

Lezione 5

Innervazione muscoli: tendini, articolazioni, riflesso miotatico (fusi neuromuscolari), riflesso miotatico invertito (Corpi di Golgi), riflesso di retrazione. Innervazione viscerale (ortosimpatico e parasimpatico).

Le cellule del corno anteriore, che sono derivate dalla lamina IX, sono i motoneuroni, neuroni miorabdotici destinati alla muscolatura striata scheletrica.

Ne esistono di due tipi:

- Motoneuroni alfa (α), più grossi;
- Motoneuroni gamma (γ), più piccoli.

Nel muscolo troviamo il **punto motore**, molto importante perché lì entra il nervo. Quando i fisioterapisti vogliono stimolare il muscolo, per cercare di aumentarne la forza o vedere come funziona, devono localizzare questo punto, ben fisso e noto in tutti muscoli. In questo punto entra il nervo motore, accompagnato da fibre sensitive in rapporto funzionale con l'innervazione dei muscoli e dei tendini.

I **riflessi** possono essere chiamati:

- In senso anatomico, muscolo-tendinei
- In senso funzionale, riflessi miotatici (sono riflessi regolatori, da $\tau\alpha\sigma\omega$ = regolare)

Fusi neuromuscolari

Sono presenti in numero diverso secondo i muscoli che consideriamo, ad esempio nei muscoli della radice dell'arto e soprattutto i muscoli dell'arto inferiore sono molto numerosi, come sono numerosi nei muscoli della colonna vertebrale, nei muscoli masticatori e nei muscoli dell'occhio ed in quelli della mano, mentre negli altri muscoli sono più radi. Servono per regolare la velocità e lo stato di contrazione del muscolo, sia quando il muscolo è stimolato passivamente, attraverso una stimolazione artificiale, sia quando il muscolo è stimolato attivamente, in condizioni naturali.

Sono entità fuse lunghe circa un centimetro, poste in parallelo in mezzo alle fibre muscolari, la cui capsula è in continuazione con il **perimisio**. Ci sono anche delle fibre connettivali che si attaccano al perimisio e penetrano all'interno del fuso neuromuscolare. Questa continuità del connettivo con l'impalcatura del muscolo è molto importante per capire il meccanismo attivo del fuso muscolare.

A livello dell'estremità del fuso ci sono delle placche motrici formate da fibre mieliniche,

più sottili rispetto a quelle che innervano i muscoli, che derivano dai motoneuroni gamma.

Riassumendo:

Fuso neuromuscolare connesso con il connettivo dell'impalcatura del muscolo (l'estremità si continua con il perimisio);

Due placche motrici (che intervengono solo nel riflesso miotatico attivo);

Fibre sensitive di due tipi: 1A (più grandi) e II (più piccole).

Le lettere servono ad indicare, man mano che aumenta l'ordine alfabetico, una diminuzione del diametro delle fibre.

Le fibre si dividono in ordini di:

- I, II, III ecc. per quanto concerne il diametro;
- A, B, C ecc. per quanto riguarda la velocità di conduzione del potenziale d'azione.

Entrambe sono strettamente correlate.

Le fibre 1A sono le più grosse, situate al centro con avvolgimenti anulo-spirali intorno alla regione centrale del fuso; le fibre II sono situate più in periferia con terminazioni a fiorami.

Le fibre muscolari del fuso neuromuscolare sono di due tipi:

- Fibre con i nuclei localizzati al centro, più grosse, chiamate fibre fusali del sacco nucleare;
- Fibre con i nuclei disposti a catena.

RIFLESSO MIOTATICO

Riflesso miotatico passivo

Il riflesso miotatico passivo è dovuto ad una tensione passiva del muscolo, come ad esempio la stimolazione con il martelletto di gomma sul tendine patellare del muscolo quadricipite femorale al livello del ginocchio. Ciò provoca uno stiramento del tendine e quindi dei fusi neuromuscolari. Lo stiramento dei fusi stimola le fibre anulo-spirali e quelle a fiorami (tutte derivate da neuroni a T gangliari) a mandare degli impulsi nel midollo spinale, a livello della regione lombare, nel segmento corrispondente al muscolo quadricipite, eccitando i motoneuroni alfa che innervano questo muscolo.

