

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

# RENDICONTI

---

GIOVANNI A. CAVAGNA, RODOLFO MARGARIA

## Caratteristiche elastiche del muscolo contratto

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,  
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 36 (1964), n.3, p. 307–310.*  
Accademia Nazionale dei Lincei

<[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1964\\_8\\_36\\_3\\_307\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1964_8_36_3_307_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.** — *Caratteristiche elastiche del muscolo contratto* (\*).  
Nota di GIOVANNI A. CAVAGNA e RODOLFO MARGARIA, presentata (\*\*)  
dal Socio R. MARGARIA.

Il lavoro positivo compiuto da un muscolo che si contrae a velocità costante è maggiore se il muscolo contratto, immediatamente prima di accorciarsi, è stato allungato sotto l'azione di una forza esterna (lavoro negativo): questo fenomeno è stato interpretato ammettendo che, durante la fase di lavoro negativo, parte del lavoro compiuto sul muscolo venga immagazzinato e quindi utilizzato nella fase seguente di lavoro positivo [1]. Poiché il dispendio energetico del muscolo che si contrae e compie lavoro positivo è presumibilmente lo stesso, indipendentemente dal fatto che il muscolo abbia o no compiuto lavoro negativo prima di accorciarsi, il rendimento assumerà un valore diverso nei due casi. Ci si può rendere ragione così dell'elevato valore di rendimento meccanico (0,4-0,5) riscontrato nella corsa o, in genere, in ogni esercizio in cui il lavoro positivo esterno compiuto è immediatamente preceduto da una fase in cui gli stessi muscoli compiono lavoro negativo [2,3].

La maggior produzione di lavoro da parte di un muscolo che abbia in precedenza compiuto lavoro negativo si può spiegare, nella maniera più semplice, supponendo che il muscolo contratto si comporti come un corpo elastico, che immagazzini energia potenziale elastica durante la fase di stiramento e, successivamente la restituisca durante la fase di accorciamento (lavoro positivo). In tal caso l'energia accumulata dovrebbe, come ad esempio in una molla, essere tanto maggiore quanto maggiore è la lunghezza finale raggiunta dal muscolo contratto durante la fase di lavoro negativo, e indipendente dalla velocità e dall'entità dell'allungamento stesso.

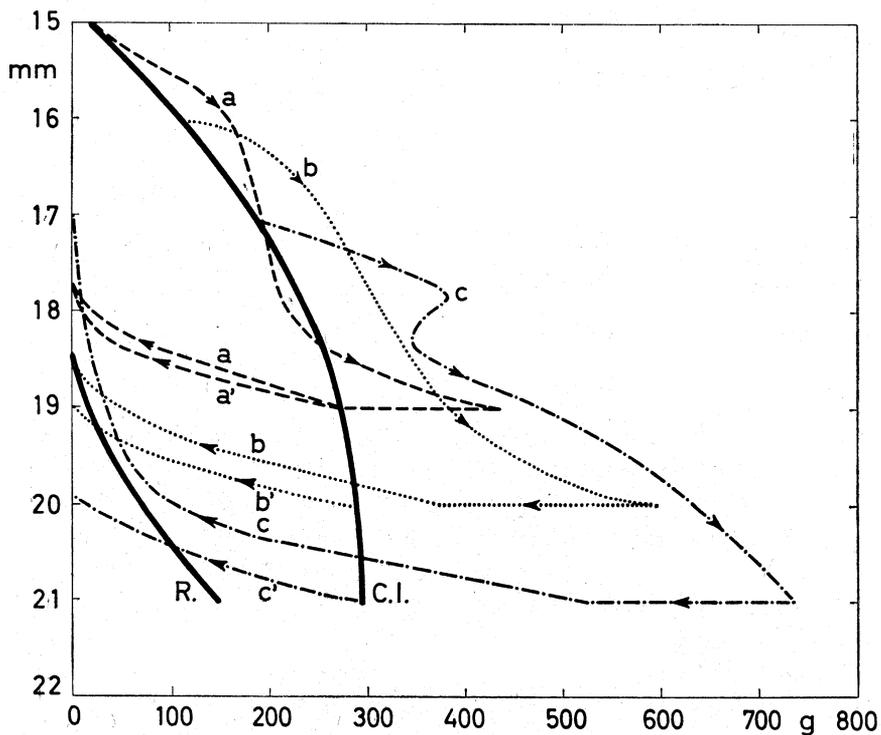
Levin e Wyman [4] avrebbero riscontrato che la tensione sviluppata da un muscolo contratto durante lo stiramento aumenta con la velocità di allungamento: determinazioni più recenti e più accurate di Abbott e Aubert (5) misero invece in evidenza che l'aumento di tensione che accompagna uno stiramento a velocità costante dipende dalla lunghezza finale ed è sostanzialmente indipendente dalla velocità di allungamento.

Le variazioni di lunghezza e di tensione di un muscolo durante le fasi di stiramento e di contrazione possono essere opportunamente studiate, sul muscolo isolato, quando si rappresentino queste grandezze sullo stesso diagramma, universalmente noto, che esprime la tensione in funzione della lunghezza del muscolo a riposo e in contrazione isometrica.

(\*) Dall'Istituto di Fisiologia Umana dell'Università di Milano, e dal Centro di Fisiologia del Lavoro e dello Sport del C.N.R.

(\*\*) Nella seduta del 14 marzo 1964.

