

UNIVERSITA G.D'ANNUNZIO

CORSO DI LAUREA IN PSICOLOGIA AA 2013-2014

FISIOLOGIA DEL MUSCOLO

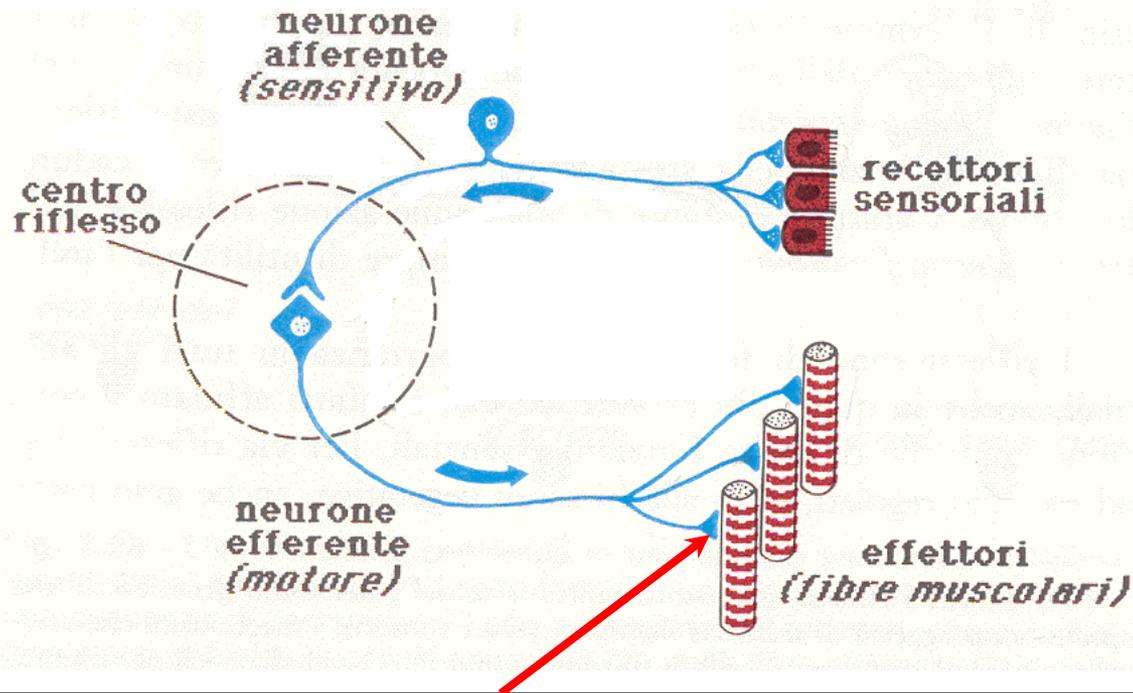
Dott.ssa Maria Impicciatore

Cultore della Materia (Fisiologia)

Odontoiatra

Master in posturologia univ. La Sapienza

Un muscolo è un organo effettore che, se opportunamente stimolato da una terminazione nervosa è in grado di contrarsi e quindi di compiere un lavoro



Il neurotrasmettitore liberato dal motoneurone è l'*acetilcolina*.

L'acetilcolina si lega ai *recettori nicotinici* (recettori-canale) presenti sulla membrana delle fibrocellule muscolari, la cui apertura provoca un potenziale post-sinaptico eccitatorio (*potenziale di placca*)

Il muscolo è un organo effettore che, se opportunamente stimolato da una terminazione nervosa, è in grado di contrarsi e quindi di compiere un lavoro

Tutte le funzioni fisiche del nostro corpo implicano un'attività muscolare

Tutti i muscoli hanno delle caratteristiche in comune prima fra tutte la capacità contrattile

A seconda però delle funzioni che sono chiamati a svolgere, mostrano delle peculiarità

In base a ciò possiamo fare una distinzione tra

MUSCOLATURA SCHELETRICA

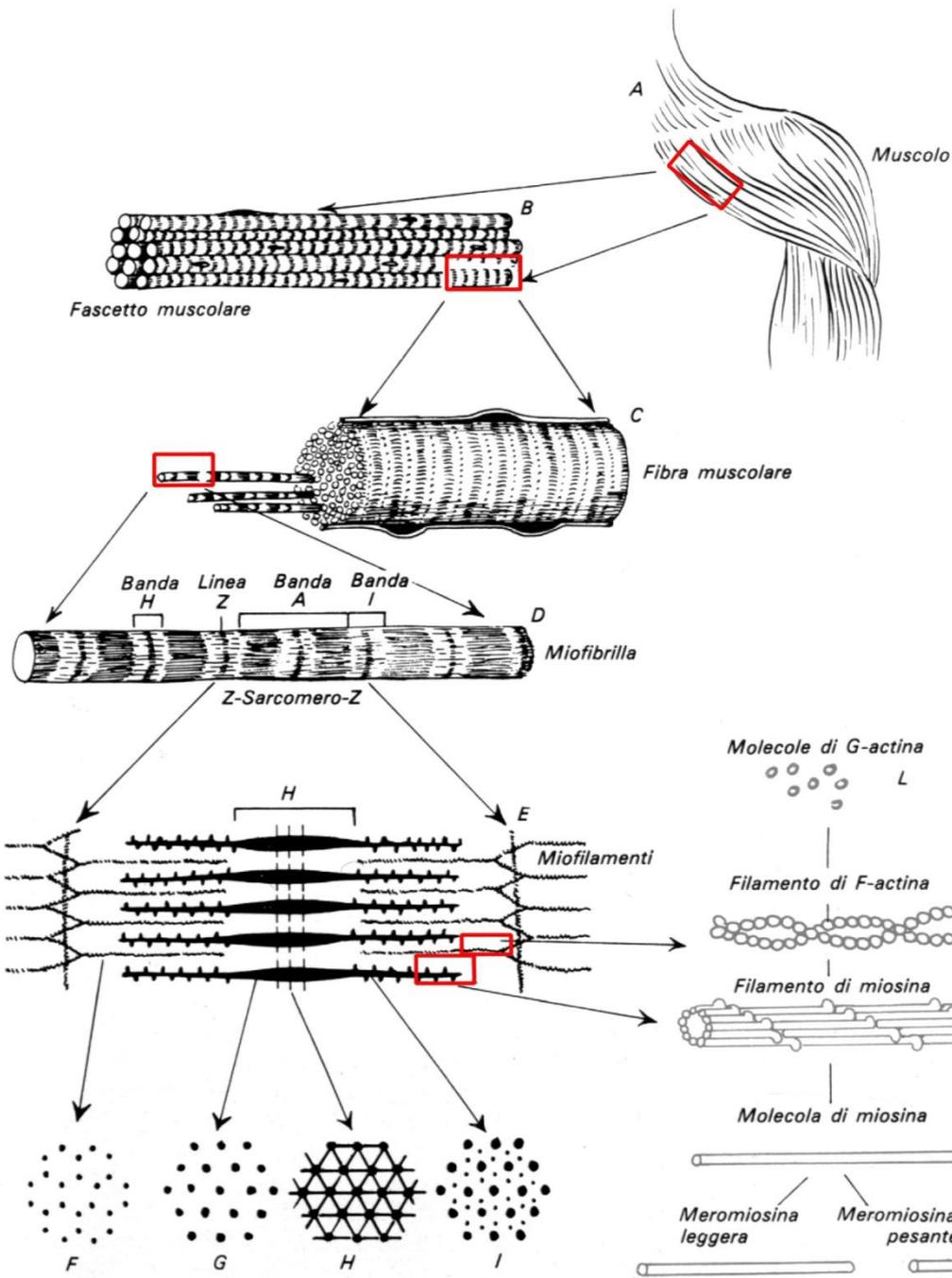
MUSCOLATURA CARDIACA

MUSCOLATURA LISCIA

IL MUSCOLO SCHELETRICO

I muscoli scheletrici sono quelli che, inserendosi attraverso i tendini alle estremità ossee, consentono i movimenti dello scheletro e quindi del corpo nello spazio

Si contraggono per effetto di impulsi provenienti dal Sistema Nervoso Centrale

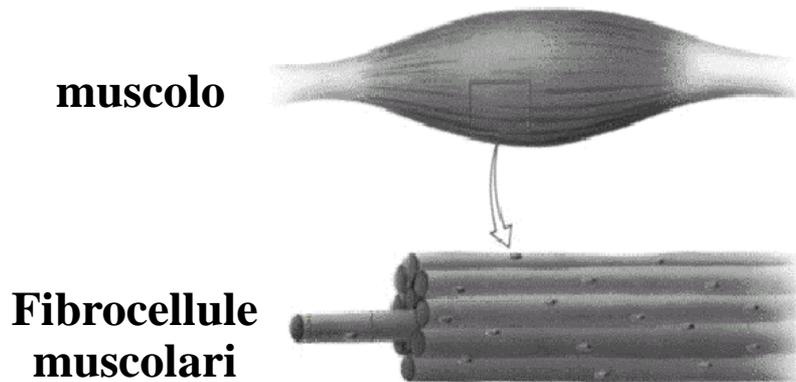


Il corpo muscolare è formato da migliaia di FIBRE MUSCOLARI

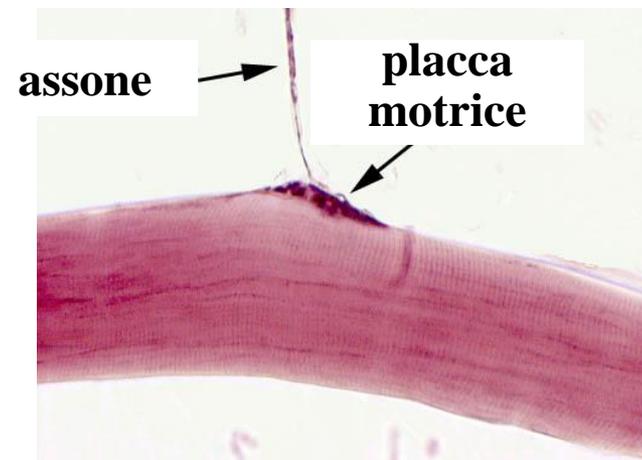
Ogni fibra muscolare è formata da migliaia di MIOFIBRILLE

Ogni miofibrilla è costituita da parecchi MIOFILAMENTI di ACTINA e MIOSINA

Un *muscolo* scheletrico e' costituito da tante *fibre (o fibrocellule) muscolari* disposte in parallelo.