Il muscolo quadricipite reagisce contraendosi e provocando l'estensione della gamba ("il calcetto"). In questo riflesso miotatico passivo, appena il quadricipite si contrae, subito dopo si rilassa. Perché avvenga questo piccolo "calcetto" occorre che i muscoli antagonisti (i muscoli flessori, come il muscolo bicipite) vengano inibiti, altrimenti l'arto rimane bloccato in posizione spastica.

Tutto ciò avviene in una situazione artificiale, senza attivazione dei motoneuroni

gamma. La fibra sensitiva dei fusi neuromuscolari risale a livello lombare, entra nel corno posteriore e dà luogo ad alcuni collaterali, alcuni dei quali vanno verso l'encefalo. Certi collaterali vanno alla corteccia parietale (sensibilità cosciente), altri vanno al cervelletto (sensibilità incosciente).

Il prolungamento principale prende invece contatto diretto con il motoneurone che va ad innervare il muscolo quadricipite: contatto **monosinaptico**; un altro collaterale scende fino al mielomero, dove si trovano i motoneuroni del muscolo antagonista (il bicipite femorale) e prende contatto con un interneurone inibitorio.

Se si prova a contrarre il quadricipite, allora il muscolo bicipite viene inibito. Si chiama interneurone perché collega il prolungamento della fibra del fuso neuromuscolare con il motoneurone del muscolo antagonista, bloccandolo.

C'è anche un altro meccanismo inibitorio, attuato attraverso la cellula di Renshaw. Sia le cellule di Renshaw sia gli interneuroni a livello spinale sono sempre controllati dal centro di controllo superiore (l'encefalo). Si può evitare l'inibizione del muscolo antagonista, ad esempio quando si vuole avere il braccio rigido per sollevare un peso. Vengono eccitati sia gli estensori sia i flessori perché i centri superiori bloccano sia le cellule di Renshaw sia gli interneuroni inibitori.

Quando si contrae il muscolo quadricipite, in seguito alla risposta d'estensione si stirano i fusi del bicipite. A questo punto il muscolo quadricipite viene inibito, mentre il bicipite viene contratto perché i fusi neuromuscolari del primo, quando il muscolo è disteso, diventano silenti. I fusi neuromuscolari reagiscono solo quando si estendono, ma non se il muscolo si contrae.

Riflesso miotatico attivo

Questo tipo di riflesso permette la contrazione del muscolo e del suo antagonista. I riflessi creano situazioni molto fini per la regolazione del movimento; quando, ad esempio, il quadricipite viene stimolato, si estende e viene inibito il flessore. Poi viene stimolato il flessore ed il ciclo si ripete, generando un movimento fluido.

Questo, però, è un meccanismo ideale; in realtà, nelle condizioni fisiologiche un muscolo rimane contratto per un determinato periodo di tempo: quando si sta in piedi, ad esempio, si ha una risposta modulata e molto complicata di attivazione dei fusi neuromuscolari che permette di contrarre in modo continuato i muscoli interessati alla stazione eretta. Infatti certi muscoli rimangono contratti per l'attivazione dei motoneuroni gamma che innervano le placche alla periferia del fuso.

In queste condizioni (riflesso miotatico attivo), quando il muscolo si contrae accorciandosi, vengono stimolati non solo i motoneuroni alfa ma anche quelli gamma. Però i fusi neuromuscolari non si accorciano come dovrebbero, essendo in parallelo, ma, per

effetto delle placche motrici, si stirano. Il fuso neuromuscolare, che dovrebbe diventare silente, in questo caso viene attivato perché viene stirato. Quando il muscolo si accorcia, il fuso si allunga ed allora manda gli impulsi che mantengono i muscoli in contrazione. Si può tenere il muscolo quadricipite in estensione oppure il muscolo bicipite in flessione.

