
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

RODOLFO MARGARIA, GIOVANNI A. CAVAGNA, ENRICO
ARCELLI

**Variazioni di lunghezza, nelle varie fasi del passo, dei
muscoli che sostengono la spinta del corpo nella corsa**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 38 (1965), n.4, p. 463–465.*
Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1965_8_38_4_463_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Fisiologia. — *Variazioni di lunghezza, nelle varie fasi del passo, dei muscoli che sostengono la spinta del corpo nella corsa* (*). Nota di RODOLFO MARGARIA, GIOVANNI A. CAVAGNA e ENRICO ARCELLI, presentata (**) dal Socio R. MARGARIA.

Per rendere ragione degli elevati valori di rendimento meccanico riscontrati nella corsa (0,40 ed oltre) è stata prospettata l'ipotesi che la spinta ad ogni passo venga sostenuta, oltre che dalla contrazione muscolare attiva, anche dall'energia elastica accumulata durante lo stiramento dei muscoli contratti che ha luogo sotto la sollecitazione del corpo (forze inerziali e peso corporeo) alla fine del passo precedente [1].

L'utilizzazione dell'energia elastica è tanto maggiore quanto più precocemente l'accorciamento segue alla distensione del muscolo, per la proprietà di adattamento (plasticità) del muscolo: il massimo rendimento si avrà perciò quando l'accorciamento segue immediatamente lo stiramento [2, 3]. Per di più, poiché mantenere il muscolo in stato di contrazione implica dispendio di energia, quanto minore sarà il tempo in cui il muscolo è mantenuto in stato di attività, tanto minore sarà il consumo, e tanto maggiore sarà quindi il rendimento dell'intero processo.

Uno dei muscoli più ricchi in fibre elastiche, e quindi presumibilmente più efficace ai fini della utilizzazione dell'energia elastica nella corsa, è il muscolo gastrocnemio, ma importanti sotto questo aspetto sono anche i muscoli estensori della gamba (gruppo del quadricipite) e della coscia (glutei ecc.). Il muscolo gastrocnemio è infatti molto sviluppato negli animali particolarmente atti alla corsa ed al salto, come ad esempio il canguro.

Nella corsa il piede prende contatto con il suolo in un punto che generalmente è posto davanti al centro di gravità del corpo: soltanto nella corsa veloce alla partenza, quando l'accelerazione verso l'avanti è massima, il piede al momento dell'appoggio può trovarsi dietro al centro di gravità. L'inclinazione verso l'alto e l'indietro della retta congiungente il punto di contatto al suolo col centro di gravità implica ovviamente una decelerazione del corpo verso l'avanti e verso il basso: in tali condizioni al peso del corpo si somma una forza inerziale che tende a provocare la flessione dell'arto inferiore che sostiene il corpo.

Tale flessione è impedita dall'attività dei muscoli estensori del piede (gastrocnemio, ecc.), della gamba (quadricipite, ecc.) e della coscia (glutei ecc.), che, in questa fase del passo, compiono un lavoro negativo: si allungano cioè stirati da una forza esterna. Tale forza raggiunge normalmente in questo istante circa 200 kg.: questo valore massimo di forza coincide con il momento in cui il centro di gravità del corpo si trova al suo punto più basso [1], ed è vero-

(*) Dall'Istituto di Fisiologia Umana, Università di Milano, Milano.

(**) Nella seduta del 10 aprile 1965.

similmente proprio in questo momento che i muscoli contratti passano dalla fase di stiramento a quella di accorciamento.

Nel presente lavoro al fine di determinare se effettivamente nella corsa l'accorciamento del gastrocnemio e del quadricipite è immediatamente preceduto da uno stiramento degli stessi muscoli, si è

determinato come varia, prima e durante il periodo di spinta, l'angolo compreso fra l'asse del piede e l'asse della gamba, e rispettivamente quello compreso fra l'asse della gamba e quello della coscia. La grandezza di questo angolo infatti, date le condizioni meccaniche ed anatomiche del sistema, è indice della lunghezza del muscolo gastrocnemio, risp. del m. quadricipite.

Gli esperimenti vennero compiuti su due atleti: S.O. scattista olimpico capace di compiere 100 metri piani in 10,3 sec, di peso 69 kg, e A.R., un corridore nazionale di mezzofondo, di peso 71,2 kg. I soggetti, partendo da fermi dai blocchi di partenza, compivano 30 m di percorso alla massima velocità: in questo periodo veniva eseguita una ripresa cinematografica a circa 500 fotogrammi al secondo.

La cinepresa, dotata di teleobiettivo tale da abbracciare un campo di $3,25 \times 1,75$ metri circa, era posta a circa 50 metri dal punto di mezzo del tragitto percorso, perpendicolarmente ad esso. L'ingrandimento era sufficiente per distinguere chiaramente i riferimenti posti oltre che sul terreno, anche sul tronco e sugli arti del corridore, al fine di determinare l'orientamento dei singoli segmenti corporei.

In fig. 1 sono posti in funzione del tempo a partire dall'istante in cui il piede prende contatto col suolo: *a*) l'angolo α compreso anteriormente tra l'orizzontale e la retta che passa per il centro di gravità del corpo ed il punto di contatto del piede col suolo; *b*) l'angolo β formato dall'asse della gamba con quello della

coscia, e *c*) quello γ compreso fra l'asse del piede e la gamba. I numeri indicano le successive falcate dalla partenza.

