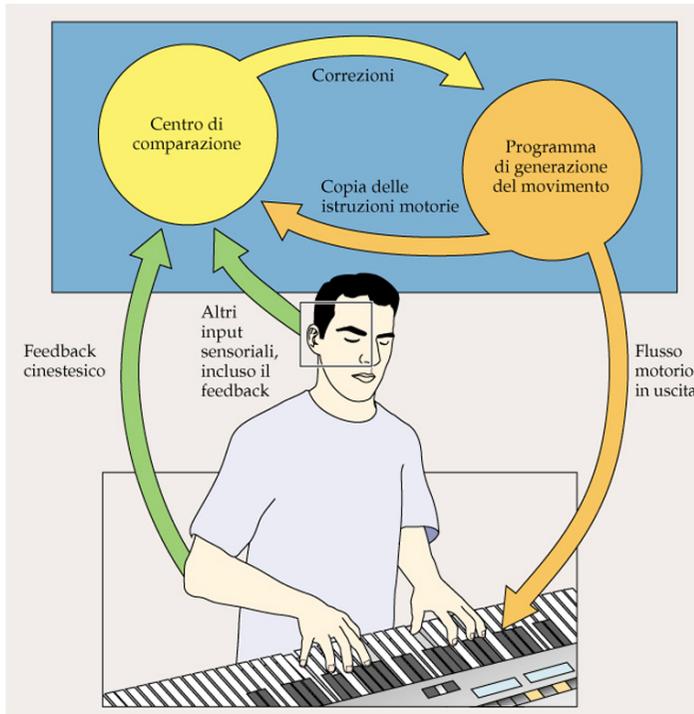


# Il sistema motorio

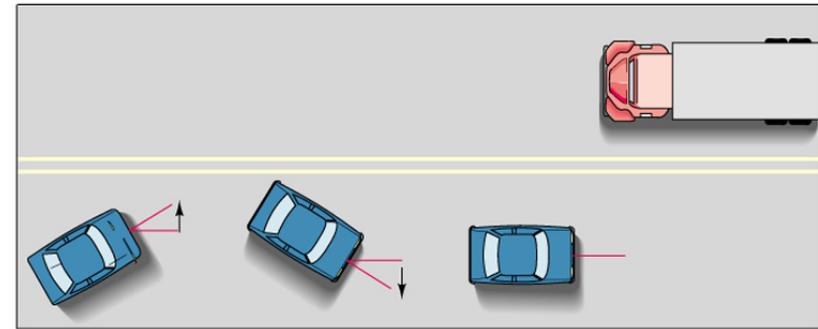
# SISTEMA MOTORIO

## •Tutti i movimenti, anche i più semplici

- Vengono pianificati
- Sono soggetti ad un costante controllo centrale
- Subiscono una serie di aggiustamenti in corso d' opera (feedback)
- Sono soggetti ad apprendimento



(a) Controllo a feedback durante la guida

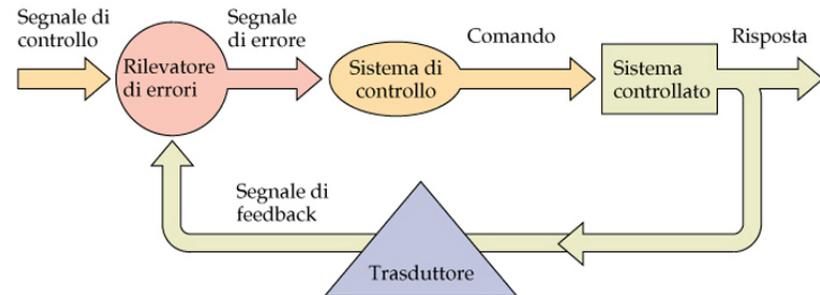


1. L'auto vira a sinistra

2. L'ipercorrezione fa girare l'auto a destra

3. La posizione voluta viene raggiunta

(b)



Il sistema motorio comprende diverse vie parallele con organizzazione gerarchica.