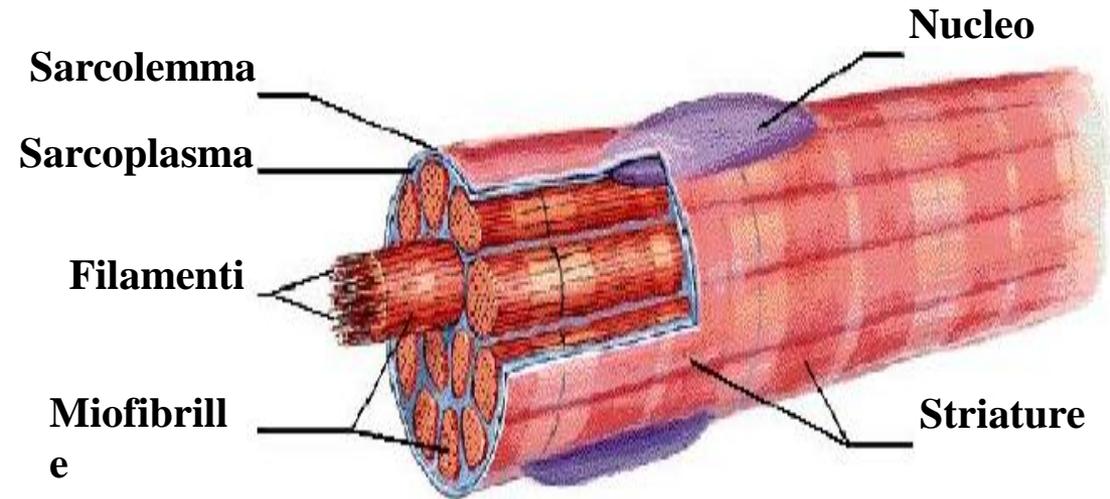


Ciascuna fibra (o fibrocellula) muscolare costituisce una unità cellulare

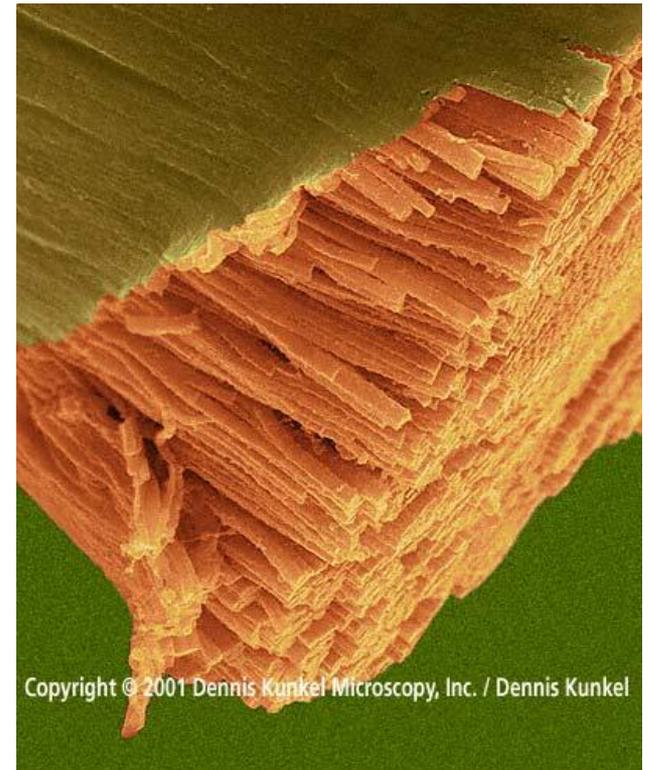


Ciascuna fibra muscolare e' innervata da un motoneurone (*placca neuromuscolare*)

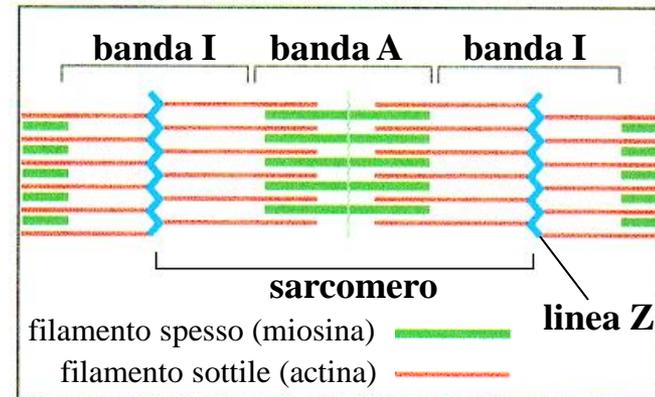
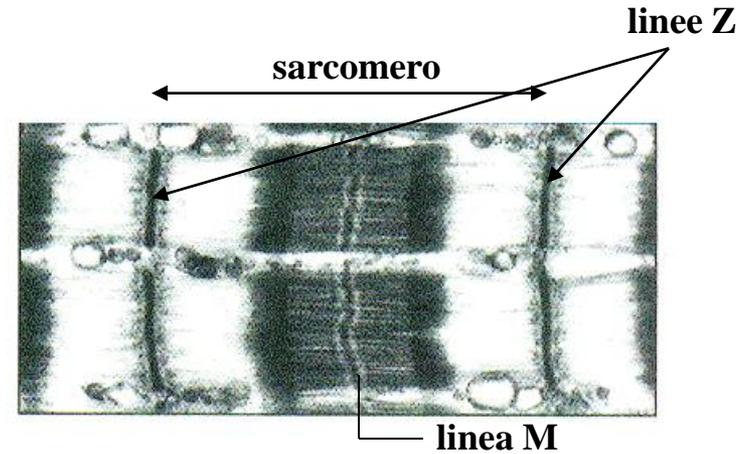
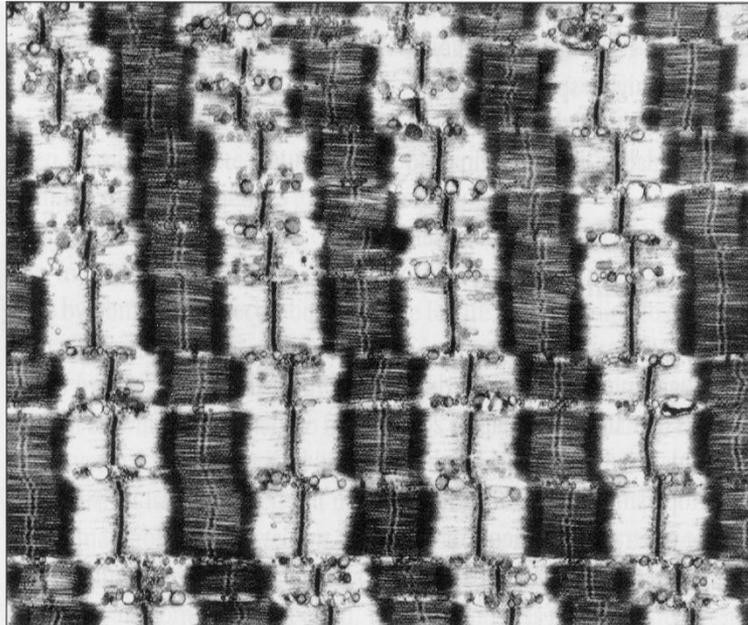
Una **fibra o fibrocellula muscolare** e' a sua volta costituita da tante *miofibrille* disposte in parallelo



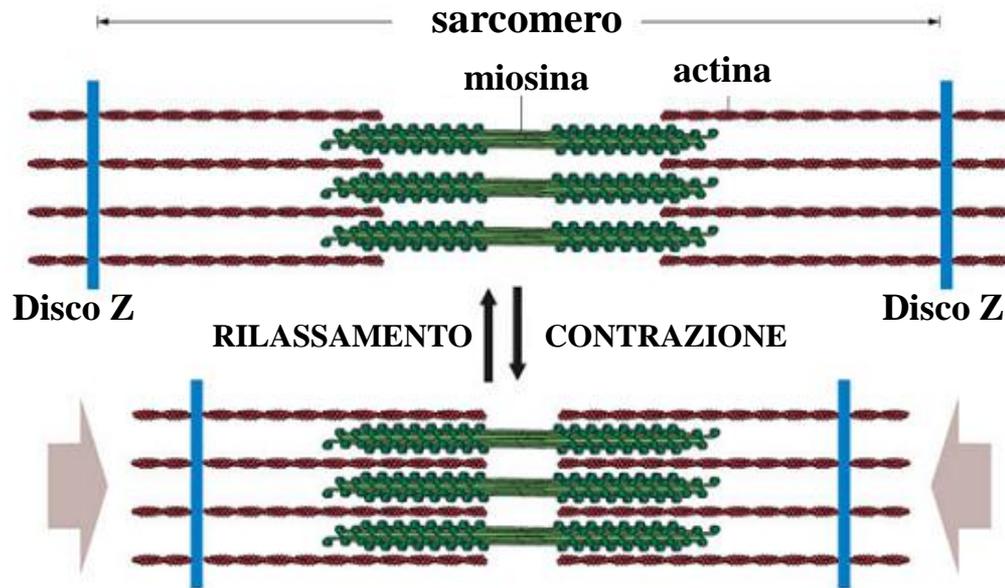
Qui viene mostrata una fibrocellula muscolare scheletrica con esposte le miofibrille costituite da filamenti intracellulari di actina e miosina. (x 600)



