

NEUROFISIOLOGIA DEL CONTROLLO MOTORIO DEL RACHIDE

Nicola Smania, Alessandro Picelli

Allo scopo di definire il razionale dell'approccio riabilitativo alla lombalgia, sono fondamentali la comprensione dei substrati neurali riguardanti il controllo motorio, nonché la conoscenza delle loro interazioni con la biomeccanica vertebrale.

Substrati neurali del controllo motorio del rachide [1-4]

A livello spinale i corpi cellulari dei motoneuroni che innervano i singoli muscoli sono disposti in pool motoneuronali formanti colonne longitudinali che si estendono da uno a quattro segmenti spinali. I pool motoneuronali responsabili dell'innervazione dei muscoli prossimali sono disposti medialmente all'interno del midollo spinale a differenza di quelli che innervano i gruppi muscolari più distali, localizzati in posizione progressivamente più laterale (regola prossimo-distale).

I nuclei motori che controllano l'innervazione della muscolatura del collo e del tronco di entrambi i lati del corpo, formano un gruppo ben definito di cellule che si estende a livello del distretto più mediale delle corna ventrali, lungo tutto il midollo spinale. Nei distretti più laterali delle corna ventrali, in corrispondenza dei segmenti della colonna cervicale e lombosacrale, sono localizzati, invece, due cluster cellulari in cui i motoneuroni che innervano la muscolatura di spalla e pelvi sono posti più medialmente mentre quelli che innervano mano e piede sono posti progressivamente in posizione più laterale. Tale organizzazione anatomica comprende, inoltre, una rete locale di interneuroni ed il sistema dei neuroni propriospinali.

In particolare, gli interneuroni della parte più mediale della zona intermedia del midollo spinale, proiettano ai nuclei motori mediali, che controllano la muscolatura assiale di entrambi i lati del corpo. Gli interneuroni disposti lateralmente, invece, proiettano solo ai motoneuroni che innervano i muscoli ipsilaterali dei cingoli e degli arti. I neuroni propriospinali connettono pool motoneuronali e reti di interneuroni localizzati su diversi livelli spinali. Più in particolare gli assoni dei neuroni propriospinali che collegano i pool motoneuronali mediali (deputati all'innervazione della muscolatura assiale) decorrono lungo la sostanza bianca spinale estendendosi per l'intera lunghezza midollare. Al contrario gli assoni che connettono i pool motoneuronali laterali decorrono lungo la sostanza bianca spinale per brevi tratti, collegando tra loro pochi segmenti midollari.

Il mantenimento di questa peculiare organizzazione (segregazione anatomica e tipologia di connessione) dei sistemi di controllo motorio è diretto all'attuazione di differenti finalità funzionali: la muscolatura prossimale è, infatti, coinvolta nel controllo posturale, mentre la muscolatura distale è maggiormente indirizzata al compimento di movimenti fini e selettivi.

Il mantenimento del corretto allineamento posturale richiede il controllo di molteplici gruppi muscolari situati in profondità nel rachide e in grado di attivarsi in modo coordinato con i lunghi muscoli superficiali del tronco. A tale scopo i pool motoneuronali mediali sono provvisti di un grande numero di interconnessioni tra i due lati del corpo, che si estrinsecano lungo l'intera lunghezza del midollo spinale.

Per quanto riguarda le afferenze provenienti dai centri superiori, è importante sottolineare come le vie discendenti dal tronco encefalico e dalla corteccia cerebrale mantengano un'organizzazione anatomo-funzionale simile a quella appena descritta. Le vie mediali che discendono dal tronco encefalico (vestibolo-spinale, reticolo-spinale e tetto-spinale) e terminano sulla porzione ventromediale della sostanza grigia midollare, influenzano l'attivazione dei motoneuroni che innervano la muscolatura assiale e prossimale degli arti mentre le vie laterali, che provengono dal nucleo rosso mesencefalico e terminano sui pool motoneuronali laterali, sono coinvolte nel controllo dei movimenti distali.

Riguardo alle efferenze corticali, le aree coinvolte nel controllo dei movimenti distali proiettano al midollo attraverso le colonne dorsolaterali, terminando unilateralmente sui pool motoneuronali della sostanza grigia laterale midollare controlaterale. Le aree deputate al controllo dei movimenti prossimali proiettano al midollo senza decussare, e attraverso le colonne ventromediali della sostanza grigia midollare, terminano bilateralmente sui pool motoneuronali mediali.

