

-CONTROLLO SENSO-MOTORI

Partiamo dal tipo di circuito più semplice possibile, il cosiddetto arco riflesso semplice; semplice nel senso mono-sinaptico. In realtà il nostro comportamento motorio è controllato da circuiti molto complessi ma questo è proprio un modulo di base molto semplice che si riscontra per esempio nel cosiddetto riflesso miotattico, cioè riflesso di stiramento del muscolo. Vedete il muscolo contiene al suo interno dei piccoli organi di senso che si chiamano fusi neuromuscolari (nell'immagine è la cellula in al centro nella parte bassa circondata da "fibre"); comunque diciamo che è fatto da fibre muscolari modificate che hanno perso in buona parte la capacità contrattile (se non per uno scopo che vedremo dopo).

quindi queste cellule muscolari modificate prendono contatto con il neurone sensoriale (grosse fibre 1 alfa) circondato in questo fuso neuromuscolare e quando il muscolo viene stirato,

si stira anche questo organo,

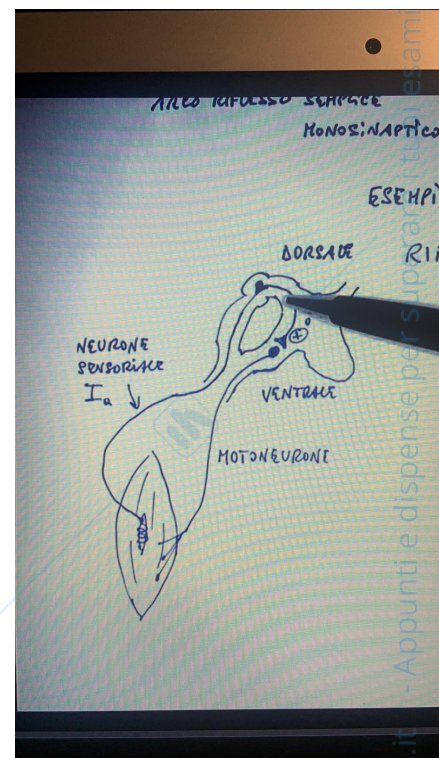
c'è una traduzione meccanica della membrana del neurone sensoriale,

si aprono canali ionici sensibili allo stiramento,

il neurone depolarizza

si innesca un potenziale d'azione che poi viaggia verso il midollo spinale;

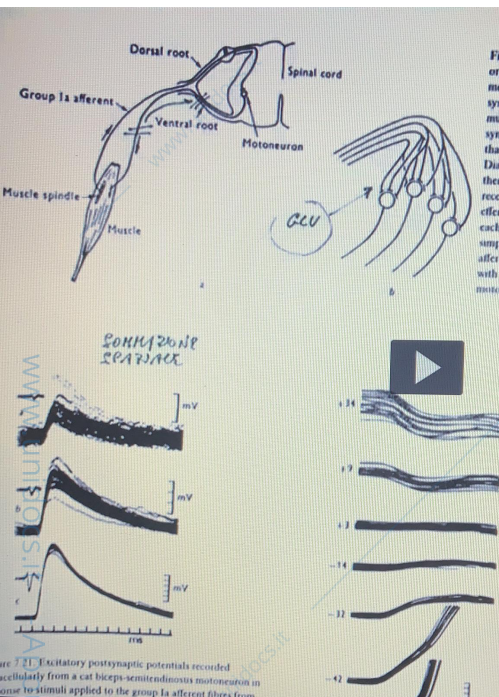
L'immagine è il midollo spinale (la parte grigia) in sezione



Ecco quindi avete neurone sensoriale che al corpo cellulare nel ganglio della radice dorsale (punto blu grosso in alto vicino alla parola "dorsale"), Poi prosegue la fibra e va a raggiungere il motoneurone che invece già sappiamo si trova nelle corna ventrali (punto grosso vicino alla scritta "ventrale") E poi dal corno ventrale del midollo parte l'assone del motoneurone che rientra poi nello stesso nervo e arriva il muscolo e qui si separa dal nervo e va a formare la giunzione neuromuscolare.