La muscolatura scheletrica è una muscolatura STRIATA per il suo aspetto microscopico caratterizzato da tante striature di zone chiare e scure che si alternano. l'aspetto striato è dovuto alla particolare organizzazione dei miofilamenti di actina e miosina



Durante la contrazione muscolare la **miosina** si lega all'**actina** reversibilmente



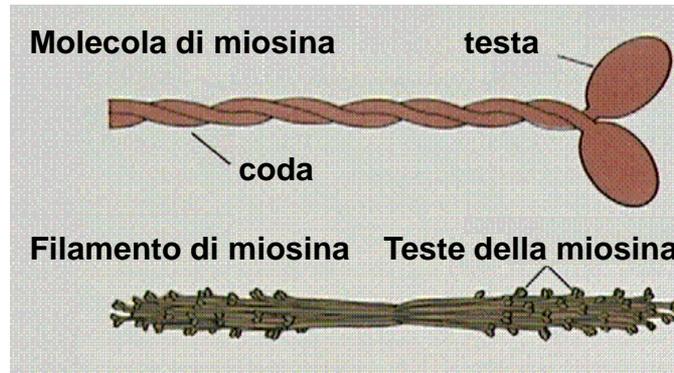
Durante la contrazione i filamenti di actina e miosina scorrono gli uni sugli altri. I filamenti di actina opposti si avvicinano. Il sarcomero si accorcia.

Il sarcomero è l'unità contrattile del muscolo.

È la porzione di miofilamenti compresa tra due dischi Z

Ultrastruttura dei miofilamenti

Filamenti spessi (miosina)



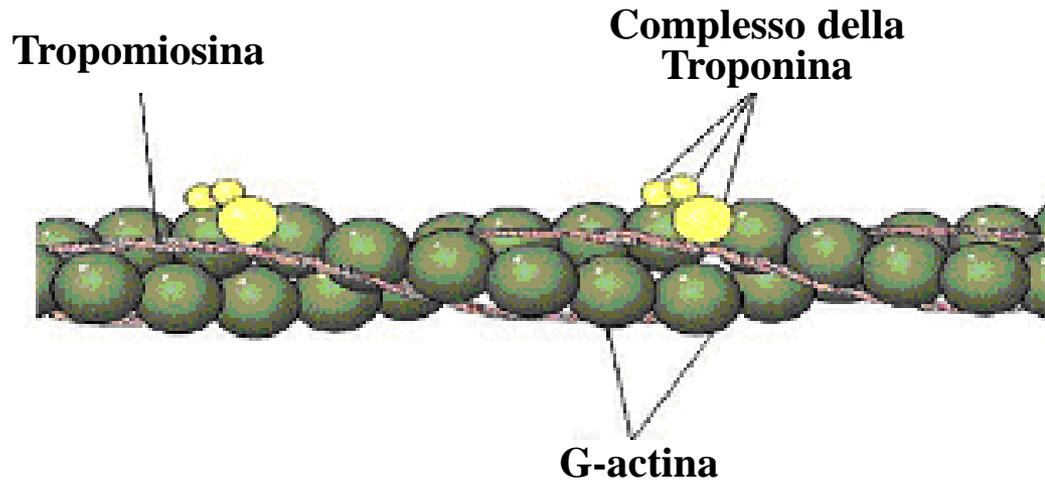
Ciascun filamento e' costituito da 2 catene polipeptidiche ad α -elica
Ciascuna catena comprende:

- una **coda** (**meromiosina leggera**)
- una **testa** e un **collo** (**meromiosina pesante**)

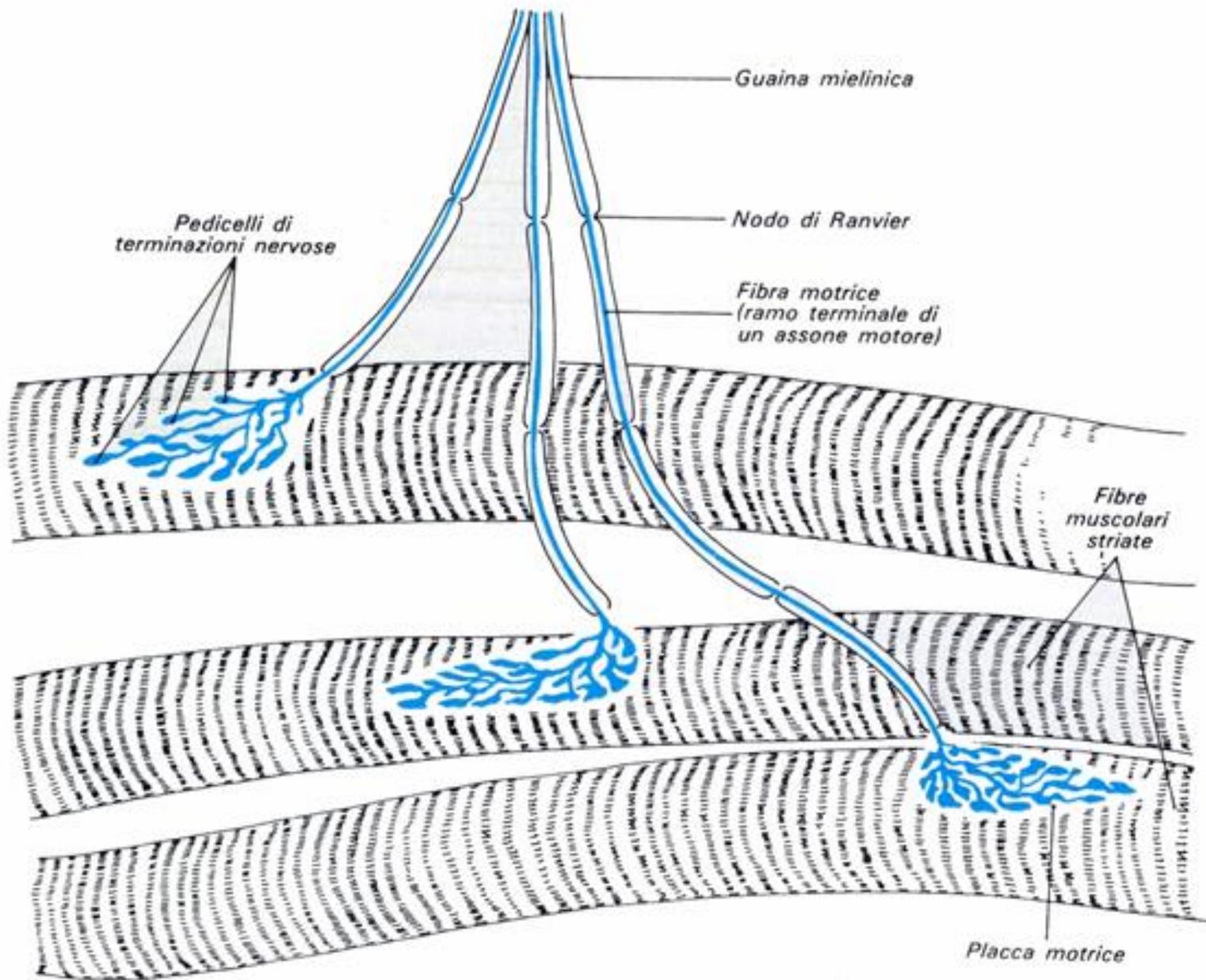
Piu' filamenti di miosina si aggregano a formare un fascio bipolare in cui le teste sono sfasate tra di loro di alcuni nm

Ultrastruttura dei miofilamenti

Filamenti sottili (actina)



- 2 filamenti ad elica (*F-actina*) costituiti da unita' globulari in serie (*G-actina*)
- 2 filamenti di *tropomiosina*
- complessi globulari di *troponina*



Disegno schematico illustrante la struttura della placca motrice o sinapsi neuro-muscolare.

L'impulso alla contrazione della muscolatura scheletrica proviene dal sistema nervoso centrale attraverso i nervi spinali

Ogni nervo si dirama in terminazioni ognuna delle quali raggiunge una fibra muscolare

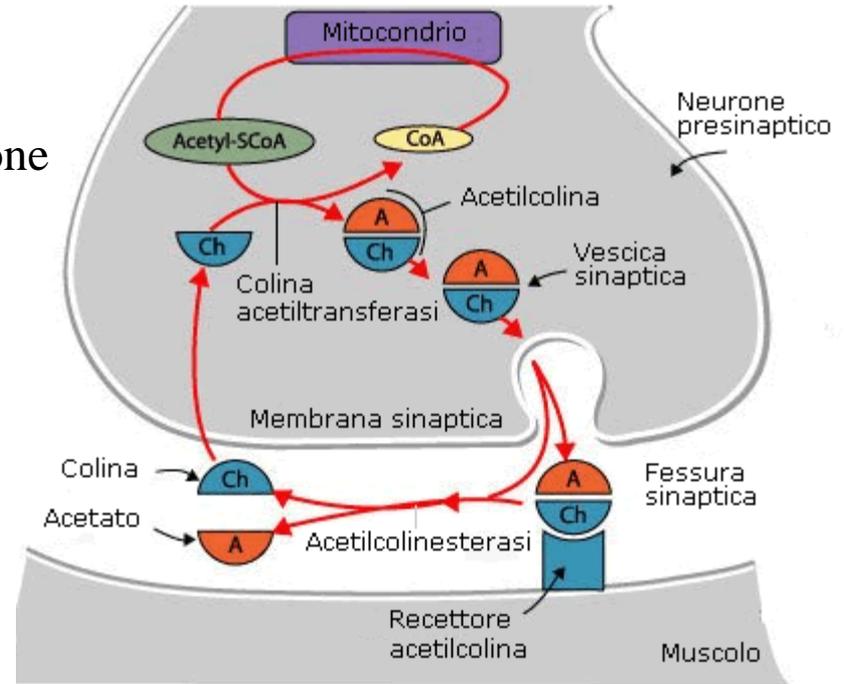
Si definisce UNITA' MOTORIA l'insieme del nervo e di tutte le fibre muscolari da esso innervate

quindi:ogni fibra muscolare riceve in genere l'innervazione da un'unica fibra nervosa al contrario ogni nervo raggiunge più fibre muscolari (unità motoria)

