

Sistema motorio

Via efferente somatica

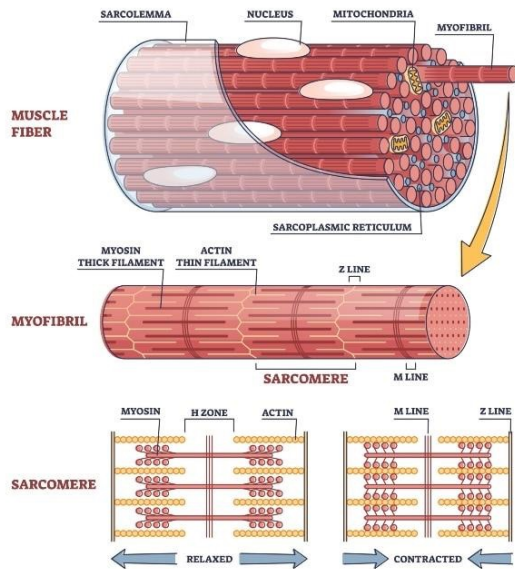
Il movimento rappresenta il principale sistema di output del nostro organismo. Ogni attività che svolgiamo, dall'inizio della vita fino alla fine, implica una componente motoria. Di fatto, non esiste un'attività umana produttiva che non coinvolga il movimento, poiché è attraverso di esso che interagiamo con l'ambiente esterno.

Se consideriamo attività come camminare o correre, il ruolo del movimento è immediatamente evidente; tuttavia, esso è fondamentale anche in attività apparentemente solo cognitive. Durante la lettura, ad esempio, gli occhi eseguono continui movimenti per scandire il testo; quando parliamo, attiviamo una complessa e raffinata coordinazione di lingua, muscoli facciali e muscoli masticatori per articolare le parole; durante la scrittura o il lavoro al computer, muoviamo le mani per produrre contenuti.

Pertanto, il movimento non è limitato alla locomozione, ma rappresenta una componente essenziale di tutte le funzioni umane, costituendo il mezzo attraverso cui produciamo qualsiasi output verso il mondo esterno.

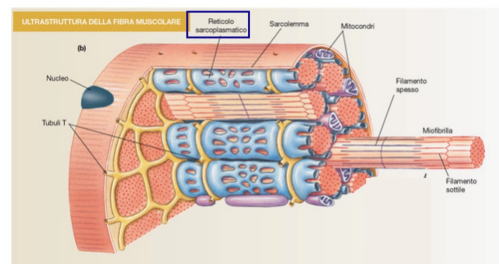
Il sistema motorio distingue sue componenti:
SOMATICO controlla attività muscolare volontaria
AUTONOMO controlla attività muscolare involontaria

Organizzazione strutturale del muscolo scheletrico



Le fibre muscolari scheletriche sono **sincizi veri**, perché derivano dalla fusione di più cellule (mioblasti) e quindi hanno **molti nuclei** in un unico citoplasma.

Il tessuto muscolare è costituito da fibre muscolari e l'unità muscolare più semplice è il **sarcomero**.



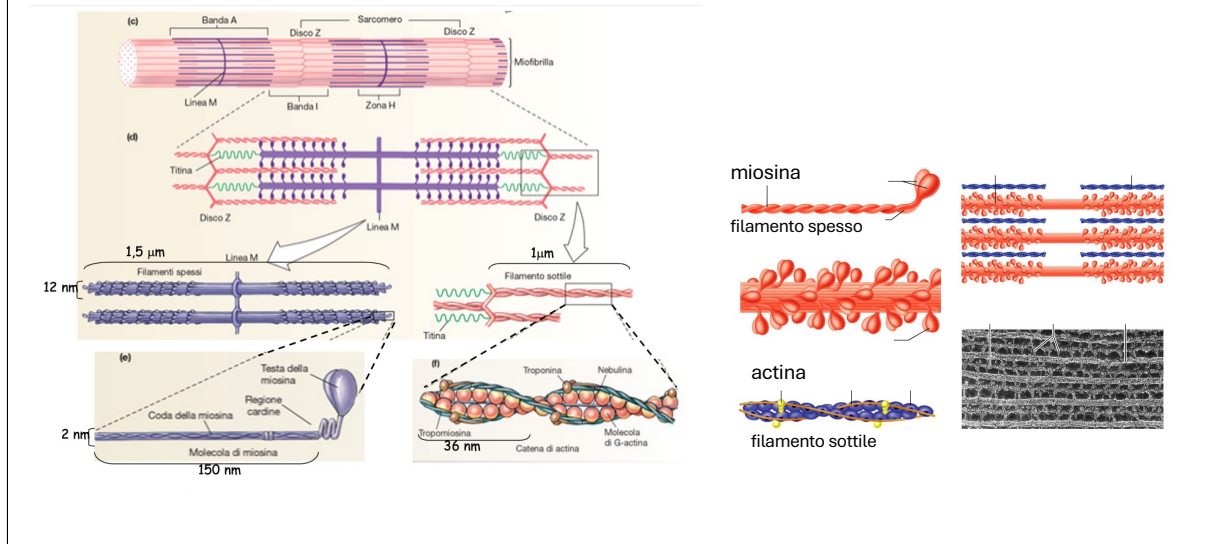
Come ci muoviamo? Ci muoviamo con i muscoli.

