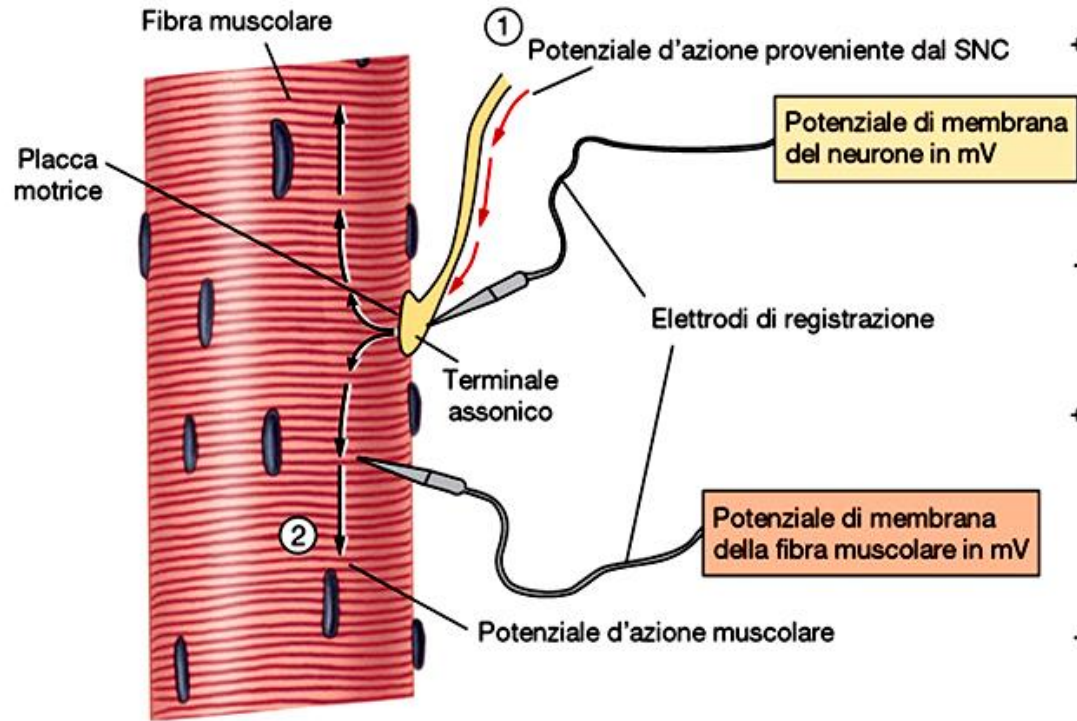


Scossa semplice



① Potenziale d'azione proveniente dal SNC

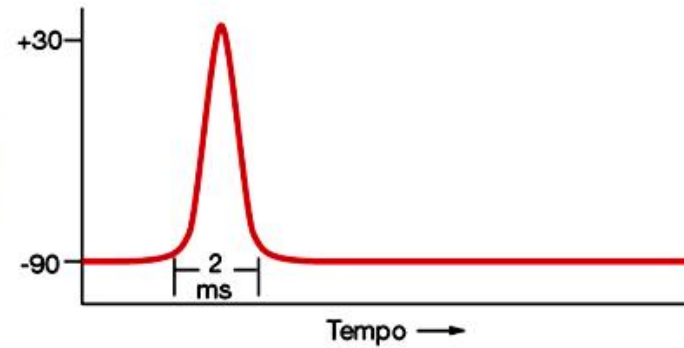
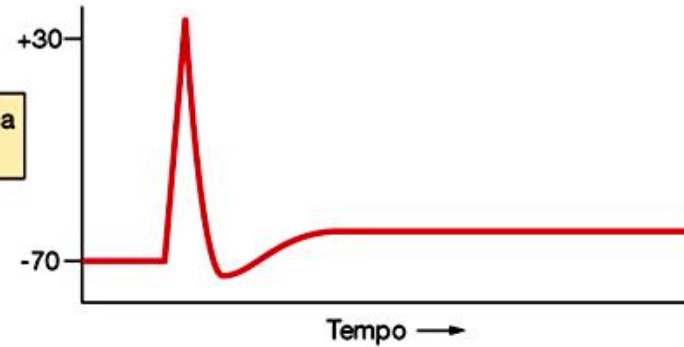
Potenziale di membrana del neurone in mV