In prossimità della fibra muscolare la terminazione nervosa si sfiocca in tanti rami che terminano con delle dilatazioni.la terminazione nervosa e le sue diramazioni prendono il nome di PLACCA MOTRICE

La giunzione tra la terminazione nervosa e la fibra muscolare viene invece definita GIUNZIONE NEURO MUSCOLARE

Quando un impulso nervoso raggiunge la giunzione neuro muscolare accade che parecchie vescicole presenti nella terminazione nervosa e contenenti ACETILCOLINA si liberano nella fessura sinaptica che è l'area compresa tra la membrana nervosa e quella muscolare



L'acetilcolina si lega a recettori specifici
Posti sulla membrana muscolare

questo legame provoca a sua volta un'apertura dei canali per il sodio (Na) che entrano nella fibra muscolare

l'ingresso dell'Na modifica la carica elettrica all'interno della fibra

questo genera l'insorgenza di un impulso che si propaga a tutta la fibra muscolare determinandone la contrazione

Quasi immediatamente dopo aver stimolato la fibra muscolare l'acetilcolina viene scissa da un'enzima, la colinesterasi, in acetile e colina e la membrana muscolare è pronta a ricevere un nuovo stimolo quando un nuovo impulso arriva

Trasmissione neuromuscolare

■ Giunzione o placca neuromuscolare:

è la sinapsi tra il terminale pre-sinaptico del motoneurone alfa (controlla la contrazione muscolare) e una zona specializzata con molte pliche della fibra muscolare (membrana post-sinaptica)

■ **Fasi:** arrivo del potenziale d'azione (bottono pre-sinaptico), apertura di canali potenziale-dipendenti del Ca^{++} , entrata di Ca^{++} , migrazione di vescicole di acetilcolina (ACh) verso la membrana pre-sinaptica (neurone), esocitosi dell'ACh nella sinapsi, ricezione dell'ACh sulla membrana post-sinaptica (placca motrice), apertura di canali per cationi (K^+ , Na^+ , Ca^{++}), potenziale post-sinaptico eccitatorio, potenziale d'azione (fibra muscolare), degradazione dell'ACh dell'enzima acetilcolinesterasi (AChE)

Fig. 1.8 di Eusebi-Gatti, Fisiologia, Masson, 1998

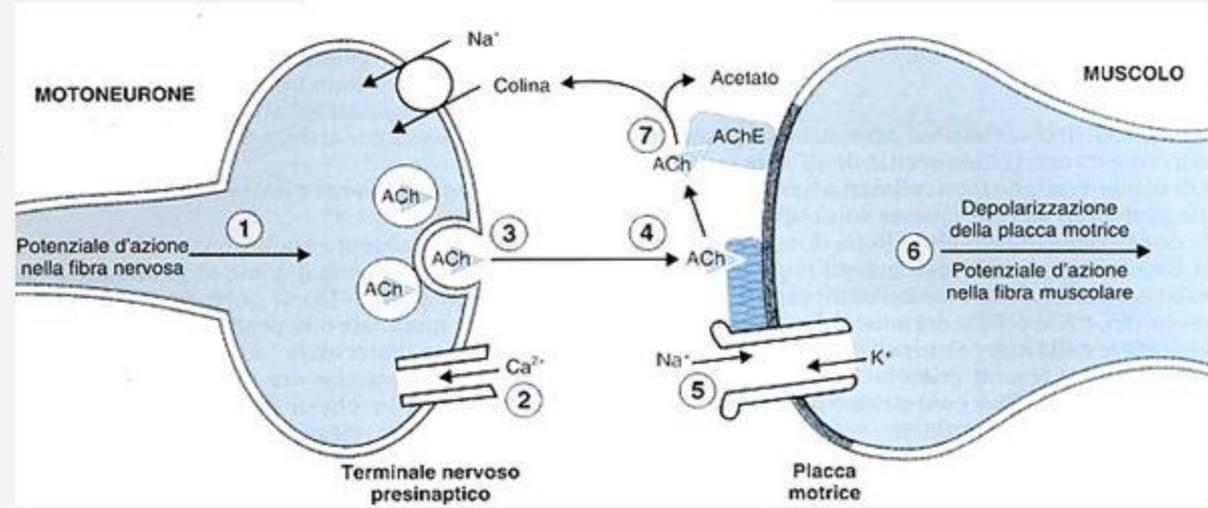
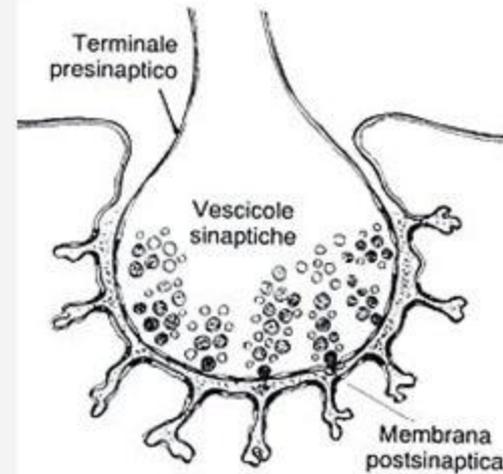
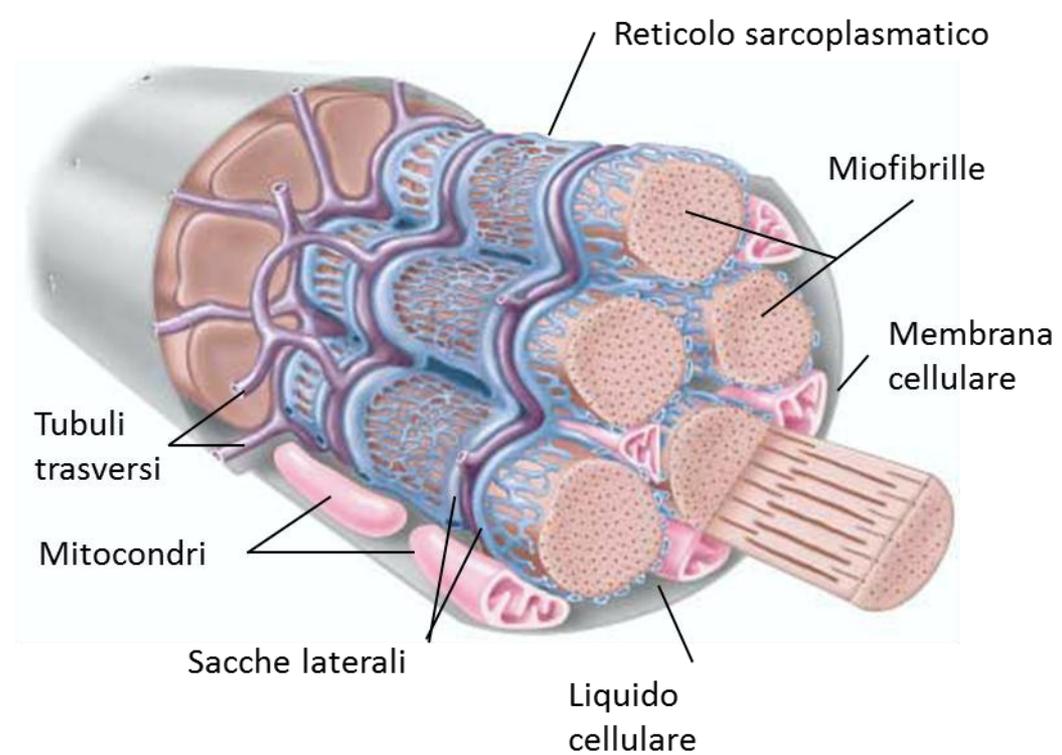


Fig. 1-15 di Costanzo, Fisiologia, EdiSES, 1998

Una volta generato, l'impulso viaggia lungo tutta la superficie della fibra e riesce a penetrarvi in profondità grazie ad un sistema di tubuli chiamato **RETICOLO SARCOPLASMATICO** formato da tubuli trasversali e tubuli longitudinali



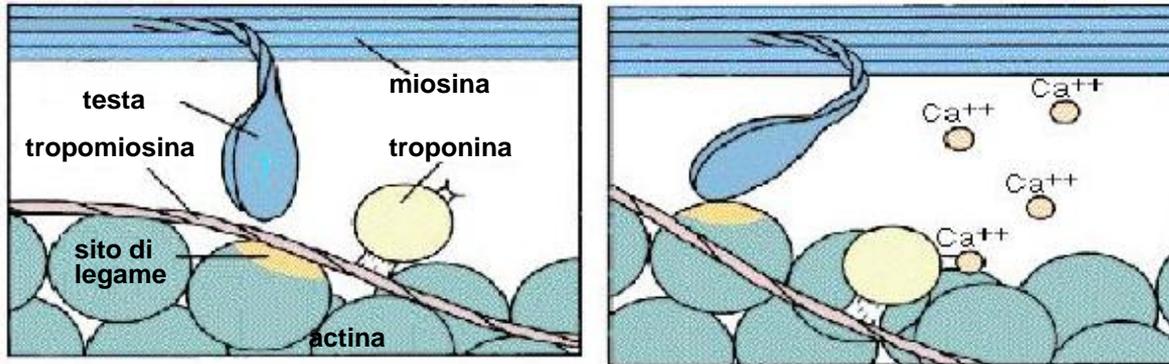
Quando un impulso si diffonde lungo la fibra muscolare, nei tubuli T, che contengono liquido extracellulare, si crea un flusso di corrente elettrica.