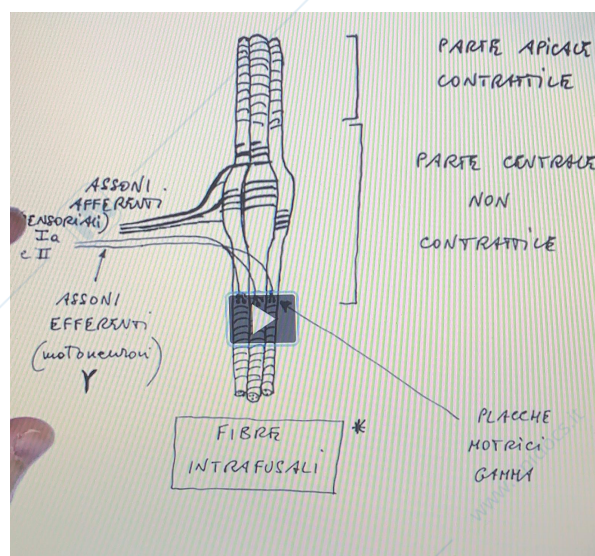
Quindi quando il muscolo si stira, il potenziale d'azione viaggia lungo la fibra del neurone sensoriale e poi questi neuroni sensoriali formano sinapsi con i corpi cellulari o con i dendriti dei motoneuroni; Quindi sul motoneurone si producono potenziali post sinaptici eccitatori; questi neuroni sensoriali sono eccitatori, rilasciano glutammato: quindi immaginate tante fibre dei neuroni sensoriali che attivano tante sinapsi su questo motoneurone, che quindi depolarizza, supera la soglia e manda potenziale d'azione. Questo stimolerà tramite la giunzione neuromuscolare la contrazione del muscolo; quindi è un sistema di retroazione che permette di controllare lo stato di contrazione del muscolo in funzione dello stiramento.

Questo sistema che risponde allo stiramento ci permette in ogni momento di rendersi conto dello stato di lunghezza, dello stato di stiramento del muscolo e permette di produrre questa retrazione inibitoria, cioè nel senso che inibisce l'effetto, il muscolo si stira e attraverso la contrazione lo fate riaccorciare attraverso questa retrazione. si può calibrare anche la lunghezza del muscolo, per esempio evitando uno stiramento eccessivo che può essere dannoso o comunque mantenendo una lunghezza ideale per gli scopi del movimento dell'organismo in quel momento.



Quando il muscolo si stirava, voi avete uno stimolo che viene da molte fibre e che produce un'attivazione di decine e decine di sinapsi; quindi si supera la soglia solo se lo stimolo è abbastanza intenso da attivare un numero sufficiente di neuroni ed a produrre un'attivazione di un numero sufficiente di sinapsi, si produce poi il superamento della soglia, così che il motoneurone scarica il potenziale d'azione e determina la contrazione del muscolo. Chiaro esempio di una sommazione spaziale delle sinapsi sul motoneurone; sommazione spaziale di sinapsi distinte che, se si attivano entro un tempo molto breve, riescono a depolarizzare a sufficienza il motoneurone producendo una depolarizzazione sufficiente per innescare il potenziale d'azione.

Ecco vediamo meglio come è fatto il fuso muscolare.



il fuso muscolare comprende un certo numero di fibre che si chiamano fibre intrafusari cioè fibre fanno parte del fuso, che sono vedete queste cellule allungate in cui la parte centrale non è contrattile (la parte contrattile l'ho disegnata con curve, la zona centrale di queste fibre non è contrattile) mentre ha mantenuto una proprietà contrattile all'apice. Queste fibre intrafusari in realtà sono di due classi:

ci sono le cosiddette fibre a sacco di nuclei, che sono fibre sinciziali come in genere il caso del muscolo scheletrico; i nuclei vanno a formare una specie di sacchetto, ce ne sono circa tre in un fuso neuromuscolare in media, che hanno sia proprietà toniche che proprietà fasiche, cioè si attivano quando il muscolo cambia la lunghezza e poi smettono di essere attive (fasiche) oppure sono toniche cioè stanno rimangono attive in modo stabile quando il muscolo cambia lunghezza.

L'altro tipo sono le fibre a catena di nuclei in cui nuclei hanno una forma più sono disposti più a catena sono circa cinque per cilindro e sono fibre più toniche cioè tendono a rispondere soprattutto allo stato stabile.