Elettrodi di registrazione

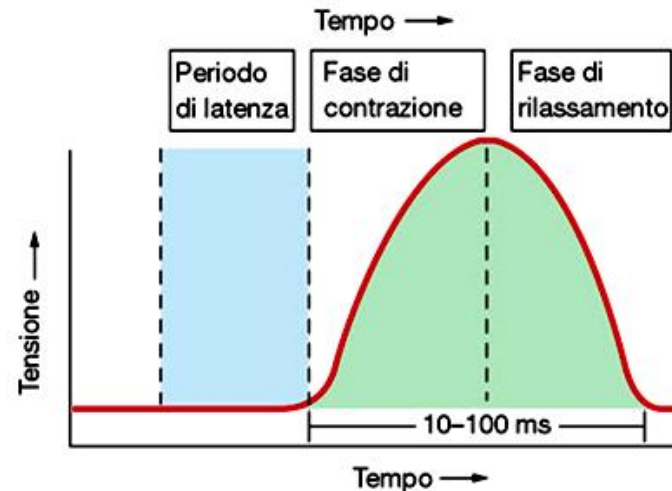
Terminale assonico

Potenziale di membrana della fibra muscolare in mV

Potenziale d'azione muscolare



③ Sviluppo di tensione durante una scossa muscolare

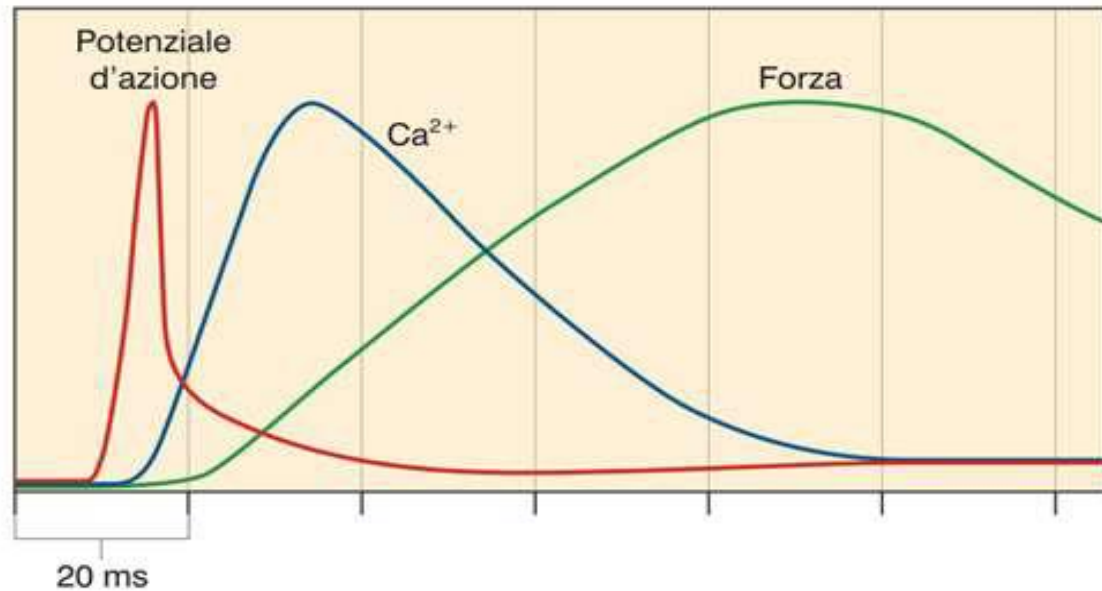


Il fenomeno contrattile innescato da un singolo potenziale d'azione è detto **scossa muscolare** o **scossa semplice**.

La sua durata dipende dal tipo di fibra muscolare in esame.

Nella fibrocellula muscolare si registra un significativo ritardo tra l'eccitamento del muscolo (insorgenza del potenziale d'azione) e lo sviluppo della contrazione (tensione).

Ritardo tra potenziale d'azione del muscolo e sviluppo della contrazione

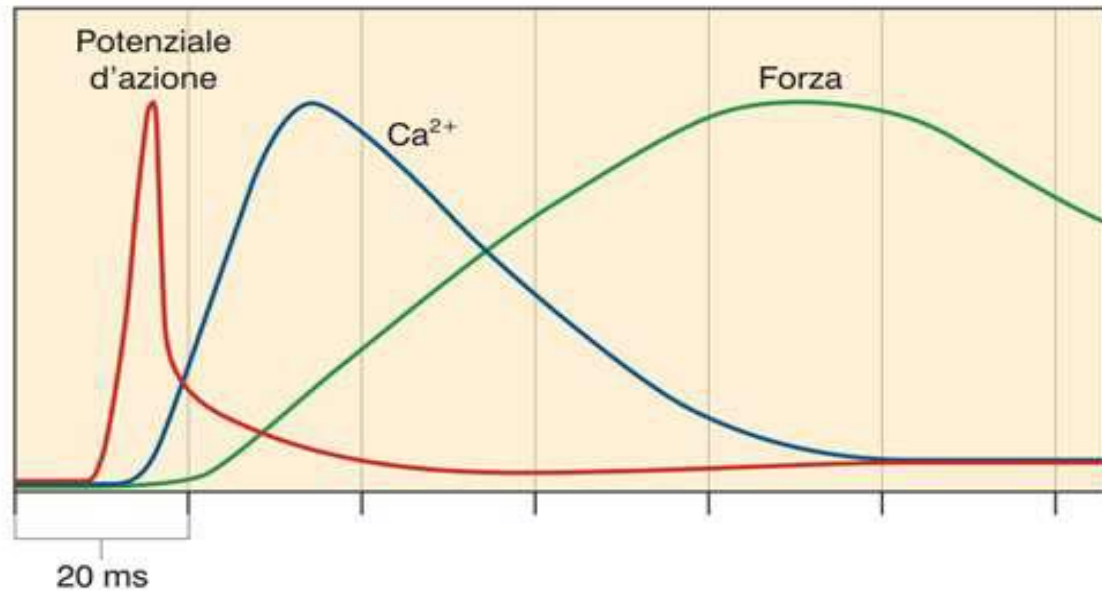


© 2005 edi.ermes milano

Il ritardo di pochi millisecondi tra l'eccitamento della fibrocellula (insorgenza del potenziale d'azione) e lo sviluppo della contrazione (tensione) è detto **periodo di latenza**.

Il periodo di latenza è dovuto al fatto che gli eventi che caratterizzano l'accoppiamento eccitazione-contrazione devono avvenire prima che possa iniziare il ciclo dei ponti trasversali e quindi lo sviluppo di forza.

