

Capacità anaerobica: questa sconosciuta

di Simon Greene (Sport & Medicina / mag-giu 97)

Temi di quest'articolo sono la misurazione e l'allenamento della capacità anaerobica. Il lettore che si aspettasse una trattazione dettagliata di questi aspetti della capacità anaerobica resterebbe però deluso: non viene infatti offerto un esaustivo rapporto circa la misurazione della capacità anaerobica, anche se saranno forniti dati bibliografici relativi ad altri articoli su questo argomento; inoltre, non viene proposta la formula magica dell'allenamento atto a migliorare la capacità anaerobica, anche se verranno proposte alcune linee-guida e alcune idee circa i rapporti tra teoria e pratica. Queste incertezze sono dovute sia alle difficoltà che si incontrano nel tentativo di chiarire la natura della capacità anaerobica sia alla opportunità di effettuare un approccio prudente alla trattazione di fenomeni complessi.

Prime conoscenze sul metabolismo anaerobico

Nella prima decade di questo secolo, Walter Fletcher e Fred Hopkins del Laboratorio di Fisiologia di Cambridge hanno per primi dimostrato l'esistenza di un legame tra l'accumularsi di acido lattico durante il lavoro muscolare intenso e di breve durata e la fatica. Questo acido lattico corrispondeva alla stessa sostanza trovata cent'anni prima dallo svedese Berzelius nel muscolo in rigor prelevato da un cervo ucciso da un cacciatore. Questa sostanza era anche analoga a quella scoperta da Pasteur nel latte fermentato in assenza di ossigeno. Era ancora da scoprire che, proprio come il latte, il muscolo scheletrico in condizioni anaerobiche, come succede durante l'esercizio, produce acido lattico. Malgrado il suo rapporto con la fatica muscolare, l'acido lattico rappresenta una indispensabile sorgente di energia durante la combinazione muscolare allorché il rifornimento di ossigeno è limitato.

Verso la fine del XIX secolo è riaffiorato il quesito relativo all'ultima sorgente di energia per il muscolo scheletrico. Furono formulate diverse teorie e infine fu scoperto il derivato fosforico ad alta energia ATP (adenosio-trifosfato). Prima di questa scoperta alcuni biochimici europei (Meyerhof e Lohmann) avevano scoperto una sostanza altamente energetica che, al tempo, alcuni ritennero poter essere il magico carburante per il lavoro muscolare; in effetti non lo era, anche se adesso se ne è riconosciuta l'importanza nel corso del lavoro muscolare quando la disponibilità di ossigeno è ridotta. Questa sostanza è la fosfocreatina.

Capacità anaerobica

Sia l'utilizzo della fosfocreatina sia la produzione di acido lattico si verificano quando scarseggia l'ossigeno disponibile, ovvero in condizione anaerobica. Queste sostanze sono i due elementi più importanti del metabolismo anaerobico: il quantitativo massimo di energia prodotta dall'acido lattico corrisponde a tre volte l'energia massima derivante dalla scissione della fosfocreatina. Nel complesso queste fonti di energia contribuiscono a quella che Rodolfo Margaria e i suoi colleghi dell'Istituto di Fisiologia Umana dell'Università di Milano hanno denominato capacità anaerobica. Il termine indica il massimo quantitativo di energia liberata dal metabolismo anaerobico (cioè produzione di acido lattico e scissione di fosfocreatina) ed utilizzata per alimentare il lavoro muscolare. I termini più comuni di resistenza anaerobica e tolleranza ai lattati sono usati per descrivere lo stesso concetto anche se l'ultimo termine non fa riferimento al contributo della fosfocreatina nella produzione di energia anaerobica. Una descrizione più dettagliata della capacità anaerobica può essere trovata in altri articoli(1)

Il metabolismo anaerobico è una importante sorgente di energia quando l'organismo non è in grado di fornire ossigeno sufficiente per eseguire l'attività richiesta. È dimostrato che occorrono

almeno sessanta secondi di sforzo massimale per raggiungere l'apice di produzione dell'energia anaerobica. La capacità anaerobica è fondamentale per sostenere sforzi ad alta intensità, come accade nelle prove ciclistiche di inseguimento su uno e quattro chilometri, nel canottaggio sui 2000 metri, nelle gare di velocità di 500 metri sui pattini o nella corsa sui 400-800 metri. Per capire come gli atleti impiegati nelle gare di breve durata e alta intensità (durata attorno ai quarantacinque secondi) possono migliorare la loro capacità anaerobica, è essenziale poterla misurare accuratamente.

