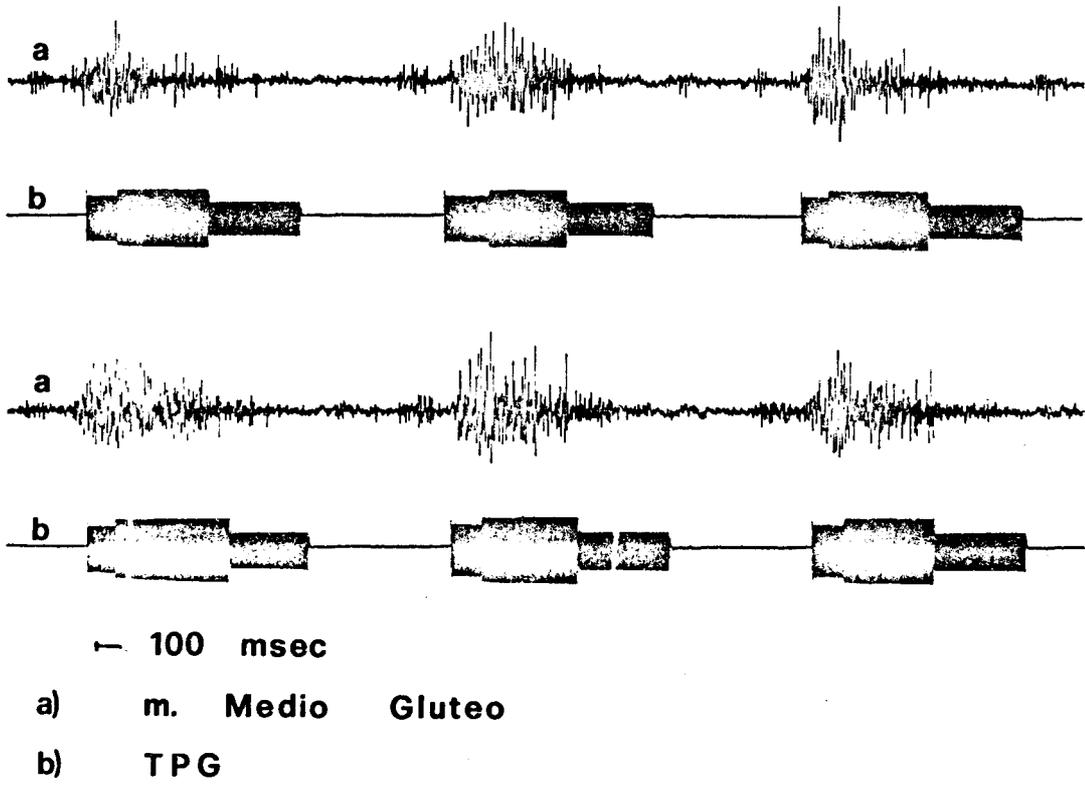


Fig. 23

D.B.