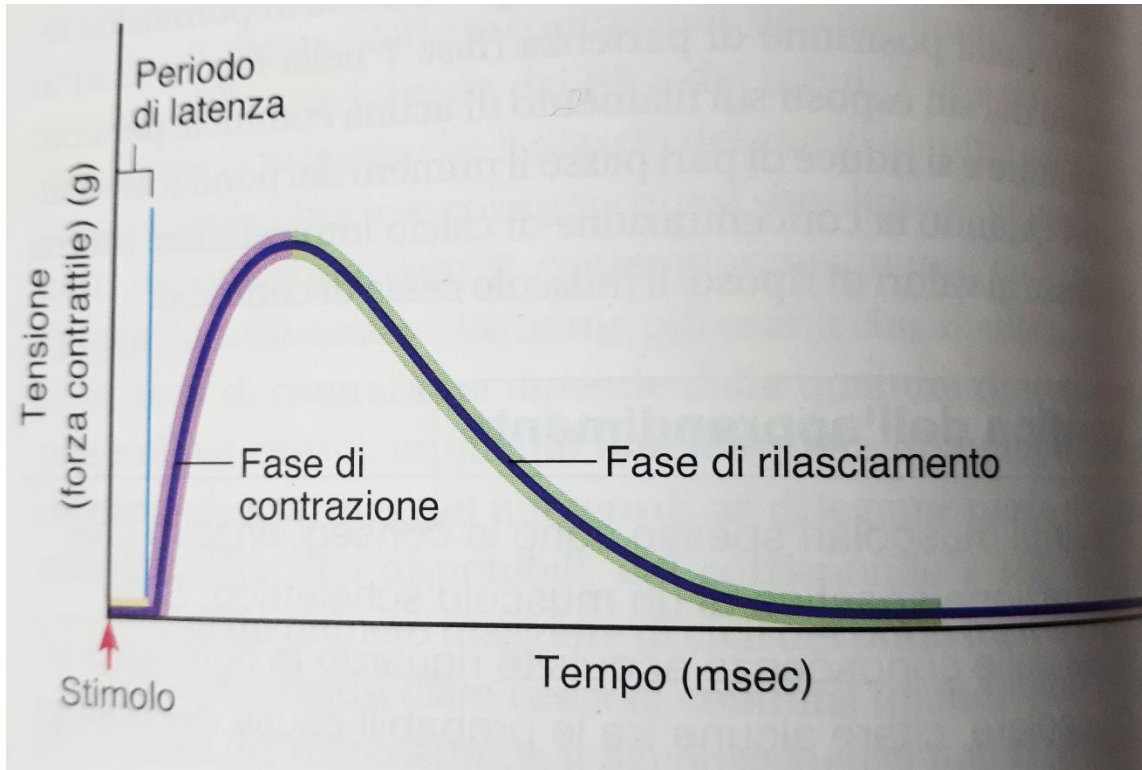
Ritardo tra potenziale d'azione del muscolo e sviluppo della contrazione



© 2005 edi.ermes milano

In particolare, il periodo di latenza nella curva di tensione della fibra muscolare rappresenta il tempo necessario affinché il Ca^{2+} venga rilasciato dal reticolo sarcoplasmatico e diffonda tra i filamenti della miofibrilla.

Le fasi della scossa semplice



La scossa semplice consta di 3 fasi:

- 1) Periodo di latenza
- 2) Fase di contrazione
- 3) Fase di rilasciamento

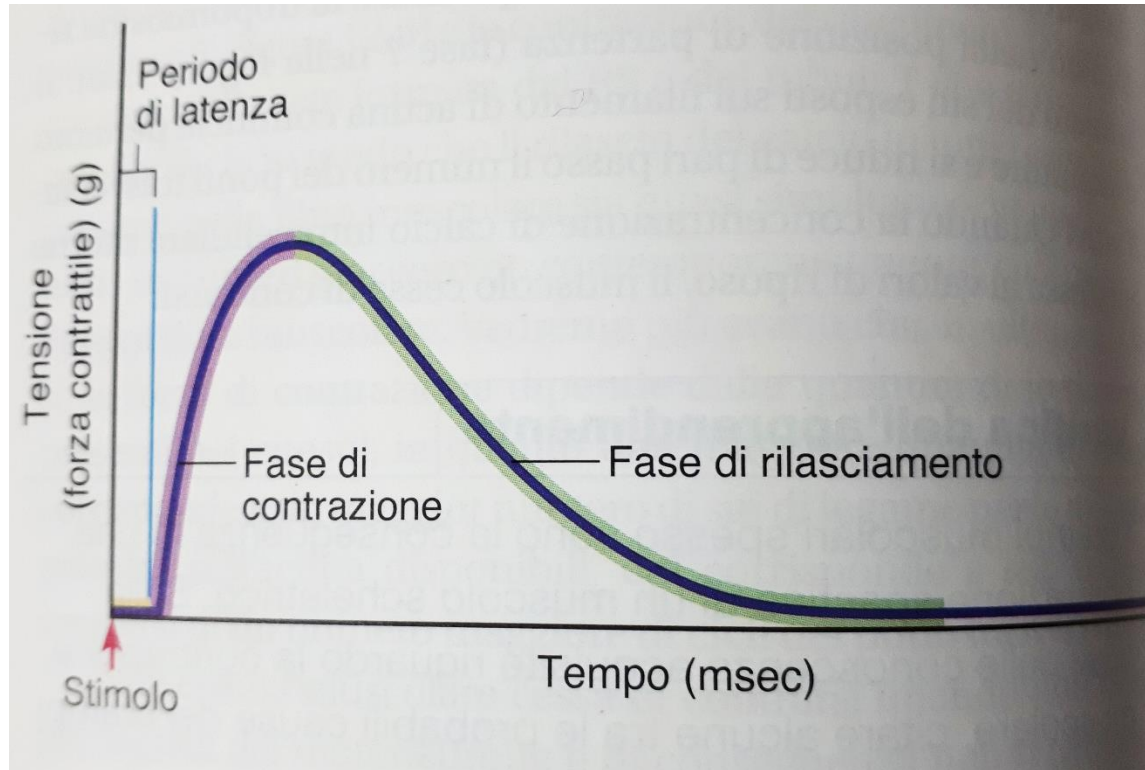
La **fase di contrazione** (di durata compresa tra 10 e 100 ms a seconda del tipo di muscolo) inizia alla fine del periodo di latenza e termina in corrispondenza del raggiungimento del picco massimo di tensione.

Nel corso di questa fase la concentrazione intracellulare di Ca^{2+} aumenta.

La tensione (o forza) viene comunemente espressa in unità di massa, ad esempio in grammi.

La tensione muscolare di un grammo è equivalente alla forza generata da un peso di un grammo sospeso ad un filo.

