

## Le fibre muscolari e la contrazione muscolare al microscopio

Tutti i muscoli striati sono costituiti da cellule allungate che vengono chiamate **fibre muscolari**.

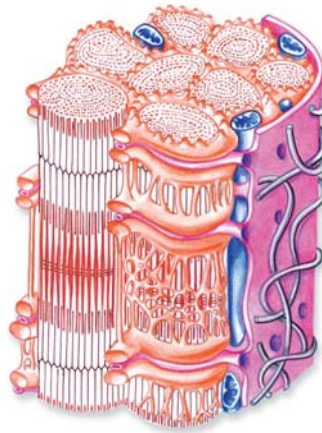
Le fibre muscolari sono cellule dotate di molti nuclei, disposti subito sotto alla membrana cellulare (che viene chiamata *sarcolemma*), perché il citoplasma è quasi totalmente occupato dalle **miofibrille** contrattili, strutture proteiche fibrose allungate, del diametro di 1-2 micron, costituite, a loro volta, da molti **miofilamenti**. Distinguiamo due tipi di miofilamenti: filamenti di **miosina**, più spessi, e di **actina**, sottili.

Questi filamenti proteici, durante la contrazione muscolare, scorrono gli uni sugli altri e, sovrapponendosi, determinano l'accorciamento delle miofibrille e, di conseguenza, della fibra muscolare. Quindi alla base della contrazione muscolare vi è lo scorrimento dei filamenti di actina su quelli di miosina.

Un ruolo importante per la contrazione muscolare è svolto, inoltre, dal **reticolo sarcoplasmatico** (un organulo citoplasmatico corrispondente al reticolo endoplasmatico delle cellule degli altri tessuti), che avvolge con la sua rete di tubuli e cisterne le miofibrille, penetrando al loro interno.

### Le unità funzionali del muscolo scheletrico

I miofilamenti di actina e miosina, che costituiscono le miofibrille, presentano una disposizione particolare, responsabile dell'immagine striata delle fibre muscolari scheletriche. Esaminando una sezione longitudinale delle miofibrille, possiamo notare, al microscopio a luce polarizzata, l'alternarsi di bande scure o **bande A** (Anisotrope) e **bande I** (Isotrope) più chiare; le bande I sono divise a metà da una linea scura, la linea o **stria Z**, mentre una banda più chiara, **banda H**, divide a metà la banda scura A. Il tratto di miofibrilla compreso tra due linee Z è detto **sarcomero**; una miofibrilla risulterà perciò costituita da una successione di sarcomeri.

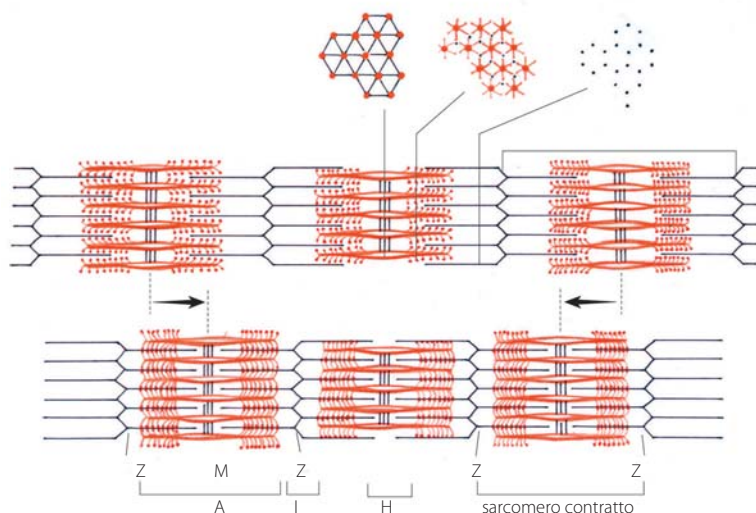


Struttura della fibra muscolare: nella figura sono messi in evidenza il reticolo sarcoplasmatico e le sue diramazioni, che consentono di propagare rapidamente a tutte le miofibrille lo stimolo eccitatorio e liberare gli ioni calcio che innescano la contrazione "sbloccando" i ponti di miosina che fanno scorrere i filamenti di actina

Il sarcomero è l'unità funzionale elementare della miofibrilla e, di conseguenza, del muscolo scheletrico.

Al microscopio elettronico possiamo vedere come sono disposti i miofilamenti all'interno del sarcomero: i filamenti spessi (di miosina) sono disposti parallelamente tra loro, nella porzione centrale del sarcomero (banda A); i filamenti sottili (di actina) decorrono tra quelli spessi (ogni filamento spesso è circondato da 6 sottili) e si ancorano con una estremità alla linea Z. La banda I è costituita solo da filamenti sottili; la banda H solo da filamenti spessi

(poiché i filamenti sottili nel muscolo a riposo non raggiungono il centro del sarcomero); nella banda A, infine, si ha la sovrapposizione dei filamenti spessi e sottili. La miosina presenta dei prolungamenti (teste) che formano dei **ponti trasversali** che la collegano ai filamenti di actina. A livello di questi ponti trasversali hanno luogo le reazioni biochimiche che permettono lo scorrimento dei filamenti di actina su quelli di miosina; si ritrova qui, infatti, un enzima, l'ATPasi, che scinde l'ATP, liberando l'energia necessaria per avviare questo processo.