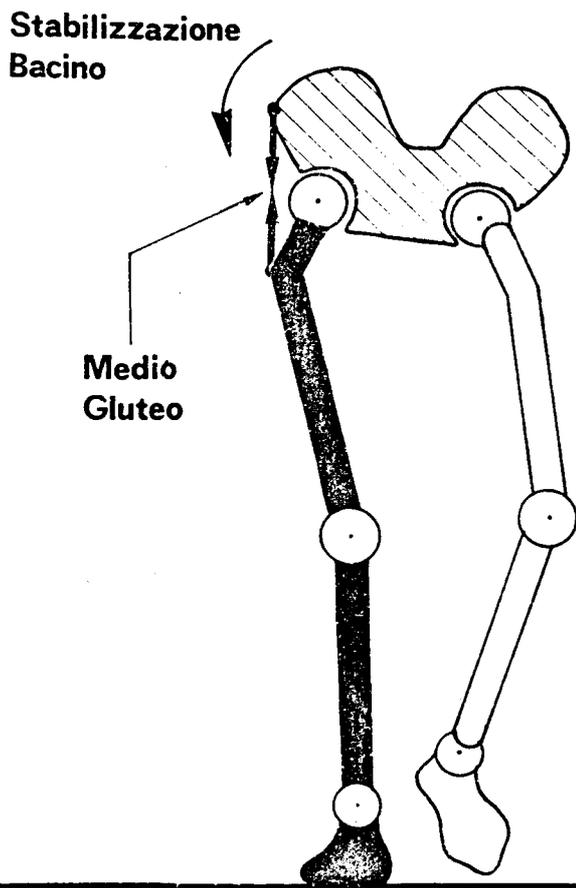
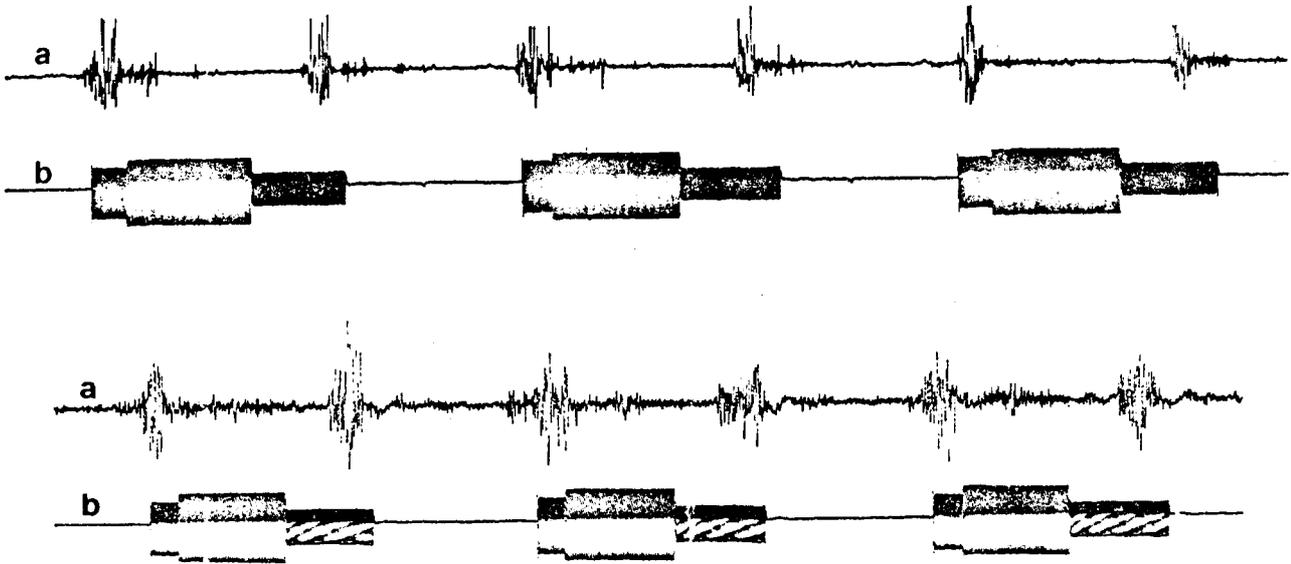