Le fasi della scossa semplice



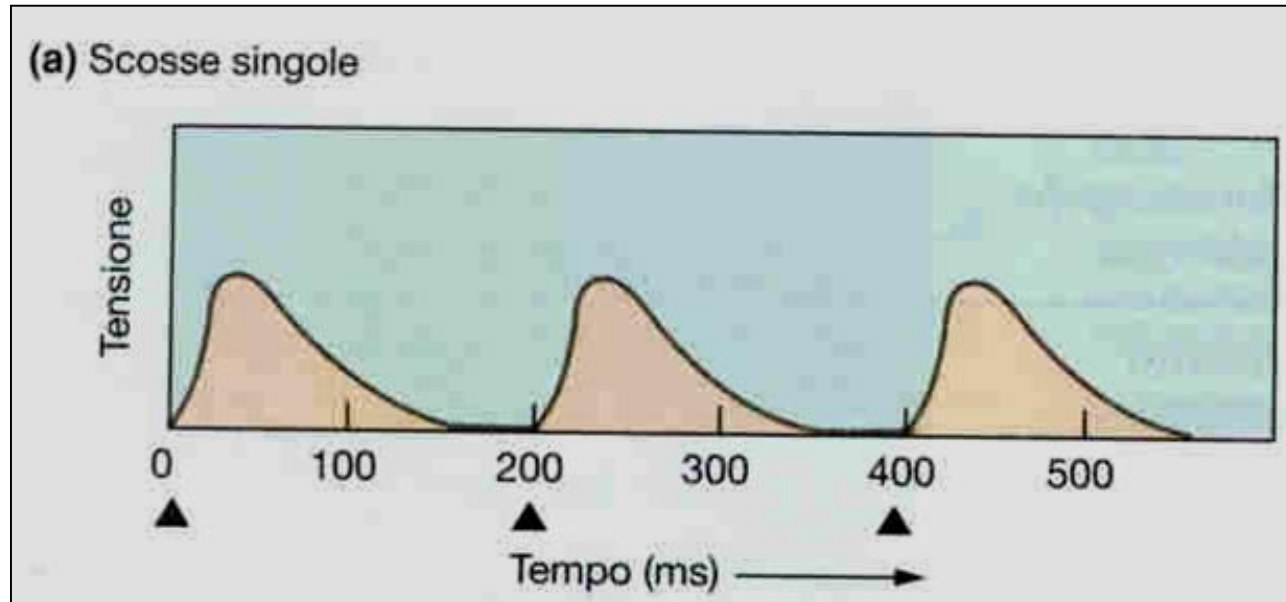
La scossa semplice consta di 3 fasi:

- 1) Periodo di latenza
- 2) Fase di contrazione
- 3) Fase di rilasciamento

La **fase di rilasciamento** (di durata maggiore rispetto alla precedente) inizia al picco massimo di tensione e si conclude con la fine della contrazione, quando la tensione torna a 0.

Nel corso di questa fase la concentrazione intracellulare di Ca^{2+} si riduce.

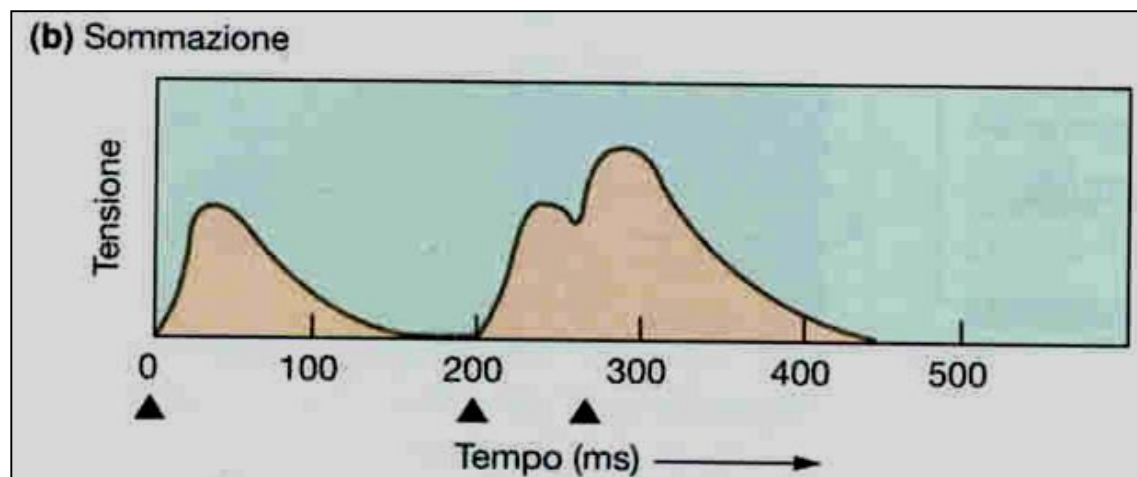
Scossa semplice



Una fibra muscolare risponde ad un impulso nervoso proveniente dal motoneurone (indicato in figura da “▲”) mediante una singola contrazione detta “scossa semplice”.