E che cos'è un muscolo?

Le fibre muscolari scheletriche sono **sincizi veri**, perché derivano dalla fusione di più cellule (mioblasti) e quindi hanno **molti nuclei** in un unico citoplasma.

Il tessuto muscolare è costituito da fibre muscolari e l'unità muscolare più semplice è il sarcomero.

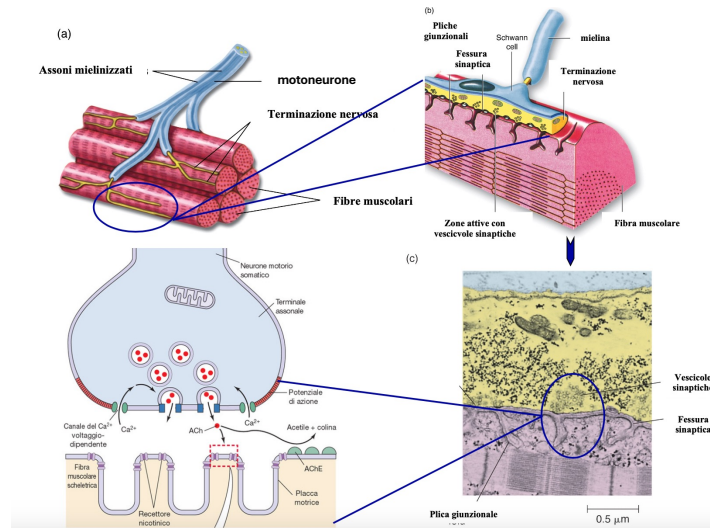
Il sarcomero



Il sarcomero, unità responsabile della contrazione muscolare si costituisce di proteine regolatrici e strutturali. Vedere slide

- Actina** → filamento sottile, proteina contrattile
- Miosina** → filamento spesso, proteina contrattile
- Tropomiosina** → proteina regolatrice
- Troponina** → proteina regolatrice
- Titina** → proteina strutturale
- Nebulina** → proteina strutturale

Giunzione Neuro-muscolare



Però il muscolo non si contrae da solo.

Si contrae grazie alla presenza di uno stimolo elettrico fornito dai neuroni.

Il neurone si attacca al muscolo tramite quella che si chiama giunzione neuromuscolare.

L'unione di un neurone (in questo caso motoneurone) con le fibre muscolari da lui innervate costituisce una unità motoria.

Un motoneurone può innervare con giunzioni multiple più fibre muscolari entrando in contatto con le invaginazioni dei sarcolemmi (membrane delle cellule muscolari)

Al contatto fra neurone e muscolo viene liberato un neurotrasmettitore che si chiama acetilcolina

Quindi il neurone rilascia **acetilcolina (ACh)**

L'ACh si lega ai recettori sulla membrana della fibra muscolare (sarcolemma)

Questi recettori sono **canali ionici ligando-dipendenti** → fanno entrare Na^+

Questo crea una **depolarizzazione locale** (potenziale di placca)

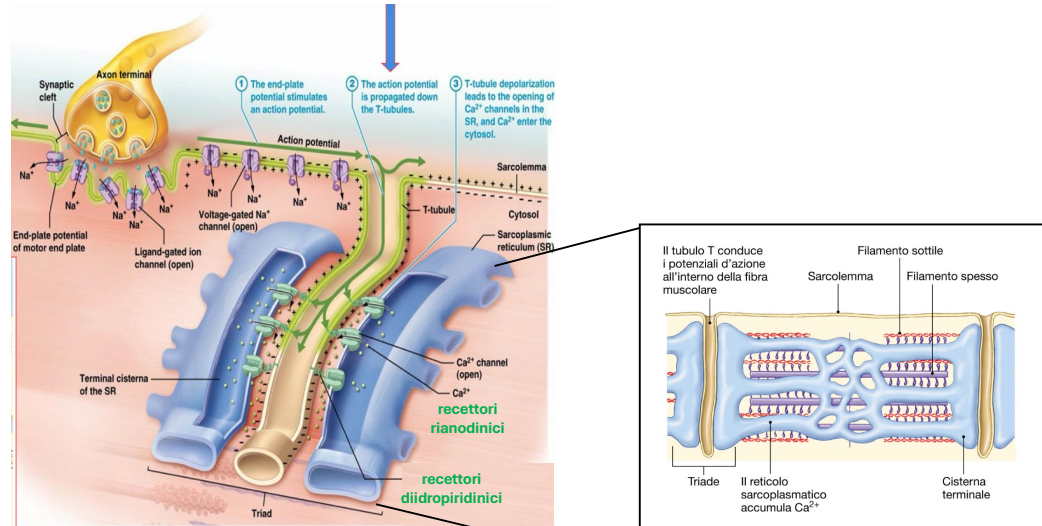
Curiosità:

La lidocaina come anche farmaci ad esso analoghi appartengono alla classe di anestetici locali che vengono somministrati ad esempio in caso di procedure odontoiatriche per ridurre prurito o dolore.

