

## **N°13 FISIOLOGIA DEL SISTEMA MUSCOLARE**

I muscoli sono organi che, in seguito ad uno stimolo nervoso, si contraggono provocando il movimento delle ossa a cui sono collegati; i muscoli, in questo modo, riducono la loro lunghezza ed avvicinano le ossa alle quali sono inseriti mediante i tendini.

Si classificano in:

### **MUSCOLI LISCI**

I muscoli lisci (involontari) si contraggono in modo lento e ritmico e reagiscono in modo indipendente dalla volontà, regolando la funzionalità dei vari organi. Appartengono a questa categoria quelli delle arterie, dello stomaco, ecc.

### **MUSCOLI STRIATI**

I muscoli striati (volontari o scheletrici) si contraggono velocemente in base agli stimoli del sistema nervoso e sono quelli che usiamo volontariamente per effettuare gli atti motori.

### **MIOCARDIO**

Il muscolo del cuore è particolare: ha infatti la struttura striata dei muscoli scheletrici, ma la sua contrazione è involontaria.

Quindi, ai fini dei gesti motori, prenderemo in considerazione soltanto la muscolatura striata (detta anche scheletrica). Le fibre muscolari, tuttavia, non sono tutte uguali; distinguiamo infatti fibre bianche e rosse.

Le fibre bianche si contraggono velocemente ma per poco tempo.

Le fibre rosse hanno una minore velocità di contrazione, ma possono lavorare per molto tempo.

### **TIPI DI CONTRAZIONE**

**ISOMETRICA** = una contrazione nella quale i segmenti ossei non si spostano dalla posizione iniziale, mentre il tono muscolare aumenta considerevolmente.

Quindi saranno definiti esercizi isometrici tutte le azioni muscolari eseguite in controresistenza (usando un ostacolo o la semplice contrazione dei muscoli antagonisti).

**ISOTONICA** = una contrazione nella quale viene mantenuto lo stesso tono muscolare durante tutto il movimento, in pratica quando si eseguono esercizi a corpo libero senza vincoli, appoggi e soprattutto sovraccarichi.

Gli esercizi di tipo isotonico non hanno effetto allenante per quanto riguarda l'incremento della massa muscolare, mentre sono insostituibili per favorire il mantenimento di una buona tonicità generale e della scioltezza articolare; vengono quindi usati in tutte le fasi di riscaldamento che precedono un allenamento o una competizione.

**CONCENTRICA** = una contrazione nella quale la tensione muscolare è superiore alla resistenza, per cui il muscolo si accorcia, avvicinando i segmenti ossei sui quali si inserisce.

Ad esempio, se fletto l'avambraccio sul braccio portando un certo peso verso la spalla, si tratta di una contrazione concentrica del muscolo bicipite brachiale.

**ECCENTRICA** = una contrazione nella quale il carico supera la tensione muscolare, per cui il muscolo resiste ad un suo allungamento, mentre i segmenti ossei si allontanano.

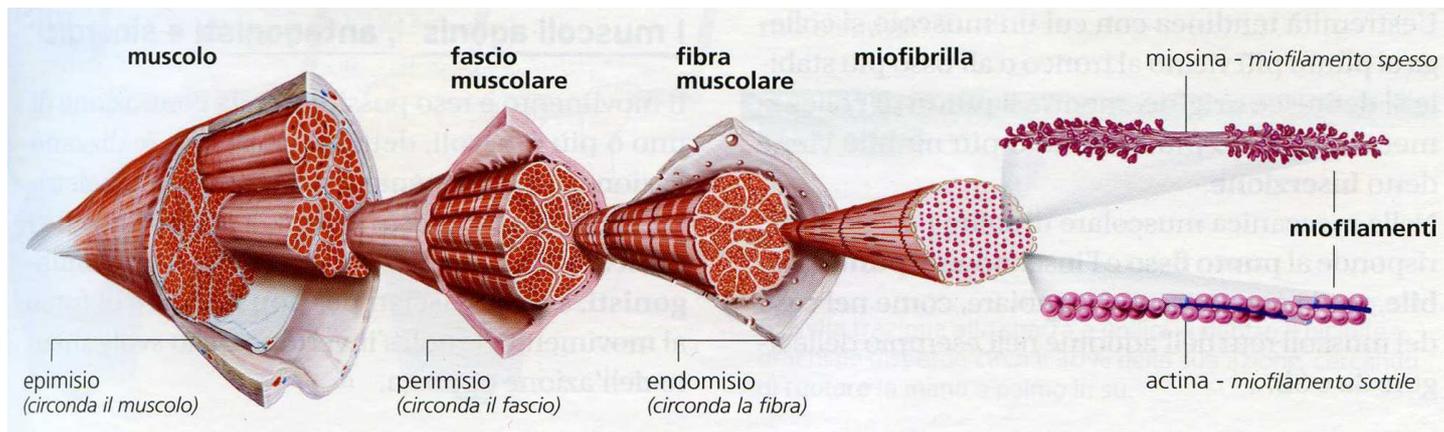
E' la condizione che si presenta in tutti quei movimenti di caduta controllata.