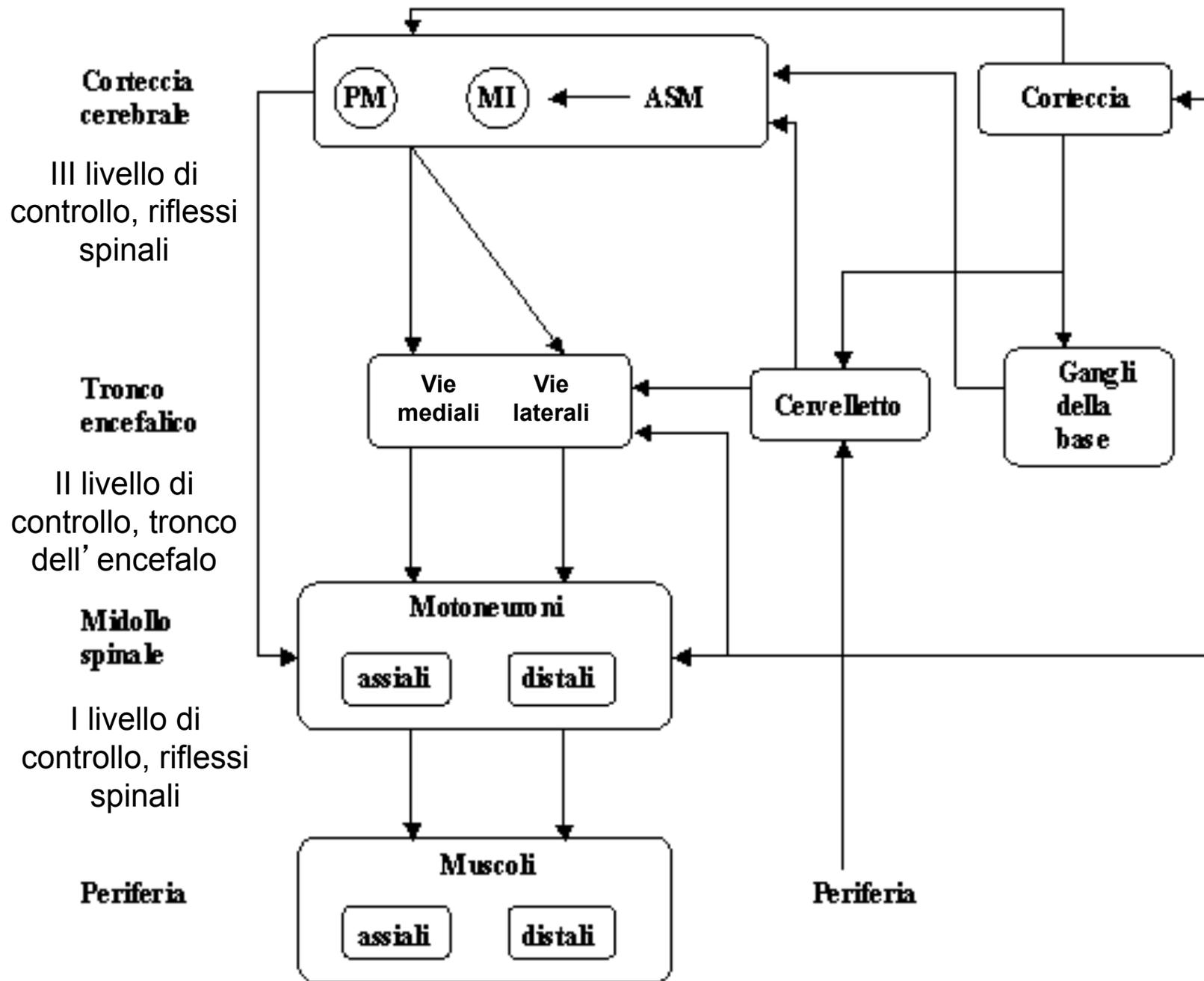
La “via finale comune” è costituita dai motoneuroni spinali.