Fig. 24



┆ 100 msec

- a. m. Spinali dx
- b. t.p.g. dx

Fig. 25

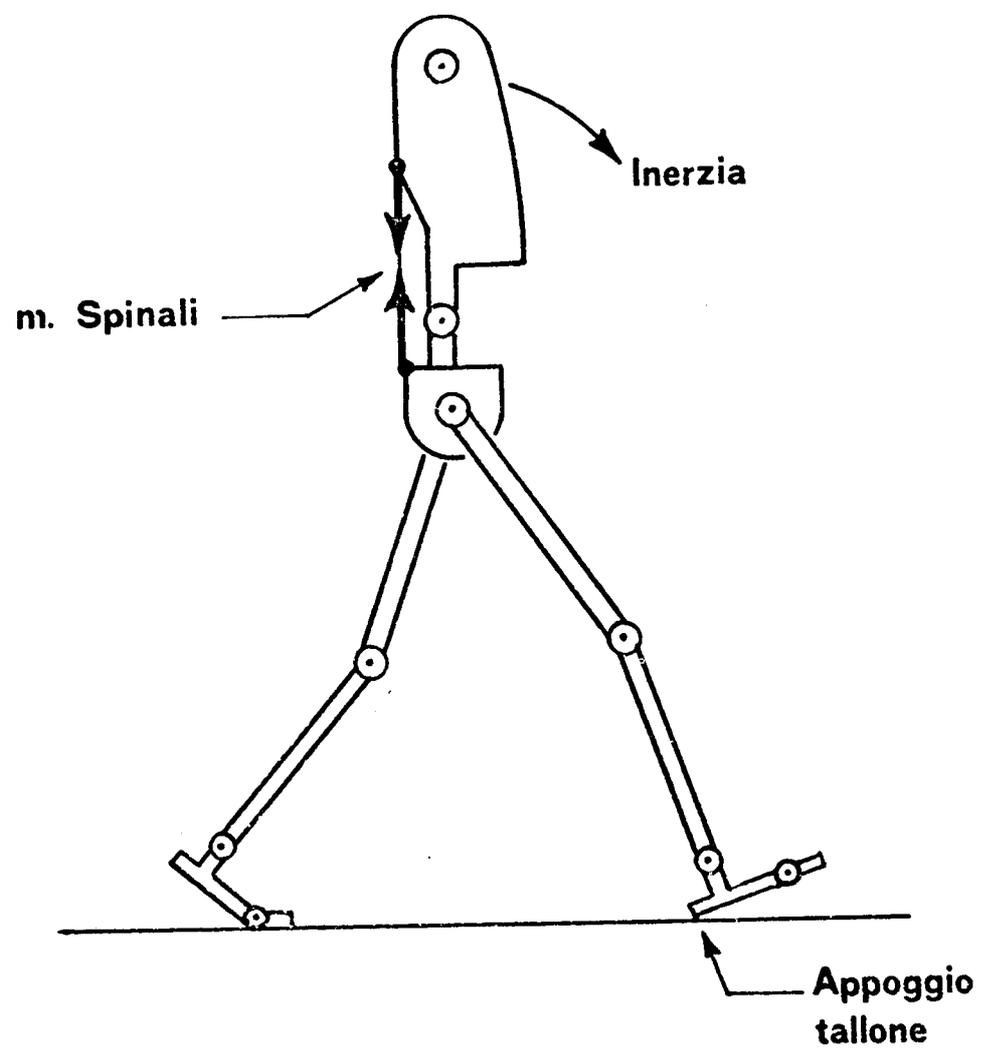
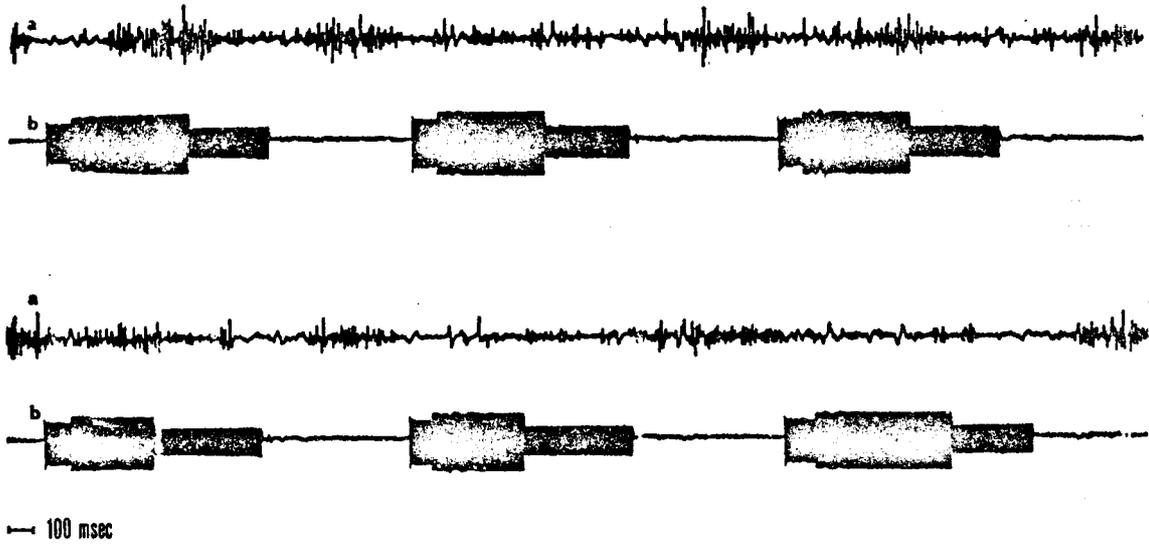


Fig. 26



a) m. Retto addominale destro (sup.)

b) TPG destro

D.B.