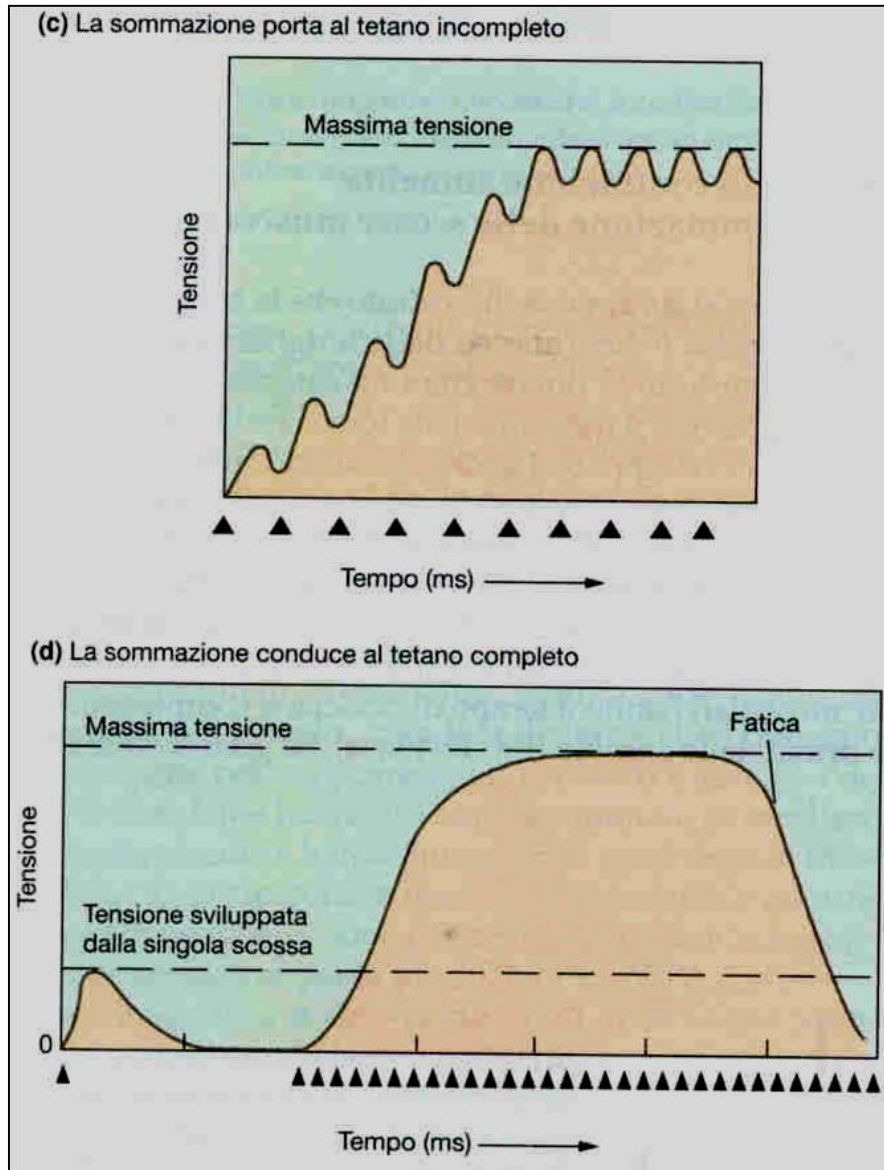
a) Se i potenziali d'azione ripetuti sono separati da lunghi intervalli di tempo, le fibre muscolari hanno il tempo di rilassarsi completamente prima dello stimolo.

Sommazione



b) Se gli intervalli tra i potenziali d'azione si riducono, la fibra muscolare non si sarà completamente rilassata al tempo del secondo stimolo. In questo caso essa sviluppa una contrazione più intensa della singola scossa semplice. Il processo è noto come sommazione.

Tetanizzazione



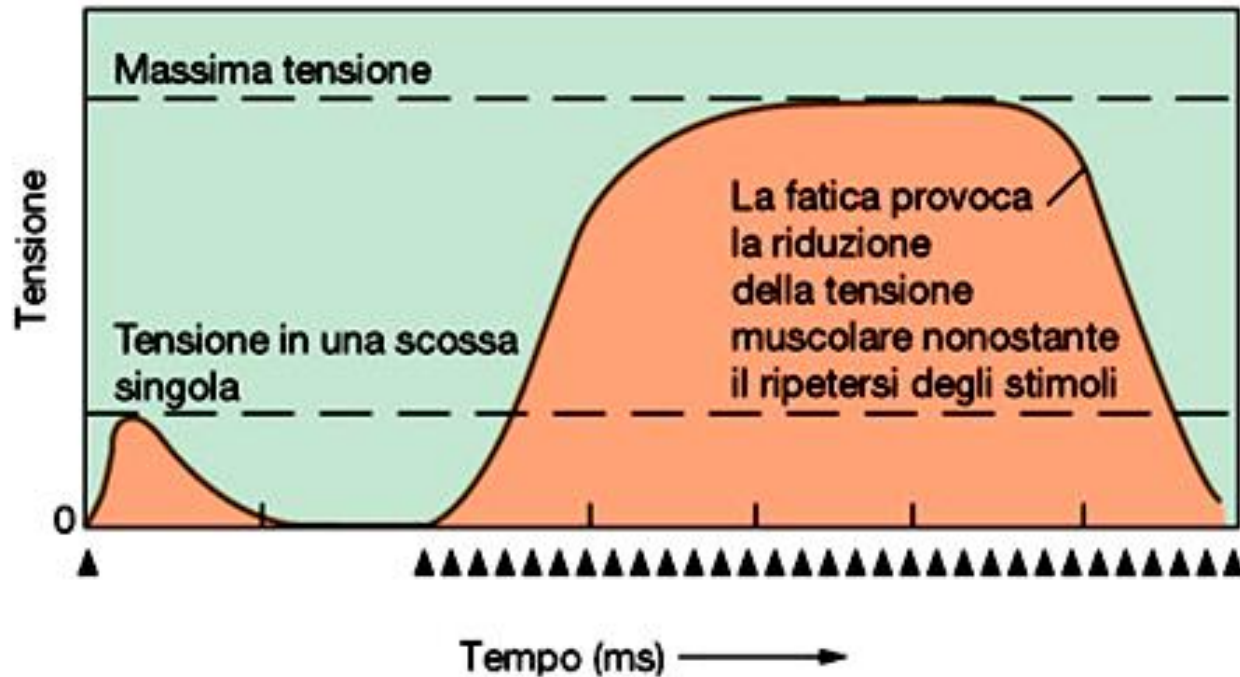
c), d) Se i potenziali d'azione continuano a stimolare ripetutamente la fibra a intervalli brevi, il rilasciamento tra le contrazioni diminuirà fino a quando la fibra muscolare non avrà raggiunto uno stato di contrazione massimale noto come tetano.