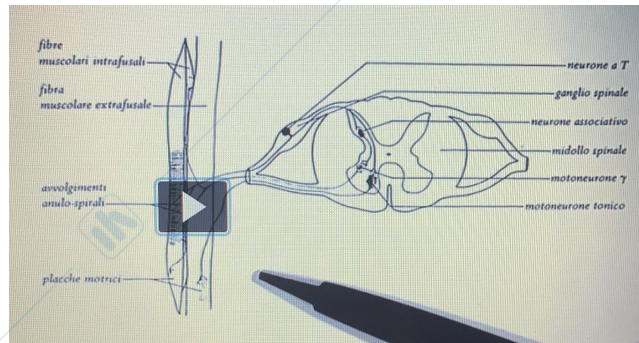
c'è anche una differenza poi nel tipo di neuroni sensoriali che innervano:

Tipo uno che vanno a innervare un po' tutte le fibre; sono più importanti quando il muscolo sta cambiando lunghezza

tipo due tendono a innervare solo le fibre toniche e quindi hanno caratteristiche più di risposta statica, cioè la lunghezza statica

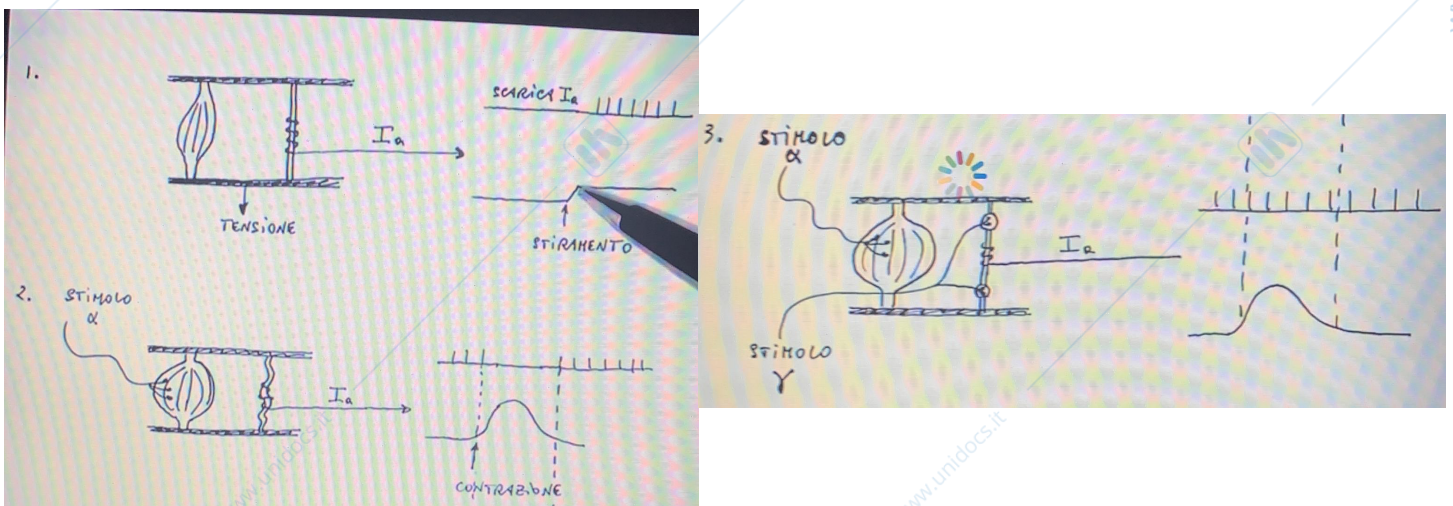
Comunque nel complesso queste fibre sensoriali afferenti (cioè che portano quell'informazione verso il sistema nervoso centrale del midollo), che siano di tipo uno o due vedete che hanno terminazioni che si arrotolano e avvolgono la parte centrale non contrattile del fuso muscolare; quindi quando il muscolo si stira si porta dietro il fuso muscolare che si stira a sua volta e lo stiramento di questa parte centrale produce uno stiramento delle membrane del neurone quindi come abbiamo detto prima, si aprono canali sensibili allo stiramento e si innescano potenziali d'azione.