La sua azione è data dal blocco dei canali del della corrente di Na^+ voltaggio dipendente. Lidocaina entra in cellula perchè lipofila e poi si lega internamente al canale non permettendo ingresso Na^+

TUBULI T:

invaginazioni del sarcolemma utili a portare il segnale elettrico in profondità dentro la fibra



Reticolo sarcoplasmatico e Tubuli T

Se la depolarizzazione è abbastanza forte:

si attivano i canali del sodio voltaggio-dipendenti dando origine al potenziale d'azione che si propaga lungo tutta la membrana.

Raggiunge i **tubuli T**, che sono invaginazione del sarcolemma (membrana della fibra muscolare) utili a portare il segnale elettrico in profondità dentro la fibra.

Nei tubuli T ci sono recettori **DHPR – recettori diidropiridinici**, sensibili al voltaggio, fisicamente collegati ai recettori **rianodinici (RyR)** sul reticolo sarcoplasmatico. Quest'ultimi sono canali per il Ca²⁺ che in seguito a attivazione dai recettori DHPR determinano l'ingresso del Ca²⁺ nella fibra muscolare.

Il calcio attiva la contrazione

Sull'actina sono presenti anche due proteine regolatrici:

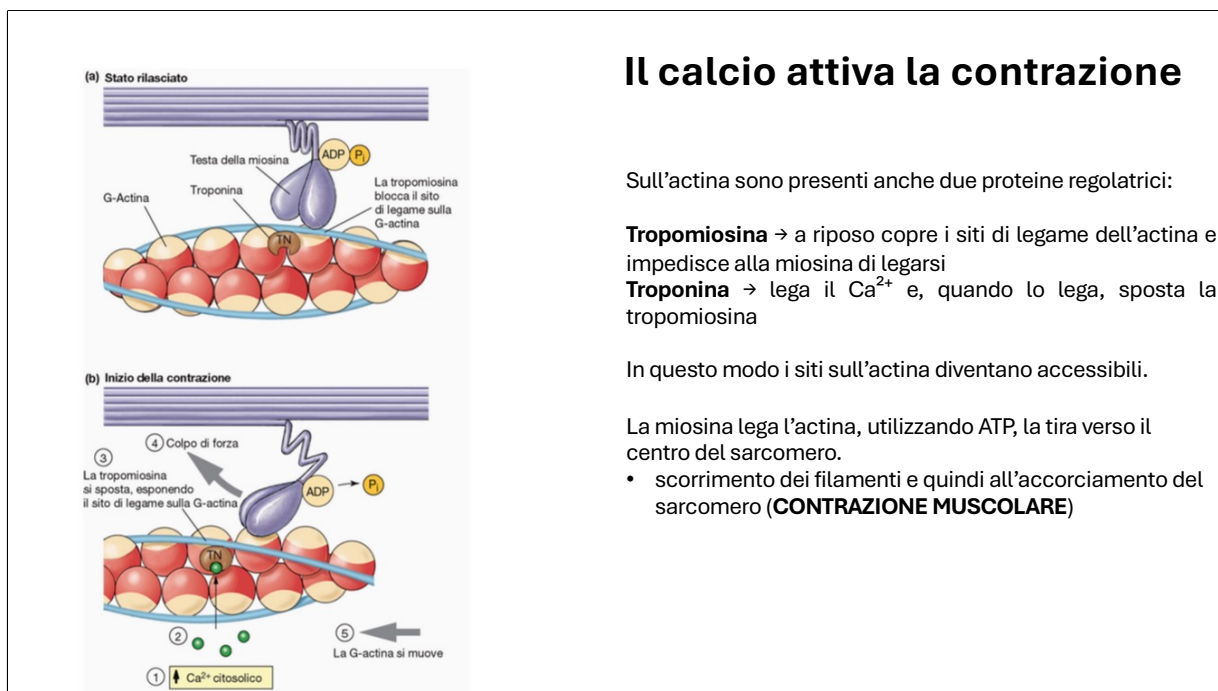
Tropomiosina → a riposo copre i siti di legame dell'actina e impedisce alla miosina di legarsi

Troponina → lega il Ca^{2+} e, quando lo lega, sposta la tropomiosina

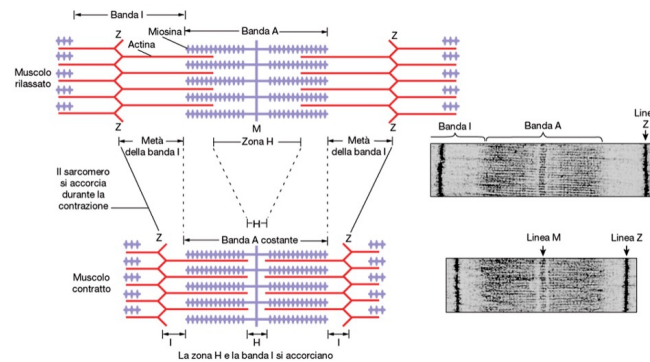
In questo modo i siti sull'actina diventano accessibili.