Fig. 27

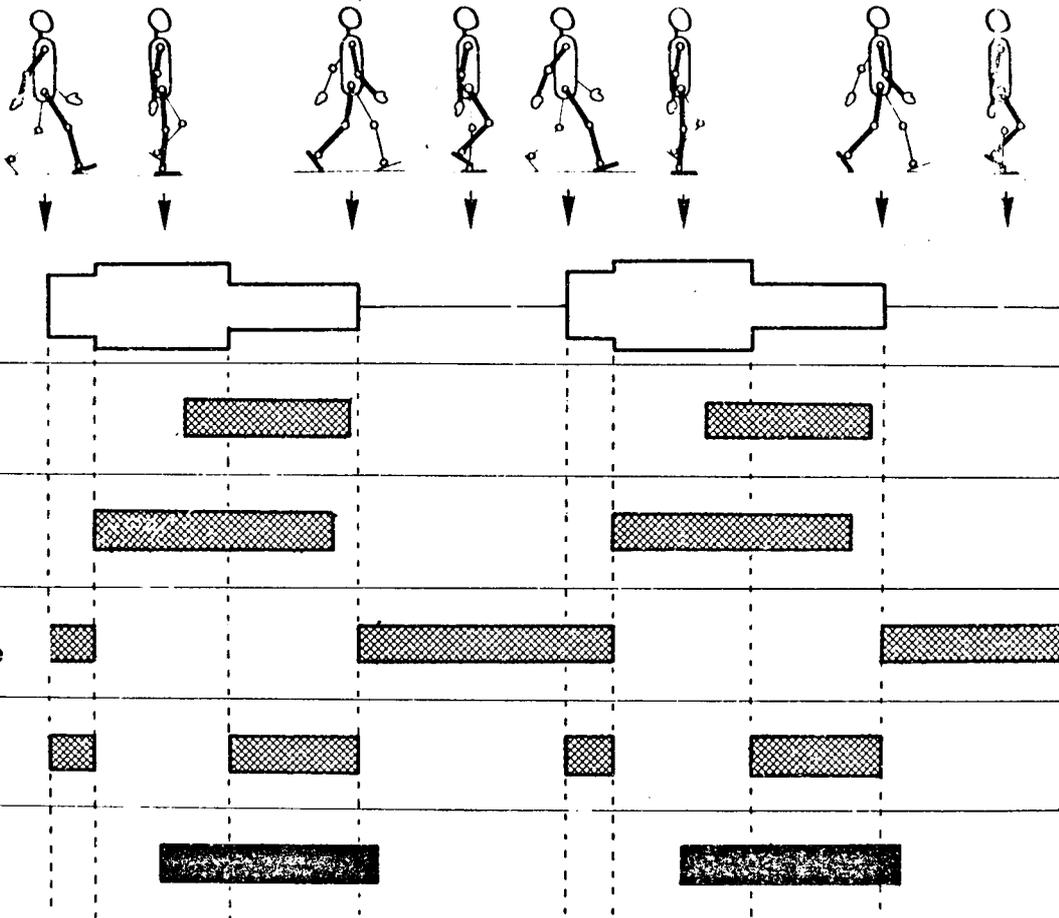


Fig. 28

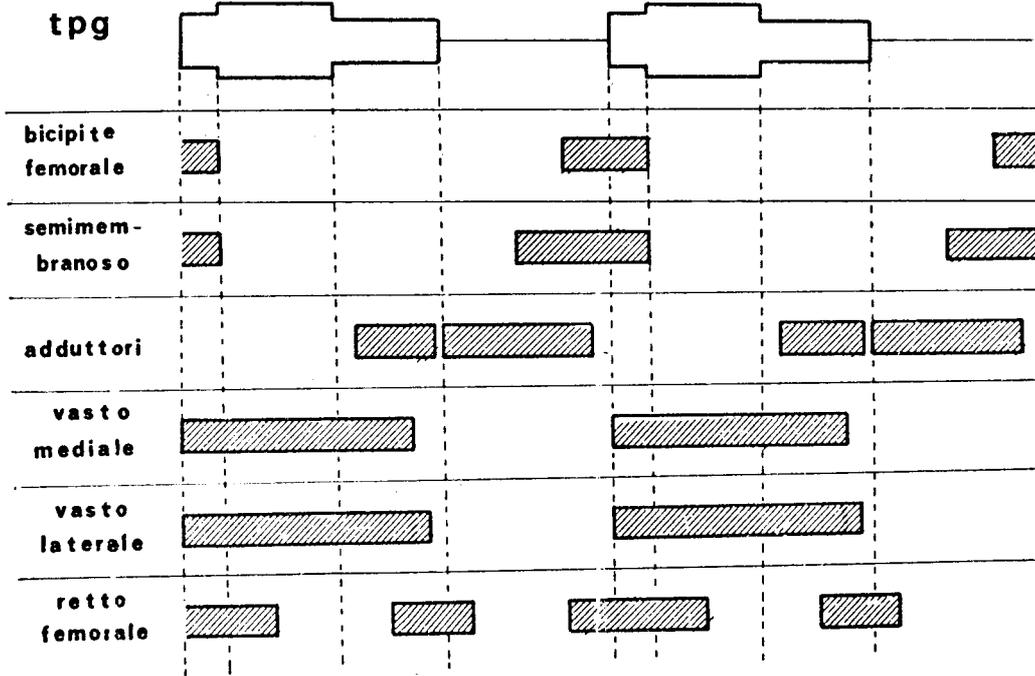
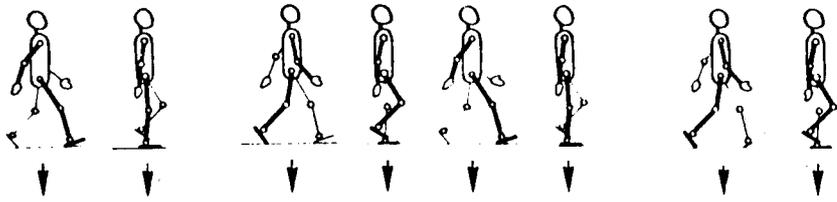