Misurazione della capacità anaerobica

Numerose sono state le ricerche che si sono occupate della capacità anaerobica(2-6) questo articolo non ripeterà ciò che è già stato scritto ma riporterà le più recenti correnti di pensiero e le nuove scoperte circa il problema della misurazione della capacità anaerobica .

Facciamo un altro salto indietro nel tempo. Nel periodo che intercorre tra il 1910 e il 1925, A.V. Hill (Cambridge) , Krogh e Lindhard (Copenaghen) hanno separatamente osservato che, come conseguenza di una costante intensità di esercizio, il consumo di ossigeno aumenta secondo un andamento di tipo esponenziale e che, a] termine dell'esercizio, il ritorno al valore di riposo è anch'esso di tipo esponenziale. Hill affermò che l'ossigeno consumato (al di sopra dei livelli di riposo) conseguentemente all'esercizio fisico veniva utilizzato per bruciare l'acido lattico generato durante il periodo iniziale dell'esercizio stesso e chiamò questa quantità debito d'ossigeno. Krogh e Lindhard focalizzarono la ricerca sul primo periodo dell'esercizio e descrissero il deficit tra il consumo di ossigeno e la totale spesa di energia come deficit di ossigeno. Essi affermarono che: 'Questo deficit deve rappresentare le reazioni anossibiotiche (anaerobiche) che avvengono durante la prima fase dei processi di contrazione e che non avvengono per ossidazione fino a che il lavoro non sia cessato... Il deficit di ossigeno, causato dal rallentamento dell'assorbimento di ossigeno durante il primo minuto o minuti di lavoro, non viene compensato durante il lavoro ma può essere determinato quantitativamente quando il lavoro termina". Questi scienziati hanno stabilito un legame tra metabolismo anaerobico (le reazioni anaerobiche), debito di ossigeno e deficit di ossigeno: debito e deficit di ossigeno quantificavano la fonte di energia anaerobica generata durante l'esercizio.

Durante i successivi cinquant'anni il debito di ossigeno è diventato di interesse primario, mentre il deficit di ossigeno è rimasto relativamente oscuro.. Nonostante le prime convinzioni secondo le quali il debito di ossigeno quantificava la capacità anaerobica, oggi è riconosciuto che esso non costituisca una misura valida(6-7) Durante gli anni Sessanta, scienziati italiani, tra i quali Rodolfo Margaria, Pietro di Prampero e Paolo Cerretelli, condussero una serie di studi incentrati sull'utilizzo di un quantitativo massimale di lattato nel sangue per rappresentare la componente di acido lattico della capacità anaerobica.. Nonostante il suo utilizzo in ambito sportivo, questa procedura costituisce un metodo dispendioso e invasivo con risultati insufficientemente accurati per un utilizzo in atleti di alto livello(6-7).. Sforzi più recenti mirati allo sviluppo di sofisticati test su potere e capacità anaerobici, basati sulla misurazione del lattato ematico(8), saranno soggetti alle stesse critiche.

Durante gli anni Settanta, Bengt Saltin e collaboratori hanno rispolverato il concetto del deficit di ossigeno e lo hanno applicato alla misurazione della sorgente di energia anaerobica.. Durante gli anni Ottanta, Lars Hermansen insieme ad un suo studente, Jon Medb, ha modificato la tecnica e, in una serie di studi, Medb e i suoi colleghi hanno fornito la prova che il deficit di ossigeno accumulato può quantificare la sorgente di energia anaerobica(9). Come conseguenza di questa ricerca il deficit di ossigeno accumulato sta diventando una misura sempre più utilizzata della capacità anaerobica in atleti di alto livello di molte nazioni, comprese l'Australia. Una tale misura quantitativa della capacità anaerobica è anche importante per esaminare gli effetti dell'allenamento

sulla capacità anaerobica, per programmare prestazioni usando parametri bioenergetici(10) e per predire l'effetto che una data variazione della capacità anaerobica ha sulla prestazione.

Riscontri più recenti hanno validato il deficit di ossigeno accumulato quale misura della fonte di energia anaerobica. In due gruppi di atleti di alto livello non si è verificata correlazione tra stime muscolari della fonte di energia anaerobica o del potenziale anaerobico e deficit di ossigeno accumulato misurato durante due-tre minuti di pedalata o di corsa intensa(11-12) Esistono numerose ricerche metodologiche sulla stima del fabbisogno energetico nell' esercizio che devono ancora giungere a conclusione per poterne giudicare l'effettiva utilità in atleti di alto livello.

