

IL LAVORO MUSCOLARE

di Prof Antonio Menafra

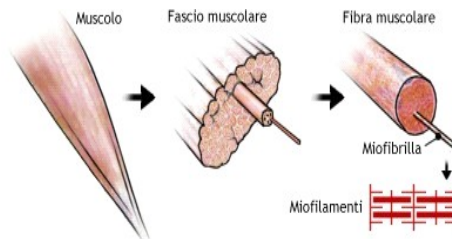
Le cellule muscolari sono caratterizzate per svolgere la funzione di contrazione. Esse possiedono la capacità di accorciarsi e questo provoca l'origine di una forza alle estremità della cellula stessa. Se tutte le cellule muscolari di un muscolo si contraggono insieme, esse originano forza sui punti di inserzione ossea dei tendini e questo causa il movimento di un segmento corporeo. La generazione di forza da parte di una cellula muscolare è l'ultima tappa di una sequenza abbastanza complessa di eventi che possono essere sommariamente riassunti come segue:

- 1) al muscolo deve giungere, attraverso il nervo motore, un ordine per la contrazione; se il movimento è volontario l'ordine parte da una area ben precisa del cervello.



- 2) il segnale inviato attraverso il nervo innesca nelle cellule muscolari una serie di reazioni chimiche che liberano energia chimica;
- 3) l'energia chimica si trasforma in energia meccanica causando accorciamento delle cellule muscolari.

L'evento 1 è più di relazione nervosa, mentre gli eventi 2 e 3 sono propriamente di fisiologia muscolare in quanto delineano il funzionamento del motore biologico.



Per l'illustrazione dell'andamento del motore può essere utile ricordare qualche similitudine con il motore dell'autovettura. Nel motore dell'automobile il combustibile brucia per azione dell'ossigeno, l'energia che ne deriva serve a muovere i pistoni. Questa reazione chimica di combustione libera energia in modo istantaneo, si parla infatti di motore a scoppio e tutti hanno cognizione che anche che un motore deve disporre di un impianto di raffreddamento per dissipare la notevole quantità di calore generata. Anche nel motore biologico si verifica un processo di ossidazione di combustibile, ciò nonostante a differenza di quanto avviene nel motore a scoppio, non esiste una sola reazione chimica, ma una concatenazione di molte reazioni chimiche: il risultato è che l'energia si libera in dosi distribuite nel tempo e questo evita una rilevante ipertermia, che comporterebbe uno squilibrio irreversibile delle varie componenti chimiche che costituiscono i tessuti. Ovviamente parte dell'energia chimica si libera sotto forma di calore, ma l'organismo dispone di adeguati meccanismi per disperdere questo calore e quindi controllare la temperatura corporea.

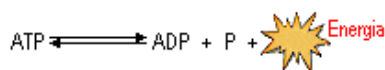
Esaminando più in dettaglio il funzionamento del motore biologico, si osserva che nelle cellule muscolari vi sono i **mitocondri**, che rappresentano una vera e propria fornace ove si realizzano le varie tappe del metabolismo ossidativo.



Mitocondrio

La molecola che penetra nella fornace è sempre la stessa e può derivare dal metabolismo dei grassi, delle proteine e degli zuccheri. Questi tre gruppi di sostanze vengono anche indicati come **substrato**. La *decisione di metabolizzare grassi, proteine o zuccheri è presa dalla cellula muscolare in base al tipo di attività fisica e alla disponibilità di substrato*. Ad esempio, nell'esercizio di resistenza (corsa lunga, passeggiata in montagna, ovvero dove interviene il meccanismo aerobico), le cellule muscolari scelgono come substrato principale i grassi.

Viceversa, nel lavoro di potenza esse scelgono gli zuccheri. Le cellule in effetti si servono di una miscela di substrati ove prevalgono ora i grassi ora gli zuccheri. La scelta delle proteine non è primaria, essa si verifica in due casi: come conseguenza del fatto che esiste notevole scarsità di zuccheri (ipoglicemia), in questo caso la cellula è costretta a distruggere proteine per formare zuccheri e distrugge in effetti tessuto proteico muscolare; nel secondo caso la cellula metabolizza proteine che provengono dal normale ricambio proteico. Bisogna infatti ricordare che le strutture proteiche sono sottoposte a carichi e manifestano "affaticamento meccanico" analogamente a quanto si verifica per le strutture di un aereo; le cellule provvedono quindi normalmente a distruggere le molecole proteiche parzialmente degradate e a sintetizzarne di nuove. In media il ricambio proteico è di 1g/kg al giorno, quindi in un soggetto di 70 kg il fabbisogno proteico giornaliero è di 70g. L'energia che si libera in alcune delle reazioni concatenate indicate sopra viene usata dalle cellule muscolari per la sintesi di un composto che contiene tre gruppi fosforici indicato come **ATP** (adenosin trifosfato) che è altamente energetico. Infatti, l'ATP una volta costituito, ha semplicità a cedere un gruppo fosforico liberando energia.