Naturalmente valgono tutta una serie di meccanismi d'inibizione e di regolazione che servono a permettere il movimento. Se avviene una contrazione simultanea, involontariamente o volontariamente di entrambi i muscoli, si contraggono i muscoli estensori e flessori e si può, ad esempio, sollevare un peso. Sono i meccanismi che permettono di contrarre due muscoli antagonisti contemporaneamente.

Tutti questi riflessi hanno una localizzazione topografica ben stabilita, sono in rapporto ai segmenti midollari (mielomeri) collegati con l'innervazione di quei determinati muscoli. Questi riflessi sono segmentali.

Il neurologo esplora anche altri riflessi (quelli del gomito, quelli del mento), e può valutare se la risposta dei vari segmenti midollari al riflesso è normale. In certe condizioni ci può essere una risposta esagerata o in altri casi una risposta fioca (questi riflessi hanno regolazione superiore). Ci sono una serie di regolazioni che agiscono sulla via finale comune della risposta muscolare, dovute alla via piramidale e a quelle extrapiramidali.

Riflesso miotatico invertito

Oltre ai fusi neuromuscolari abbiamo altri recettori detti corpi di Golgi. Localizzati a livello della giunzione delle fibre muscolari con quelle tendinee, sono connessi in serie con gli elementi contrattili. Sono sensibili allo stiramento del tendine dovuto ad una violenta contrazione muscolare e provocano l'inibizione del motoneurone con rilasciamento del muscolo. Questi corpi sono in serie ed hanno delle fibre mieliniche che hanno una soglia molto alta e vengono stimulate solo quando c'è una contrazione violenta, ed il muscolo può rompersi. Se, per esempio, un calciatore tira un calcio molto forte, ciò può provocare il distacco del tendine dalla sua inserzione, cosa che avviene con relativa frequenza a livello dei muscoli peronei.

In condizioni normali, quando il muscolo viene ad essere contratto in modo violento, le fibre mandano un segnale ai motoneuroni del corno anteriore tramite un interneurone inibitorio, bloccando il muscolo. Questo meccanismo di difesa può non funzionare durante una partita di calcio perché lo stato d'eccitazione può rendere questo riflesso non sufficiente alla protezione del muscolo, che si lacera.

Anche con un processo chirurgico di ricostruzione del muscolo, è molto difficile il completo recupero funzionale, perché le fibre 1B sono abbastanza piccole. Dato che la rigenerazione delle fibre nervose avviene tramite la ricrescita del neurite entro la guaina mielinica, questo può realizzarsi solo se questa è intatta. Si tratta però di un meccanismo

che richiede una precisione notevolissima. Una rottura del muscolo è sicuramente una ferita lacero-contusa e dunque è difficile che le guaine mieliniche rimangano completamente intatte. Quindi è impensabile che questi corpi di Golgi si ripristino esattamente come prima della lesione.

La terminazione 1B entra nel corno posteriore del midollo spinale ed un collaterale prende contatto con un interneurone inibitore per il muscolo che è stato violentemente contratto. Questo riflesso è bisinaptico.

Ci sono altri interneuroni collaterali che stimolano il muscolo antagonista in modo tale che questo si contragga evitando la rottura muscolare. Quindi, ancor prima che ce ne accorgiamo, il muscolo si blocca, ma non cadiamo perché c'è un altro collaterale che stimola un interneurone, che a sua volta stimola il motoneurone del muscolo antagonista: riflesso di protezione.

Riflesso di retrazione

Ci sono altri riflessi di protezione più complicati: invece dei recettori di Golgi, ben definiti a livello del tendine, esistono recettori sottocutanei: quando si tocca un fornello, istintivamente si toglie via il dito prima di accorgersi di essersi bruciati. Accade lo stesso quando, camminando a piedi nudi, si calpesta un chiodo: in questo caso si tira via subito la gamba con un movimento di flessione senza cadere.

Non si cade per effetto dell'attività degli interneuroni che stimolano i muscoli contralaterali: questo riflesso che si chiama riflesso di retrazione, è un riflesso di difesa chiamato anche *riflesso di flessione*. Tale appellativo è scorretto in quanto possono essere attivati anche i muscoli estensori.