Fig. 29

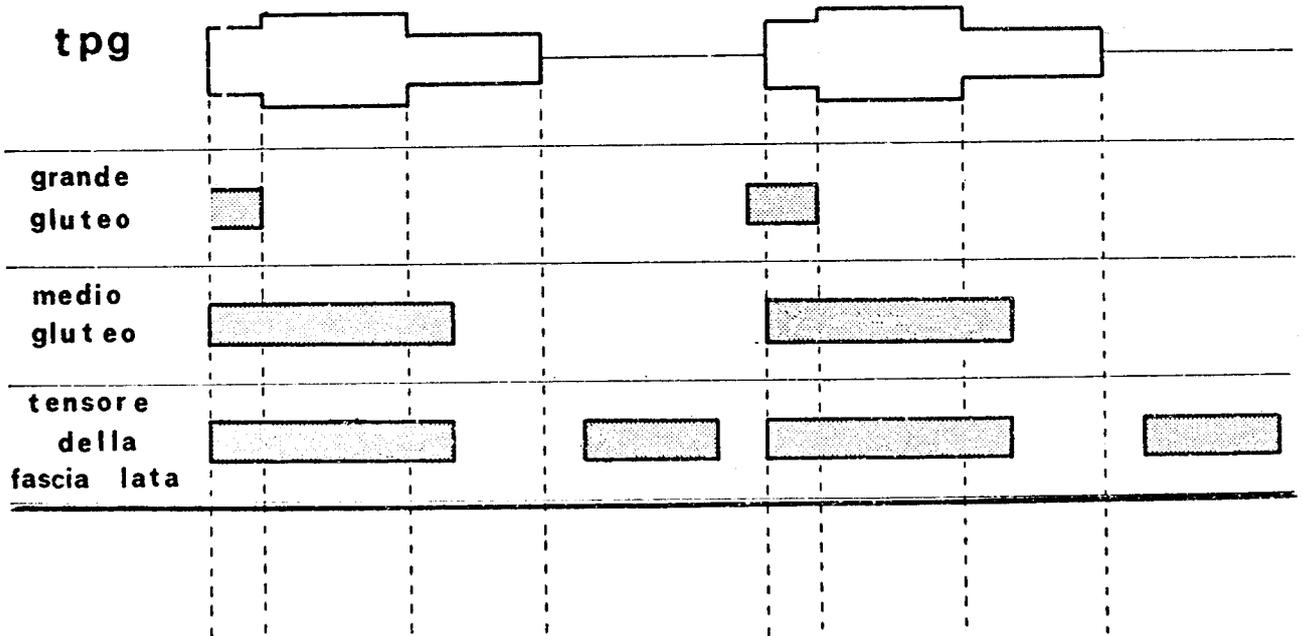
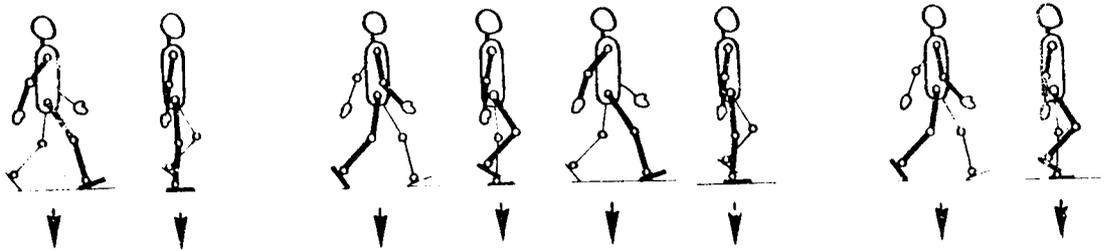


