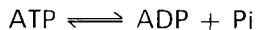


## LA VALUTAZIONE FISIOLOGICA DELLE CAPACITA' ATLETICHE

P.E. DI PRAMPERO

Il muscolo è una macchina che trasforma energia chimica in energia meccanica. Questa trasformazione avviene durante la contrazione che, in condizioni fisiologiche, è regolata dagli impulsi nervosi che arrivano al muscolo attraverso il nervo motore. L'unica fonte energetica che il muscolo è in grado di utilizzare direttamente è la scissione dell'ATP (ac. adenosintrifosforico) in ADP (ac. adenosindifosforico) e Pi (fosfato inorganico);



Tuttavia la concentrazione di ATP nel muscolo è molto limitata (ca. 5 m-moli/kg); per evitare una rapidissima deplezione delle riserve endomuscolari di ATP, l'ATP che si scinde durante la contrazione muscolare è continuamente ricostituito a spese dei seguenti processi energetici (Fig. 1):

- 1) la scissione della fosfocreatina (PC) che cede il suo fosfato terminale all'ADP trasformandolo così in ATP;
- 2) la trasformazione del glicogene in ac. lattico (AL);
- 3) l'ossidazione dei glucidi e dei grassi a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .

Di questi due meccanismi i primi due sono anaerobici, possono decorrere cioè anche in assenza di  $\text{O}_2$ ; per il terzo invece è necessario un continuo apporto di  $\text{O}_2$  ai muscoli, apporto che è di norma assicurato dagli apparati respiratorio e circolatorio.

I tre meccanismi energetici summenzionati hanno lo scopo di mantenere la concentrazione dell'ATP nel muscolo ad un livello pressoché costante. Quando ciò non è possibile il muscolo non è in grado di contrarsi, ed il soggetto è costretto ad interrompere il lavoro, o quanto meno a ridurne l'intensità.

Nei paragrafi che seguono si descriveranno brevemente le caratteristiche salienti dell'energetica del lavoro muscolare facendo particolare riferimento alla loro rilevanza pratica per l'atleta e lo sportivo in genere.

### *Il consumo di ossigeno e il debito di $\text{O}_2$ alattacido*

La quantità di  $\text{O}_2$  consumata nell'unità di tempo ( $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ ) è un indice accurato della velocità delle reazioni ossidative, e quindi (Fig. 1) della quantità di ATP resintetizzato, nell'unità di tempo, a spese di processi di ossidazione.

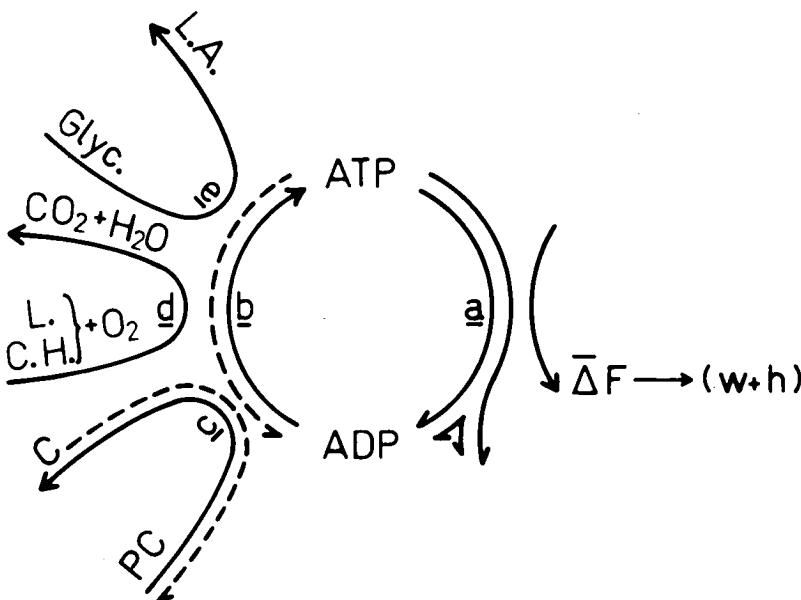


Fig. 1. - Schema dei processi energetici della contrazione muscolare: C.H., glucidi; L., lipidi; Glyc., glicogene; L.A., acido lattico;  $\bar{\Delta}F$ , energia libera sviluppata dall'idrolisi dell'ATP, di cui una parte è trasformata in lavoro meccanico (w) e una parte dissipata in calore (h). Le reazioni associate direttamente alla contrazione sono indicate in tratto doppio, quelle che avvengono solo nel ristoro in tratteggio (da di Prampero, 1972).

In un uomo adulto normale a riposo  $\dot{V}O_2 \approx 0.25$  l/min.

All'inizio di un lavoro muscolare il consumo di O<sub>2</sub> aumenta dal valore di riposo ad un valore tanto più elevato quanto più intenso l'esercizio. Mentre il carico di lavoro imposto ai muscoli aumenta in modo pressoché istantaneo,  $\dot{V}O_2$  aumenta gradualmente, nel corso dei primi minuti di lavoro (Fig. 2). Ne segue che nei primi minuti di lavoro l'O<sub>2</sub> che il muscolo può consumare è insufficiente alla resintesi di tutto l'ATP che si scinde per le contrazioni muscolari (si ha la cosiddetta « contrazione del debito di O<sub>2</sub> alattacido ») (15). In questo periodo iniziale di lavoro, l'ATP è resintetizzato anche a spese della scissione della PC, la cui concentrazione nel muscolo si riduce (16). In questo periodo si può avere anche produzione di ac. lattico da glicogene (5).

Dopo i primi minuti di lavoro, se l'esercizio non è molto intenso, si raggiunge uno « stato stazionario » in cui tutto l'ATP che si scinde nell'unità di tempo è resintetizzato a spese dei processi ossidativi.