I tubuli longitudinali sono vicini ma non in comunicazione con i tubuli T. contengono liquido endocellulare ricco di ioni calcio.

Il passaggio della corrente nei tubuli T però si estende anche ai tubuli longitudinali provocando come effetto la liberazione degli ioni calcio che vengono a così a trovarsi a contatto con le miofibrille.

La presenza degli ioni calcio è fondamentale per il processo di contrazione...

Ruolo del Ca^{2+} nella contrazione



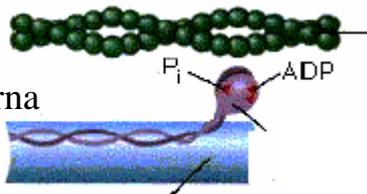
In assenza di Ca^{2+} la **tropomiosina** blocca i siti attivi sull'actina

Quando il Ca^{2+} si lega alla **troponina**:

- Il complesso della troponina cambia configurazione
- La **troponina** sposta la tropomiosina, esponendo i siti di binding dell'actina per la miosina
- L'actina e la miosina possono interagire

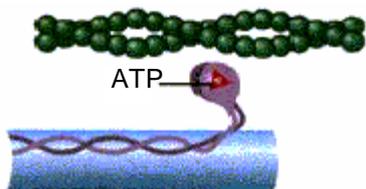
Ciclo della contrazione

1) Fibra a riposo: la testa della miosina non è attaccata all'actina



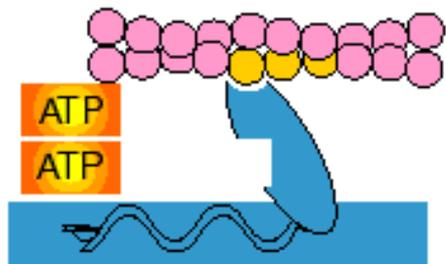
5) La testa della miosina ritorna al suo orientamento originale

Idrolisi dell'ATP



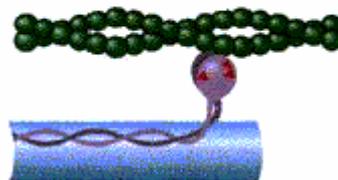
4) Rilascio della testa della miosina dall'actina

Legame di ATP



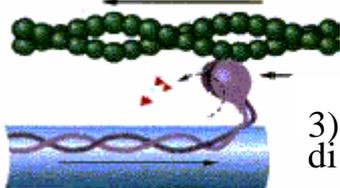
2) Legame della testa della miosina all'actina

Ca²⁺



Rilascio di ADP e Pi

3) Scorrimento dei filamenti di miosina e actina



- 1) A riposo: miosina distaccata dall'actina (ADP+ P_i)
- 2) Ca²⁺ → la miosina si lega all'actina
- 3) Rilascio di ADP+P_i → scorrimento dei filamenti
- 4) Legame di ATP → rilascio della miosina
- 5) Idrolisi dell'ATP → la miosina ritorna al suo orientamento originale

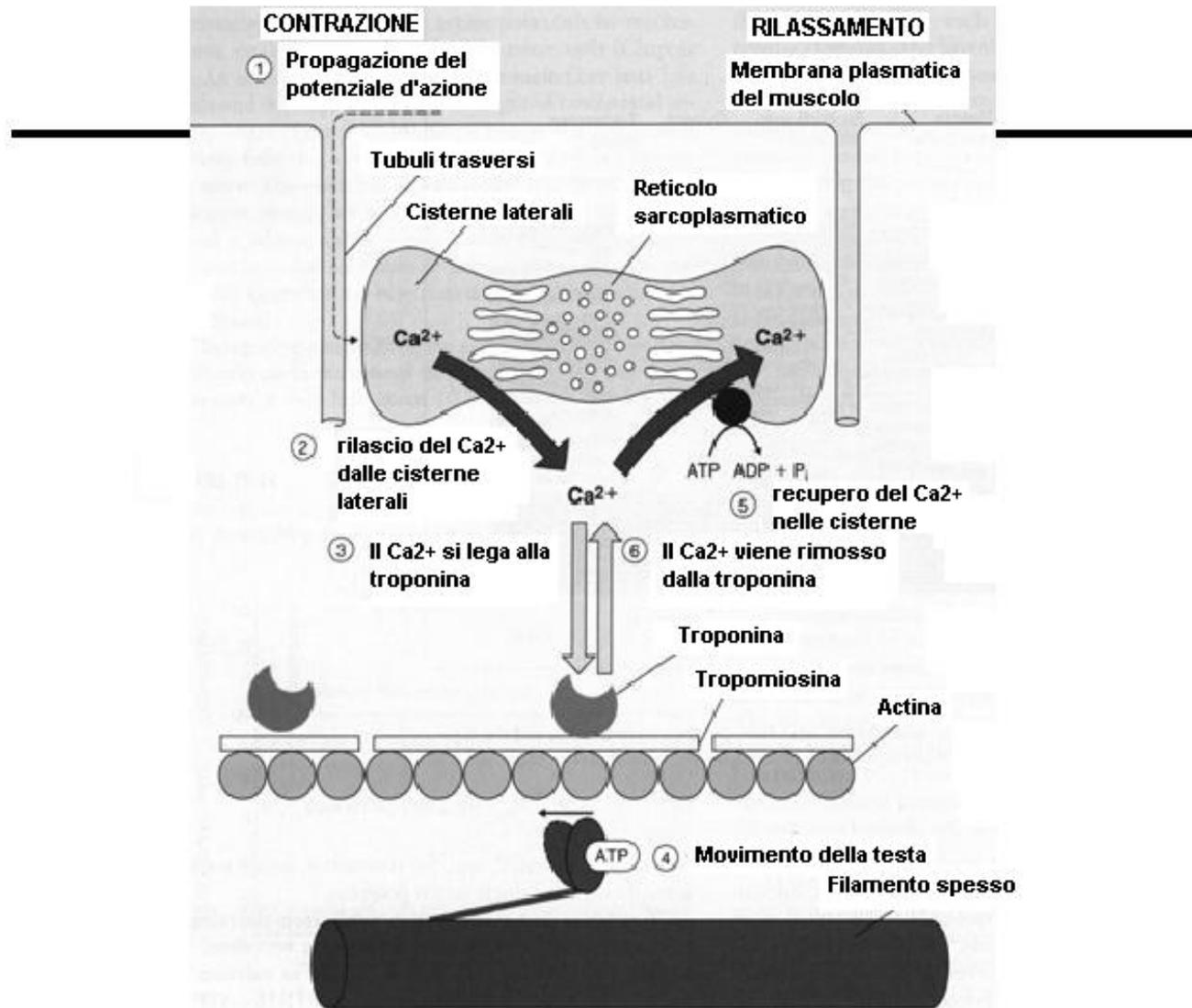
Riassumendo:

La contrazione del sarcomero avviene tramite la formazione di ponti trasversali tra le teste di miosina ed i siti di legame dell'actina

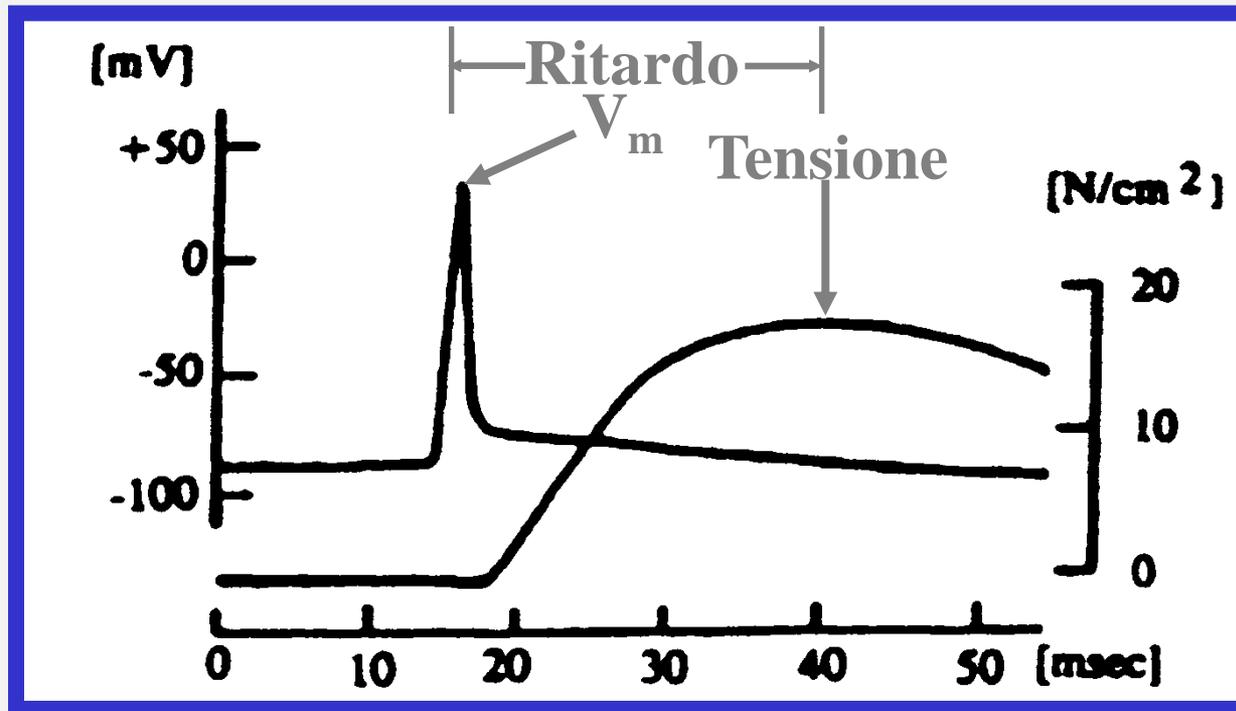
Questi siti, normalmente occupati, vengono resi liberi dagli ioni calcio