Fig. 30

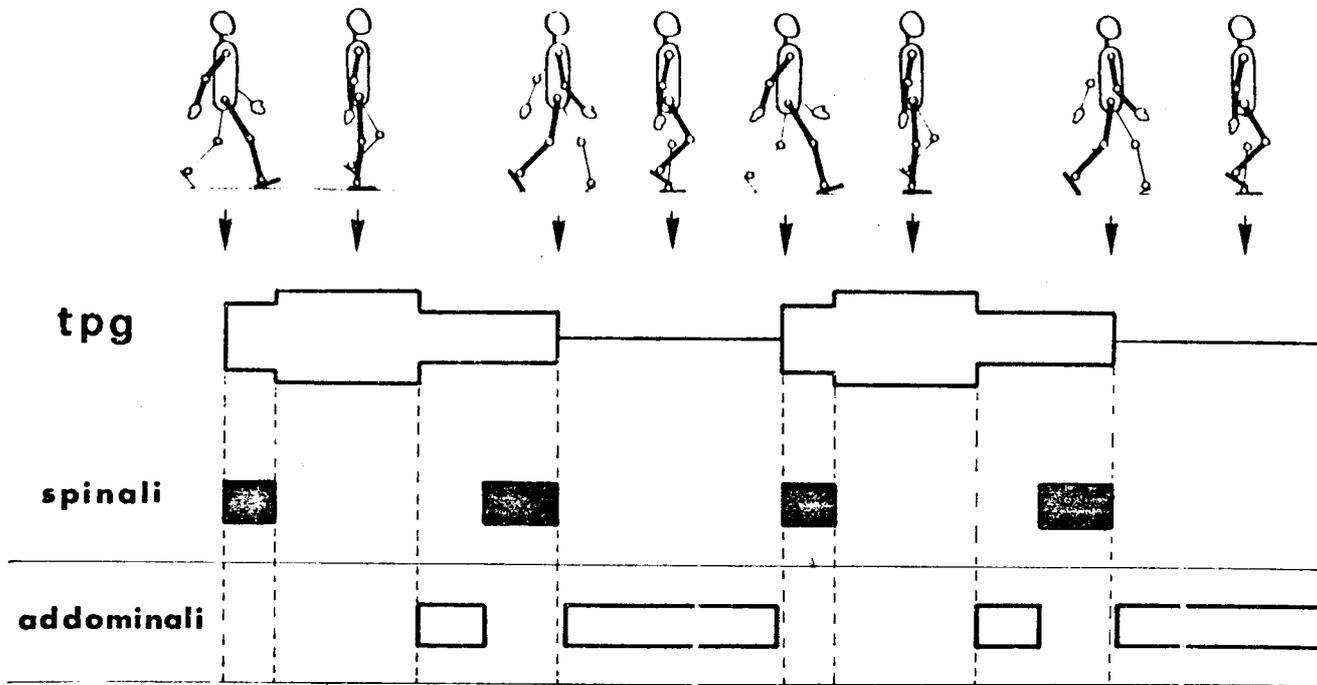


Fig. 31

Il m. grande gluteo ha una funzione di controllo dell'articolazione dell'anca, al termine della fase oscillante e all'inizio dell'appoggio.

Il m. medio gluteo (Fig. 24), a sua volta, ha una funzione prevalentemente stabilizzatrice sul bacino durante la fase di appoggio su un solo piede, mentre l'altro arto è in fase oscillante.

3.5. MUSCOLI DEL TRONCO

3.5.1. Muscoli spinali (*m. erector spinae*)

Nella Fig. 25 l'attività dei m. spinali può apparire duplice, all'inizio e alla fine della fase di appoggio; in realtà, confrontando l'attività mioelettrica dei muscoli spinali destri e sinistri e correlandoli con il TPG si può concludere che il momento funzionale di tali muscoli è unico, ripetendosi ritmicamente in corrispondenza di ogni doppio appoggio; essi non sono attivi, invece, per tutta la fase oscillante e nella fase intermedia dell'appoggio.

La funzione dei mm. spinali (Fig. 26) in pratica è quella di regolare la posizione del tronco: in corrispondenza del contatto