La miosina lega l'actina, utilizzando ATP, la tira verso il centro del sarcomero.

- scorrimento dei filamenti e quindi all'accorciamento del sarcomero (**CONTRAZIONE MUSCOLARE**)



La contrazione avviene grazie allo scorrimento dei filamenti

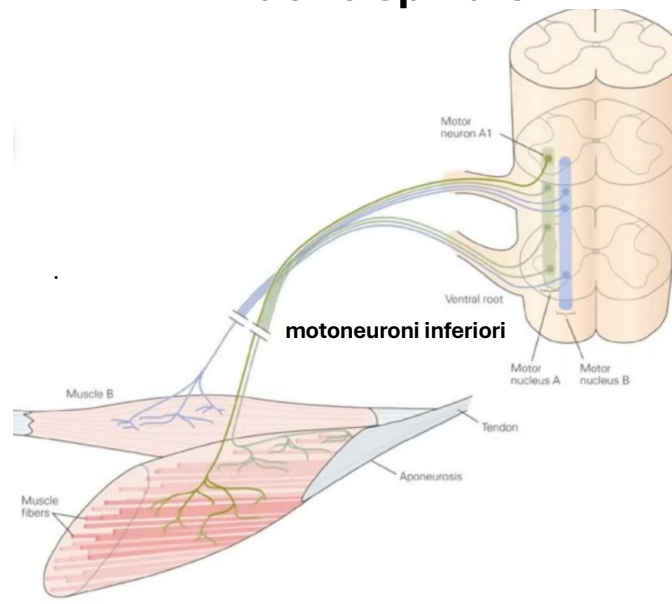


✓ La lunghezza della banda A rimane costante durante una contrazione (Huxley e Niedergerke, 1954)

✓ I filamenti di miosina ed actina non cambiano di lunghezza, ma il grado di sovrapposizione tra di essi varia al variare della lunghezza del sarcomero

Teoria dello scorrimento dei filamenti: durante la contrazione, l'accorciamento del sarcomero si verifica come conseguenza dello slittamento attivo dei filamenti sottili (actina) su quelli spessi (miosina)

Il Midollo spinale



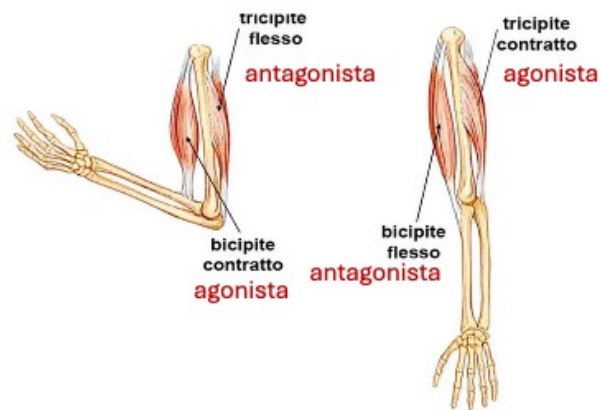
I neuroni motori controllano la contrazione muscolare a partire dal midollo spinale. Il midollo spinale è una struttura tubulare del sistema nervoso centrale, relativamente compatta e protetta dalla colonna vertebrale.

Dal punto di vista anatomico, presenta una caratteristica organizzazione interna: la sostanza bianca è localizzata perifericamente, mentre la sostanza grigia occupa la porzione centrale, assumendo una tipica forma a "H" (o a farfalla). Nelle corna anteriori della sostanza grigia sono localizzati i corpi cellulari dei motoneuroni somatici. Questi neuroni, definiti motoneuroni inferiori (lower motor neurons), rappresentano la via finale comune del sistema motorio, in quanto i loro assoni innervano direttamente le fibre muscolari scheletriche. La trasmissione del segnale avviene attraverso la giunzione neuromuscolare, determinando la contrazione del muscolo.

Il midollo spinale riceve inoltre segnali discendenti dai centri superiori, in particolare dalla corteccia cerebrale e da altre strutture encefaliche. Tali input modulano l'attività dei motoneuroni inferiori, consentendo l'esecuzione e il controllo del movimento volontario.