In contrasto con i metodi che cercano di quantificare la produzione di energia anaerobica, si sono sviluppati test ergometrici che tentano di rappresentare la capacità anaerobica attraverso la misurazione del lavoro o della prestazione. Questi test richiedono o uno sforzo contro un carico di lavoro fisso fino al limite di sopportazione (cioè carico costante) o un massimo sforzo con durata determinata. Gli sforzi massimali vengono preferiti poiché più attendibili(4-15) Paragonati alle misurazioni quantitative (per esempio al deficit di ossigeno accumulato), questi test richiedono una sola sessione, sono economici, relativamente facili da gestire e possono essere applicati in quasi tutte le circostanze, richiedendo solo la presenza dell'atleta, la sua attrezzatura (se necessaria) e un cronometro. Lo svantaggio di questi test potrebbe essere dato dal fatto che lo sforzo massimale e l'andamento dello sviluppo di potenza o velocità potrebbero non riprodurre il reale comportamento che si verifica durante una competizione sportiva.. Non si conosce ancora l'importanza di tutto questo ai fini della diagnosi di prestazione e come indicazione per i programmi di allenamento.

I test da sforzo massimale hanno durate variabili tra i trenta e i centoventi secondi. Il test di Wingate che comporta trenta secondi di massimo sforzo è stato messo a punto negli anni Settanta. Questo test è stato criticato in quanto ritenuto troppo breve per quantificare la capacità anaerobica; ora questo genere di critica decade poiché è noto che questo genere di prova non quantifica il metabolismo anaerobico, ma cerca di rappresentarlo .Poiché il contributo principale alla spesa energetica oltre i trenta secondi è aerobico, la produzione di lavoro realizzata dopo questo periodo è progressivamente dipendente dalla potenza aerobica piuttosto che dalla capacità anaerobica dell' individuo Ci sono dimostrazioni che i test da sforzo massimale eseguiti sia mediante un ergometro sia durante la competizione dovrebbero durare trenta secondi per rappresentare al meglio la capacità anaerobica.

Semplici strumenti, per esempio un cronometro, sono necessari per effettuare un'altra valutazione lavorativa della capacità anaerobica, l'intersezione sull'asse delle ordinate della relazione lineare tra il lavoro massimale (o distanza) e durata. Questo è stato descritto in un recente lavoro; i maggiori inconvenienti di questa valutazione sono i seguenti: necessita di almeno tre sessioni di test, la sua affidabilità è inferiore a quella del test di Wingate e il suo valore è parzialmente in funzione della durata dei test massimali usati per realizzarla..

Allenamento della capacità anaerobica

In considerazione delle difficoltà di misurazione della capacità anaerobica non sorprende la carenza di studi che prendono in esame gli effetti dell'allenamento sulla capacità anaerobica. Dall'esame dei pochi studi che hanno preso in considerazione gli effetti dell'allenamento, sorgono dubbi circa la precisione delle valutazioni della capacità anaerobica a causa della inaccuratezza dei metodi utilizzati. Comunque, è dimostrato che l'allenamento aumenti la capacità anaerobica. Inoltre, se possiamo definire chiaramente la natura della capacità anaerobica e i fattori fisiologici che la determinano, ed ancora esaminare gli effetti dell'allenamento su questi fattori e sulle capacità lavorative, possiamo cominciare a renderci conto delle più appropriate forme di allenamento per migliorare la capacità anaerobica.

Natura della capacità anaerobica

Se consideriamo la capacità anaerobica (cioè un quantitativo di energia) come il prodotto della potenza anaerobica (velocità di sviluppo dell'energia anaerobica per il tempo, allora la capacità anaerobica può essere aumentata aumentando la potenza anaerobica, o aumentando il tempo o aumentando entrambi (potenza anaerobica per il tempo per il quale viene mantenuta).

La massima potenza del metabolismo anaerobico, che deve essere sostenuta per circa trenta secondi o più, dipende dalla massima velocità di sviluppo di energia fornita sia dal metabolismo della fosfocreatina che da quello dei carboidrati. A sua volta questo dipende dall' avere sufficienti carburanti, fosfocreatina e carboidrati, e un potente sistema enzimatico necessario per utilizzare i carburanti stessi.

Nel corso di un'attività esplosiva le riserve di fosfocreatina vengono esaurite e quindi viene limitata l'energia fornita per questa via; per contro le riserve di carboidrati non costituiscono un limite per la produzione energetica nel corso di un singolo sforzo o di un esercizio di breve durata. L'aumento delle riserve di fosfocreatina mediante allenamento o con l'alimentazione (per esempio carichi di creatina) dovrebbe in teoria aumentare la capacità anaerobica in modo modesto. Di gran lunga il modo più efficace per aumentare la capacità anaerobica consiste nel modificare la potenza e la capacità del metabolismo dei carboidrati.