Durante la formazione dei ponti trasversali le teste di miosina si piegano provocando lo scorrimento tra filamenti di actina e miosina

Schema riassuntivo



Accoppiamento Eccitamento-Contrazione (EC) nel Muscolo Scheletrico



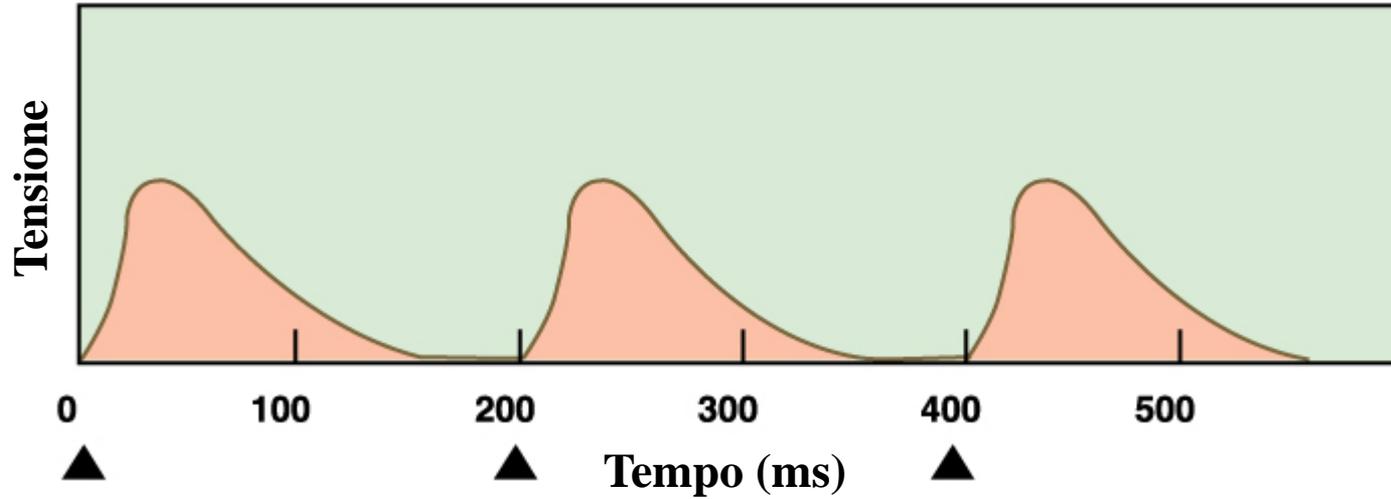
C'è un significativo ritardo tra l'eccitamento del muscolo (PA) e la contrazione (tensione)

Controllo della forza di contrazione

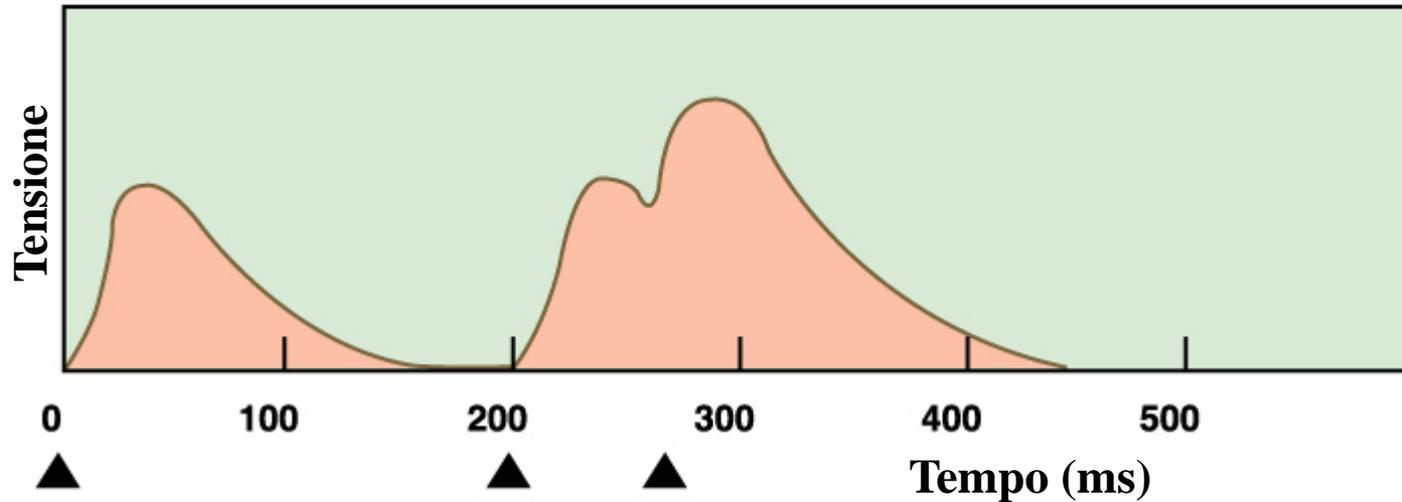
- Scala dei tempi:
 - Un PdA muscolare tipico dura 3-5 ms
 - Una contrazione muscolare tipica dura 100 ms
- Se il tempo tra i PdA viene ridotto:
 - La fibra muscolare non può essere completamente rilassata al momento del 2° stimolo
 - La 2^a contrazione è più forte
 - SOMMAZIONE

