
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

RODOLFO MARGARIA, PIERO AGHEMO, EMILIO ROVELLI

Determinazione nell'uomo della massima potenza muscolare (Anaerobica)

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 40 (1966), n.1, p. 23–28.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1966_8_40_1_23_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. — *Determinazione nell'uomo della massima potenza muscolare (Anaerobica)* (*). Nota di RODOLFO MARGARIA, PIERO AGHEMO ed EMILIO ROVELLI, presentata (**) dal Socio R. MARGARIA.

SUMMARY. — A method is described to measure the maximal anaerobic power in man, as due to the phosphagen breakdown only (alactacid process). This consists in running up a stair at top speed, and by measuring the vertical component of the speed between the second and the fourth secs, when the maximum speed is reached: this value gives also the mechanical power in kgm/kg sec. The power as measured in energy consumption can be obtained by dividing this figure by 0,25, the efficiency value for this type of exercise. The maximal anaerobic power amounts to about 3 times the aerobic power, averaging in young fit subjects 1.6 kgm/kg sec (ca. 1.5 HP for a 70 kg man), or ca. 50 kcal/kg h if expressed in energy consumption. A mechanical power as high as 2.8 kgm/kg sec (ca. 2.6 HP) has been found in a sprinter.

È noto che l'energia meccanica sviluppata dai muscoli proviene direttamente dalla scissione di composti contenenti fosfato altamente energetico, essenzialmente adenosintrifosfato (ATP) e creatinfosfato (CP), la somma dei quali è denominata fosfageno (PG). Si tratta perciò di una reazione anaerobica, mentre le reazioni ossidative, e perciò il consumo di ossigeno, intervengono in un secondo tempo, per provvedere energia per la resintesi del fosfageno, processo questo indispensabile per ripristinare le condizioni chimiche originali del muscolo, e per permettergli di continuare l'attività. In condizioni di emergenza, quando la intensità dell'esercizio muscolare sostenuta dalla scissione del fosfageno è maggiore di quella che può essere sostenuta dalle reazioni ossidative, un altro meccanismo esergonico anaerobico, la scissione del glicogeno in ac. lattico, interviene per aumentare la velocità di resintesi del fosfageno [1].

Di ognuno di questi tre meccanismi esergonici interessa conoscere la *capacità* e la *potenza* caratteristica. Poiché in ultima analisi l'energia per la contrazione muscolare è sostenuta totalmente da reazioni ossidative, le reazioni anaerobiche esergoniche vengono individuate come un *debito di ossigeno* [2], che viene contratto all'inizio dell'esercizio e pagato alla fine durante il ristoro: i due meccanismi anaerobici sono stati definiti *lattico* e *alattico* [3].

È stato riscontrato che il meccanismo alattico ha una capacità molto piccola, circa 100 cal per kg di peso dell'individuo, mentre il meccanismo aerobico ha una capacità praticamente infinita. La potenza del meccanismo alattico però è molto maggiore, ca 3 volte, del meccanismo aerobico [4].

La massima *potenza aerobica* può essere determinata con un metodo sufficientemente semplice per poter essere applicato a grandi masse di individui [5].

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

(**) Nella seduta dell'8 gennaio 1966.

Non esiste invece ancora una prova semplice standardizzata per la massima *potenza anaerobica*, che è indice soprattutto della quantità di fosfageno presente nei muscoli, e cioè della grandezza delle masse muscolari, e della sua velocità di scissione.

È stato osservato che l'intensità di un esercizio può essere tanto maggiore quanto minore è il tempo [4]: ma al disotto di una durata di 5-6 secondi circa l'intensità dell'esercizio non aumenta più col diminuire della durata della prova, e ciò sta ad indicare che quando è alta la concentrazione in fosfageno dei muscoli, la velocità con la quale questo si scinde è indipendente dalla concentrazione, e dipende verosimilmente solo dalla velocità propria della reazione, quest'ultima forse essendo influenzata dal numero di impulsi che dal sistema nervoso giungono ai muscoli.

Poiché sia le reazioni ossidative, che quelle che conducono alla formazione di acido lattico, avvengono con un notevole ritardo rispetto alla scissione del fosfageno, e certamente non in misura apprezzabile entro i primi cinque sec., un indice della massima potenza anaerobica può essere rilevato in un individuo che eseguisca un esercizio alla massima intensità per 3 a 5 sec soltanto.