Patterns di attivazione muscolare del tronco

Da un punto di vista funzionale è possibile definire il tronco come un complesso apparato deputato alla trasmissione di carichi tra la parte superiore ed inferiore del corpo in grado di fornire un supporto stabile, ma allo stesso tempo flessibile, ai diversi segmenti corporei impegnati nel movimento.

Tale funzione è espletata grazie alla particolare conformazione dell'apparato osteoligamentoso del rachide, alla contrazione coordinata dei gruppi muscolari che vi si inseriscono ed al controllo da parte dei centri nervosi superiori. Un'organizzazione funzionale così strutturata permette di modulare la postura del rachide, preservandone la stabilità e controllando gli spostamenti del centro di massa corporea dovuti al movimento o a perturbazioni esterne. [5]

Il sistema a feedforward (anticipatorio) è il principale meccanismo utilizzato per il controllo motorio del rachide. A differenza dei movimenti distali degli arti, gli aggiustamenti posturali assiali necessitano di essere iniziati in tempi brevissimi. Nella maggioranza dei casi il reclutamento dei muscoli del tronco precede il movimento degli arti allo scopo di preparare il rachide ad affrontare le perturbazioni dovute al movimento e mantenendone così la stabilità. [6]

I pattern di attivazione muscolare con controllo a feedback (posticipatorio) vengono, invece, attivati in caso di perturbazioni inaspettate in grado di destabilizzare il tronco. Questo tipo di risposta motoria (più lenta rispetto alle risposte a feedforward) è rappresentato da una complessa strategia che coinvolge diversi livelli di integrazione neurale, essendo dipendente non solo dal contesto in cui avvengono le perturbazioni ma anche dall'imput sensitivo proveniente da diversi segmenti corporei. [7]

Una dettagliata caratterizzazione dei pattern di attivazione muscolare del tronco durante il movimento degli arti è stata fornita da recenti studi pubblicati in letteratura. E' stato osservato come la muscolatura paraspinale si attivi precocemente durante i movimenti di flessione del braccio e più tardivamente durante i movimenti di estensione dello stesso. Altri studi hanno riportato come i muscoli addominali si attivino con un pattern esattamente opposto a quello descritto in precedenza e come le

fibre profonde dei muscoli paravertebrali lombari si contraggano più precocemente di quelle superficiali durante i movimenti volontari degli arti. [8]

Nei soggetti con lombalgia cronica è stato dimostrato come i pattern fisiologici di attivazione muscolare siano sovvertiti. Attraverso un aumento della variabilità dei tempi di reazione è stato osservato come vi sia una perdita della contrazione coordinata della muscolatura superficiale e profonda del tronco con una conseguente alterazione della capacità di modulazione centrale dei pattern di movimento. [9]

Tale deficit è stato dimostrato essere associato ad una riorganizzazione della rappresentazione corticale della muscolatura profonda del tronco con una conseguente alterazione dei meccanismi a feedforward che stanno alla base del controllo posturale. [10]

1. Krakauer J, Ghez C. Voluntary movement. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, editors. Principles of neural science. 4th ed. Norwalk, CT: Appleton & Lange; 2000. pp 756-781.
2. Geoffrey Melvill Jones. Posture. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, editors. Principles of neural science. 4th ed. Norwalk, CT: Appleton & Lange; 2000. pp 816-830
3. Blagoveshchenskii ED, Pettersson LG, Perfil'ev SN. Control of fine movements mediated by propriospinal neurons. *Neurosci Behav Physiol* 2005;35:299-304.
4. Hodges PW. The role of the motor system in spinal pain: Implications for rehabilitation of the athlete following lower back pain. *J Sci Med Sport* 2000;3:243-253
5. Belen'kii VE, Gurfinkel VS, Pal'tsev EI. Control elements of voluntary movements. *Biofizika* 1967;12:135-141.
6. Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feedforward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res* 1995;103:323-332.
7. Keshner EA, Woollacott MH, Debu B. Neck, trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans. *Exp Brain Res* 1988;71:455-466.
8. Hodges PW, Cresswell AG, Daggfeldt K, Thorstensson A. Three dimensional preparatory trunk motion precedes asymmetrical upper limb movement. *Gait Posture* 2000;11:92-101.
9. Moseley GL, Hodges PW, Gandevia SC. Deep and superficial fibers of the lumbar multifidus muscle are differentially active during voluntary arm movements. *Spine* 2002;27:29-36.
10. Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. *Brain*. 2008;131:2161-2171