Lo ione idrogeno (H⁺) costituisce il comune prodotto terminale del metabolismo anaerobico dei carboidrati in tutte le specie animali in quasi tutte le condizioni di stress. Un aumento nel livello degli idrogenioni corrisponde ad un aumento dell'acidità. A partire dal classico studio di Fletcher e Hopkins(17), l'aumento dell'acidità muscolare che si verifica durante l'attivazione del metabolismo anaerobico è stato considerato la principale causa di fatica muscolare nel corso di attività di breve durata. Ciò è in rapporto con la dimostrazione che gli idrogenioni rappresentano un elemento piccolo ma altamente reattivo in grado di interferire con vari processi interessanti sia il metabolismo anaerobico che la contrazione muscolare.

La potenza della scissione dei carboidrati aumenta se aumentano le componenti (enzimi) coinvolti nel loro metabolismo. Mentre viene aumentata la velocità di produzione dell'energia anaerobica risulta anche accelerata la produzione di idrogenioni. Se non si applica un freno per contrastare questa accelerata produzione, il livello idrogenionico salirà più rapidamente riducendo il tempo per il quale l'incremento del metabolismo anaerobico può essere mantenuto. Questo comporta che la tolleranza muscolare ad un dato livello di idrogenioni non si modifichi. Non ci sono prove che contrastino questo principio.

La capacità di mantenere il metabolismo anaerobico dipende probabilmente, almeno in parte, dal prevenire una crescita troppo rapida del livello idrogenionico nel muscolo scheletrico. A ogni dato incremento di metabolismo anaerobico e di produzione di idrogenioni, la capacità anaerobica aumenterà se la rapidità di crescita nei livelli di idrogenioni viene ridotta(2).

Questo è un modo di vedere i fattori potenzialmente determinanti la capacità anaerobica molto semplificato e incompleto. Per esempio non considera il ruolo della regolazione ionica che può essere importante sia nel controllo dell'equilibrio acido-basico che della capacità anaerobica. E inoltre non riconosce che la capacità anaerobica può essere una funzione della attività muscolare, cioè che essa può dipendere da altri fattori causanti la fatica muscolare che non sono in diretto rapporto con il metabolismo (per esempio la fatica nervosa).

Allenamento e stimoli fisiologici per incrementare la capacità anaerobica

Il rapporto tra teoria e pratica per quanto concerne l'allenamento della capacità anaerobica dipende, almeno in parte, dalla conoscenza della natura degli stimoli fisiologici che modificano i

processi determinanti la capacità anaerobica. Attualmente la natura di questi stimoli è sconosciuta. Se comunque ammettiamo che la produzione e il controllo dei livelli idrogenionici è importante per determinare gli aumenti della capacità anaerobica, possiamo cominciare a costruire una piccola teoria sulle tecniche di allenamento.

La tabella presenta una selezione di programmi di allenamento suggeriti da vari Autori. Le prove sperimentali a sostegno dell'efficacia di ognuno di questi programmi sono scarsi. Comunque, questi programmi contengono alcune caratteristiche sperimentalmente giustificate:

- l'intensità dello sforzo è elevata (novanta-cento per cento del massimo sforzo possibile);
- la durata dello sforzo può variare da trenta secondi a tre minuti;
- il numero degli sforzi può variare da tre fino a venti;
- il periodo di recupero può essere breve, sessanta secondi per sforzi massimali brevi, o relativamente lungo (cinque-dieci minuti) per sforzi più lunghi;
- ogni settimana vengono eseguite da due a quattro sedute di allenamento.

Programmi di allenamento raccomandati per aumentare la capacità anaerobica

AUTORI	INTENSITA'	DURATA (secondi)	RECUPERO (secondi)	SFORZI	FREQUENZA (settimanale)
Astrand e Rodhal	massimale	60''	240''-300''	4 / 5	?
Fox & Matthews	?	30'' - 40''	90'' - 120''	20 / 25	3
Fox & Matthews	?	90'' - 180''	180''	20 / 25	3
Bompa	90 - 95%	5'' - 120''	120'' - 600''	16	2 - 4
Saltin	massimale	30'' - 40''	300''	3 / 8	?
Saltin	massimale	30'' - 40''	60'' - 120''	3 / 7	?
Saltin	vicino massim.	90'' - 120''	600''	2 / 6	?
Rushal & Pyke	90 - 95%	20''	210''	5	?
Rushal & Pyke	massimale	35''	300''	7	?