Alla fine del lavoro, mentre il carico imposto all'organismo si riduce istantaneamente a zero,  $\dot{V}O_2$  cala lentamente (Fig. 2) fornendo con ciò l'energia necessaria alla resintesi della PC scissa all'inizio del lavoro (17), e la cui concentrazione era rimasta, durante tutto il periodo di lavoro, indipendentemente dalla durata di esso, a valori inferiori a quelli di riposo. Questo processo è il « pagamento del debito di O<sub>2</sub> alattacido ».

Il consumo di O<sub>2</sub> dell'esercizio durante lo stato stazionario è direttamente proporzionale all'intensità del lavoro fino ad un valore massimo.

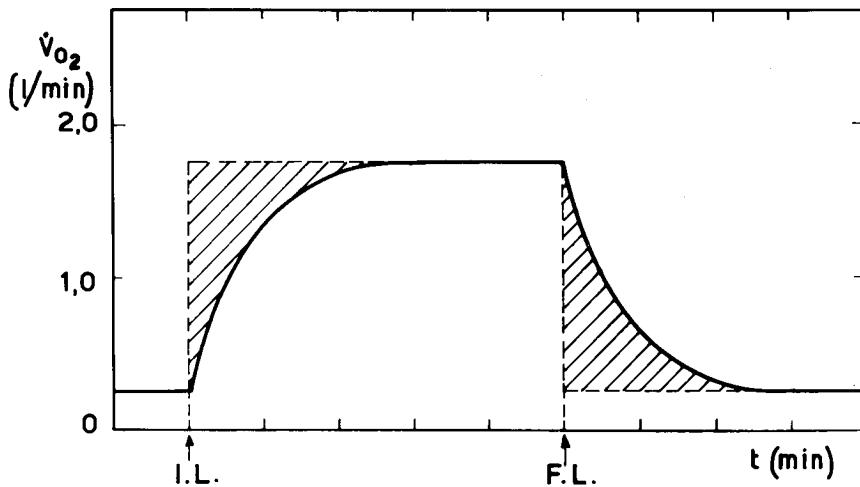


Fig. 2. - Consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ ) in l/min in funzione del tempo di lavoro (t). I.L. = inizio del lavoro; F.L. = fine del lavoro. Le aree comprese tra la curva a tratto pieno e la linea tratteggiata all'inizio e alla fine del lavoro rappresentano rispettivamente la « contrazione » ed il pagamento del debito di ossigeno alattacido (schematica).

Questo limite superiore del consumo di  $O_2$  (massimo consumo di  $O_2$ ,  $\dot{V}O_2^{\max}$ ) non può essere superato anche se il carico lavorativo imposto al soggetto viene ulteriormente aumentato (Fig. 3).

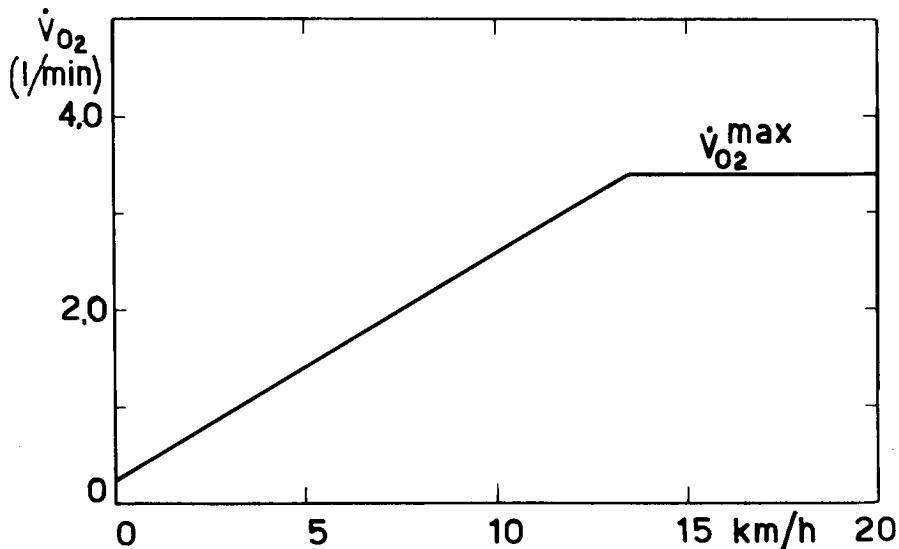


Fig. 3. - Consumo di ossigeno in l/min ( $\dot{V}O_2$ ) in funzione della velocità della corsa in piano (schematica). Al di sopra di circa 13.5 km/h  $\dot{V}O_2$  non aumenta più, in soggetti non atletici, anche aumentando la velocità di corsa: si è raggiunto cioè il massimo consumo di  $O_2$  ( $\dot{V}O_2 \max$ ). (Schematica, dai dati di Margaria et al., 1963).

### *Il meccanismo lattacido*

Quando il carico lavorativo è superiore a quello che corrisponde a  $\dot{V}O_2^{\max}$  le reazioni ossidative sono insufficienti a resintetizzare tutto l'ATP che si scinde per fornire l'energia necessaria alle contrazioni muscolari. In queste condizioni la quantità di ATP che non è resintetizzata a spese dei processi ossidativi viene resintetizzata a spese della produzione di ac. lattico da glicogene (Fig. 1). Questo processo viene designato con il termine di « contrazioni del debito di  $O_2$  lattacido » (15), per specificare che parte dell'energia per l'esecuzione del lavoro muscolare viene presa a prestito da fonti anaerobiche e che questo « debito » viene pagato dai processi ossidativi alla fine del lavoro.

La produzione di ac. lattico determina un abbassamento del pH del tessuto muscolare e dei liquidi organici. Questa acidificazione costringe in breve tempo (dell'ordine dei minuti) all'interruzione del lavoro.