Per qualsiasi movimento possiamo dividere i gruppi muscolari in muscoli **agonisti** e muscoli **antagonisti**.

Esempio della flessione dell'avambraccio:



Flessione avambraccio Estensione avambraccio

Per qualsiasi movimento possiamo dividere i gruppi muscolari in muscoli agonisti e muscoli antagonisti.

Facciamo l'esempio del braccio:

ho il braccio steso e lo contraggo. Non basta semplicemente contrarre il bicipite. Nel braccio ci sono bicipite e tricipite. Per far contrarre l'avambraccio sul braccio devo contrarre il bicipite, ma devo anche rilassare il tricipite. Se il tricipite rimanesse contratto non riuscirei a piegare il braccio.

Viceversa, quando stendo il braccio, ho bisogno di contrarre il tricipite e rilassare il bicipite.

Il muscolo agonista è quello che compie il movimento, il muscolo antagonista è quello che si oppone a quel movimento. Se sto piegando l'avambraccio sul braccio, il muscolo agonista è il bicipite e l'antagonista è il tricipite. Se sto estendendo l'avambraccio, il muscolo agonista è il tricipite e l'antagonista è il bicipite.

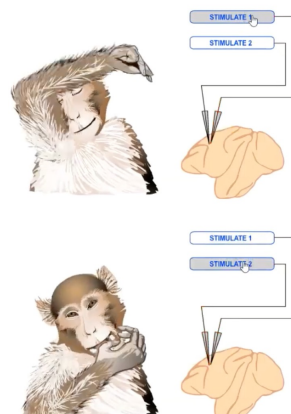
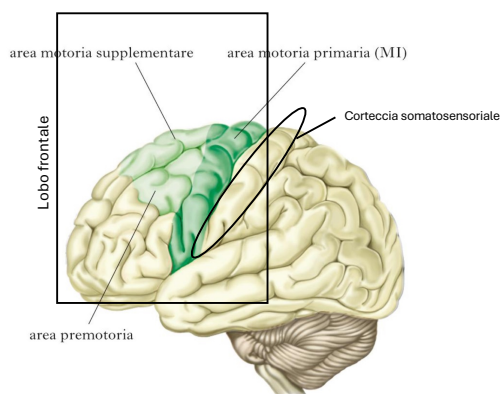
Tono muscolare

Il muscolo non è mai completamente “spento”

- lavora sempre un po' anche quando siamo rilassati
- serve per mantenere **postura ed equilibrio**
- Definisce il **TONO MUSCOLARE**
- cambia da individuo a individuo, a seconda del grado di allenamento e di tanti altri parametri, e può cambiare drammaticamente in situazioni patologiche.

Aria della corteccia motoria

Da dove parte l'informazione che va al midollo spinale?



Il primo a scoprire la corteccia motoria è stato Penfield, che faceva operazioni chirurgiche su pazienti con epilessia

Da dove parte l'informazione che va al midollo spinale? Parte dalla corteccia cerebrale, in particolare da una zona chiamata area motoria primaria, identificata da Brodmann come area 4.

L'area motoria primaria è quella da cui parte l'impulso che va al midollo spinale.

Facciamo un passo indietro per capire come è organizzata l'area della corteccia motoria.

La corteccia motoria si trova all'interno del lobo frontale ed è costituita da tre aree.

Corteccia motoria primaria, premotoria e supplementare.

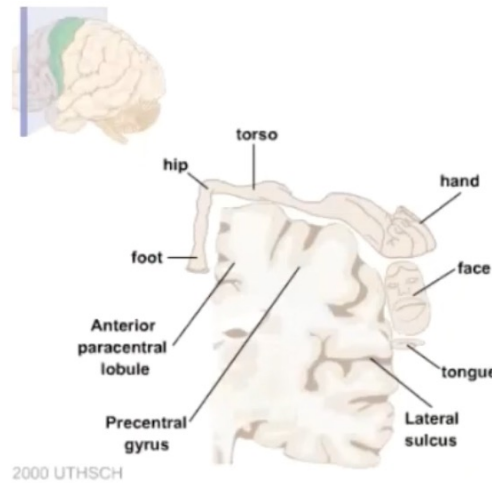
La mappatura funzionale della corteccia motoria è stata descritta in modo sistematico da Wilder Penfield, durante interventi neurochirurgici su pazienti affetti da epilessia farmacoresistente.

Nel corso di queste procedure, eseguite in anestesia locale, Penfield applicava stimolazione elettrica diretta della corteccia cerebrale al fine di identificare e preservare le aree funzionalmente rilevanti prima della resezione chirurgica. Attraverso questa tecnica, osservò che la stimolazione di specifiche regioni della corteccia motoria induceva movimenti involontari di distretti corporei ben definiti. Ad esempio, la stimolazione di una determinata area poteva evocare movimenti dell'arto superiore, mentre la stimolazione di un'altra regione poteva determinare movimenti della faccia o della bocca.