Questa reazione realizza nella cellula muscolare una modificazione della disposizione spaziale delle molecole fibrillari note come actina e miosina che si traduce in un accorciamento della cellula muscolare . L'accorciamento è temporaneo ed è seguito dal ritorno alla condizione di riposo (rilasciamento).

Fatica

La cellula muscolare manifesta il fenomeno della fatica che consiste nel fatto che malgrado venga stimolata non è più in grado di contrarsi; questo è ascrivibile ad una serie di fattori quali:

- *carezza di ATP*
- *carezza di substrato che serve alla resintesi di ATP*
- *acidosi da elevata concentrazione di acido lattico*
- *alterazione della concentrazione di ioni intracellulari (sodio, potassio, calcio)*
- *disidratazione*

E' importante ricordare che una volta generatisi, questi fattori non si rimuovono molto rapidamente. Sicuramente è necessario un tempo sufficientemente lungo da compromettere una prestazione agonistica. Il riposo rimuove questi fattori.

Rendimento

Quando si parla di un motore è utile esporre il concetto di rendimento, cioè il rapporto tra lavoro fatto ed energia totale spesa per compiere il lavoro. Il rendimento della cellula muscolare è piuttosto elevato, circa il 25%, paragonabile a quello di una dinamo e molto superiore rispetto a quello di un motore a scoppio. Tuttavia, il rendimento del muscolo durante l'esecuzione di un movimento complesso come la marcia e la corsa è sorprendentemente molto più elevato, raggiungendo il 55-60%. Questo si realizza per un'azione combinata tra muscolo e tendine nella particolare condizione in cui il muscolo si allunga durante la contrazione. Si pensa più facilmente all'accorciamento di un muscolo durante la contrazione, ma è molto frequente il caso in cui un muscolo si contrae e si allunga. Ad esempio scendete un gradino abbassando la gamba destra, se contemporaneamente collocate la mano sulla coscia sinistra potete individuare la contrazione del muscolo quadricipite; siccome il ginocchio di sinistra è in flessione questo significa che il muscolo quadricipite si contrae e si allunga. Analogamente, durante un passo di corsa, la fissazione della gamba in appoggio si realizza con una certa flessione del ginocchio e contrazione del quadricipite. La stessa gamba in appoggio sarà poi quella che fornisce la spinta la quale si concretizza con l'estensione della gamba determinata dalla contrazione del quadricipite. Pertanto il muscolo quadricipite rimane in contrazione nella fase di appoggio (contrazione-allungamento) e nella successiva fase di estensione (contrazione-accorciamento): **dal punto di vista meccanico, nella fase di contrazione-allungamento si immagazzina energia che si libera nella successiva fase di estensione.**

Questo meccanismo consente un notevole risparmio energetico in quanto la forza per l'estensione della gamba deriva da un recupero di energia e non da attività metabolica. La conseguenza fisiologica di questo meccanismo è il basso costo energetico della marcia e della corsa: circa 1 kcal per kg di massa per km percorso. Per una persona di 70 kg ci vogliono 70 kcal per fare 1 km e 700 kcal per fare 10 km. Nella maggior parte dei casi le persone non sono in grado di fare 10 km e questo non perché non hanno a disposizione nel loro organismo substrato sufficiente a fornire 700 kcal. Infatti il nostro organismo dispone di una scorta di circa 500g. di zucchero che liberano 2000 kcal, e qualche chilo di grassi, diciamo 10 kg, corrispondenti a ben 9000 kcal. Quindi sulla base della quantità di zuccheri e lipidi, ci sarebbe una disponibilità pronto uso di 11000 kcal, utili a coprire qualcosa come 157 km. L'incapacità a coprire 10 km (o molto meno) dipende principalmente dalla scarsa efficienza del sistema "trasporto-utilizzo" dell'ossigeno.