Nel solito esempio, se controllo la discesa del peso che si allontana dalla spalla, si tratta di una contrazione eccentrica del muscolo bicipite brachiale.

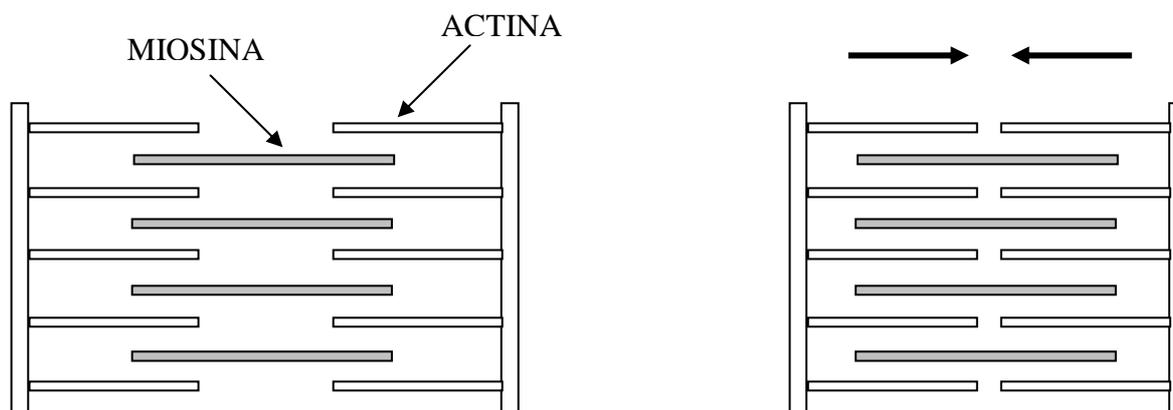
Per chiarire ulteriormente, prendiamo in considerazione il movimento di piegamento sugli arti inferiori: in fase di accosciata avremo una contrazione eccentrica del muscolo quadricipite, mentre in fase di sollevamento sarà sempre coinvolto il quadricipite, ma in contrazione concentrica.

## STRUTTURA E FUNZIONAMENTO

Il muscolo scheletrico è formato dall'unione di tanti fasci di fibre di forma allungata e affusolata che, mediante i tendini, si inseriscono sulle ossa.



Ogni fibra muscolare (*sarcomero*) è costituita da una membrana esterna che racchiude un liquido (*sarcoplasma*) nel quale sono immerse particolari strutture proteiche chiamate *miofibrille*. Nel sarcoplasma sono inoltre presenti innumerevoli corpuscoli (*mitocondri*) che, come microscopici laboratori, trasformano l'energia chimica in energia meccanica. Sempre nel sarcoplasma è presente un pigmento rosso chiamato *mioglobina*, che ha la particolarità di catturare l'ossigeno presente nel sangue e di cederlo quando abbisogna alla fibra muscolare. Le *miofibrille* sono la parte più importante del muscolo, perché è grazie a loro che avviene la contrazione muscolare e quindi il movimento.