Molto conveniente a questo fine è una corsa in salita alla massima velocità ed ad elevata inclinazione, ad esempio su una scalinata.

È stato osservato infatti che il costo energetico richiesto per percorrere 1 km in corsa a velocità costante è indipendente dalla velocità e proporzionale al lavoro meccanico compiuto, calcolato moltiplicando la componente verticale dello spostamento per il peso: il rendimento energetico in questo tipo di esercizio si avvicina ad un valore di 0,25 [6]. La componente verticale della velocità in m/sec può allora essere l'espressione della potenza sviluppata per kg di peso del soggetto, espressa in kgm/sec.

METODI E RISULTATI.

I soggetti venivano invitati a salire, alla massima velocità di cui erano capaci, una scala comune a due scalini per volta. Il tempo impiegato a compiere due o quattro passi veniva misurato mediante un contasecondi elettronico, sensibile ad 1/100 sec, azionato da cellule fotoelettriche. La componente verticale della velocità veniva quindi facilmente calcolata conoscendo l'altezza degli scalini. Partendo dalla base della scala la velocità di progressione, e quindi anche la velocità in senso verticale, aumenta progressivamente fino a raggiungere una velocità massima entro 1,5-2 sec. Questo valore si mantiene poi costante fino a 4-5 sec.

Se al lavoro antigravitazionale computato dal sollevamento del corpo si aggiunge quello necessario nei primi istanti per conferire accelerazione, e questi vengono espressi in kgm/kg sec, si ottiene il lavoro o la potenza totale ad ogni istante. Questa si è rivelata costante fin dall'inizio dell'esercizio (vedi fig. 1). Allo scopo però di risparmiare un calcolo alquanto laborioso, è sufficiente rilevare il solo dato di velocità a regime, ad esempio tra il 2° e il 4° sec,

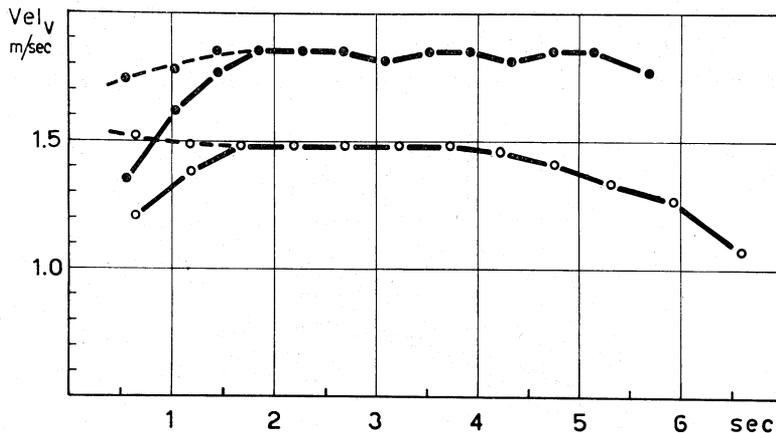


Fig. 1. - Componente verticale della velocità (V_v) in m/sec in due soggetti che correvano su una scala alla massima velocità possibile, l'altezza dei gradini essendo di 35 cm. Sull'ascissa tempo in sec. I primi due-tre valori, ottenuti durante la fase di accelerazione, sono stati corretti (linea tratteggiata) per il lavoro compiuto per aumentare l'energia cinetica del corpo, come descritto nel testo.

oppure, per accelerare il raggiungimento della velocità di regime, permettere al soggetto uno slancio di non più di due metri prima di affrontare la scala: può allora essere compiuto il rilievo anche dopo soli 0,5-1 sec (vedi fig. 2).

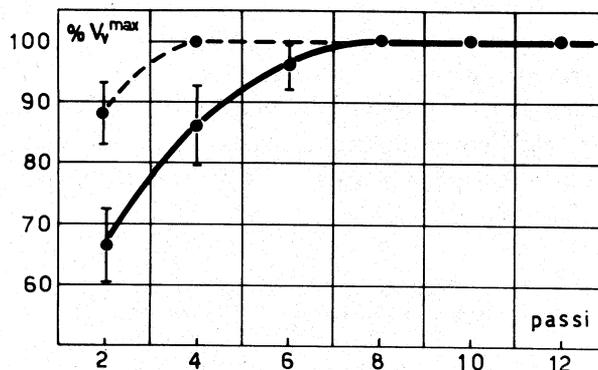


Fig. 2. - Componente verticale della velocità espressa in percentuale del massimo valore registrato, in funzione della lunghezza del tratto di scala percorso; tale lunghezza è espressa dal numero dei passi compiuto lungo la scala stessa.