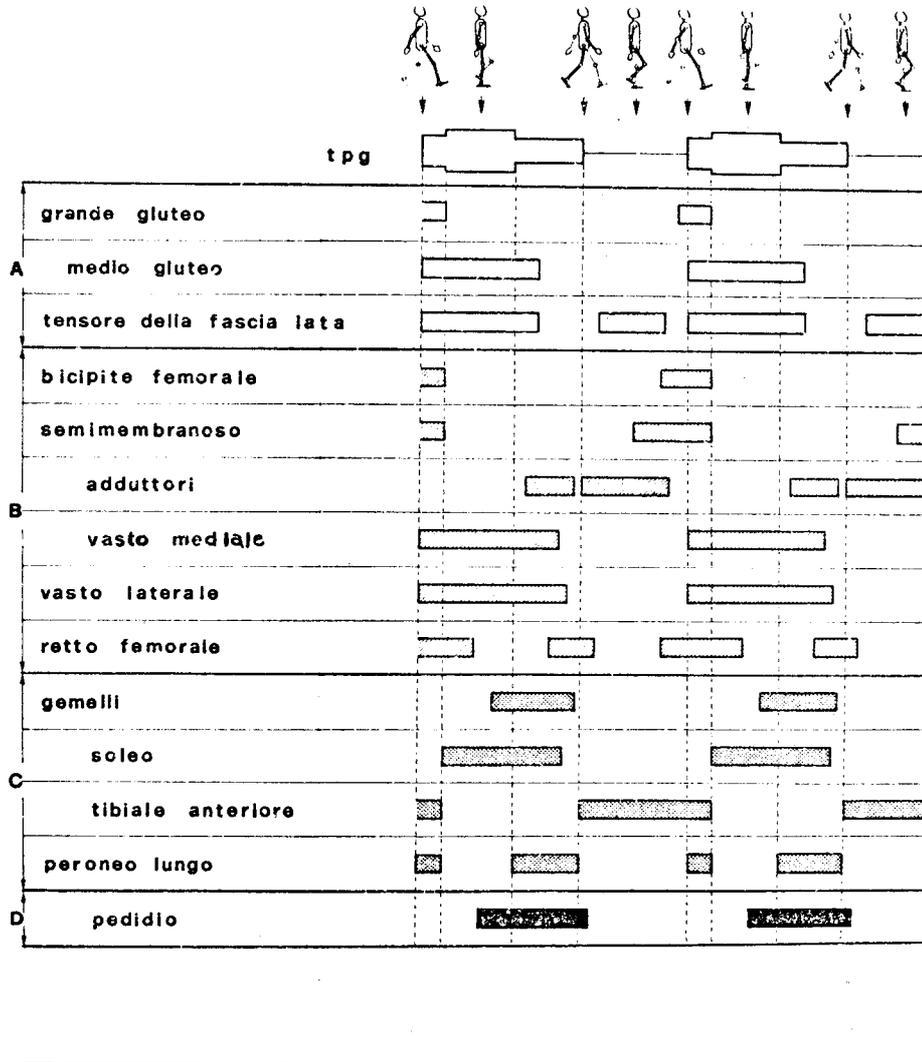


Fig. 32

con il terreno di ciascun tallone, infatti, il tronco per inerzia tenderebbe a proiettarsi in avanti, prendendo come fulcro il bacino, se, appunto, non intervenisse l'azione frenante dei muscoli spinali.

I mm. spinali controllerebbero anche i movimenti di inclinazione laterale e di rotazione cui viene sottoposto il tronco all'inizio e alla fine di ogni passo semplice.

3.5.2. Muscoli addominali

I tracciati relativi all'attività del terzo superiore di ciascuno dei mm. retti addominali indicano (Fig. 27):

a) un'attività in corrispondenza della fase oscillante della gamba omolaterale, che è più intensa nella seconda metà di tale fase e che cessa bruscamente al contatto del tallone con il suolo;

b) un'attività, inferiore come ampiezza e più irregolare, in corrispondenza della fase di appoggio, cioè della fase di oscillazione della gamba controlaterale.

I mm. retti addominali — come è del resto indicato dalla presenza di irregolarità riscontrate nell'ambito del cammino di ciascun soggetto — verosimilmente svolgono un'azione che tende al mantenimento della posizione eretta del tronco; reagiscono quindi a qualsiasi sollecitazione casuale, anche lieve, che tende a squilibrare tale stato.

3.6. SCHEMI RIASSUNTIVI

3.6.1. Muscoli del piede e della gamba

Dalla Fig. 28 è ben visibile l'alternanza di attività fra il m. tibiale anteriore e i mm. della loggia posteriore della gamba, cioè i mm. gemelli e il soleo; il m. pedidio, invece, è attivo soprattutto nell'appoggio del piede a terra come stabilizzatore del piede stesso.

3.6.2. Muscoli della coscia

Dalla Fig. 29 si può notare una certa alternanza fra i muscoli della loggia anteriore della

coscia e quelli della loggia posteriore.

3.6.3. Muscoli del bacino

Dalla Fig. 30 si nota la scarsa attività del m. grande gluteo; invece è rilevante quella del m. medio gluteo e del tensore della fascia lata, soprattutto quando un piede è in appoggio e l'altro è in oscillazione.

3.6.4. Muscoli del tronco

Dalla Fig. 31 si rileva come l'attività dei muscoli spinali non è concomitante con quella degli addominali; questi ultimi, infatti, intervengono soprattutto quando la gamba è in oscillazione.