Il Tetano Muscolare

A) Scosse muscolari semplici

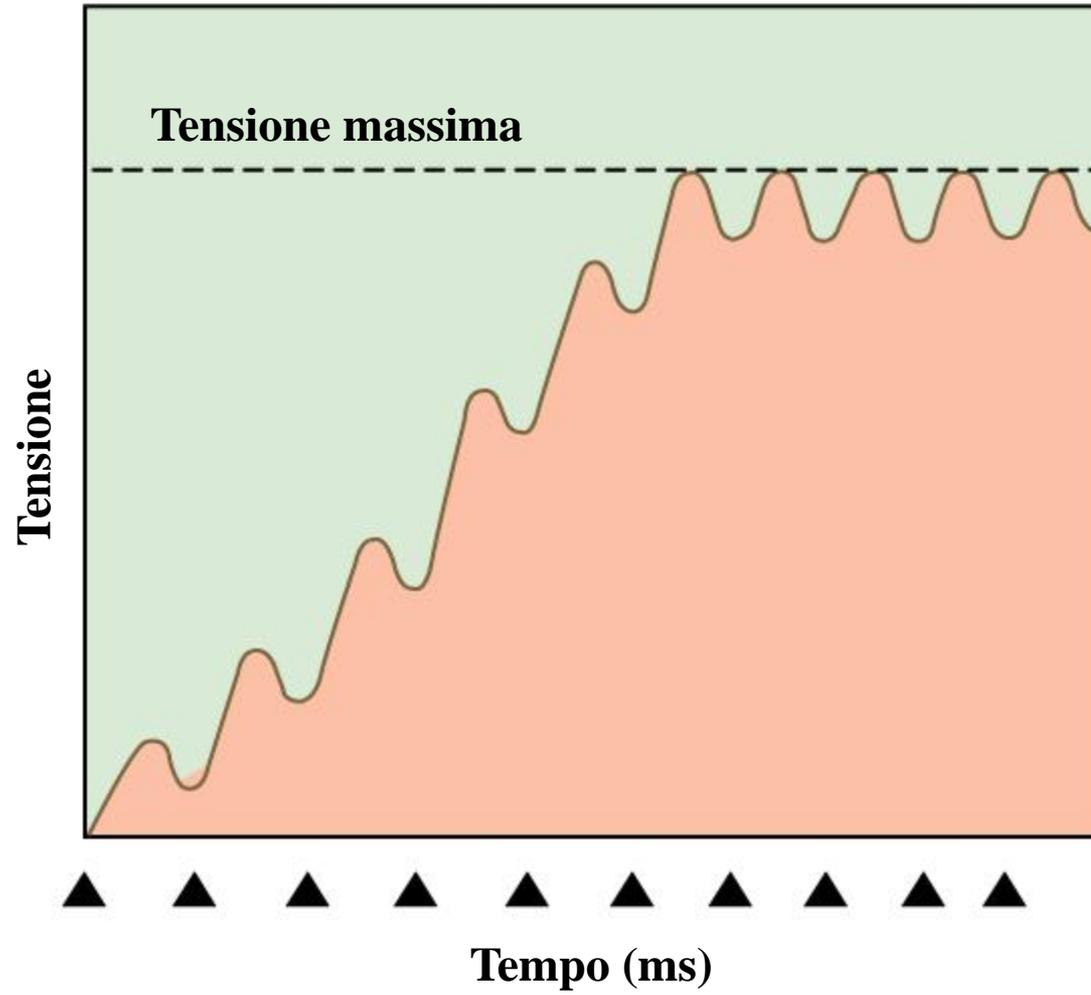


B) Sommazione



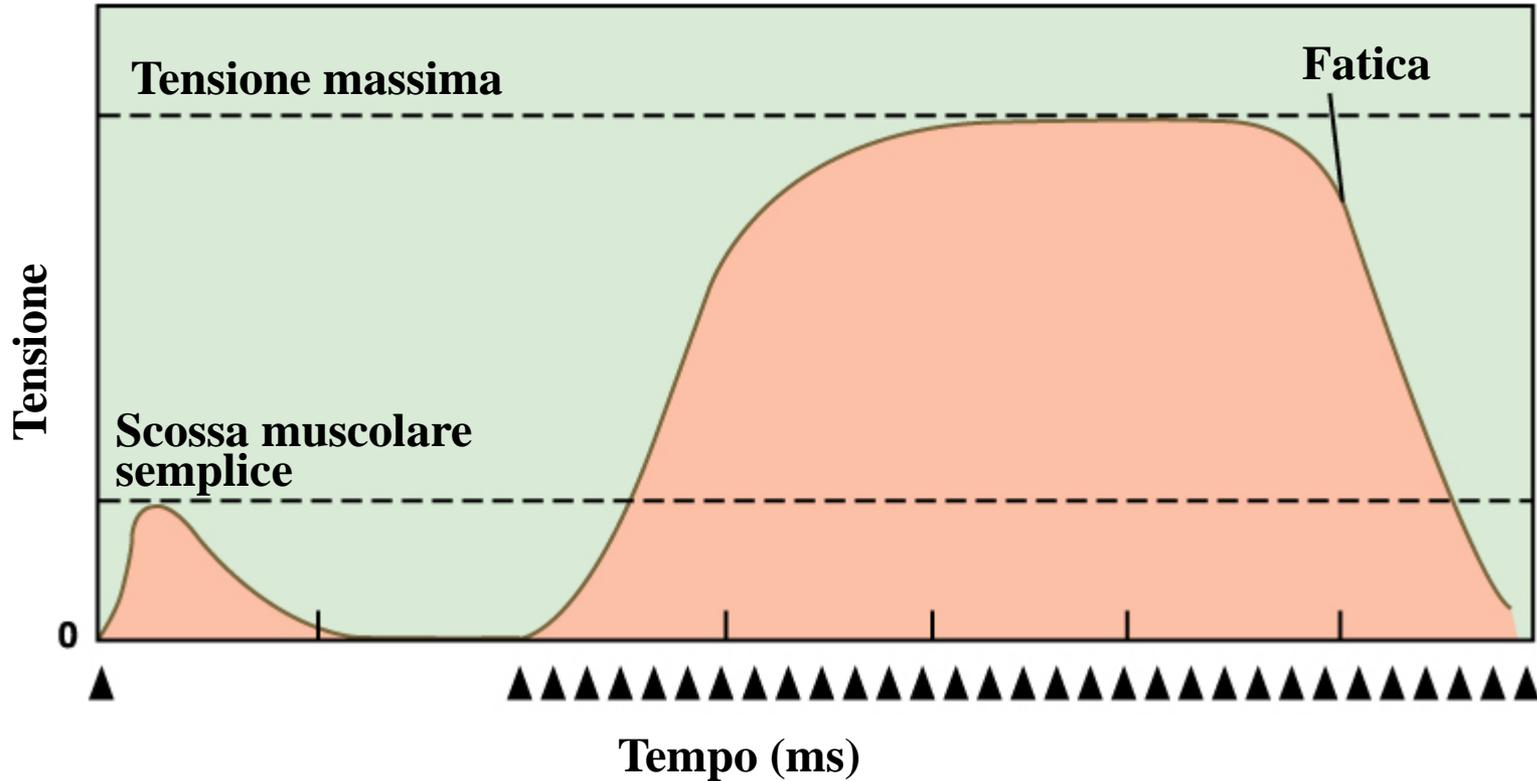
Il Tetano Muscolare

C) Sommazione che porta ad un tetano incompleto



Il Tetano Muscolare

D) Sommazione che porta ad un tetano completo



Il tetano muscolare consiste nella sommazione o fusione delle scosse muscolari semplici nelle singole fibre muscolari

La sommazione e' resa possibile dalla breve durata del periodo di refrattariieta' rispetto alla durata della singola contazione della fibra muscoloare

FATTORI CHE INFLUENZANO LA FORZA DI CONTRAZIONE

SOMMAZIONE

Nell'esplicare le diverse funzioni del corpo è molto importante poter calibrare la forza di contrazione di ciascun muscolo. Ciò viene ottenuto in due modi:

Per sommazione di unità motorie

Una unità motoria è formata da un nervo e tutte le fibre muscolari da esso innervate (da 10 a 200 a seconda che siano muscoli per movimenti fini o grossolani).

Se si contrae una sola unità motoria per volta la contrazione è debole.

Se tutte le unità motorie si contraggono simultaneamente la forza di contrazione è massima

Per sommazione d'onde

Si verifica quando gli impulsi sono molto ravvicinati così che nella fibra si ha una nuova Contrazione prima che sia finita la precedente. le contrazioni allora si sommano aumentando La forza complessiva sviluppata

Tetanizzazione

Si verifica quando la frequenza degli impulsi supera una certa soglia (variabile in base al muscolo) per cui le scosse muscolari risultano fuse in un'unica contrazione prolungata

TONO MUSCOLARE

Il tono muscolare è uno stato di leggera tensione che i muscoli mantengono in condizione di riposo per effetto di impulsi che il midollo spinale trasmette continuamente ai muscoli scheletrici.

Ciò impedisce che essi diventino flaccidi e consente loro di rispondere prontamente all'arrivo di uno stimolo contrattile

Il tono muscolare può aumentare o diminuire a seconda delle condizioni fisiologiche dell'organismo.

Se una persona è in uno stato ansioso, di paura, eccitamento o in qualche altra condizione emotiva, il numero di impulsi tonici che parte dal sistema nervoso centrale aumenta e i muscoli diventano sempre più tesi.

Questa è la base dell'eccitabilità degli individui cosiddetti "nervosi"

Per contro nel sonno il numero di impulsi nervosi si riduce, permettendo ai muscoli di rilassarsi

FATTORI INFLUENTI SULLA FORZA DI CONTRAZIONE:

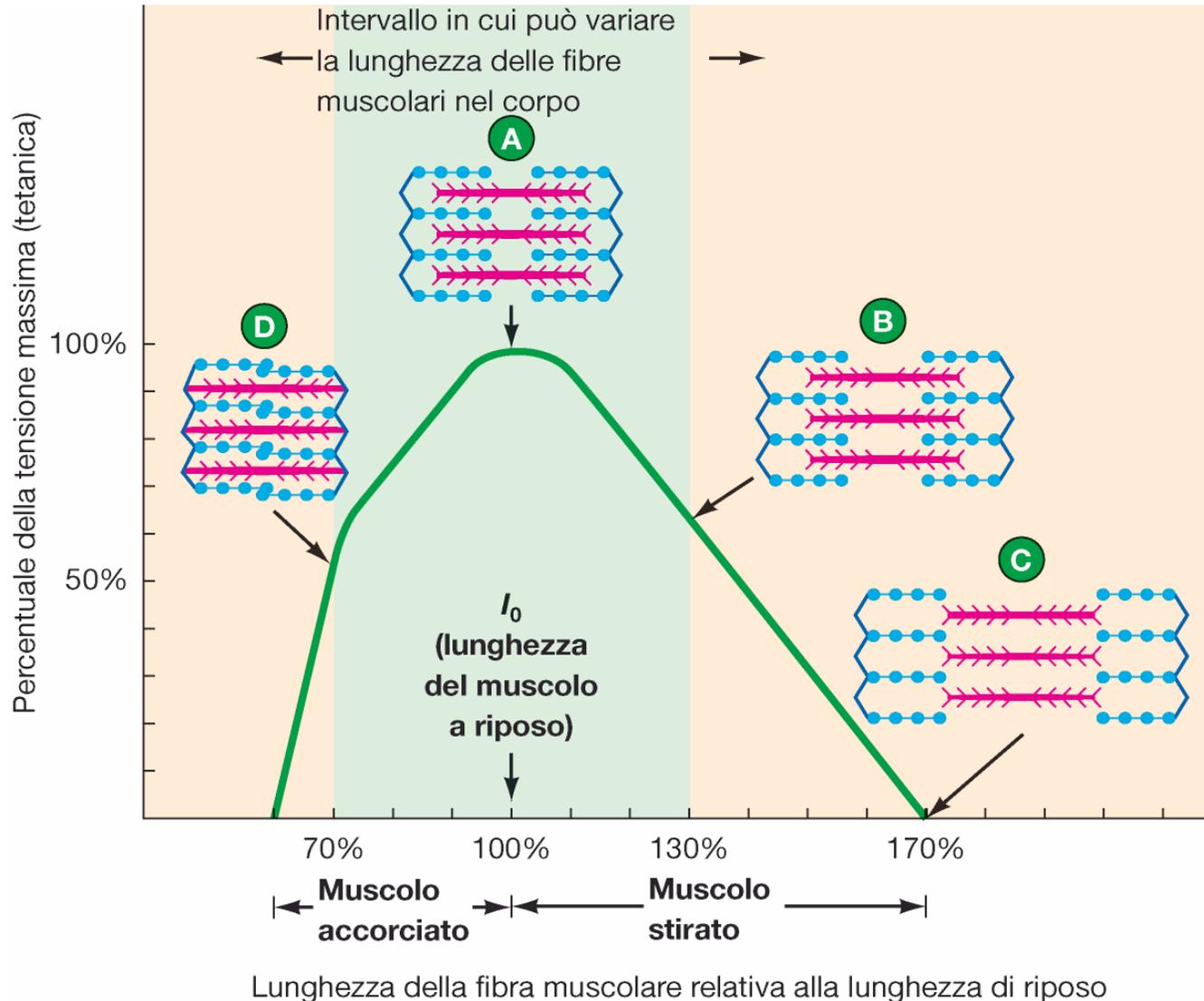
LUNGHEZZA INIZIALE DEL MUSCOLO

Se la lunghezza di riposo di un muscolo è inferiore a quella normale, la forza di contrazione è fortemente ridotta.

Analogamente, se il muscolo è stirato molto al di là dei suoi limiti normali, esso non riesce a contrarsi con la forza che altrimenti gli sarebbe possibile.