Ci sono anche altri riflessi molto importanti, ci sono tante fibre nervose più o meno capsule a livello dell'articolazione dei tendini, all'interno dei muscoli e anche nel periostio delle ossa. In caso di frattura si ha la sensazione che l'arto in questione sia morto, non lo si muove più perché ci sono dei recettori di sensibilità propriocettiva che bloccano l'attività muscolare.

È importantissimo bloccare, in caso di frattura, l'attività muscolare perché altrimenti monconi dell'osso verrebbero stirati e si avrebbero delle gravissime complicazioni.

Innervazione viscerale

I motoneuroni leiomiotici si trovano nella colonna intermedio-laterale del midollo spinale. Nella lamina VII si ha una porzione laterale che si chiama intermedio laterale e una porzione mediale che si chiama intermedio mediale. Quella intermedio mediale riguarda la regolazione del movimento. Ora ci interessa l'intermedio laterale che si trova nel midollo spinale da C8 a L2. Anche questa colonna è sottoposta all'attività dei centri superiori.

Come i motoneuroni alfa e gamma sono sottoposti al controllo delle vie motorie piramidali ed extrapiramidali, così c'è una via discendente viscerale che regola l'attività di questi motoneuroni leiomiocitici. Questi sono in rapporto con le funzioni dell'organismo.

Il **sistema viscerale o simpatico** si divide in due parti:

- Ortosimpatico
- Parasimpatico

Il termine simpatico deriva dal greco συμ-πατος che significa "soffrire insieme". Il sistema simpatico partecipa all'attività dell'organismo e regolando le funzioni viscerali.

Il **sistema ortosimpatico** ha i suoi centri nel corno laterale da C8 fino a L2; da questi nuclei nascono delle fibre che si chiamano pregangliari, dotate di rivestimento mielinico. L'impulso passa, secondo la teoria saltatoria, da un **nodo di Ranvier** all'altro, saltando da un internodo all'altro. Queste fibre, dette **rami comunicanti bianchi**, si portano nella catena del simpatico. A ciascun lato della colonna vertebrale c'è una **catena a grani di rosario** (gangli collegati da fibre bianche) che va dall'encefalo (zona occipitale) quasi fino al coccige. Ci sono anche degli altri gangli meno numerosi, situati davanti alla colonna vertebrale chiamati **gangli prevertebrali**. Tra questi si può prendere in esame il **plesso solare o ganglio celiaco**, situato a livello dell'ombelico. Esso riceve rami comunicanti bianchi, (che non si sono fermati nei gangli laterovertebrali) detti **nervi splancnici toracici**. È di rilevante importanza perché innerva i visceri addominali dell'intestino medio fino alla flessura sinistra. In dipendenza da questo vi sono i **gangli mesenterici**, superiori e inferiori, e i **gangli renali**.

Nella boxe sono vietati i colpi sotto la cintura, per evitare che un colpo raggiunga il ganglio celiaco che ha effetto di vaso-costrizione. Se venisse colpito, i vasi si dilaterebbero e il sangue si accumulerebbe nel distretto intestinale. Quindi non arriverebbe più sangue al cervello e, nei casi meno gravi, porterebbe ad una **lipotimia** (svenimento), oppure, in caso di colpo violento, a coma e morte.

Caudalmente al ganglio celiaco si trovano i **gangli pelvici** che ricevono i **nervi splancnici lombari**, adibiti all'innervazione dei visceri pelvici. Questi si trovano di lato alla vescica nella donna ed a lato della prostata nell'uomo, e partecipano ai meccanismi d'erezione e di minzione.

Controllo segmentario della funzione viscerale

Il ramo comunicante bianco esce dai vari segmenti del midollo spinale ove sono situati nuclei con funzioni diverse. Nel segmento C8-T1 ci sono le cellule destinate all'innervazione

del cranio e della testa (centro cilio-spinale); da T1-T2 per l'innervazione dell'arto superiore; a livello di T2-T3 ci sono le cellule che regolano la muscolatura dei bronchi e poi quella del cuore; più caudalmente ci sono quelle relative all'esofago, all'intestino medio e a quello caudale fino alla porzione terminale.