Viste al microscopio elettronico le miofibrille si presentano formate da innumerevoli filamenti disposti con perfetta regolarità e costituiti da due sostanze proteiche, l'*actina* e la *miosina*. Proprio per l'alternarsi di questi filamenti il muscolo scheletrico presenta striature in senso trasversale, con fasce più chiare alternate a fasce più scure: nelle fasce scure sono sovrapposti

sia i filamenti di actina che di miosina, mentre in quelle più chiare si trovano solamente filamenti di actina.

I filamenti di miosina sono collegati a quelli di actina da ponti mobili che formano una specie di dentellatura. Quando il muscolo deve compiere un lavoro, questi ponti si staccano e vanno a riattaccarsi velocemente in posizioni più avanzate, facendo quindi ingranare i filamenti di actina e miosina; il risultato è un accorciamento di tutta la fibra muscolare e viene definita *contrazione*. (Vedere figura sopra)

L'energia necessaria a far staccare e riattaccare questi ponti è ceduta da una sostanza particolare chiamata ATP (*acido adenosintrifosforico*).

L'ATP è presente in piccole quantità nei muscoli, ma può cedere costantemente energia grazie al suo continuo riformarsi. Questo è possibile perché dopo aver ceduto ai muscoli l'energia necessaria a compiere la contrazione, l'ATP lascia il posto a una sostanza, chiamata ADP (*acido adenosindifosforico*), che, a sua volta, riacquista velocemente energia diventando ATP.

La necessaria e continua trasformazione di ADP in ATP viene chiamata ricarica dell'ATP; per verificarsi, ha bisogno di sfruttare una fonte di energia che può essere ottenuta in due modi:

- con l'aiuto dell'ossigeno (**processo aerobico**)
- senza l'aiuto dell'ossigeno (**processo anaerobico**)

## PROCESSO AEROBICO

Il meccanismo ossidativo è il processo attraverso il quale la cellula degrada i substrati (glucidi, grassi e proteine) in presenza di ossigeno.

Si tratta della respirazione cellulare ed avviene nella cellula muscolare, in particolari organi, detti mitocondri, di cui il muscolo è molto ricco.

Attraverso numerose e complesse reazioni e interventi di enzimi, la molecola di ossigeno O<sub>2</sub> brucia i substrati producendo acqua, anidride carbonica e l'ATP necessario alla contrazione.

Il risultato di queste reazioni è che da una molecola di glucosio si riescono a risintetizzare 38 molecole di ATP mentre con il meccanismo anaerobico lattacido se ne risintetizzano solo 2!

È chiaro che esiste un rovescio della medaglia: a fronte di una capacità elevatissima (un'attività aerobica si potrebbe, in teoria, protrarre per giorni), la potenza che questo sistema riesce a sviluppare è la più ridotta dei tre sistemi.

Può essere paragonato a un'auto di piccola cilindrata, che va piano ma consuma poco e possiede un'autonomia di parecchi chilometri.

Tutte le attività che si prolungano nel tempo utilizzano in maniera predominante questo meccanismo e vengono denominate attività di "fondo".

Nei muscoli sono presenti zuccheri (glicogeno) e all'occorrenza vi arrivano acidi grassi; quando queste sostanze vengono a contatto con l'ossigeno trasportato dal sangue, bruciano, producendo l'energia necessaria per trasformare l'ADP in ATP e lasciando come prodotto di rifiuto anidride carbonica e acqua.

*(ZUCCHERO o GRASSI) + OSSIGENO = ENERGIA + ANIDRIDE CARBONICA + ACQUA*

*ADP + ENERGIA = ATP*

Questo processo è molto redditizio; infatti gli zuccheri e i grassi bruciando sfruttano tutta l'energia in loro possesso, e le sostanze che rimangono (anidride carbonica e acqua) sono velocemente eliminate tramite il sangue di ritorno dai muscoli.

Tutto questo meccanismo dipende dalla quantità di ossigeno che arriva ai muscoli: se il movimento delle fibre muscolari non è molto intenso, è sufficiente questa combustione tra zuccheri o grassi e ossigeno per rendere possibile la contrazione.