Dalla fig. 1 risulta che appena il piede prende contatto col suolo l'angolo γ diminuisce, espressione di un brusco stiramento del gastrocnemio, per aumentare immediatamente dopo (accorciamento del muscolo).

Per ciò che riguarda l'angolo compreso tra la coscia e la gamba, β , si osserva lo stesso fenomeno dopo la sesta falcata, e ciò è espressione di uno

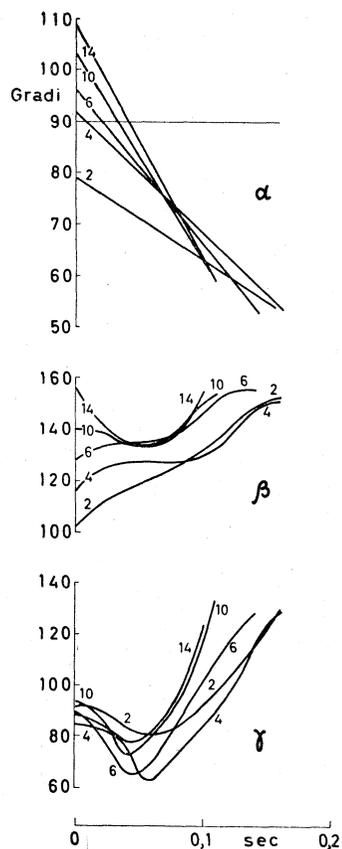


Fig. 1.

α Angolo compreso anteriormente tra l'orizzontale e la linea che congiunge il centro di gravità del corpo col punto di contatto col suolo; β Angolo compreso fra la gamba e la coscia; γ Angolo compreso fra l'asse della gamba e quello del piede. Sull'ascissa, tempo in sec a partire dall'istante del contatto del piede col suolo. Le curve terminano nel momento in cui il piede si stacca dal suolo. I numeri sulle curve indicano le successive falcate dalla partenza.

stiramento seguito da accorciamento dei muscoli estensori della gamba. Nelle prime falcate invece, durante la fase di incremento della velocità, l'angolo β aumenta fin dal primo contatto del piede col suolo, e ciò sta ad indicare che gli estensori della gamba si accorciano senza essere stati previamente stirati. Questo comportamento d'altra parte è pienamente giustificato dal fatto che nelle prime falcate, l'angolo α è inferiore a 90° fin dall'inizio del passo, e cioè il centro di gravità del corpo si trova innanzi al punto di contatto col suolo, e non è quindi possibile una decelerazione dovuta all'azione frenante del piede che poggia sul suolo.

Per ciò che riguarda il muscolo gastrocnemio, lo stiramento che si ha all'inizio del passo nelle prime falcate, non potendo essere sostenuto dalla decelerazione provocata dal contatto del piede col suolo, per il motivo esposto precedentemente, è presumibilmente dovuto in piccola parte alla caduta del corpo (energia potenziale), ma in parte anche presumibilmente alla spinta verso l'alto e l'avanti impressa dalla contrazione dei mm. quadricipite e glutei.

In questa fase di incremento di velocità nella corsa la trasformazione dell'energia potenziale e cinetica del corpo in energia elastica, è verosimilmente poco rilevante, e la spinta del corpo verso l'avanti sembrerebbe perciò essere totalmente sostenuta dalla contrazione muscolare attiva.

Soltanto ad elevati valori di velocità, raggiunta la condizione di equilibrio (falcata 14^a) lo stiramento sia del gastrocnemio che del quadricipite (diminuzione degli angoli β e γ) avvengono contemporaneamente, nel periodo in cui il centro di gravità è posto dietro al punto di appoggio del piede al suolo ($\alpha > 90^\circ$), e terminano circa quando $\alpha = 90^\circ$. In questo periodo si ha una diminuzione dell'energia cinetica e potenziale del corpo, che possono eventualmente essere accumulate come energia elastica nello stiramento dei muscoli contratti. L'entità delle masse muscolari interessate in questo processo rende ragione della elevata quantità di energia elastica accumulata.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] G. A. CAVAGNA, F. P. SAIBENE and R. MARGARIA, « J. Appl. Physiol. », 19, 249-256 (1964).
- [2] R. MARGARIA, G. A. CAVAGNA e F. P. SAIBENE, « Boll. Soc. It. Biol. Sper. », 39, 1815-1816 (1963).
- [3] G. A. CAVAGNA, F. P. SAIBENE and R. MARGARIA, « J. Appl. Physiol. », 20, 157-158 (1965).

ABSTRACT. — Running at constant speed the contraction of the extensor muscles of the lower limbs (mm gastrocnemii, quadriceps of the thigh, glutei etc.), responsible for the push exerted at each step, follows immediately a stretch of the same muscles in sustained contraction; inertial forces plus the body weight are responsible for this stretch. This implies transformation of some of the kinetic and of the potential energy of the body into elastic energy; during the shortening of the muscles, immediately thereafter, the elastic energy is given back, which can be utilized for progression.

During the acceleration of the body that takes place at a start of a run, the lengthening of the extensor muscles is very reduced until the speed is low; it increases thereafter with increasing speed. In the acceleration phase therefore elastic energy cannot be accumulated in the muscles, and it cannot therefore be taken into consideration to the end of progression.