Ogni punto è la media dei valori ottenuti in 15 soggetti, atleti e non atleti, di età compresa fra 18 e 40 anni; l'ampiezza delle linee verticali indica il valore $\pm\sigma$ (deviazione standard). La linea tratteggiata si riferisce a prove nelle quali la salita della scala era preceduta da una breve rincorsa (2 m) in piano.

In questa prova ha una certa influenza l'altezza del gradino: è stato osservato che la massima potenza si raggiunge quando l'altezza si aggira sui 35 cm, corrispondentemente a due gradini di una scala ordinaria. Se lo scalino è troppo basso la frequenza dei passi richiesta per raggiungere un sollevamento è troppo elevata: se è troppo alto (41 cm) la potenza diminuisce perché la contrazione muscolare necessaria per sostenere questo maggiore

sforzo dura troppo a lungo, e la frequenza di contrazione diminuisce al di sotto del valore ottimale. I dati riferentisi a 5 soggetti sono esposti schematicamente nella fig. 3 nella quale è indicata anche la frequenza dei passi.

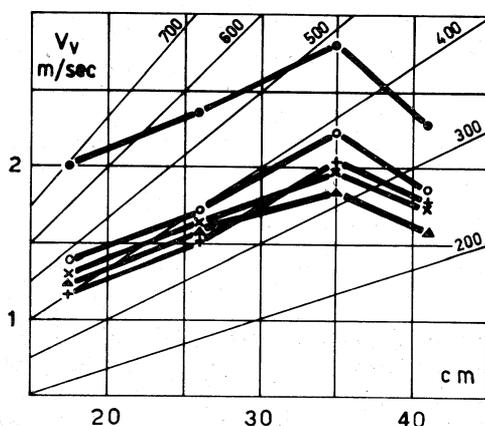


Fig. 3. - Massima velocità di sollevamento verticale in m/sec in funzione dell'altezza degli scalini: i più elevati valori di V_v si registrano salendo scalini alti circa 35 cm. Questa altezza corrisponde a quella di 2 scalini di una scala ordinaria.

È indicata anche (linee irradianti dall'origine) la frequenza dei passi per min.

Questa prova non conduce a esaurimento del soggetto, poiché implica la scissione di solo una piccola frazione del fosfagene esistente, né a formazione di acido lattico: essa può perciò essere ripetuta dopo due o tre minuti di riposo. Il dato che si ottiene è molto attendibile, poiché i tempi riscontrati, ripetendo la prova più volte nella stessa mattinata, variano tra loro non più del $\pm 3\%$. Anche ripetendo la prova per un periodo di diversi giorni si ottengono valori molto uniformi (fig. 4).

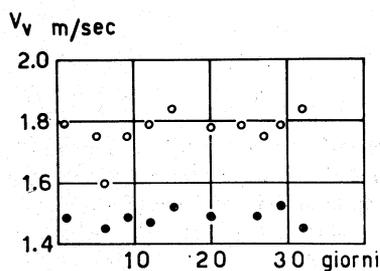


Fig. 4. - Massima potenza anaerobica determinata, su due individui non dediti a particolare attività fisica, per oltre un mese: la variabilità di questo carattere, anche in un periodo di tempo relativamente lungo, non è superiore a $\pm 2\%$.

Nella figura 5 sono riassunti i dati ottenuti su 132 soggetti d'ambo i sessi, alcuni dediti ad attività sportiva, altri non sportivi. La potenza anaerobica appare aumentare fino a raggiungere in media un massimo di 1,6 kgm/kg sec

tra 20 e 30 anni, per poi discendere progressivamente fino a ridursi a meno della metà di questo valore verso 70 anni. Il valore medio di potenza, espresso in lavoro meccanico, a 20-30 anni, equivale ad una potenza espressa in consumo, presupponendo che il rendimento sia dello 0,25, di 50 kcal/kg h, un valore molto prossimo a quello riscontrato precedentemente con metodo e con intendimenti del tutto differenti [4]. La validità del metodo sopradescritto ci pare quindi avvalorata da questa concordanza. La dispersione dei singoli dati è molto elevata, e ciò sta ad indicare la sensibilità del metodo nel mettere in evidenza differenze individuali.