Per esempio, un atleta ben allenato che esegue le corse di resistenza, se mantiene sempre un ritmo lento e costante corre quasi esclusivamente sfruttando l'ossigeno che respira e questo per molte ore senza eccessiva fatica. Quando però i muscoli sono sottoposti a sforzi intensi e rapidi, le fibre muscolari sfruttano una notevole quantità di ATP destinato a divenire ADP; di conseguenza l'ossigeno assimilato con la respirazione non basta a trasformare velocemente l'elevata quantità di ADP in nuovo ATP.

È a questo punto che entra in funzione il secondo meccanismo per produrre energia.

## **PROCESSO ANAEROBICO**

Il processo anaerobico può essere a sua volta di due tipi: *alattacido* e *lattacido*.

### **Processo anaerobico alattacido**

È il meccanismo che permette la più veloce e semplice via per ripristinare le molecole di ATP. Viene chiamato anche sistema ATP-PC; si basa, infatti, sull'utilizzo del PC (creatinfosfato o fosfocreatina), che è una molecola altamente energetica presente nella miofibrilla. Analogamente all'ATP, il PC libera una grande quantità di energia cedendo la propria molecola di fosfato.

La molecola di fosfato si lega all'ADP riformando così ATP.

Tutte queste reazioni avvengono in assenza di ossigeno grazie a particolari enzimi che permettono di velocizzare le singole reazioni.

Una volta esaurita, per esempio dopo uno sprint, la riserva di PC viene ripristinata in circa tre minuti (il 50% in 30 secondi).

Il sistema ATP-PC è il meccanismo usato per la fornitura di ATP (senza la produzione di acido lattico: durante attività di alta intensità e breve durata (salti, lanci, tuffi ecc.).

Fino a poco tempo fa si pensava che fosse responsabile di oltre il 90% della fornitura di ATP durante la corsa dei 100 metri; ora si stima che solo il 25% del ripristino sia a carico di questo meccanismo, mentre il 75% è a carico del meccanismo anaerobico lattacido.

Il sistema ATP-PC rappresenta la fonte di ATP più rapidamente disponibile per l'utilizzo da parte dei muscoli.

È un meccanismo di grande potenza (fornisce cioè grandi quantità di energia nell'unità di tempo), ma di scarsa capacità (esaurisce nel giro di pochi secondi le proprie riserve: dopo 5,5 secondi si esaurisce l'88% di PC).

Facendo, come sopra, un paragone automobilistico, è come un dragster, che sprigiona grande energia ma svuota in breve tempo il suo serbatoio di benzina.

### **Processo anaerobico lattacido**

Con questo meccanismo viene risintetizzato ATP all'interno del muscolo attraverso la demolizione parziale del glucosio in assenza di ossigeno.

Questo processo, chiamato *glicolisi*, utilizza quindi solo le scorte di carboidrati che nell'organismo si trovano sotto forma di glucosio nel sangue e di glicogeno nei muscoli e nel fegato.

Glucosio e glicogeno, per mezzo di una serie di reazioni accelerate da enzimi, vengono demoliti fino a produrre acido lattico, da cui il termine di meccanismo *lattacido*.

Anche questo meccanismo possiede un'elevata potenza, accoppiata però a una capacità decisamente superiore rispetto al meccanismo anaerobico alattacido.

Dunque il meccanismo anaerobico lattacido può essere paragonato ad un'auto sportiva, di potenza inferiore al dragster, ma dotata di un serbatoio capiente che, se pieno di benzina, garantisce una prolungata autonomia.

Il meccanismo della glicolisi, infatti, permette di mantenere la massima potenza per un periodo di tempo compreso tra 1 e 3 minuti. Il fattore limitante di questo meccanismo è l'acido lattico che, quando si accumula nei muscoli, in seguito a esercizi estremamente intensi, causa fatica muscolare che rende difficoltosa la contrazione.

GLICOGENO → GLUCOSIO → ATP + ACIDO LATTICO

## L'acido lattico

E' bene fare un po' di chiarezza su questa sostanza, alla quale spesso si attribuisce impropriamente ogni forma di dolore muscolare derivante da un'attività motoria intensa.