Il primo livello di controllo è costituito dai nuclei del tronco dell' encefalo

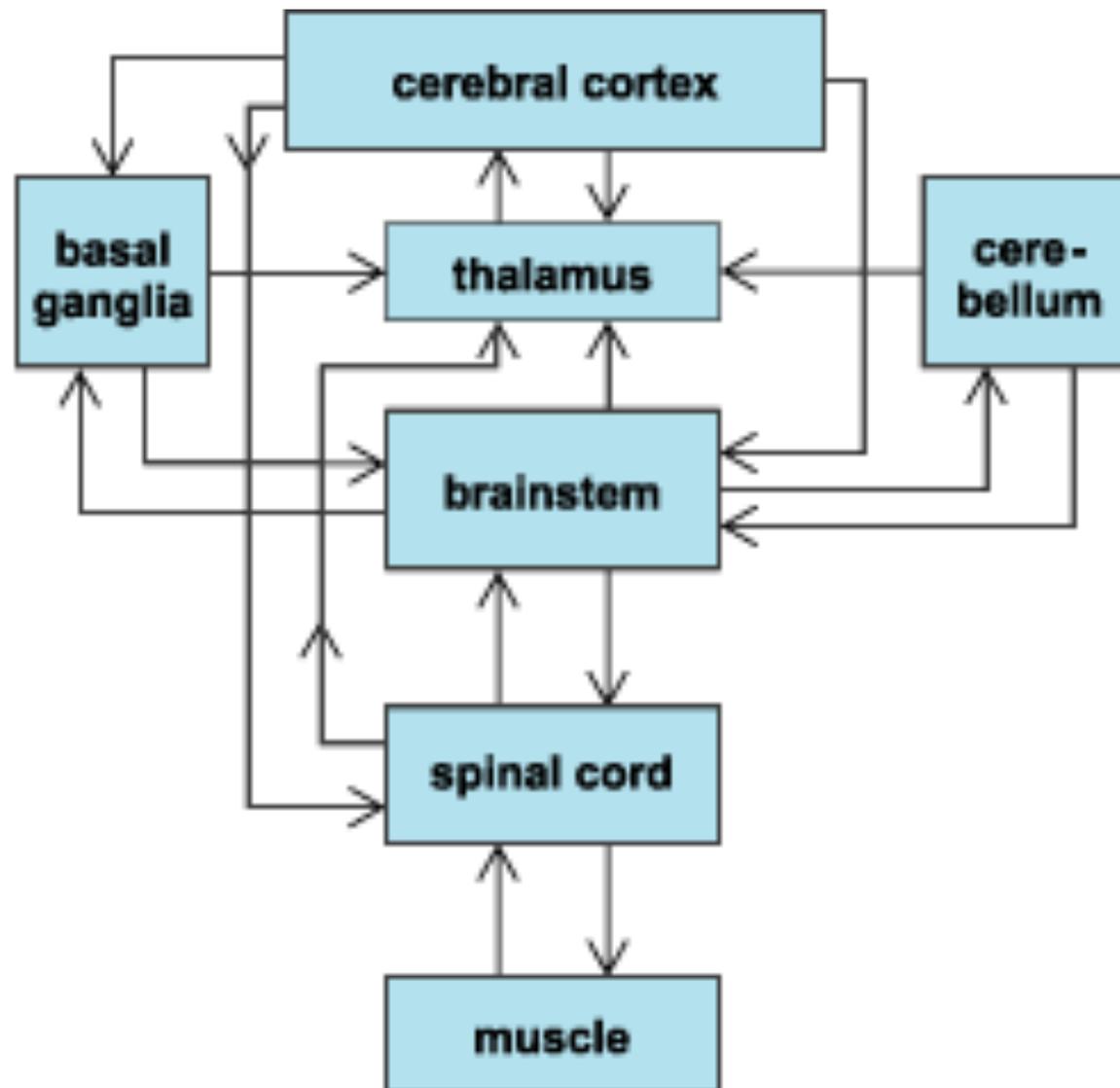
Il secondo dalla corteccia motoria primaria