Alla fine dell'esercizio una parte (1/10 circa) dell'ac. lattico accumulato nell'organismo viene ossidato per fornire l'energia necessaria alla resintesi della frazione restante (9/10) a glicogene (12). Questo processo costituisce il « pagamento del debito di  $O_2$  lattacido ». In altre parole l'organismo consuma, nel periodo immediatamente successivo al lavoro, per la resintesi di parte dell'ac. lattico a glicogene, l'ossigeno che non ha potuto consumare durante il periodo di lavoro.

E' stato possibile dimostrare (10) che l'aumento di 1 g/l nella concentrazione di ac. lattico nel sangue è equivalente al consumo di 37 ml di  $O_2$ /kg. Quando si tenga conto della distribuzione dell'ac. lattico nei liquidi organici e della frazione di acqua dell'organismo, è possibile calcolare da questi dati che la produzione di 1 g di ac. lattico nell'organismo umano libera ca. 250 cal. L'equivalenza fra incremento di concentrazione di ac. lattico nel sangue e consumo di  $O_2$  ( $1 \text{ g/l} \equiv 37 \text{ ml } O_2/\text{kg}$ ) permette di esprimere il dispendio energetico nelle stesse unità, in genere ml di  $O_2$ , anche per esercizi parzialmente anaerobici, purché si conosca, oltre il consumo di  $O_2$ , anche l'incremento di concentrazione di ac. lattico nel sangue.

La produzione di ac. lattico da glicogene è un meccanismo molto poco economico dal punto di vista energetico. Infatti, mentre 1 g di glicogene ossidato libera 4.1 kcal, quando venga trasformato in ac. lattico ne libera solo 0.25 ca.

### *Il significato pratico del massimo consumo di $O_2$ ed i suoi fattori limitanti*

Il massimo consumo di  $O_2$  è un indice della massima quantità di energia che il soggetto può trarre, nell'unità di tempo, dalle reazioni ossidative.

L'importanza che un elevato massimo consumo di  $O_2$  ( $\dot{V}O_2^{\max}$ ) riveste ai fini di una buona prestazione nelle prove di lunga durata appare evidente in base ad alcune semplici considerazioni. Si immaginino due soggetti (A e B) che corrono a 15 km/h. Si immagini inoltre che A abbia un  $\dot{V}O_2^{\max}$  che corrisponda a 12 km/h, mentre per B il  $\dot{V}O_2^{\max}$  corrisponde a 18 km/h. E' evidente che per correre a 15 km/h A deve ricorrere alla produzione di ac. lattico, mentre B ne può fare a meno. Di conseguenza,

dopo pochi minuti dall'inizio della prova, A si troverà in acidosi e dovrà interrompere il lavoro, mentre B potrà continuare ancora per lungo tempo. In altre parole, B è un soggetto atleticamente più dotato di A.

Queste considerazioni sono confermate dall'osservazione sperimentale che gli atleti dediti ad attività di fondo sono dotati di  $\dot{V}O_2^{\max}$  molto superiori a quelli dei soggetti sedentari (1). In questi ultimi infatti, ad un'età di 20-25 anni,  $\dot{V}O_2^{\max}$  è di ca. 3 l/min, corrisponde a ca. 45 ml/kg.min, e di ca. il 20% inferiore nelle femmine (1). Al di sotto ed al di sopra di tale età  $\dot{V}O_2^{\max}$  si riduce (Fig. 4). Nei diversi gruppi etnici

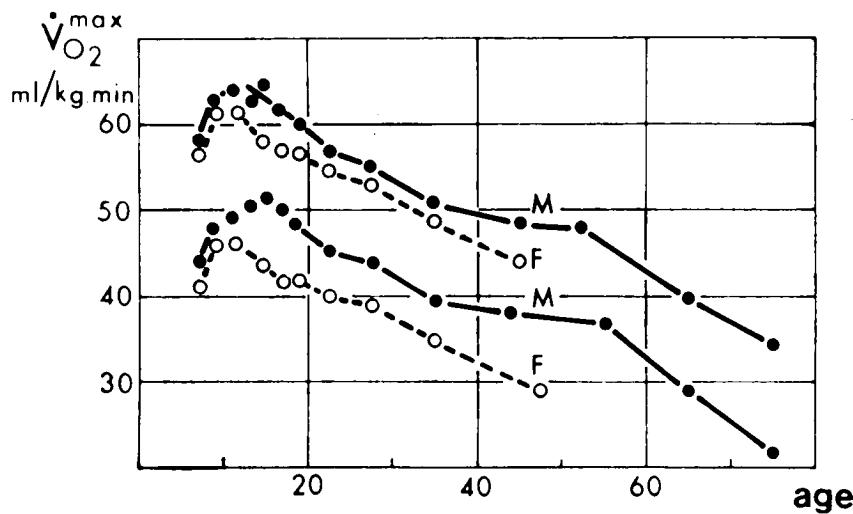


Fig. 4. - Valori medi del massimo consumo di  $O_2$  (ml/kg min) in funzione dell'età in soggetti di sesso maschile (M) e femminile (F). Le due curve superiori rappresentano il massimo consumo di  $O_2$  per kg di peso « magro ». In questo caso le curve (M ed F) sono più vicine. Ciò è dovuto al fatto che, in media, le donne hanno una percentuale di grasso corporeo superiore agli uomini (da Cerretelli, 1973).

non si sono riscontrate differenze significative (4). Nei soggetti atletici, particolarmente nei fondisti,  $\dot{V}O_2^{\max}$  è nettamente superiore, potendo raggiungere valori di 6 l/min, o, quando ci si riferisca all'unità di peso corporeo, di 70 ml/kg.min e oltre (1). Il massimo consumo di  $O_2$  appare dunque una caratteristica che permette di differenziare i soggetti atletici da quelli non atletici, sempre, evidentemente, quando ci si riferisce ad attività che richiedono elevati dispendi energetici per lunghi periodi di tempo. In altre parole un atleta deve essere dotato di un elevato  $\dot{V}O_2^{\max}$ , anche se ciò non è sufficiente a fare un atleta completo, che deve possedere anche altre doti tecniche e di carattere.