Questi risultati dimostrarono che la corteccia motoria è organizzata secondo una mappa somatotopica, in cui diverse porzioni corticali controllano specifiche parti del corpo.

Organizzazione somatotopica

La **corteccia motoria primaria** ha una mappa, cioè ogni sua porzione rappresenta una parte del corpo



La corteccia motoria primaria ha una mappa, cioè ogni sua porzione rappresenta una parte del corpo. Se stimolo la zona della faccia ottengo un movimento della faccia; se stimolo la zona della lingua ottengo un movimento della lingua. Questa organizzazione si ritrova anche nella corteccia premotoria e nell'area motoria supplementare. Vediamo ora le funzioni di queste tre aree.

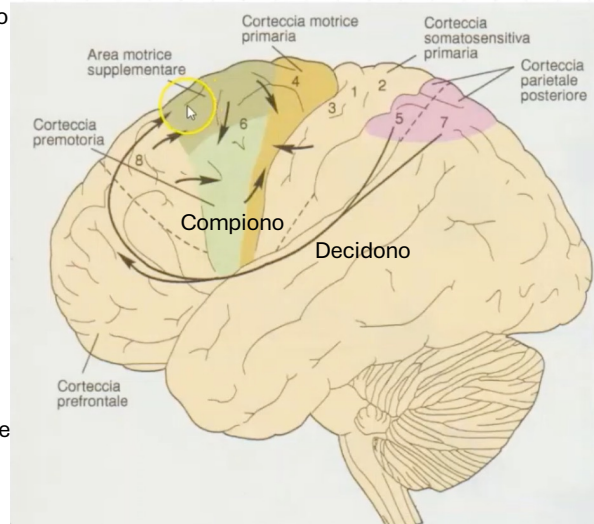
Area motoria supplementare e premotoria

L'area motoria supplementare e la premotoria ricevono informazioni da alcune **aree prefrontali**, come l'area 8 e da **aree parietali posteriori**, come le aree 5 e 7

Per un'azione volontaria, prima devo decidere cosa fare.

La corteccia **parietale posteriore** e quella **prefrontale** **decidono l'azione** e ne anticipano anche le conseguenze

Preso la decisione, queste aree passano l'informazione all'area **motoria supplementare** e alla **premotoria**



Se chiediamo di muovere semplicemente le dita, vediamo l'attivazione della **corteccia motoria primaria** e anche della **corteccia somatosensoriale**.

- *l'informazione sensoriale è fondamentale per il controllo del movimento.*

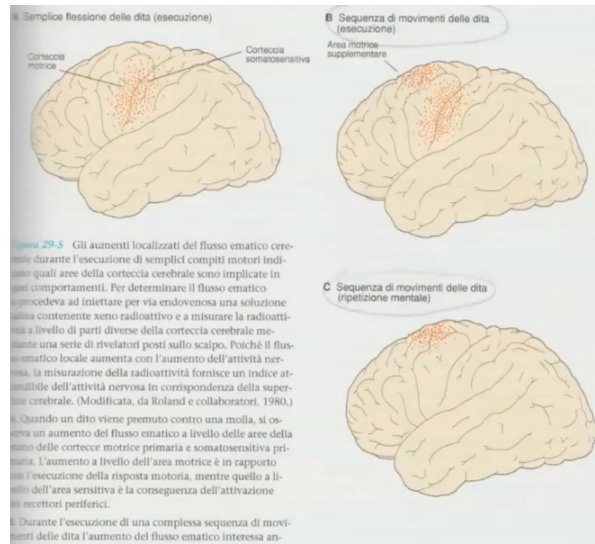
Se chiediamo di eseguire una sequenza complessa di movimenti delle dita, oltre alla corteccia motoria primaria e somatosensoriale si attiva anche **l'area motoria supplementare**.

- *Questo perché la sequenza deve essere pianificata.*

Se invece chiediamo alla persona solo di pensare alla sequenza, senza eseguirla, non si attiva la corteccia motoria primaria, ma si attiva comunque **l'area motoria supplementare**.

- *Questo dimostra che è coinvolta nella pianificazione.*

Un esempio:



Inoltre, l'area motoria supplementare è importante per i movimenti bilaterali, cioè quelli che richiedono coordinazione tra le due mani, come abbottonarsi una camicia.

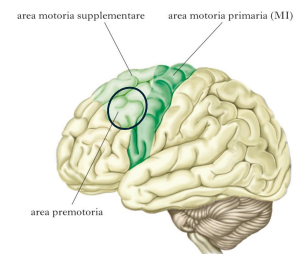
Neuroni Specchio



Nella corteccia premotoria sono stati scoperti anche i neuroni specchio, che si attivano sia quando compiamo un'azione sia quando vediamo qualcun altro compierla

ESEMPIO:

I neonati ad esempio reagiscono ai volti umani molto presto proprio grazie all'attivazione dei neuroni specchio.