È evidente che i nuclei sono segmentali, cioè destinati a segmenti ben precisi del corpo. Le fibre escono dal nucleo e passano nella catena, dove non sempre si fermano al primo ganglio che trovano. Alcune per esempio quelle da C8 a T1 risalgono fino al ganglio cervicale superiore localizzato, in entrambi i lati, appena sotto il forame occipitale, dando luogo a sinapsi con i neuroni gangliari, da cui partono fibre grigie per l'innervazione dei vasi della testa e anche del muscolo dilatatore della pupilla che seguono l'arteria carotide, innervando il resto del cranio. Sono importanti anche per la regolazione dei ritmi fisiologici del nostro corpo (ritmi circadiani), che variano in relazione a determinate ore del giorno e della notte (per esempio di notte si cresce più che di giorno). Anche il nostro metabolismo varia a seconda che ci si trovi in particolari ore del giorno o della notte: ciò è dovuto a queste fibre che portano degli impulsi per la regolazione di una ghiandola, **l'epifisi**, localizzata nel diencefalo.

Le fibre che provengono dai gangli cervicale medio e inferiore sono deputate all'innervazione dell'arto superiore, dei bronchi e del cuore.

Altre fibre bianche entrano nella catena del simpatico, senza fermarsi nei gangli, e si dirigono alla midollare del surrene, struttura omologa ad un ganglio. I vasi della corticale e della midollare del surrene sono innervati da fibre postgangliari.

Le rimanenti fibre entrano nella catena e vanno agli altri gangli laterovertebrali compresi quelli relativi vanno agli ultimi segmenti del midollo spinale. Quelli che provengono dai segmenti L2-L3 vanno nei gangli lombari e coccigei da cui escono fibre postgangliari che innervano i vasi degli organi genitali. In condizioni di non eccitamento sessuale i vasi sanguigni dei genitali sono esangui, questo dipende dall'ipertono del sistema ortosimpatico.

Gli organi genitali maschili e femminili sono paragonabili ad un'arteria: in condizioni normali è un'arteria in una fase di costrizione, in condizioni d'eccitazione sessuale è in fase di dilatazione. L'ortosimpatico ha la funzione di vaso-costrizione. In alcune patologie, in cui si ha costrizione dei vasi dell'arto inferiore, viene lesa chirurgicamente l'innervazione ortosimpatica.

In individui di sesso maschile questa condizione porta al priapismo, cioè il pene è in continua erezione, abbastanza dolorosa. Può succedere anche alle donne a livello del clitoride e degli organi erettili: si ha una sensazione di gonfiore a livello della regione genitale. Nel maschio chiaramente la situazione è più drammatica.

I nervi splanchnici, derivati da fibre che escono dalla catena senza interrompersi nei gangli laterovertebrali, comprendono:

nervi splanchnici toracici, che vanno ai gangli prevertebrali celiaci e loro dipendenza;
nervi splanchnici lombari, provenienti dai segmenti lombari e vanno ai gangli prevertebrali pelvici che servono per l'innervazione ortosimpatica della vescica e dei genitali.

Una lesione ai nuclei, o al ganglio cervicale superiore, o alle fibre che vanno al ganglio cervicale superiore o inferiore, o ancora alle radici, determina la **sindrome di Bernard-Horner**.

La lesione si manifesta con i seguenti sintomi:

- Anisocoria: una pupilla più piccola dell'altra e perennemente contratta (miosi).
- L'occhio appare un po' pestato e ritratto (enofthalmico), una palpebra è socchiusa, come caduta, (ptosi).
- Intasamento nasale.
- Anidrosi dal lato della lesione.

La ridotta vascolarizzazione del grasso dietro l'occhio provoca l'enofthlmo. Nella ptosi la muscolatura liscia innervata dal simpatico non funziona. Tuttavia l'occhio si può aprire visto che vi è anche una muscolatura striata non colpita dalla lesione.