Il massimo consumo di  $O_2$  è una misura integrata di tutti i meccanismi che presiedono all'assunzione, al trasporto ed all'utilizzazione dell' $O_2$  e cioè: ventilazione, scambi gassosi a livello alveolo-capillare, capacità del sangue per l' $O_2$ , gettata cardiaca, perfusione e diffusione a livello periferico muscolare, ed infine utilizzazione dell' $O_2$  a livello mitocondriale.

Quale di questi passaggi costituisca il « fattore limitante » di  $\dot{V}O_2^{\max}$

è stato ed è argomento di discussione. Alla luce delle nostre attuali conoscenze sembra però da escludere che: a) la ventilazione e gli scambi gassosi alveolo-capillari, e b) l'utilizzazione mitocondriale dell' $O_2$  possano costituire i fattori limitanti. Ciò sulla base delle seguenti osservazioni sperimentali: a) anche a livelli di lavoro superiore al massimo consumo di  $O_2$ , la saturazione dell'emoglobina con l' $O_2$  è prossima ai valori osservati a riposo (95-100%); ciò che evidentemente esclude sia la ventilazione che il passaggio dell' $O_2$  dagli alveoli al sangue come possibili fattori limitanti; b) in seguito all'allenamento si osserva, sia nell'uomo che nell'animale, un notevole aumento (fino al doppio) del numero e della capacità ossidativa dei mitocondri prelevati dal muscolo allenato. Questa osservazione, quando si consideri che il massimo consumo di  $O_2$  dell'organismo in toto (uomo o animale) aumenta del 15-20% per effetto dell'allenamento, sembra escludere i fattori mitocondriali come possibili limiti di  $\dot{V}O_2^{\max}$ , almeno per quel che riguarda il muscolo allenato.

Queste considerazioni vanno naturalmente limitate al soggetto sano. E' chiaro infatti che in soggetti patologici (enfisematosi, bronchitici cronici, anemici, ecc.) i fattori limitanti possono essere di volta in volta diversi.

Il massimo consumo di  $O_2$  è, almeno secondo la maggioranza degli studi recenti (8), determinato geneticamente entro stretti limiti. Questo spiega il rilievo sperimentale che  $\dot{V}O_2^{\max}$  può aumentare al massimo del 20% con l'allenamento (1). Con l'allenamento cioè si può far sì che un soggetto riesca a sfruttare al massimo le sue potenzialità innate, ma non si può trasformare un non atleta in atleta. E' quindi evidente che prima di intraprendere lunghi e faticosi periodi di allenamento nel tentativo e con la speranza di portare un soggetto a prestazioni di livello mondiale, sarà necessario accertarsi delle sue caratteristiche innate con una semplice determinazione di  $\dot{V}O_2^{\max}$ . Qualora questo parametro fosse insufficiente rispetto al livello prescelto, qualsiasi tentativo sarebbe inevitabilmente destinato all'insuccesso, con conseguenti frustrazioni per l'atleta, l'allenatore, ecc.

#### *La massima potenza del meccanismo lattacido*

Come accennato in precedenza, quando l'intensità dell'esercizio è superiore al massimo consumo di  $O_2$ , si ha una continua produzione di ac. lattico da glicogene. In queste condizioni la velocità di produzione dell'ac. lattico è proporzionale all'intensità dell'esercizio. Tuttavia, anche la velocità di produzione dell'ac. lattico, come il consumo di  $O_2$ , ha un limite, superato il quale ogni aumento dell'intensità dell'esercizio può essere sostenuto solo sulla base di una continua scissione della PC, la cui concentrazione diminuisce rapidamente nel muscolo. Ciò conduce all'esaurimento in breve tempo (dell'ordine dei secondi), ma permette di raggiungere i massimi valori assoluti di potenza, che in queste condizioni è limitata solo dalla massima velocità di scissione della PC.

La massima potenza del meccanismo lattacido può essere facilmente calcolata quando si conosca la massima velocità di accumulo dell'ac. lattico nel sangue. Questa è stata determinata su soggetti non atletici,

durante esercizi molto intensi, conducenti all'esaurimento in 5-35 s (corsa su ergometro trasportatore a 18 km/h, a pendenze del 10, 15, 20 e 25%) (13), Fig. 5. In queste condizioni, la velocità di accumulo dell'ac. lattico nel sangue, espressa dalla pendenza delle rette della Fig. 5, è indipendente dall'intensità dell'esercizio. Si è quindi raggiunta la massima velocità di produzione dell'ac. lattico: essa risulta di 2.1 g/l.min. equivalente cioè ad un consumo di 75 ml di O<sub>2</sub>/kg.min, in soggetti non atletici (13).