Area motoria primaria

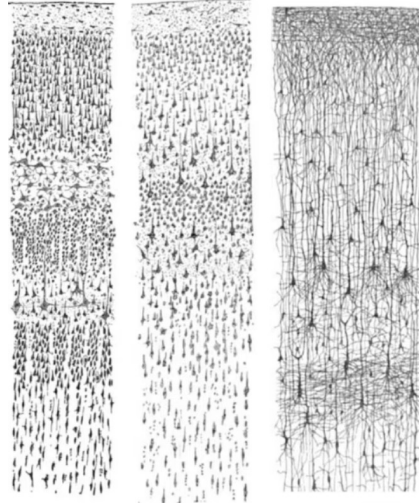
La corteccia motoria primaria è responsabile dell'inizio del movimento.

Si attiva pochi millisecondi prima della contrazione muscolare, quindi rappresenta l'innesco del movimento

è caratterizzata dalla presenza di **cellule piramidali giganti**, o cellule di Betz.

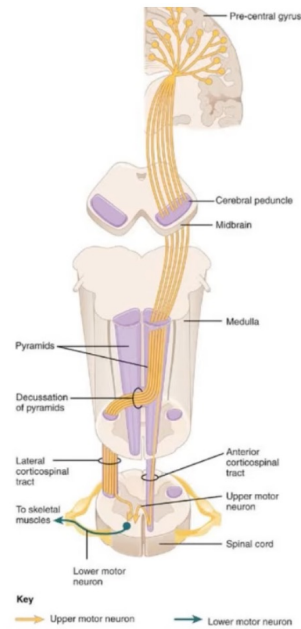
Queste cellule (**motoneuroni superiori**) mandano i propri assoni nello midollo spinale dove sono responsabili dell'attivazione dei motoneuroni nel midollo spinale (**motoneuroni inferiori**) **CIRCUITO CORTICO-SPINALE**

L'informazione sul movimento parte da queste cellule, che veicolano un'informazione su un movimento da eseguire direttamente al midollo spinale, in particolare alle corna anteriori.



Via discendente dall'area motoria primaria

Tratto corticospinale



A livello della medulla oblungata, le fibre corticospinali passano dalla parte opposta in una struttura chiamata **decussazione delle piramidi**.

A livello della medulla oblungata, le fibre corticospinali passano dalla parte opposta.

Cervello destro – corpo sinistro

Cervello sinistro – corpo destro

Questo spiega perché una persona che ha un ictus a destra ha una paralisi a sinistra, e una persona che ha un ictus a sinistra ha una paralisi a destra.

Se la lesione avviene al di sotto del bulbo, la paralisi è dallo stesso lato.

Per fare il punto

Il **motoneurone superiore** manda l'informazione al midollo spinale attraverso il fascio corticospinale.

Gli assoni del motoneurone superiore entrano in contatto con i **motoneuroni inferiori**, che mandano informazione al muscolo tramite la **giunzione neuromuscolare**. L'acetilcolina viene rilasciata e il muscolo si contrae.

Il **motoneurone superiore** utilizza **glutammato**, uno dei più importanti neurotrasmettitori eccitatori del cervello.

Il **motoneurone inferiore** utilizza **acetilcolina**.

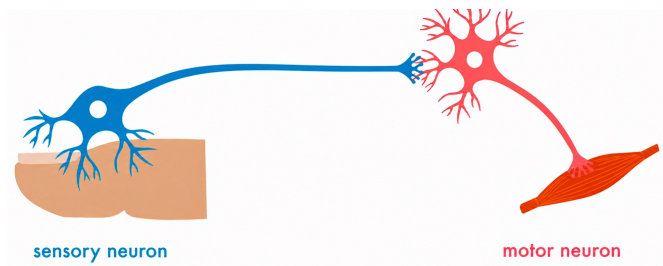
La contrazione dei muscoli è un fenomeno **volontario**

A livello del midollo esistono altri meccanismi involontari responsabili del movimento

RISPOSTA INVOLONTARIA RAPIDA A STIMOLI

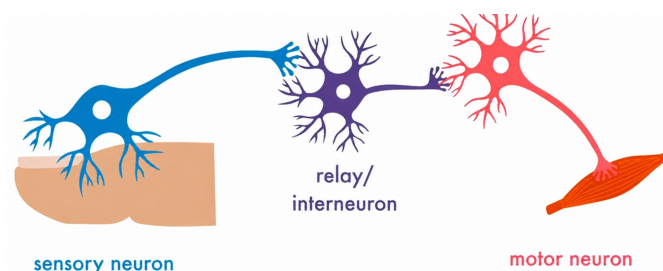
ARCO RIFLESSO

Arco riflesso



Monosinaptico

esempio:
riflesso patellare (ginocchio)



Polisinaptico

Esempio:
riflesso di retrazione
(togli la mano dal fuoco)

La contrazione dei muscoli agonisti e antagonisti è un fenomeno volontario, ma c'è tutta una combinazione di meccanismi involontari che comincia proprio a livello del midollo spinale.