Il prodotto finale della glicolisi è l'*acido lattico* e comunemente si attribuisce a questo prodotto la causa di vari malesseri: la nausea, il senso di vomito che si provano al termine di una gara come i 400 m, i dolori muscolari risentiti dopo una seduta d'allenamento un po' intensa o la fatica nel riprendere un'attività dopo molto tempo.

In realtà l'acido lattico nel sangue si presenta scisso in due ioni: lo *ione lattato* (LA-) e lo ione idrogeno (H+).

Maggiore è il LA- prodotto e maggiori saranno anche le quantità di H+.

Sono proprio le alte concentrazioni di H+ che si raggiungono con esercitazioni di elevata intensità a indurre acidità nelle cellule muscolari e a causare la sensazione di fatica.

Esiste quindi una relazione diretta tra acidità e lattato.

Il lattato viene prodotto già a partire da basse intensità di esercizio; i globuli rossi, per esempio, lo formano continuamente anche in condizioni di completo riposo.

Il corpo umano possiede dei sistemi di difesa per proteggersi dall'acido lattico e può riconvertirlo in glucosio grazie all'attività del fegato (ciclo di Cori).

Il cuore è invece in grado di metabolizzare l'acido lattico a scopo energetico.

Da queste affermazioni si deduce come l'acido lattico, seppur tossico, non sia un vero e proprio prodotto di rifiuto.

Nel muscolo sotto sforzo la produzione di acido lattico è massiccia soprattutto nelle fibre veloci o pallide che hanno un potere glicolitico anaerobico superiore a quelle rosse o resistenti.

Alla stessa intensità di esercizio, la quantità di acido lattico prodotta è inversamente proporzionale al grado di allenamento del soggetto. Ciò significa che se un atleta ed un sedentario corrono alla stessa velocità, quest'ultimo produce molto più acido lattico rispetto al primo e lo smaltisce con maggiori difficoltà.

L'acido lattico inizia ad accumularsi nei muscoli e nel sangue quando la velocità di sintesi supera la velocità di smaltimento. Approssimativamente, tale condizione si innesca quando durante un esercizio fisico intenso la frequenza cardiaca supera l'80% (per i non allenati) ed il 90% (per i più allenati) della frequenza cardiaca massima.

L'acido lattico viene smaltito nel giro di 2 o 3 ore, e la sua quantità si dimezza ogni 15-30 minuti a seconda dell'allenamento e della quantità di acido lattico prodotto.

Contrariamente a quanto spesso si afferma, l'acido lattico non è il responsabile del dolore muscolare avvertito il giorno seguente ad un allenamento molto intenso.

Questo dolore è causato da microlacerazioni muscolari che originano processi infiammatori; inoltre vi è un incremento delle attività ematiche e linfatiche che aumentano la sensibilità nelle zone muscolari maggiormente sollecitate.

L'acido lattico rappresenta un forte stimolo per la secrezione di ormoni anabolici come il GH ed il testosterone. Per questo motivo esercizi con i pesi ad elevata intensità, intervallati da pause non troppo lunghe, massimizzano il guadagno di massa muscolare.

In campo sportivo, soprattutto nelle discipline di resistenza, conoscere il livello di lattato prodotto è di estrema importanza per l'allenamento perché permette all'allenatore di calibrare con precisione l'intensità dell'allenamento di un atleta.

È un parametro, detto "soglia anaerobica", che varia da atleta ad atleta.

L'obiettivo è scoprire qual è la massima velocità (di corsa per un maratoneta, di voga per un canottiere), mantenibile dall'atleta, in cui il lattato prodotto dai muscoli e quello nel sangue siano in equilibrio.

Quando l'intensità è eccessiva infatti il lattato nel sangue aumenta e costringe l'atleta a interrompere la prova o a ridurre drasticamente la velocità.

Questo livello di "soglia anaerobica" può essere identificato sia per via indiretta, utilizzando test specifici detti "da campo" e rilevando la frequenza cardiaca (uno dei più utilizzati è il test *Conconi*), sia per via diretta, misurando il lattato prodotto con micro-prelievi di sangue (di solito al lobo dell'orecchio) e con l'ausilio di un'apparecchiatura d'analisi portatile. Ovviamente il secondo sistema è più preciso, ma è riservato esclusivamente agli atleti d'élite.