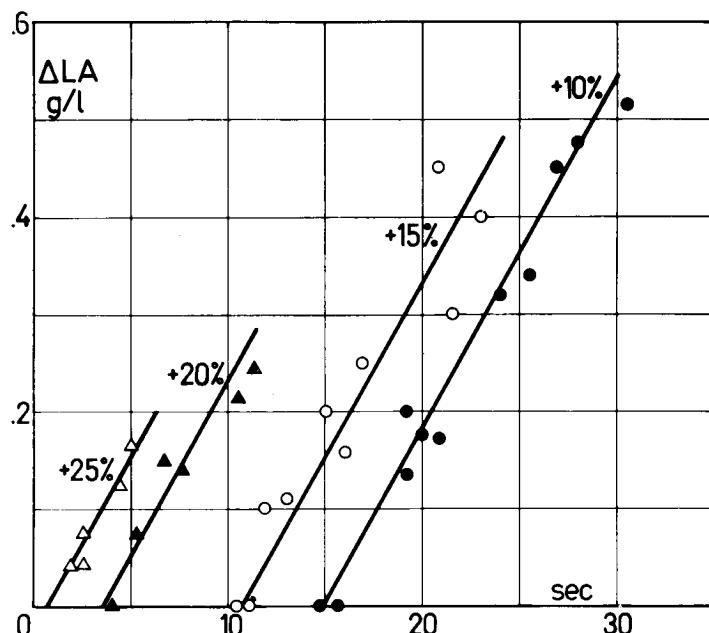


Fig. 5. - Concentrazione dell'acido lattico nel sangue, al di sopra del valore di riposo ( $\Delta L.A.$ , g/l) in funzione del tempo dall'inizio dell'esercizio; corsa a 18 km/h, alla pendenza indicata. Ogni valore di concentrazione rappresenta il massimo raggiunto dopo la fine di un esercizio la cui durata è indicata in ascissa (da Margaria et al., 1964).

### *La capacità del meccanismo lattacido*

La massima quantità di energia che può essere ottenuta a spese della produzione di ac. lattico (massima capacità del meccanismo lattacido) dipende dalla massima concentrazione di ac. lattico tollerabile nei liquidi organici. In soggetti non atletici questa è di ca. 1.5 g per litro di sangue, equivalente ad un consumo di 55 ml di O<sub>2</sub> per kg di peso. Tuttavia nel corso di esercizi intermittenti la concentrazione di ac. lattico nel sangue può giungere fino a 2.5 - 3.0 g/l (7).

In prima approssimazione si può considerare che la quantità massima di energia che può essere ottenuta dal meccanismo lattacido è circa eguale a quella che può essere ottenuta in un minuto, nello stesso soggetto, dal massimo consumo di O<sub>2</sub>.

durante esercizi molto intensi, conducenti all'esaurimento in 5-35 s (corsa su ergometro trasportatore a 18 km/h, a pendenze del 10, 15, 20 e 25%) (13), Fig. 5. In queste condizioni, la velocità di accumulo dell'ac. lattico nel sangue, espressa dalla pendenza delle rette della Fig. 5, è indipendente dall'intensità dell'esercizio. Si è quindi raggiunta la massima velocità di produzione dell'ac. lattico: essa risulta di 2.1 g/l.min. equivalente cioè ad un consumo di 75 ml di O<sub>2</sub>/kg.min, in soggetti non atletici (13).

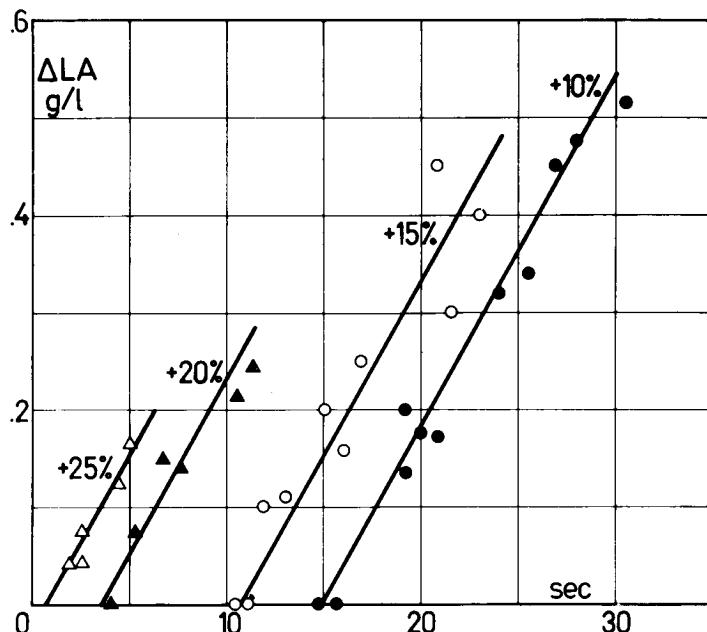


Fig. 5. - Concentrazione dell'acido lattico nel sangue, al di sopra del valore di riposo ( $\Delta$  L.A., g/l) in funzione del tempo dall'inizio dell'esercizio: corsa a 18 km/h, alla pendenza indicata. Ogni valore di concentrazione rappresenta il massimo raggiunto dopo la fine di un esercizio la cui durata è indicata in ascissa (da Margaria et al., 1964).

#### *La capacità del meccanismo lattacido*

La massima quantità di energia che può essere ottenuta a spese della produzione di ac. lattico (massima capacità del meccanismo lattacido) dipende dalla massima concentrazione di ac. lattico tollerabile nei liquidi organici. In soggetti non atletici questa è di ca. 1.5 g per litro di sangue, equivalente ad un consumo di 55 ml di O<sub>2</sub> per kg di peso. Tuttavia nel corso di esercizi intermittenti la concentrazione di ac. lattico nel sangue può giungere fino a 2.5 - 3.0 g/l (7).

In prima approssimazione si può considerare che la quantità massima di energia che può essere ottenuta dal meccanismo lattacido è circa eguale a quella che può essere ottenuta in un minuto, nello stesso soggetto, dal massimo consumo di O<sub>2</sub>.

PC, rappresenta cioè la massima potenza anaerobica alattacida. Questa può quindi essere determinata dalla misura della componente verticale della velocità (9).