Nel tetano incompleto (c) la fibra ha il tempo di rilassarsi leggermente tra uno stimolo e il successivo.

Nel tetano completo (d) la fibra non ha il tempo di rilassarsi tra una stimolazione e l'altra ma raggiunge e mantiene costante la massima tensione.

Tetanizzazione

(d) La sommazione può determinare il tetano completo: il muscolo raggiunge una tensione costante.



Pertanto, la 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.

In uno stato di prolungata contrazione compare una condizione nota come **fatica muscolare** che provoca la riduzione della tensione muscolare nonostante il ripetersi degli stimoli.

Dal punto di vista biochimico la f. muscolare è caratterizzata dalla riduzione o dalla scomparsa delle sostanze che costituiscono i depositi energetici (creatinfosfato e glicogeno) contenuti nel muscolo e dall'accumulo di acido lattico.

Perché aumenta la forza di contrazione nel fenomeno di sommazione e tetano?

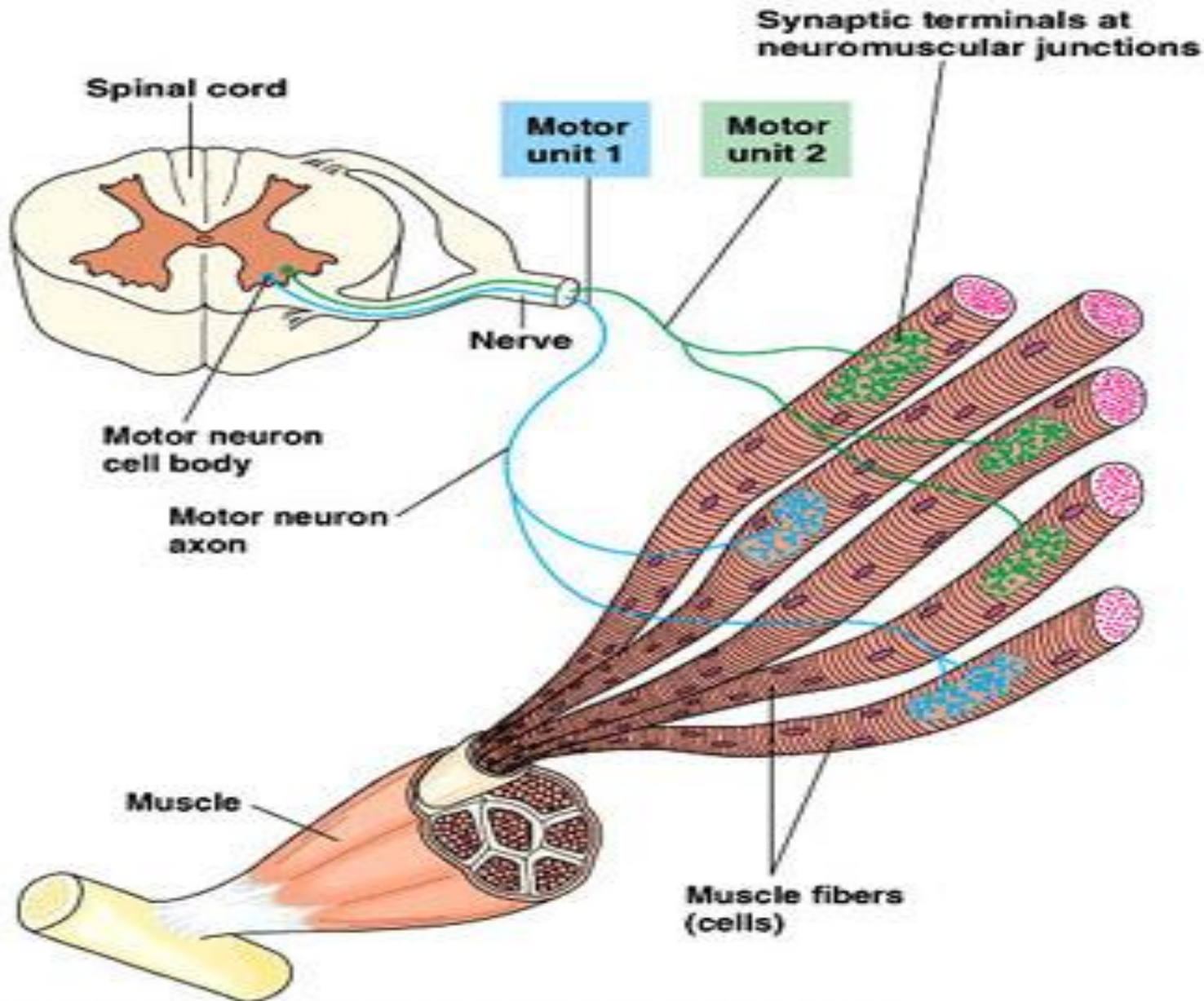


Nel corso nella scossa semplice per ragioni di tempo non si attivano tutte le teste di miosina e quindi non si verifica lo sviluppo della massima forza contrattile della fibra muscolare prima che i livelli di Ca^{2+} si riducano e l'apparato contrattile venga disattivato.

Quando il motoneurone scarica impulsi ad elevata frequenza provoca nella fibra muscolare rilasci ripetitivi di Ca^{2+} in tempo sufficiente a far sì che le singole risposte meccaniche possano sommarsi tra loro e produrre una contrazione più prolungata e più potente detta tetano.

La massima forza sviluppata da un tetano può essere fino a otto volte superiore a quella sviluppata da una singola scossa.