Poi però questo fuso muscolare, come spesso succede, può venire anche controllato nelle sue proprietà di risposta (è una forma di adattamento), venire controllato da fibre efferenti, cioè dal sistema nervoso centrale e dal midollo; fibre che controllano la lunghezza del fuso neuromuscolare stesso per permettere al fuso neuromuscolare di essere sempre efficiente e di essere sempre nello stato di lunghezza più adatto a rispondere al segnale in funzione della lunghezza del muscolo in quel particolare momento.



Abbiamo i neuroni sensoriali che però innervano anche un altro tipo di moto neuroni, che si chiamano motoneuroni gamma. questi motoneuroni, Anche essi controllati tramite neuroni sensoriali, non controllano poi il grosso del muscolo ma vanno a controllare lo stato contrattile proprio degli apici del fuso muscolare. Quindi la fibra gamma fa contrarre il muscolo nel suo complesso ma regola la lunghezza del fuso neuromuscolare.

E quand'è che si attiva quindi?



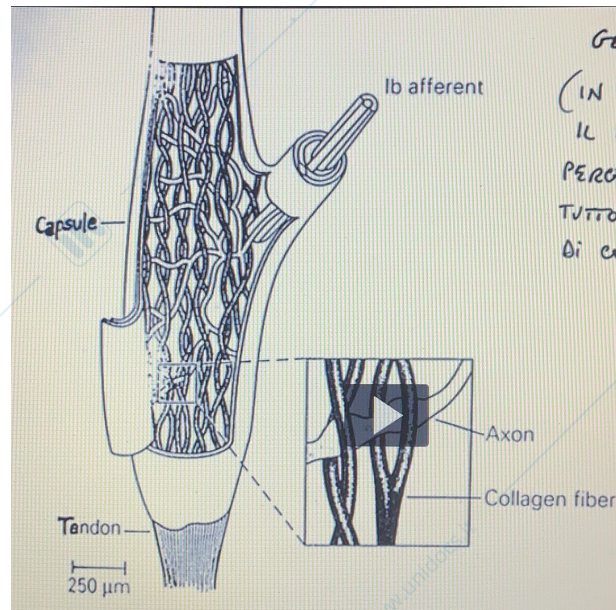
beh qui nell'immagine abbiamo messo in parallelo il muscolo (a sinistra) in parallelo con il muscolo con il fuso neuromuscolare stilizzato (a sinistra).

Quando avete il muscolo da una certa lunghezza si stira quindi questo segno (quando si alza la linea dello "stiramento" nell'immagine) indica che il muscolo a questo tempo si stira, Si stira il muscolo (ed è indicato dalla freccia con "tensione") che fa stirare il muscolo e quindi si stira anche il fuso neuromuscolare (che in realtà è dentro al muscolo).

La fibra sensoriale innesca P. azione che poi arrivano ai motoneuroni, quindi la fibra sensoriale comincia a produrre una frequenza più alta di P. azione (sappiamo già cosa succede, questo entra stimola motoneuroni alfa che manda lo stimolo per far contrarre il muscolo). Fin qui tutto bene, il muscolo che si era allungato subisce una retrazione che lo fa contrarre; però (come si vede nell'immagine 2) il fuso neuromuscolare perde la sua lunghezza e tensione perfette, quelle adatte a rispondere e a trasmettere immediatamente il segnale meccanico al neurone sensoriale, e si deforma. Quindi diventa poco responsivo, vuol dire che quando il muscolo si è accorciato oltre a un certo livello, il fuso neuromuscolare non risponde più quindi non è più in grado di segnalare al sistema nervoso centrale se da qui si accorcia ulteriormente o si stira un po'. Quindi è necessario qualche meccanismo di adattamento che faccia tornare il sistema responsivo nelle nuove condizioni fisiche .

in questo caso, nel caso del fuso muscolare, l'adattamento dipende proprio dallo stimolo gamma, quindi i neuroni sensoriale che si sono attivati con lo stiramento del muscolo, hanno attivato anche questi motoneuroni gamma che intervengono subito dopo il motoneurone alfa (perché tra il neurone sensoriale alfa e il motoneurone gamma c'è un neurone in mezzo, mentre tra il neurone sensoriale e il motoneurone alfa non ce n'è); con un piccolo ritardo anche le fibre gamma si attivano e quindi fanno accorciare il fuso muscolare che quindi ritorna nello stato di lunghezza e tensione giusti per rispondere alla lunghezza del muscolo al SNC, che adesso è accorciato.