3.6.5. Schema riassuntivo generale

Nella Fig. 32 sono schematizzati i momenti di attività della maggior parte dei muscoli dell'arto inferiore da noi indagati.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ARIENTI A.: Analyse oscillographique de la marche de l'homme. Acta physiotherap. rheumat. Belg. 3: 190-192, 1948.
- 2) BASMAJIAN J.V.: L'elettromiografia nell'analisi dinamica delle funzioni muscolari. Piccin Editore - Padova 1971.
- 3) BATTYE C.K. and JOSEPH J.: An investigation by telemetering of the activity of some muscles in walking. Med. and Biol. Engng. 4:125-135, 1966.
- 4) BAUMAN J.U.: Evaluation of agonistic function of m. adductor magnus and m. gluteus medius by gait - phase electromiography. Digest of the 10th international conference on medical and biological engineering. Dresden 1973.
- 5) BRANDELL B.R.: An electromiographic-cinematographic study of the calf and quadriceps muscles during walking. Abstracts of V international congress of Biomechanics Tyväskylä - June 29 - July 3, 1975.
- 6) BRANDELL B.R.: An analysis of muscle coordination in walking and running gaits. Medicine and Sports, Vol. 8: Biomechanics III - pag. 278-287. Karger, Basel 1973.
- 7) 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 Studio dei Sistemi di Controllo e Calcoli automatici del C.N.R. - Dicembre 1973.
- 8) CASARIN G., PURICELLI R., VILLA A.: Una tecnica telemetrica via Radio nello studio elettromiografico della deambulazione. La Riabilitazione - Anno 7 - n. 4, ottobre-dicembre 1974.
- 9) CLOSE J.R.: Motor function in the lower extremity - Analysis by electronic instrumentation. American lecture Series - pag. 78, fig. 65, 1964.
- 10) DUBOIS J.P. et DURAFFOURG M. P.: Physiologie et rééducation fonctionnelle du pied. Masson et Cie éditeurs. Cap. VIII, pag. 130-131, 1972.
- 11) DUCROQUET R.J.P.: La marche et les boiteries. Masson, Paris 1965.
- 12) HYMAN I.C. DUBO, MALCOLM PEAT, DAVID A. WINTER: Electromyographic Temporal Analysis of Gait: normal human locomotion. Arch. Phys. Med. Rehabil. vol. 57, 1976.
- 13) HIRSCHBERG G.C. AND NATHANSON M.: Electromyographic recording of muscular activity in normal and spastic gaits. Arch. Phys Med. 33: 217-225, 1952.
- 14) HOUTZ S.J. AND WALSH F.P.: Electromyographic analysis of the function of the muscles acting on the ankle during weight-bearing with special reference to the triceps surae. J. Bone and Joint Surg. 41-A: 1496-1481, 1959.
- 15) INMAN V.T.: Pattern of muscle activity in the lower extremity. Report of the Nat'l Res. Council on studies of human locomotion 1:1 Support 3.
- 16) INMAN V.T. and MANN R.: Stability of the foot during the stance phase of walking. Scritti medici in onore di P. Del Torto, 1965.
- 17) JONSSON B. and STEEN B.: Function of the gracilis muscle. An electromyographic study. Acta morphol. neer-scandinav. 1966.
- 18) 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 49-4, 1974.
- 19) MANN R. and INMAN V.T.: Phasic activity of intrinsic muscles of foot. J. Bone and Joint Surg. 66-A:469-481, 1964.
- 20) MIECZYSLAW PESZCZYNSKI: La deambulazione e la rieducazione della deambulazione. L'esercizio terapeutico. Cap. XVII p. 423. Longanesi & C.
- 21) MURRAY P.M., DROUGHT A.B. and KORY R.C.: Walking patterns of normal men. J. Bone and Joint Surg. 46-A: 335-360, 1964.
- 22) PEDOTTI A.: Analisi e caratterizzazione della locomozione umana. La settimana degli ospedali - Quaderno n. 3, pag. 29 - 1975.
- 23) PEDOTTI A., CAPPOZZO A., GILARDI L.: Analisi del coordinamento muscolare nella deambulazione. Atti del 1° convegno mostra di bioingegneria. Giugno 1972 - ANIPLA FAST, Milano.

- 24) PIETRA P. e TANZI F.: Valutazione elettromiografica dell'attività muscolare. *Atletica Studi* - 154,159, aprile-ottobre 1975.
- 25) PLAS F. et VIEL E.: *La marche humaine*. Masson & Cie Editeurs, Paris 1975.
- 26) PURICELLI R., CASARIN G.: Studio elettromiografico dell'attività del muscolo tibiale anteriore durante la deambulazione. *Europa Medico-physica* - Vol. 10 - 1974.
- 27) PURICELLI R., CASARIN G., COMOLLI C.: L'attività del muscolo Lungo Peroneo durante la deambulazione. Studio elettromiografico. *La Riabilitazione*. Anno 6, n. 3, 1973, Tamburini Editore, Milano.
- 28) PURICELLI R., FERRARIO A., CASARIN G., VILLA A.: Studio elettromiotelemetrico dell'attività dei muscoli ischio crurali durante la deambulazione. *La Riabilitazione*. Anno 8, n. 2, 1975. Tamburini Editore, Milano.
- 29) RADCLIFFE C.W.: The biomechanics of below-knee prostheses in normal level, bipedal walking. *Artif. Limbs* 6:16-24, 1962.
- 30) RAINAUT J.J. et LOTTEAU J.: Télémétrie de la marche. *Rev. Chir. Orthopéd.* 59, 5-20, 1973.
- 31) RYDELL N.: Normal gait. A Biomechanical study on walk-ways. Symposium on Gait under normal and pathological conditions. Göteborg, Sweden, 1972.
- 32) SCHERB R.: Mitteilungen zur Myokinesigraphie. *Ztschr. f. Orthop. Chir.* 48 und 49.
- 33) SHEFFIELD F.J., GERSTEN J.W., MASTELLONE A.F.: Electromyographic study of the muscles of the foot in normal walking. *Am. J. Phys. Med.* 35:223-236, 1956.
- 34) SIMON M.H.: Biomechanics of gait. A critical visual analysis. Gait Analysis Laboratory. Shimers Hospital, S. Francisco, 1975.
- 35) SUTHERLAND D.H.: An electromyographic study of the plantar flexors of the ankle in normal walking on the level. *J. Bone and Joint Surg.* 48-A:66-71, 1966.
- 36) SUTHERLAND D.H. and Coll.: Measurement of gait movements from motion picture film. *J. Bone and Joint Surg.* 58-A:787-797, 1972.
- 37) WINTER D.A. and Coll.: Kinematics of normal locomotion. A statistical study based on T.V. data. *J. Biomechanics*, Vol. 7, pag. 479-486, 1974.