Quando la prova sia eseguita a partire da un esercizio aerobico, anziché da riposo, la potenza massima sviluppata diminuisce linearmente con l'intensità dell'esercizio da cui la prova di massima potenza è preceduta (Fig. 6 e Tab. I). Tuttavia l'andamento temporale della

TABELLA I

	Potenza massima (ml/kg min)	Capacità massima teorica (ml/kg)	Capacità massima disponib. (ml/kg)	Tempo di utilizzazione alla max velocità (sec)	Velocità di pagam. ( $t^{1/2}$ )
Meccanismo alattacido	164 — 1.6 $\dot{V}O_2$	40 — 0.4 $\dot{V}O_2$	20 — 0.2 $\dot{V}O_2$	7.2	17 sec
Meccanismo lattacido	75	—	50	40	15 min
Ossidazioni	50	—	—	—	—

Potenza e capacità massima dei tre processi energetici della contrazione muscolare, in soggetti non atletici di 25 anni circa. La velocità di pagamento del debito di  $O_2$  (alattacido e lattacido) e il tempo di utilizzazione delle riserve alla massima velocità sono anche indicati. I dati sono espressi in equivalente consumo di  $O_2$ . Sia la massima potenza che le massime capacità (teorica e disponibile) del meccanismo diminuiscono linearmente con l'aumentare del consumo di  $O_2$  ( $\dot{V}O_2$ ) dell'esercizio che precede immediatamente la prova di massima potenza.

massima potenza rimane praticamente invariato, come è indicato dal fatto che le curve della Fig. 6 hanno tutte una forma simile (14).

Il rendimento di questo tipo di esercizio, in condizioni aerobiche è del 25% circa; la massima potenza anaerobica alattacida può quindi essere espressa in equivalente consumo di  $O_2$ , quando sia nota la massima potenza meccanica, determinata come si è detto. I valori di potenza così ottenuti sono dell'ordine di 150-160 ml di  $O_2$ /kg min in soggetti non atletici di 25 anni circa (9). I valori di massima potenza alattacida variano con l'età ed il sesso (Fig. 7). Negli atleti si sono osservati valori fin oltre 220 ml di  $O_2$ /kg min (6).

Questa prova permette di valutare in modo semplice e corretto la massima potenza anaerobica alattacida. La sua semplicità, il basso costo delle apparecchiature necessarie (un cronometro elettronico), la brevità e ripetibilità della prova, permettono di utilizzarla di routine su vasti gruppi di soggetti. Bisogna tuttavia tener conto dell'importanza che una buona coordinazione neuromuscolare riveste ai fini della prova. Sarà quindi consigliabile far ripetere più volte l'esperimento al soggetto, e fargli scegliere il tipo di passo che più si adatta alle sue dimensioni corporee (due o tre scalini per volta).

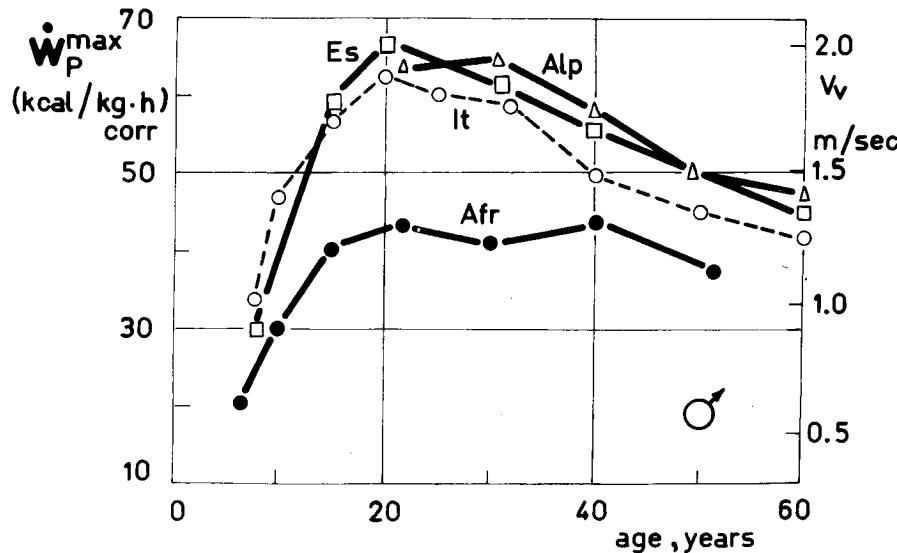


Fig. 7. - Massima potenza anaerobica in equivalente consumo calorico kcal/kg h), e corrispondente componente verticale della velocità massima, in funzione dell'età in soggetti maschi di diversi gruppi etnici: Afr. - Africani; It - Italiani cittadini; Alp - Italiani popolazione alpina; Es - Eschimesi.

#### *La capacità massima del meccanismo alattacido*

La capacità massima del meccanismo alattacido (in equivalente consumo di  $O_2$ ) è di circa 40 ml/kg in soggetti normali (3). Questa è una misura della massima quantità di energia che può essere ottenuta dalla scissione della PC: dipende quindi dalla concentrazione endomuscolare di questa sostanza. Dato che questa diminuisce con l'aumentare dell'intensità del lavoro (16), la capacità massima del meccanismo alattacido è tanto minore quanto più intenso è l'esercizio da cui la prova è immediatamente preceduta (Fig. 8, linea superiore).

Solo la metà circa della PC contenuta nel muscolo può essere utilizzata alla massima potenza (Fig. 8). Ad esempio un soggetto a riposo la cui capacità alattacida massima teorica è di 40 ml/kg, sarà in grado di utilizzare solo 20 ml/kg alla massima potenza. La massima capacità disponibile sarà cioè solo di 20 ml/kg. Analogamente, un soggetto che lavori al massimo consumo di  $O_2$ , avrà una capacità alattacida teorica massima ridotta al 50% ca. del valore di riposo, di cui solo 10 ml/kg rappresentano la capacità massima disponibile (Fig. 8).

Indipendentemente dal livello di consumo di  $O_2$  da cui viene iniziata una prova di massima potenza, dopo circa 7 secondi la capacità massima disponibile del meccanismo alattacido sarà esaurita (3).