Un'altro esempio è l'organo tendine del Golgi:



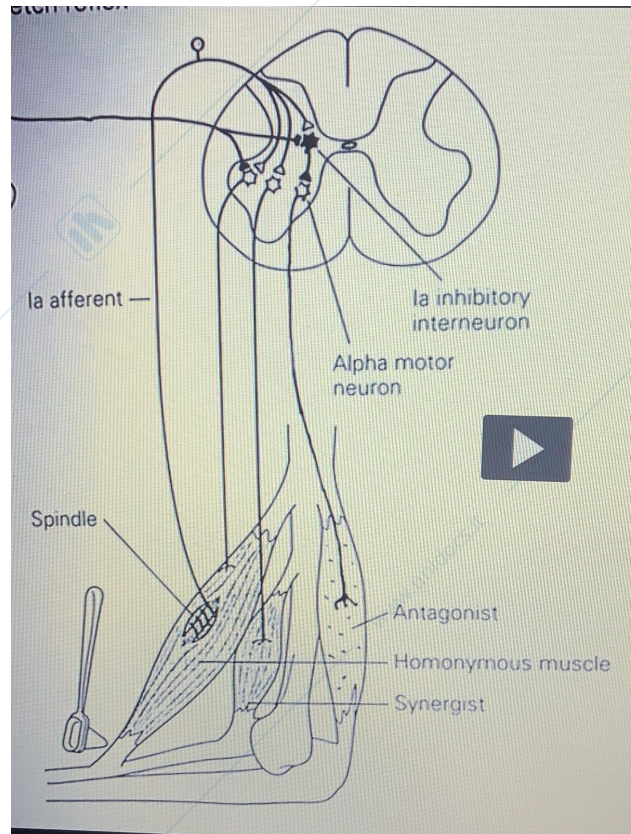
in questo caso non è in parallelo col muscolo come il fuso muscolare ma è localizzato immediatamente prima del tendine. Quindi abbiamo la parte finale delle fibre muscolari, poi c'è una capsula rigida che contiene questo organo tendineo del golgi e poi il tendine; questo organo essendo in serie col muscolo serve a farci percepire la forza di contrazione e quindi non la lunghezza.

Come fa quest'organo a far percepire la forza di contrazione?

beh all'interno di questo organo c'è una fitta rete di fibre collagene (nell'immagine queste più scure sono fibre collagene) a forma di anelli entro cui, all'interno di questi anelli, si vanno a ramificare gli assoni del neurone sensoriale (in questo caso del tipo 1B — guarda immagine); Quando il muscolo aumenta molto la tensione in quest'organo perché il muscolo sta esercitando molta forza, queste fibre collagene un pochino si schiacciano, c'è una lieve deformazione locale (che poi è proporzionale alla forza sviluppata dal muscolo) che tende un po' a far avvicinare le fibre di questi anelli (fibre collagene) e quindi schiacciano l'assone. Anche qui abbiamo quindi una trasduzione meccanica, in cui l'assone risponde alla deformazione della membrana, con risposta di canali ionici sensibili allo stiramento, che depolarizzano la cellula e innescano pot. D'azione che al solito viaggerà ed entrerà nelle corna dorsali del midollo.

Quindi, quando il muscolo si contrae e aumenta la forza sviluppata, abbiamo le fibre collagene che si deformano, tendono avvicinarsi tra loro, schiacciano i neuroni; le fibre dei neuroni sensoriali poi entrano come al solito dalle corna dorsali, in questo caso formano sinapsi con neuroni intermedi e poi l'effetto finale è quello non di contrarre il muscolo stesso ma di inibirlo.