Come già detto la capacità anaerobica può essere aumentata incrementando la potenza anaerobica. Dato che l'apice dell'apporto energetico attraverso il metabolismo dei carboidrati, maggiore componente della capacità anaerobica, viene raggiunto in circa dieci secondi di esercizio massimale, lo sforzo deve durare dieci-quindici secondi ed essere massimale. Il recupero dovrebbe essere sufficientemente lungo da consentire, nel corso di ogni sforzo, la massima velocità o potenza. La base teorica per decidere il numero delle esecuzioni, e quindi l'entità del lavoro per ogni seduta, è ancora oscura e ogni programma dovrebbe essere il risultato di prove pratiche ed errori piuttosto che di teorie ed esperimenti.

L'aumento del tempo per il quale un dato livello di potenza anaerobica può essere mantenuto dipende dall'adattamento raggiunto nei processi che servono a ridurre la concentrazione idrogenionica muscolare quando aumenta la produzione di idrogenioni. Sembra che stimolo necessario per i processi di adattamento possa essere il mantenere livelli di concentrazioni idrogenioniche nel muscolo sufficientemente alti e per un prolungato periodo durante l'esercizio. Ciò impegnerebbe le strutture coinvolte nel controllo idrogenionico ad adattarsi e diminuirebbe l'incremento di idrogenioni nel muscolo indotto dall'esercizio.

Non è ancora conosciuto quale sia il periodo di elevata e mantenuta concentrazione idrogenionica in grado di ottimizzare l'adattamento e l'allenamento. Questo periodo ottimale potrebbe essere in funzione delle strutture fisiologiche che devono adattarsi.

Le strutture muscolari che funzionano come 'prima linea di difesa' nel controllo dei livelli idrogenionici (per esempio le proteine muscolari) potrebbero adattarsi a periodi di esercizio più

brevi (per esempio venti-quaranta secondi) e più frequenti. Processi tempo-dipendenti, come flusso ematico muscolare, che contribuiscono alla rimozione degli acidi dal muscolo, potrebbero rispondere meglio a periodi di esercizio più lunghi di due-quattro minuti, in quanto è necessario questo tempo perché la circolazione muscolare raggiunga i suoi livelli massimali. È plausibile che il contributo relativo di queste determinanti fisiologiche della capacità anaerobica vari in funzione della durata della prova atletica. Per esempio, il flusso ematico e il suo effetto sulla rimozione dei metaboliti acidi potrebbero essere una determinante della capacità anaerobica più importante nel ciclista praticante l'inseguimento su quattro chilometri che non in quello sul chilometro. Se così fosse le modalità di allenamento della capacità anaerobica in questi due ciclisti dovrebbe avere sottili differenze.

Poiché la capacità anaerobica è anche funzione positiva della massa muscolare, l'allenamento alla resistenza, che aumenta la massa muscolare, dovrebbe essere una parte importante dell'allenamento alla capacità anaerobica. Poiché i muscoli a contrazione rapida contribuiscono per il sessanta-settanta per cento dell'apporto energetico alla capacità anaerobica, l'ipertrofia selettiva di muscoli a rapida contrazione potrebbe essere importante.

Quando si devono decidere il tipo e il dosaggio dell'allenamento per la resistenza è anche importante prendere in considerazione il rapporto massa/potenza e la sua importanza nella prova atletica. Per esempio aumentare la capacità anaerobica soltanto attraverso l'incremento di massa muscolare (e corporea) potrebbe essere dannoso per l'atleta mezzofondista (800 metri) le cui prestazioni risentono delle variazioni della massa corporea, a differenza del quattrocentometrista le cui prestazioni sono meno sensibili alle variazioni di massa corporea.

Conclusioni

Di tutti i test che cercano di quantificare o definire la capacità anaerobica quello di Wingate è il più semplice e affidabile; inoltre è correlato con altre valutazioni muscolari e di capacità anaerobica. Può essere adattata alle condizioni operative e utilizzato per definire variazioni nella capacità anaerobica.

Linee-guida di allenamento per la capacità anaerobica vengono date solo per costruire il telaio entro il quale l'allenamento può essere sviluppato in modo flessibile. Questa flessibilità deve considerare l'aspetto della capacità anaerobica che bisogna incrementare e la durata della prestazione atletica.

Simon Green

Queensland University of Technology,

School of Human Movement Studies

Brisbane, Australia

Traduzione a cura di Marco Lissoni. Milano