#### *Conclusioni*

La potenza e la capacità massime dei tre processi energetici della contrazione muscolare sono indicate nella tabella. I valori riportati si

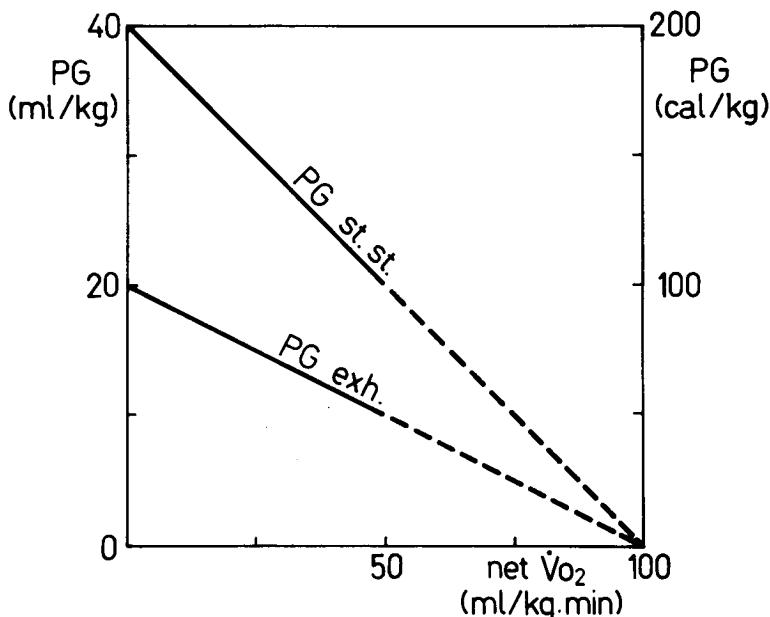


Fig. 8. - Capacità teorica alattacida massima, in equivalenti consumo di  $O_2$  (PG, ml/kg, o cal/kg) in funzione del consumo di  $O_2$  netto (ml/kg min): linea « PG st. st. » - La linea « PG exh. » indica le riserve alattacide ancora presenti nel muscolo al momento in cui la potenza sviluppata durante una prova massimale comincia a diminuire (la prova massimale è preceduta da un esercizio dell'intensità indicata in ascissa). La capacità alattacida disponibile per una prova alla massima potenza è quindi indicata dalla differenza tra le due curve. Queste sono arbitrariamente prolungate fino ad oltre i valori medi di massimo consumo di  $O_2$  per mettere in evidenza il fatto che le riserve alattacide non possono essere mai totalmente utilizzate (da di Prampero, 1972).

riferiscono a soggetti non atletici e sono espressi in equivalente consumo di  $O_2$  per unità di peso (ml/kg). Sono indicati anche la velocità di pagamento del debito di  $O_2$  (lattacido e alattacido) ed il tempo necessario alla completa utilizzazione delle riserve energetiche alla massima potenza.

Dopo circa 40 secondi alla massima potenza i due meccanismi anaerobici sono completamente esauriti. Questo tempo è di poco inferiore al tempo impiegato da soggetti atletici per coprire 400 m di corsa: ciò evidentemente permette una utilizzazione completa dei due meccanismi più efficaci dal punto di vista della potenza. Infatti, per corse di durata maggiore, la velocità media si abbassa nettamente (Fig. 9). Ciò riflette la necessità di sfruttare in modo sempre più sensibile il meccanismo ossidativo (di bassa potenza, ma di grande capacità) come fonte di potenza.

Due sono le principali conclusioni pratiche che si possono trarre da questa sommaria discussione dell'energetica muscolare nell'uomo:

- 1) la determinazione del massimo consumo di  $O_2$  permette una valutazione quantitativa della capacità di un soggetto di sostenere alti carichi

lavorativi per lunghi periodi di tempo: è cioè una valutazione delle capacità di « fondo », o « resistenza ».

2) La misura della massima potenza alattacida consente una valutazione quantitativa della massima potenza assoluta del soggetto: è cioè una valutazione delle capacità di « scatto ».

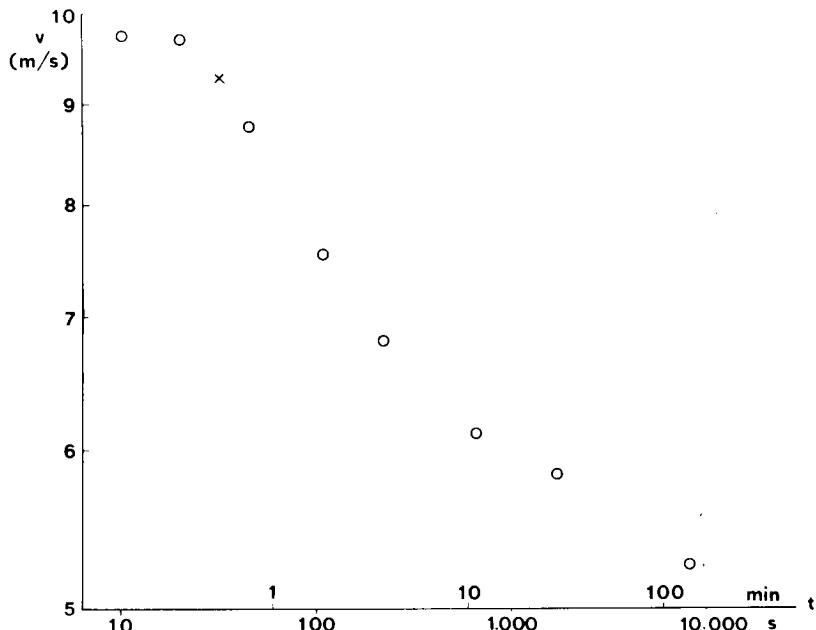


Fig. 9. - Velocità media (m/s) in funzione della durata della corsa (t; min o sec). O; Valori medi dei primi 5 classificati alle Olimpiadi di Tokyo (1964), nei 100, 200, 400, 1500, 5000, 10000 m piani e maratona, x; media di due prove di un atleta di livello internazionale sui 300 m. Coordinate in scala logaritmica.