Nella fig. 1 sono rappresentati, in tratto pieno, i diagrammi tensione-lunghezza del muscolo a riposo (R) e in contrazione isometrica (C.I.). Partendo da un valore prossimo al massimo accorciamento (15 mm), lo stiramento del muscolo contratto fino ad una lunghezza di 19 mm produce un aumento della tensione indicato dalla linea tratteggiata (*a*): al termine dell'allungamento la tensione cade rapidamente, da circa 440 g, ad un valore di equilibrio, di circa 300 g, uguale, o generalmente superiore (vedi le curve *b* e *c*) al valore indicato per la contrazione isometrica. Se ora si permette al



Muscolo gastrocnemio di rana in Ringer ossigenato a 0° C. Linea continua: diagramma tensione lunghezza del muscolo a riposo (R) ed in contrazione isometrica (C.I.).

Linee tratteggiate: *a, b, c*: diagrammi tensione lunghezza dello stesso muscolo durante lo stiramento del muscolo contratto e l'accorciamento successivo. Sia lo stiramento che l'accorciamento hanno luogo a velocità uguale e costante. *a', b', c'*: diagrammi tensione lunghezza durante accorciamento, alla stessa velocità, a partire da uno stato di contrazione isometrica.

muscolo di accorciarsi, ad una velocità costante di circa 50 mm/sec, la tensione diminuirà secondo una curva che è sempre apprezzabilmente più alta di quella caratteristica per il muscolo che si accorcia partendo da una stessa lunghezza e da una condizione di contrazione isometrica non preceduta da distensione (*a'*). La differenza fra le due condizioni è tanto maggiore quanto maggiore è la lunghezza finale raggiunta dal muscolo (*b-b'* e *c-c'*) malgrado che l'allungamento sia sempre lo stesso, di 4 mm, in tutte le prove.

L'esperimento indicato con  $c$  è stato eseguito a due velocità di allungamento di 16 e di 50 mm/sec: l'andamento della curva ed il valore massimo di tensione raggiunto nei due casi non differivano significativamente. Soltanto una variazione della velocità di accorciamento influenza apprezzabilmente l'andamento della tensione che diminuisce aumentando la velocità di accorciamento, come si poteva prevedere in base al fatto che la velocità di accorciamento degli elementi contrattili del muscolo è limitata [6, 7].

Da quanto è stato esposto risulta che il muscolo in contrazione tetanica ha effettivamente le caratteristiche fondamentali dei corpi elastici accennate precedentemente: e cioè *a*) sottoposto a stiramento esercita una tensione che aumenta con la lunghezza finale raggiunta; *b*) la tensione sviluppata appare essere indipendente dalla velocità di allungamento.

TABELLA I.

*Lavoro positivo compiuto dal muscolo durante l'accorciamento nell'esperimento della fig. 1.*

Lunghezza iniziale del muscolo in mm	LAVORO IN g·cm		Differenza
	Previo stiramento	Senza previo stiramento	
19	13,2	10,3	2,9
20	19,6	10,8	8,8
21	37,2	12,4	24,8

Durante la fase di accorciamento successiva all'allungamento del muscolo contratto, la tensione cade, ma si mantiene sempre maggiore di quella sviluppata dal muscolo che non sia stato precedentemente stirato: nei primi istanti i valori di tensione si mantengono notevolmente superiori anche a quelli massimi sviluppati nella contrazione isometrica.

La tensione raggiunta dal muscolo alla fine dello stiramento è un dato importante anche perché da essa dipende il lavoro positivo che il muscolo può compiere quando gli sia data la possibilità di accorciarsi, come risulta dai grafici della fig. 1. Tale lavoro è facilmente calcolabile dai diagrammi della fig. 1 essendo proporzionale all'area compresa fra la curva e l'ordinata. Nella Tabella I sono riassunti i dati di lavoro positivo compiuto nelle varie condizioni dell'esperimento della fig. 1.

Dalla Tabella I appare che il lavoro positivo compiuto dal muscolo nell'accorciarsi è notevolmente maggiore quando il muscolo contratto è stato sottoposto, immediatamente prima, a stiramento. Questa differenza risulta essere maggiore quanto maggiore è la lunghezza raggiunta dal muscolo

alla fine dello stiramento, e non dipende dalla velocità di distensione del muscolo contratto.

Questi elementi depongono a favore dell'ipotesi precedentemente emessa, che il muscolo contratto si comporti come un corpo elastico, capace cioè di restituire una sostanziale quantità dell'energia meccanica precedentemente somministratagli.

#### BIBLIOGRAFIA.

- [1] G. A. CAVAGNA, R. MARGARIA e F. P. SAIBENE, « Rend. Accad. Naz. Lincei », Classe Sci. fis., mat. e nat., ser. VIII, 36, 303 (1964).
- [2] G. A. CAVAGNA, F. P. SAIBENE e R. MARGARIA, « J. Appl. Physiol. » in corso di stampa, 19 (1964).
- [3] R. MARGARIA, G. A. CAVAGNA e F. P. SAIBENE, « Boll. Soc. Biol. Sper. », in corso di stampa.
- [4] J. LEVIN e J. WYMAN, « Proc. Roy. Soc. », Ser. B 101, 218 (1927).
- [5] B. C. ABBOTT e X. M. AUBERT, « J. Physiol. », 117, 77 (1952).
- [6] W. O. FENN e B. S. MARSH, « J. Physiol. », 85, 277 (1935).
- [7] A. V. HILL, « Proc. Roy. Soc. », Ser. B 126, 136 (1938).