La secchezza cutanea (anidrosi) è dovuta alla mancata attività dell'ortosimpatico che innerva anche le ghiandole sudoripare.

Nel caso ci sia stata una lesione anche delle fibre del ganglio cervicale inferiore, alla sindrome di Horner si aggiunge una secchezza alle dita della mano, poiché il ganglio cervicale inferiore innerva anche i vasi dell'arto superiore.

Nel periodo del menarca si ha spesso un'eccessiva sudorazione delle mani nelle fanciulle che poi scompare verso i 14-15 anni. In alcuni casi si può avere anche la **sindrome di Raynaud**: l'immersione delle mani nell'acqua fredda provoca un forte dolore a causa di una costrizione vasale.

Oltre il sistema ortosimpatico esiste anche il parasimpatico che ha i centri nei nuclei dei nervi cranici e nella parte terminale del midollo spinale. I nervi con componente parasimpatica innervano lo sfintere della pupilla, le ghiandole lacrimali, le ghiandole salivari e le ghiandole del naso.

Il **nervo vago** innerva molti organi (cuore, intestino...) fino alla flessura sinistra del colon che è il punto di passaggio tra intestino medio e caudale. Più in basso c'è il parasimpatico sacrale che innerva tutti i visceri dalla flessura sinistra in giù compresi gli organi genitali. Tutti questi nuclei come quelli dell'ortosimpatico sono sotto il controllo delle **vie discendenti viscerali**.

DOMANDE DI VERIFICA

Cosa sono le cellule di Renshaw?

Sono le cellule responsabili dell'inibizione reciproca. Quando l'impulso passa nel motoneurone, il motoneurone manda un collaterale ricorrente il quale va sulla cellula di Renshaw, questa manda un neurite che blocca il motoneurone in modo tale da bloccare la risposta (inibizione reciproca).

La funzione delle cellule di Renshaw viene bloccata in alcune malattie come il tetano. La tossina tetanica viene captata dalle terminazioni nervose e risale lungo le fibre nervose fino alle cellule di Renshaw, bloccando il rilascio della glicina e provocando una contrazione muscolare violentissima perché non si ha più l'inibizione reciproca.

Come si chiamano le contrazioni muscolari del tetano?

Sono contrazioni di tipo spastico e danno un particolare tipo di paralisi spastica che si chiama trisma tetanico; un altro aspetto della faccia è il riso sardonico per il blocco della muscolatura mimica. La morte avviene per spasmo dei muscoli respiratori.

La sostanza che invece blocca i recettori della glicina è la stricnina. In questo caso la glicina viene rilasciata normalmente, ma il recettore sul motoneurone è inibito, quindi anche in questo caso il motoneurone è bloccato, ma il meccanismo è diverso.

Quali tipi di motoneuroni esistono?

I motoneuroni sono di due tipi: alfa e gamma. I motoneuroni alfa possono essere tonici o fascici.

Quali fibre innervano i motoneuroni tonici?

Le fibre rosse e quelle rosa. Le fibre rosse hanno questo aspetto perché contengono mioglobina, che capta l'ossigeno, sono riccamente vascolarizzate, hanno molti mitocondri ed utilizzano la respirazione cellulare come fonte di energia.

Tale processo aerobico è molto redditizio ma lento. I motoneuroni fascici più grandi innervano le fibre bianche, che sono capaci di una contrazione molto rapida ma poco redditizia con formazione di acido lattico.

Che funzione hanno le vie piramidali?

Sono vie rapide mononeuroniche e sono le vie dell'esecuzione del movimento.

A cosa servono le vie extrapiramidali?

Sono vie polineuroniche che non passano dalle piramidi e sono deputate alla regolazione del movimento; permettono di modulare i movimenti molto fini e automatici, ad esempio quando si parla o quando si scrive.

Dagli appunti di Marco Congiu, Laura Mantovani, Elisabetta Marongiu, Stefania Maxia e Cinzia Soro.