Dal punto di vista pratico, quindi, soggetti che vogliono dedicarsi con una certa speranza di successo ad attività di « fondo » (3000; 5000; 10000 m piani, ciclismo su strada, sci di fondo, ecc.) dovranno essere dotati di alti valori di massimo consumo di  $O_2$ . Soggetti che vogliono dedicarsi invece ad attività di breve durata ed elevata intensità (100 e 200 m piani, salto in alto, in lungo, ecc.) dovranno essere dotati di elevati valori di massima potenza alattacida.

La determinazione del massimo consumo di  $O_2$  è una misura relativamente facile e di routine per un laboratorio attrezzato, che possieda adeguati strumenti per la raccolta e l'analisi dell'aria espirata, oltre naturalmente ad opportuni ergometri.

I vari test indiretti proposti per la determinazione del massimo consumo di  $O_2$  (1, 2) non sono sufficientemente accurati per la valutazione precisa di un singolo soggetto, mentre forniscono valori medi attendibili su larghi gruppi di persone.

La misura della massima potenza alattacida è di facile esecuzione

(v. pag. 44). L'attrezzatura necessaria si limita ad un cronometro elettronico, ciò che consente l'esecuzione di questo test su gruppi numerosi (scolaresche, gruppi sportivi, ecc.).

La misura della massima potenza lattacida non fornisce molte informazioni in più rispetto a quelle che si possono ottenere da una misura della massima potenza alattacida e del massimo consumo di  $O_2$ . Per questo motivo viene spesso trascurata, anche perché richiede numerosi prelievi di sangue, spesso sgraditi al soggetto.

Non è questa la sede per discutere a fondo i problemi tecnici connessi alle varie modalità di valutazione fisiologica dell'atleta, per cui si rimanda a testi specialistici (1, 2).

Naturalmente tutte le possibili valutazioni fisiologiche di un atleta forniscono un dato solamente « potenziale ». Ciò in quanto il risultato pratico ottenuto in campo agonistico dipende non solo dalle caratteristiche potenza muscolare dell'atleta, ma anche dal modo con cui questa potenza viene utilizzata e quindi dalla corretta ed economica esecuzione del movimento atletico (« stile »), dall'impegno agonistico e psicologico, per non citare che i fattori più evidenti. Di tutti questi fattori è necessario tener conto per una valutazione « globale » dell'atleta, particolarmente in quegli sport complessi, come il tennis, il calcio, la scherma, lo sci da discesa, ecc., in cui le caratteristiche tecniche e psicologiche, nonché quelle strategiche, rivestono particolare importanza.

Cattedra di Fisiologia Applicata, Facoltà di Medicina, Università di Milano.

[Indirizzo dell'autore: P.E. di Prampero -  
Via Mangiagalli, 32 - 20133 Milano].

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) Astrand P.O. and Rodahl K. - Textbook of work physiology. McGraw Hill Inc., New York, 1970.
- 2) Cerretelli P. - Fisiologia del lavoro e dello sport. Soc. Ed. Universo, Roma, 1973.
- 3) Di Prampero P.E. - Energétique de l'exercice musculaire. J. Physiol. Paris, 65, 51A-86A, 1972.
- 4) Di Prampero P.E. and Cerretelli P. - Maximal muscular power (aerobic and anaerobic) in african natives. Ergonomics, 12, 51-59, 1964.
- 5) Di Prampero P.E., Davies C.T.M., Cerretelli P. and Margaria R. - An analysis of  $O_2$  debt contracted in submaximal exercise. J. Appl. Physiol., 29, 547-551, 1970.
- 6) Di Prampero P.E., Piñera Limas F. and Sassi G. - Maximal muscular power (aerobic and anaerobic) in 116 athletes performing at the XIX Olympic Games in Mexico. Ergonomics, 13, 665-674, 1970.
- 7) Hermansen L. - Lactate production during exercise. In « Muscle metabolism during exercise ». B. Pernow and B. Saltin editors - Plenum Press, New York, 401-407, 1971.
- 8) Klissouras V. - Heritability of adaptive variation. J. Appl. Physiol., 31, 338-344, 1971.

- 9) Margaria R., Aghemo P. and Rovelli E. - Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J. Appl. Physiol.* 21, 1662-1664, 1966.
- 10) Margaria R., Aghemo P. and Sassi G. - Lactic acid production in supramaximal exercise. *Pflügers Arch.* 326, 152-161, 1971.
- 11) Margaria R., Cerretelli P., Aghemo P. and Sassi G. - Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18, 367-370, 1963.
- 12) Margaria R., Cerretelli P., di Prampero P.E., Massari C. and Torelli G. - Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J. Appl. Physiol.* 18, 371-377, 1963.
- 13) Margaria R., Cerretelli P. and Mangili F. - Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 19, 623-628, 1964.
- 14) Margaria R., di Prampero P.E., Aghemo P., Derevenco P. and Mariani M. - Effect of a steady state exercise on maximal anaerobic power in man. *J. Appl. Physiol.* 30, 885-889, 1971.
- 15) Margaria R., Edwards H.T. and Dill D.B. - The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.* 106, 689-714, 1933.
- 16) Piiper J., di Prampero P.E. and Cerretelli P. - Oxygen debt and high energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. *Am. J. Physiol.* 215, 523-531, 1968.
- 17) Piiper J. and Spiller P. - Repayment of O<sub>2</sub> debt and resynthesis of high energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. *J. Appl. Physiol.* 28, 657-662, 1970.