Ciò perché avremo nel primo caso dei sarcomeri accorciati e nel secondo caso allungati. In entrambi i casi ci sarà una minore possibilità di contatti tra le teste di miosina e i siti recettivi sull'actina.

Relazione lunghezza-tensione nella contrazione di un muscolo scheletrico



Viene mostrata la tensione generata da un muscolo in relazione alla sua lunghezza a riposo prima dell'inizio della contrazione.

Alla lunghezza ottimale c'è un maggior numero di ponti trasversali tra filamenti spessi e sottili e la fibra può generare il suo massimo di forza (A)

La tensione sviluppata durante una scossa muscolare semplice è determinata dalla lunghezza del sarcomero

FATTORI INFLUENTI SULLA FORZA DI CONTRAZIONE:

ATTIVITA' FISICA

Quanto più si usa un muscolo tanto maggiori divengono le sue dimensioni e la sua forza.

L'aumento di dimensioni di un muscolo è chiamato IPERTROFIA

Il muscolo ipertrofico immagazzina una maggiore quantità di sostanze nutritive, ha un maggior numero di fibrille contrattili e un miglior rendimento (minor energia dispersa)

Per contro il non utilizzo di un muscolo porta, in un periodo compreso tra 6 mesi e 2 anni, ad una sua ATROFIA con progressiva degenerazione delle sue fibre e riduzione del suo volume

CONTRAZIONE ISOMETRICA

È una contrazione che avviene “a lunghezza costante” cioè senza variazione di Lunghezza del muscolo.

Un esempio è il mantenimento della postura eretta: non c'è movimento e quindi non c'è accorciamento dei muscoli delle gambe ma questi sono comunque in tensione per mantenere le articolazioni in una posizione fissa.

Quindi in una contrazione isometrica il muscolo è teso tra due punti fissi

CONTRAZIONE ISOTONICA

È una contrazione che avviene a tensione costante. in questo caso il muscolo si accorcia mentre la tensione non aumenta .

Un esempio può essere il sollevamento di un peso col braccio

FONTI ENERGETICHE PER LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

Il processo di contrazione richiede una gran quantità di energia fornita dall'ATP. L'ATP scisso in ADP deve esser ricostituito per poter fornire altra energia. Ciò accade prevalentemente in due modi:

Dal **creatinfosfato**, una molecola presente nei liquidi della fibra muscolare che, quando viene scissa in creatina e fosfato, libera una gran quantità di energia per la riconversione dell'ADP in ATP. La quantità di creatinfosfato presente nelle cellule è però limitata e quindi l'energia viene poi fornita da un'altra fonte

Dalle sostanze di origine alimentare

I substrati alimentari utilizzati dal muscolo sono i carboidrati e, una volta consumati questi, i grassi e in minor misura le proteine previa loro trasformazione in zuccheri in 2 possibili modalità:

- Per ossidazione (in condizioni aerobiche)
i substrati vengono trasformati per liberare energia nei mitocondri, di cui i muscoli sono ricchissimi, in un processo di ossidazione che richiede dunque l'utilizzo di ossigeno
- Per idrolisi (in condizioni anaerobiche)
i carboidrati vengono trasformati attraverso un processo che non utilizza l'ossigeno (glicolisi anaerobica) con liberazione di energia e formazione di acido piruvico o lattico

DEBITO DI OSSIGENO

Contrariamente al muscolo cardiaco, il muscolo scheletrico ha la possibilità di contrarsi anche in ambiente cellulare povero o privo di ossigeno.

Questo perché la demolizione dell'ATP in ADP, della CP e del Glucosio con formazione di acido lattico non sono reazioni di tipo ossidativo

Quando però il muscolo torna in una condizione di aerobiosi avrà accumulato un debito di ossigeno: avrà cioè bisogno di ossigeno che serve per

- la resintesi di ATP e CP
- La resintesi di glicogeno a partire dall'acido lattico

quindi il debito di ossigeno è quella quantità di O₂ che il muscolo non ha potuto usare durante la contrazione in anaerobiosi e che serve, nel processo di ristoro, alla eliminazione dei cataboliti e alla resintesi dei substrati energetici

FATICA MUSCOLARE

Se al muscolo viene richiesto un lavoro intenso e prolungato, interviene uno stato di affaticamento.

La fatica è una condizione che si manifesta con una riduzione progressiva delle contrazioni fino alla loro scomparsa.

All'inizio c'è anche una riduzione del rilasciamento in quanto il muscolo non si rilascia più completamente ma entra in uno stato di contrattura

L'affaticamento muscolare è dovuto a:

- Accumulo di cataboliti (acido lattico, piruvico, CO₂ ecc)
- Esaurimento delle fonti di energia (ATP, CP, glicogeno)

È un fenomeno reversibile e transitorio che si dilegua col riposo

RENDIMENTO DELLE CONTRAZIONE MUSCOLARE

È la quota percentuale di energia chimica presente in origine nelle sostanze nutritive che viene convertita in lavoro muscolare effettivo

In condizioni ottimali il rendimento arriva fino al 20-25%
il restante 75-80% dell'energia viene persa nel corso delle svariate reazioni chimiche e si manifesta sottoforma di calore

Durante un'attività muscolare intensa la temperatura corporea può aumentare di 3 gradi centigradi

IL MUSCOLO CARDIACO

Ha lo stesso aspetto striato del muscolo scheletrico

Le fibre però in questo caso sono interconnesse le une alle altre formando un reticolo detto **SINCIZIO FUNZIONALE**

Quando una singola fibra è stimolata, tutte le fibre in connessione con essa nel sincizio sono pure stimulate

Quindi nel cuore non si parla della contrazione di singole fibre (come nella muscolatura scheletrica) ma della contrazione di tutto il sincizio, secondo il principio del tutto o nulla

Distinguiamo due sincizi: uno atriale ed uno ventricolare funzionalmente connessi (sistema del Purkinie)

Il senso di tutto ciò è far sì che vi sia una contrazione forte ed efficace estesa a tutto il cuore

RITMICITA' DEL MUSCOLO CARDIACO

Un'altra differenza tra il muscolo scheletrico e quello cardiaco è che
Il muscolo scheletrico si contrae quando è stimolato dal suo nervo
Nel cuore invece l'impulso si autogenera, con delle contrazioni
spontanee e continue al ritmo di 72 battiti al minuto

In realtà tutte le fibre muscolari hanno una attività ritmica intrinseca ma:

nel muscolo scheletrico questa attività passa in subordine
al sistema nervoso centrale

nel cuore invece è di primaria importanza mentre il controllo
nervoso è secondario

DURATA DELLA CONTRAZIONE

La durata di una singola contrazione cardiaca è circa 10-15 volte maggiore della durata di una singola contrazione di un muscolo scheletrico medio

Questo perché per un adeguato funzionamento del cuore la contrazione deve essere sufficientemente lunga da riuscire a spingere il sangue fuori dalle sue cavità

IL MUSCOLO LISCIO

È la muscolatura che costituisce le pareti degli organi interni (intestino, vescica utero, vasi sanguigni, stomaco ecc.). essendo gli organi interni detti anche “visceri” questo tipo di muscolo è chiamato anche muscolo liscio viscerale.

Eccettuati i movimenti dello scheletro e l'azione di pompa del cuore, tutte le attività fisiche dell'organismo sono svolte dalla muscolatura liscia

È chiamato liscio perché non ha le striature tipiche del muscolo scheletrico e di quello cardiaco

È ugualmente costituito da miofilamenti di actina e miosina orientati secondo assi preferenziali ma manca la disposizione regolare in sarcomeri e di qui l'assenza di striature: questo consente all'organo di avere una certa plasticità.

Le fibre del muscolo liscio sono strettamente aderenti le une alle altre e i potenziali d'azione si trasmettono facilmente alle fibre adiacenti.

Pertanto la fibra del muscolo liscio di tipo viscerale formano un sincizio funzionale simile a quello del muscolo cardiaco: questo consente all'organo di contrarsi in maniera globale e uniforme

RITMICITA' DELLA CONTRAZIONE

Il muscolo liscio viscerale ha una ritmicità intrinseca simile a quella del muscolo cardiaco responsabile di parecchie funzioni d'organo (es. contrazioni ritmiche dell'utero per espellere il bambino a fine gravidanza, movimenti peristaltici dell'intestino per spingere il cibo lungo il canale digerente)

La frequenza delle contrazioni è però inferiore a quella cardiaca e può variare da pochi secondi a vari minuti

L'attività contrattile della muscolatura liscia è comunque controllata dal sistema nervoso Autonomo che si compone di due parti distinte: il sistema ortosimpatico e il sistema parasimpatico con effetti opposti (eccitatori o inibitori a seconda dell'organo che viene stimolato)

Il sistema ortosimpatico usa come mediatore chimico la noradrenalina ed il parasimpatico l'acetilcolina

DURATA DELLA CONTRAZIONE

La durata della contrazione varia: in alcuni muscoli è breve, come nei muscoli scheletrici. In altri il muscolo rimane contratto per più tempo similmente al muscolo cardiaco (es. intestino, utero)

TONO DEL MUSCOLO LISCIO

Quasi tutto il muscolo liscio del corpo è sempre in uno stato di contrazione, almeno leggera chiamata TONO

Il tono del muscolo liscio può variare fortemente da momento a momento e ciò svolge un ruolo significativo in parecchie funzioni degli organi interni

Ad es. il tono continuo dell'intestino ne impedisce la sovradistensione, il tono dei vasi sanguigni rappresenta uno dei mezzi di controllo del flusso ematico

PLASTICITA'

Diversamente dal muscolo scheletrico, pur valiano la lunghezza delle fibre muscolari, l'efficacia della contrazione rimane elevata. ciò permette una buona funzione d'organo sia che esso sia disteso e dilatato sia che sia contratto (es. espulsione di urina dalla vescica)



GRAZIE