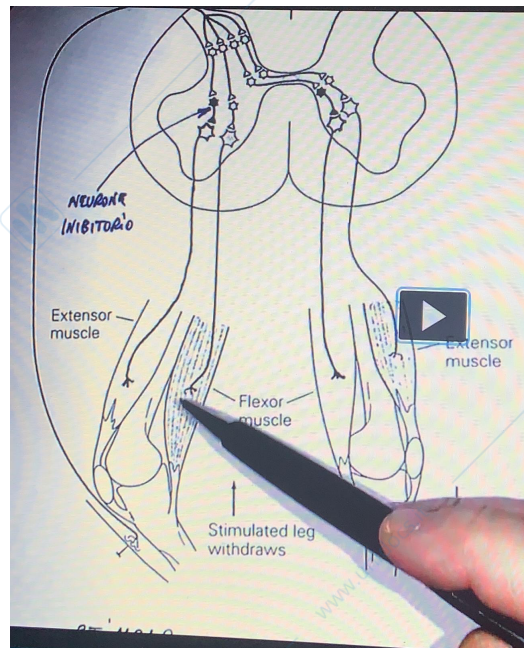
Riflesso patellare (ginocchio/gomito)



Se voi date un colpetto con un martelletto, il tendine si allunga; in questo caso è che attivate gli organi tendine del golgi, ma in questo caso si ha lo stiramento del muscolo quindi si attivano i fusi neuromuscolari; c'è la fibra che torna indietro, stimola i motoneuroni e fa contrarre contrazione del muscolo. Qui vediamo un primo aspetto di coordinazione neuromuscolare, visto che questo sistema sensoriale eccita non solo il muscolo che è stato stirato, ma eccita anche il muscolo che lavora in modo sinergistico con questo muscolo per poter accorciare/piegare l'articolazione nel modo migliore; Quindi vengono attivati i motoneuroni che attivano i due muscoli agonisti cioè che funzionano in sinergia. D'altra parte quando noi riflettiamo un arto, quindi quando pieghiamo il braccio o la gamba, simultaneamente per facilitare il movimento rilassiamo i muscoli antagonisti, cioè i muscoli estensori nel caso di un arto.

E questo si può verificare anche con semplici moduli locali, che sono archi riflessi un po' più complessi di quelli che abbiamo visto, ma basati sugli stessi principi: un semplice modulo motorio locale tramite interneuroni inibitori; in questo caso avete stirato il muscolo, si è attivato il neurone sensoriale sensoriale che oltre ad attivare i motoneuroni che fanno contrarre l'arto, attiva anche un interneuroni inibitorio (solito interneuroni nero nell'immagine) che inibisce il motoneurone alfa che controlla l'antagonista. (INNERVAZIONE RECIPROCA).

-Esempio di Riflesso incrociato innervazione incrociata



Colpite una gamba, ad esempio sul ginocchio con uno stimolo dolorifico pungete; allora si attiva un neurone calorifico (fibre nocicettive), vedete queste fibre del dolore entra come al solito e produce un riflesso di allontanamento, di retrazione, nella gamba che è stata colpita; cioè per allontanare la gamba dal danno, voi la piegate. Questo stimolo doloroso attiva questi interneuroni eccitatori, attraverso neuroni eccitatori eccitano il motoneurone del flessore e quindi la gamba si piega e quindi si allontana; in contemporanea, grazie all'interneurone inibitorio, flettete l'estensore, e quindi la gamba rapidamente si piega. però se voi piegate la gamba, l'altra gamba si deve irrigidire per mantenere l'equilibrio; quindi questo stimolo doloroso attiva neuroni che trasferiscono l'informazione anche dal lato opposto e attivano ed inibiscono i muscoli con una configurazione opposta cioè eccitano l'estensore e rilassano il flessore (sempre tramite interneurone) per facilitare questa estensione. Quindi gamba opposta fa da supporto.

Quindi vedete qui abbiamo messo insieme i due riflessi reciproci in cui nostri muscoli agonisti e antagonisti, in un quadro più complesso tramite il riflesso incrociato innervazione crociata, permette di coordinare contrazione rilassamento dei muscoli dei due arti.

-Possiamo distinguere tra:

l'apparato segmentale cioè gli archi riflessi semplici locali mento

un apparato Intersegmentale che connette segmenti diversi e connettere le diverse parti del tronco o le diversi arti

poi un apparato di connessione che serve a congiungere il midollo spinale all'encefalo, quindi il midollo spinale comunica con il cervello che determina sia l'interazione di questi atti motori con il complesso delle sensazioni che riceviamo sia coordina gli atti motori volontari.