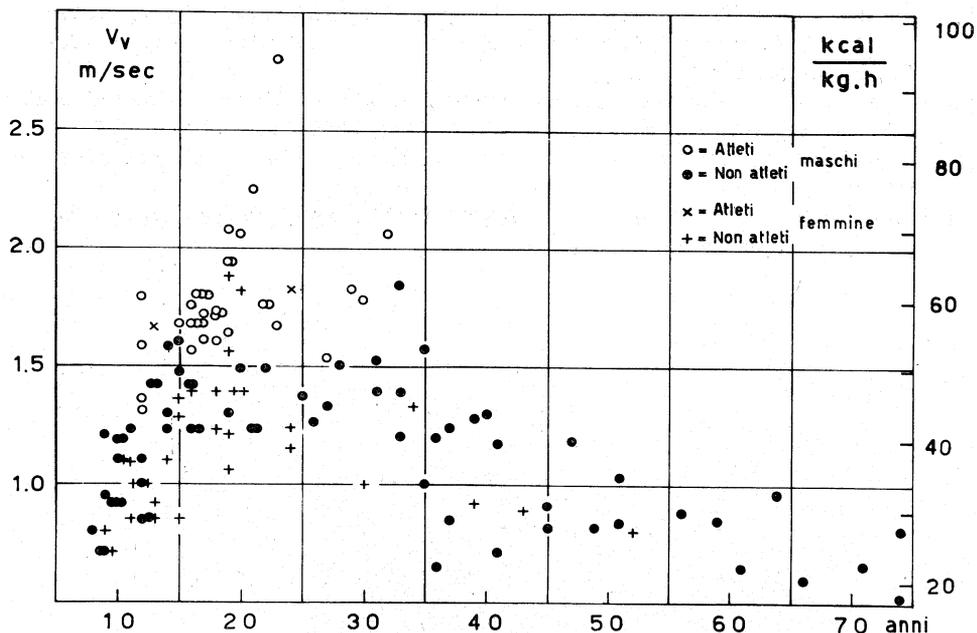


Fig. 5. - Velocità di sollevamento verticale (V_v in m/sec in funzione dell'età: i dati si riferiscono a 132 soggetti, maschi e femmine, alcuni dei quali dediti abitualmente ad attività sportiva.

Sull'ordinata di destra sono indicati (in kcal/kg h) i valori di potenza, calcolata come consumo, presupponendo un valore di 0,25 per il rendimento.

Particolarmente significativo appare essere il valore più elevato di 2,8 m/sec riscontrato su un centometrista olimpionico, capace di compiere 200 metri in 20,4 sec. Su un corridore di mezzo fondo, capace di percorrere 3000 metri in 8'02'', si riscontrò invece un valore prossimo alla media, di 2,06 m/sec.; questi aveva invece una elevata potenza aerobica, corrispondente a un consumo di O_2 di 71 ml/kg min (21,3 kcal/kg h).

Il metodo sopradescritto si presta bene per analisi estese anche a popolazioni numerose perché 1° è di facile applicabilità; 2° non richiede costosi apparecchi ergometrici, essendo sufficiente a questo scopo disporre di una comune scala di almeno 12 gradini di altezza esattamente nota; 3° non richiede

un allenamento particolare, o perizia da parte del soggetto, trattandosi di un esercizio abituale; 4^o la prova non conduce ad esaurimento e non riesce sgradata al soggetto, che è perciò incline a prestare la sua collaborazione.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] R. MARGARIA, *Assesment of physical activity in oxidative and anaerobic maximal exercise*. Int. Symp. on Environmental Physiology, Kyoto, Sept. 12–17, 1965.
- [2] A. V. HILL, *Muscular Movement in Man: the Factors governing speed and recovery from fatigue*, New York, MacGraw-Hill, 1927.
- [3] R. MARGARIA, H. T. EDWARDS and D. B. DILL, *The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the rôle of lactic acid in muscular contraction*, « Am. J. Physiol. », 106, 689 (1933).
- [4] R. MARGARIA, P. CERRETELLI and F. MANGILI, *Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man*, « J. Appl. Physiol. », 19, 623 (1964).
- [5] R. MARGARIA, P. AGHEMO and E. ROVELLI, *Indirect determination of maximal O₂ consumption in man*, « J. Appl. Physiol. », 20, 1070 (1965).
- [6] R. MARGARIA, P. CERRETELLI, P. AGHEMO and G. SASSI, *Energy Cost of running*, « J. Appl. Physiol. », 18, 367 (1963).