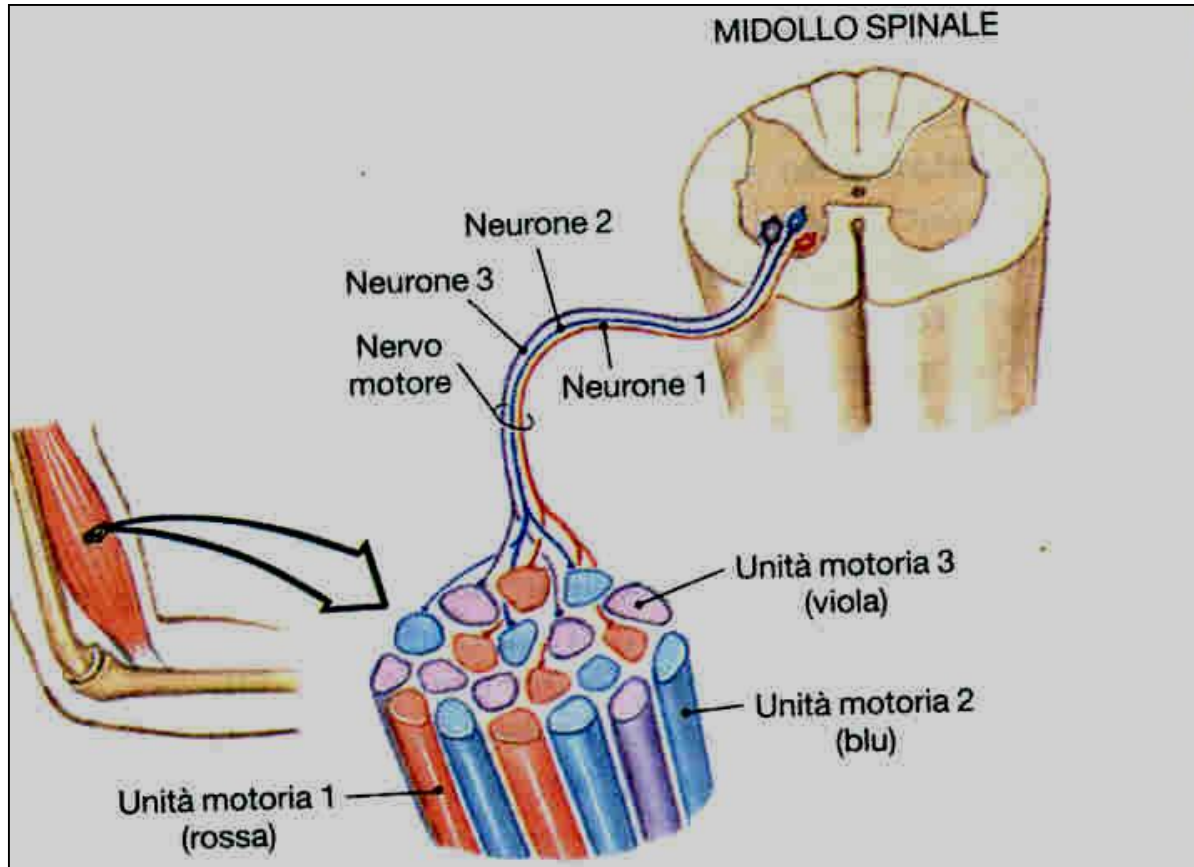
Unità motoria



L'unità motoria è composta da un gruppo di fibre muscolari e dal motoneurone che le innerva. Quando il motoneurone conduce un potenziale d'azione, si contraggono tutte le fibre muscolari dell'unità motoria. Ogni muscolo contiene diverse unità motorie.

N.B. Sebbene un motoneurone innervi molte fibre, ogni fibra muscolare è innervata da un solo motoneurone.

Unità motoria

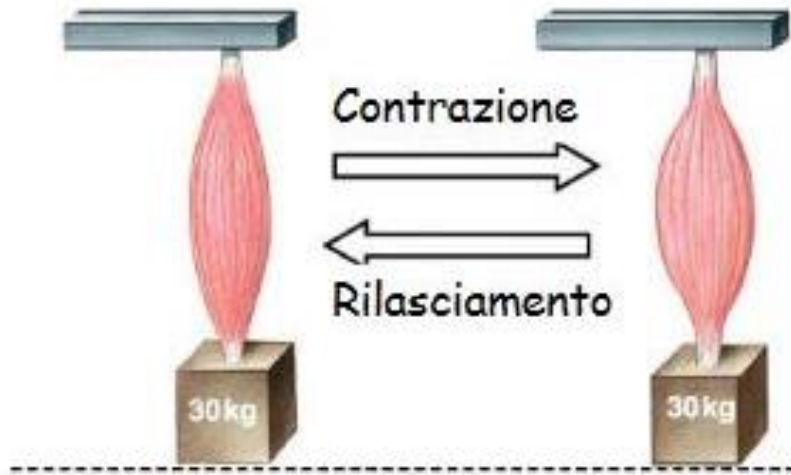


- La forza di contrazione del muscolo *in toto* può essere aumentata reclutando nuove unità motorie.
- Il reclutamento è controllato dal sistema nervoso.
- Uno stimolo debole diretto ad un pool di motoneuroni nel SNC attiva solo quei motoneuroni che hanno le soglie più basse e quindi recluta le unità motorie da essi controllate.
- Uno stimolo intenso è in grado di eccitare un numero maggiore di motoneuroni e quindi può reclutare un numero maggiore di unità motorie nel muscolo.

Il fenomeno del reclutamento e il fenomeno della tetanizzazione consentono di regolare l'intensità della forza di contrazione del muscolo.