Durante la contrazione muscolare, i filamenti di actina scorrono su quelli di miosina, penetrando fino al centro della banda A; le linee Z cui sono ancorati i filamenti di actina tendono ad avvicinarsi al centro del sarcomero, che può così accorciarsi. La banda H scompare mentre diminuisce anche lo spessore della banda I.

## Le fibre muscolari e la contrazione muscolare al microscopio

Legate ai filamenti di actina vi sono altre due sostanze, la **troponina** e la **tropomiosina**, che, in *assenza di calcio*, impediscono lo scorrimento dei filamenti di actina su quelli di miosina.

La contrazione muscolare è perciò possibile solo in presenza di **ioni calcio ( $\text{Ca}^{++}$ )**, che bloccano la troponina e la tropomiosina, permettendo così lo scorrimento dei miofilamenti.

### L'eccitazione e la contrazione del muscolo

La contrazione del muscolo avviene in seguito all'arrivo di impulsi nervosi alle fibre muscolari striate. L'impulso nervoso che arriva alla placca neuromuscolare provoca la liberazione di **acetilcolina**, che raggiunge la membrana della fibra muscolare (il sarcolemma) e ne provoca l'eccitazione (depolarizzazione: vedi sistema nervoso), modificando temporaneamente la sua permeabilità agli **ioni sodio ( $\text{Na}^{++}$ )**.

All'eccitazione segue la contrazione della fibra muscolare, mentre l'acetilcolina viene distrutta da un enzima (**acetilcolinesterasi**) e il sarcolemma ritorna allo stato di riposo, pronto per una nuova eccitazione.

L'eccitazione della membrana sarcoplasmatica si propaga all'interno della fibra, raggiungendo tutti gli elementi contrattili (le miofibrille); a questo livello si liberano dal reticolo sarcoplasmatico ioni  $\text{Ca}^{++}$  che attivano il meccanismo della contrazione muscolare.

Il reticolo sarcoplasmatico e il sistema T o dei tubuli trasversali sono le strutture alla base della propagazione dell'eccitazione all'interno della fibra muscolare e della conseguente attivazione della contrazione.

Il **sistema T** è costituito da un insieme di tubuli (due per sarcomero), trasversali rispetto all'asse delle miofibrille, che, partendo dal sarcolemma (del quale costituiscono delle sottili e allungate ripiegature, sottili canali che si portano tra le miofibrille, nella profondità della fibra muscolare), si portano nella profondità della cellula a circondare le miofibrille, a livello della giunzione tra bande A e I.

I tubuli del sistema T permettono la trasmissione dell'eccitazione nella profondità della fibra, dove scorrono tra due dilatazioni, anch'esse trasversali, del reticolo sarcoplasmatico.

Il **reticolo sarcoplasmatico** è costituito da una serie di tubuli appiattiti, longitudinali, che presentano a intervalli regolari (sempre tra la banda A e la banda I) dilatazioni o cisterne trasversali; esso circonda a manicotto ciascuna miofibrilla; nei suoi tubuli longitudinali è immagazzinato il calcio, che viene liberato quando l'eccitazione si è propagata lungo i tubuli T. Il calcio raggiunge la troponina e la tropomiosina e, bloccando la loro azione inibitoria, attiva la contrazione muscolare. Al termine della contrazione, infine, il calcio ritorna nei tubuli sarcoplasmatici.

Ricapitolando:

- 1) l'impulso nervoso raggiunge la placca neuromotrice;
- 2) si libera acetilcolina che
- 3) raggiunge il sarcolemma e lo eccita, modificandone la permeabilità agli ioni sodio (depolarizzazione);
- 4) attraverso il sistema T, l'eccitazione (la depolarizzazione) raggiunge tutte le miofibrille e il reticolo sarcoplasmatico che le avvolge;
- 5) dai tubuli longitudinali del reticolo sarcoplasmatico si liberano ioni calcio;
- 6) questi raggiungono i filamenti sottili di actina e bloccano le proteine inibitrici, troponina e tropomiosina;
- 7) l'actina può così scorrere lungo i filamenti di miosina, legandosi ai suoi ponti trasversali a livello dei quali l'enzima ATPasi, scindendo l'ATP in ADP+fosfato, libera l'energia necessaria allo scorrimento;
- 8) i sarcomeri si accorciano;
- 9) per cui si accorciano le miofibrille e, di conseguenza, le fibre muscolari: il muscolo si contrae;
- 10) nel frattempo termina l'eccitazione (ripolarizzazione del sarcolemma);
- 11) il calcio torna nel reticolo sarcoplasmatico;
- 12) troponina e tropomiosina impediscono lo stabilirsi dei legami actina-miosina, perché bloccano l'ATPasi dei ponti trasversali della miosina e quindi la liberazione dell'energia necessaria allo scorrimento dei filamenti;
- 13) il muscolo si rilascia.