Uno di questi meccanismi è l'arco riflesso, uno dei circuiti neuronali più semplici del nostro organismo.

Ovvero una risposta involontaria del nostro corpo ad uno stimolo

In questa risposta abbiamo un neurone sensoriale che è accoppiato ad un motoneurone. Il contatto può essere diretto e viene definito come arco riflesso mono sinaptico, oppure indiretto ovvero che avviene attraverso la mediazione di un interneurone (arco riflesso poli sinaptico).

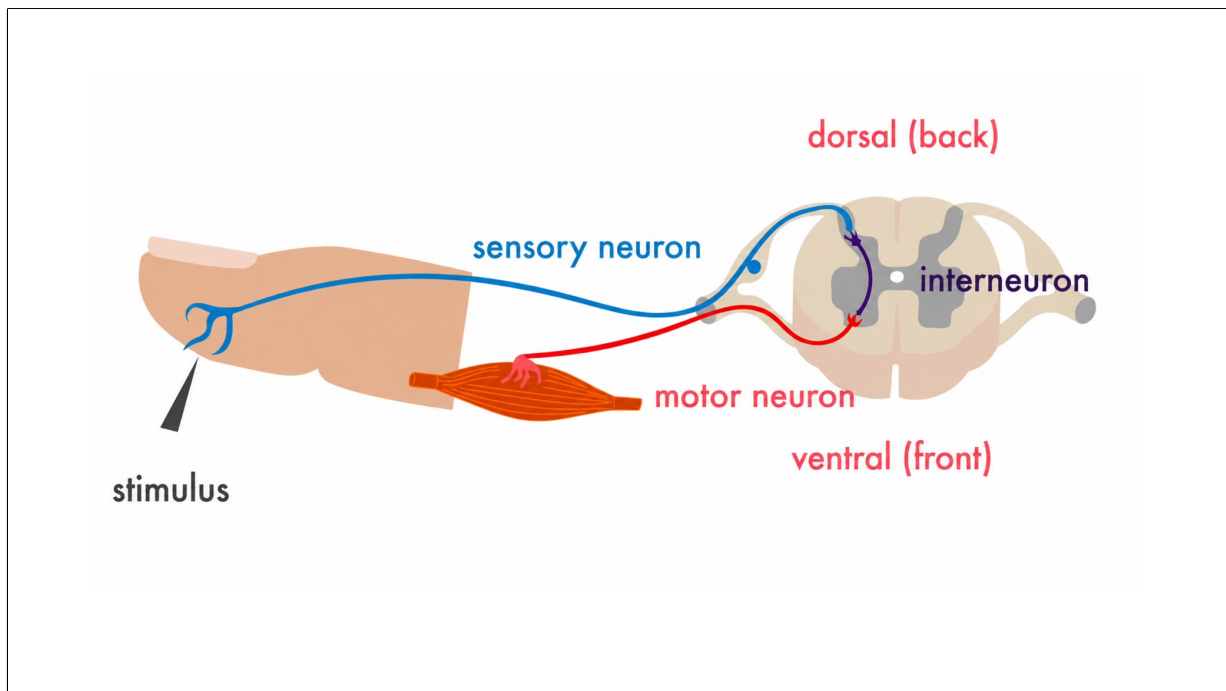
In SNC abbiamo encefalo e midollo spinale. L'arco riflesso ha sede del midollo spinale senza l'intervento dei centri nervosi superiori.

Non ha dunque bisogno dell'encefalo per generare la risposta.

Curiosità:

L'arco riflesso ha un ruolo emblematico già nei primissimi giorni della nostra vita post natale.

Sin dalla nascita infatti sono presenti ed operativi riflessi primitivi (o arcaici) che possiamo definire come schemi motori automatici e involontari, gestiti dal tronco encefalico per la sopravvivenza, la protezione e lo sviluppo neuromotorio del neonato.



Vediamo cosa accade se ci pungiamo un dito:

L'impulso viene captato dal recettore sensoriale ed inviato al midollo spinale tramite un nervo sensoriale afferente. Questo entra in contatto con un motoneurone efferente che induce il movimento nel muscolo e lo fa tramite un interneurone (associativo).

La risposta è molto rapida ed automatica. Si prende consapevolezza solo dopo che la contrazione è avvenuta.

Infatti il neurone sensitivo entra nel midollo spinale, si biforca mandando due segnali, uno per il riflesso, uno verso la via ascendente (encefalo)

Esistono molti riflessi muscolari di questo tipo: patellare, plantare, achilleo, del tricipite, del bicipite, radiale e anche mentoniero.

Quello che viene testato dal medico dando un colpetto con il martelletto sotto la rotula e tendiamo il tendine del quadricipite femorale.