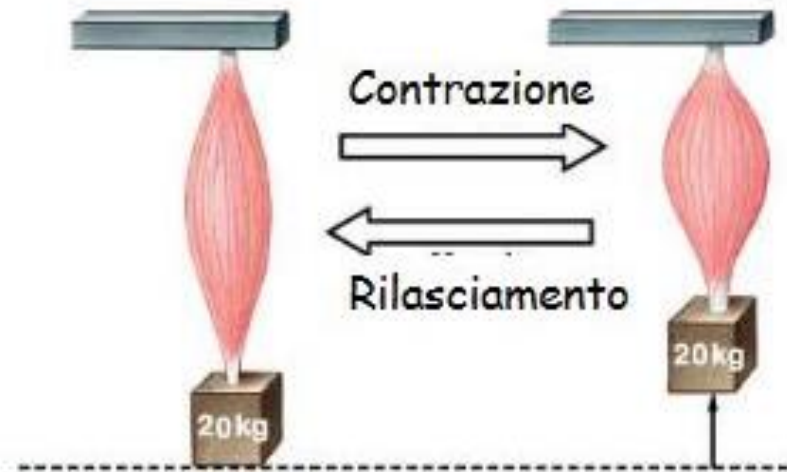
Contrazione isotonica e contrazione isometrica

Si conoscono due tipi di contrazione: **isometrica** (senza accorciamento) e **isotonica** (tensione costante). Esse differiscono per la possibilità o meno che al muscolo di



Contrazione isometrica

Si verifica quando un muscolo sviluppa tensione meccanica mantenendo la stessa lunghezza. Ciò avviene ad esempio quando il carico è superiore alla tensione che il muscolo può sviluppare. Il muscolo si contrae e sviluppa tensione, stira l'elemento elastico in serie (tendine), ma non si accorcia, perché la tensione sviluppata non è sufficiente a spostare il carico.

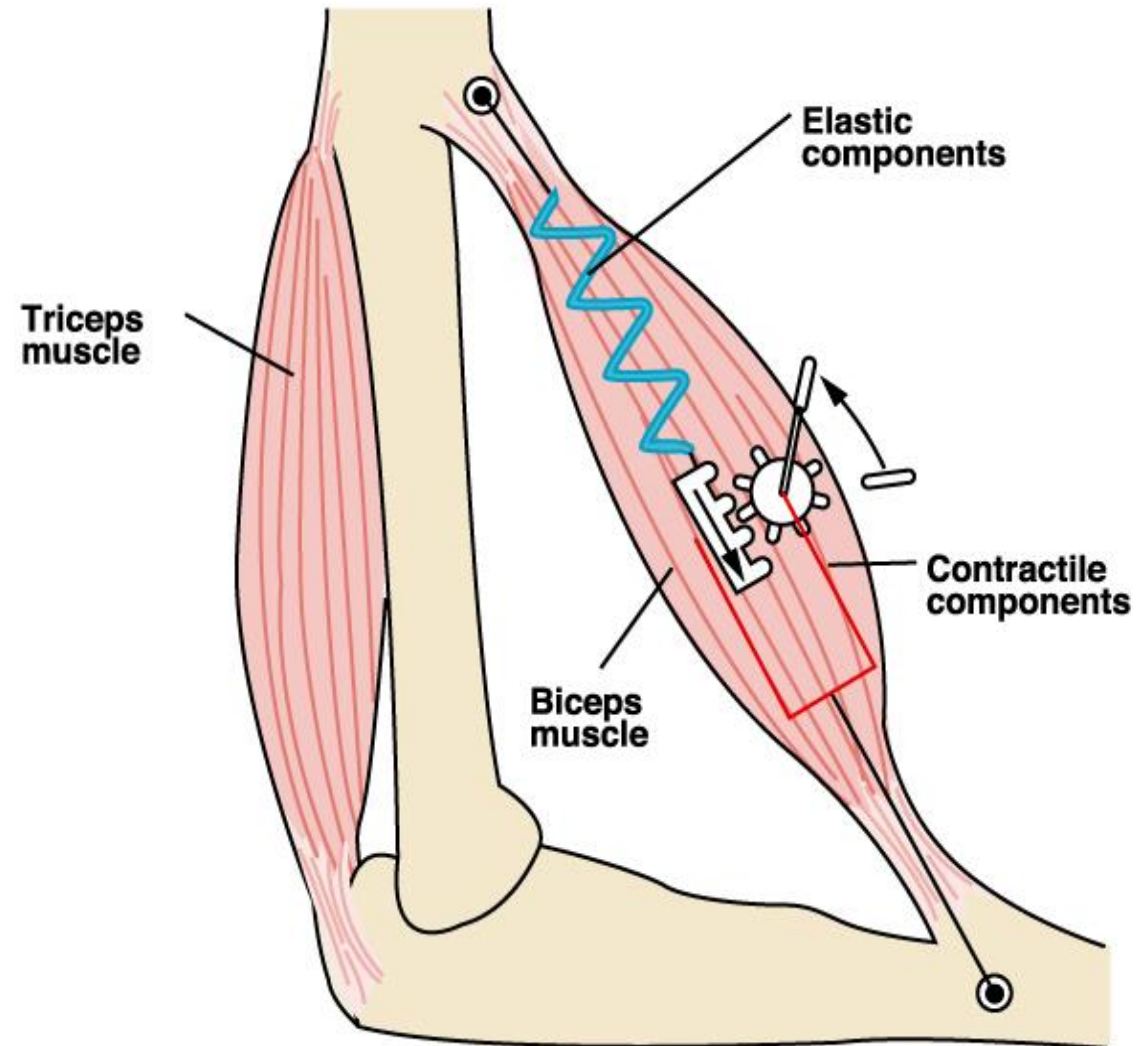


Contrazione isotonica

Si verifica quando un muscolo sviluppa una tensione costante tale da far variare la lunghezza del muscolo. Quando la forza sviluppata dall'elemento contrattile è in grado di vincere la forza esercitata dal carico, l'elemento contrattile si accorcia e il carico viene spostato.

Un muscolo contiene sia elementi contrattili che componenti elastiche in serie

(a) Schematic of the series elastic elements



Quando il muscolo comincia a contrarsi i sarcomeri si accorciano ma la lunghezza del muscolo rimane invariata (controbilanciamento degli elementi elastici (contrazione isometrica)). Quando gli elementi elastici sono allungati il muscolo si accorcia in una contrazione isotonica