Il terzo dalle altre aree motorie corticali

A questi controlli si aggiungono quelli esercitati dal cervelletto e dai nuclei della base



## Il ruolo del talamo



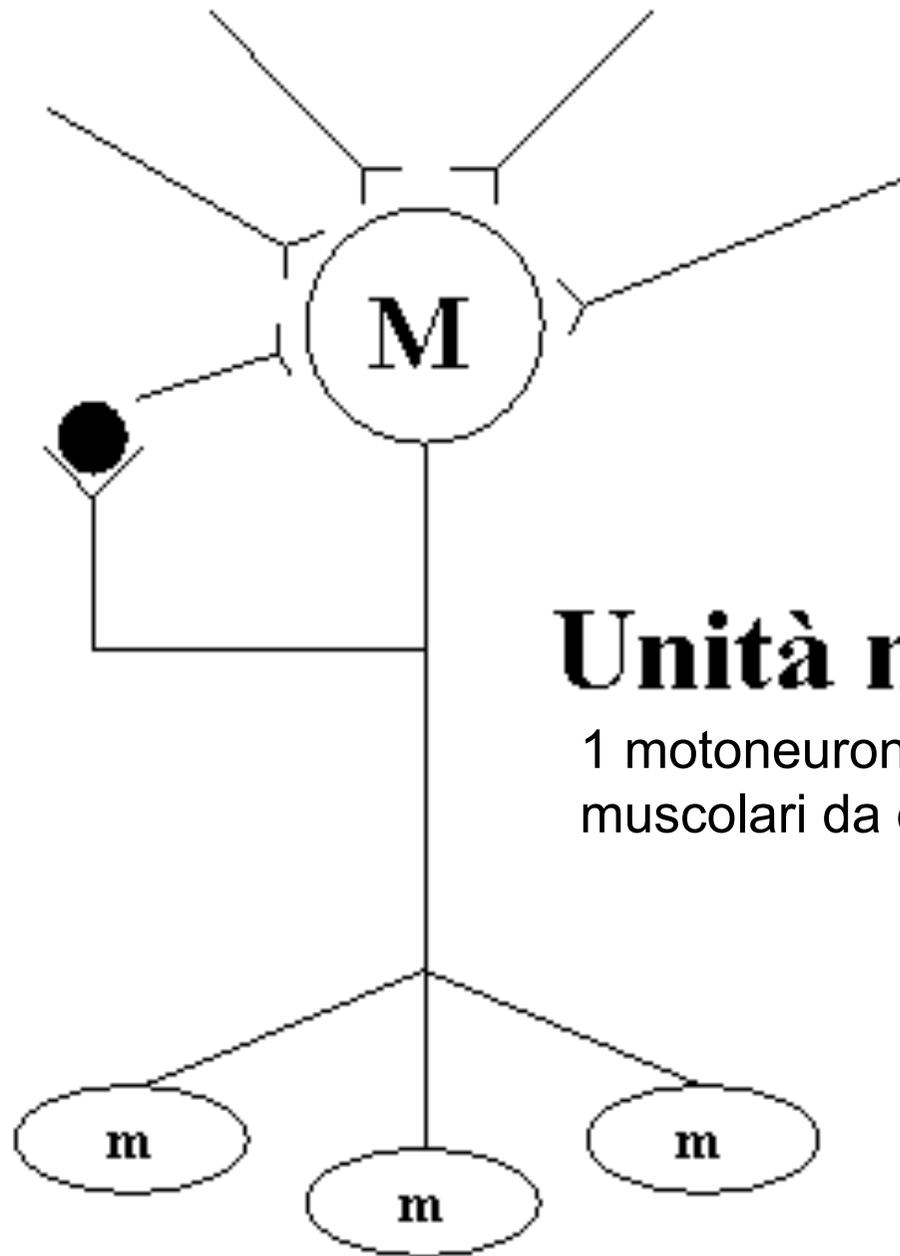
La via finale comune: i motoneuroni

**n. Renshaw**

**1:10 muscoli  
extraoculari**

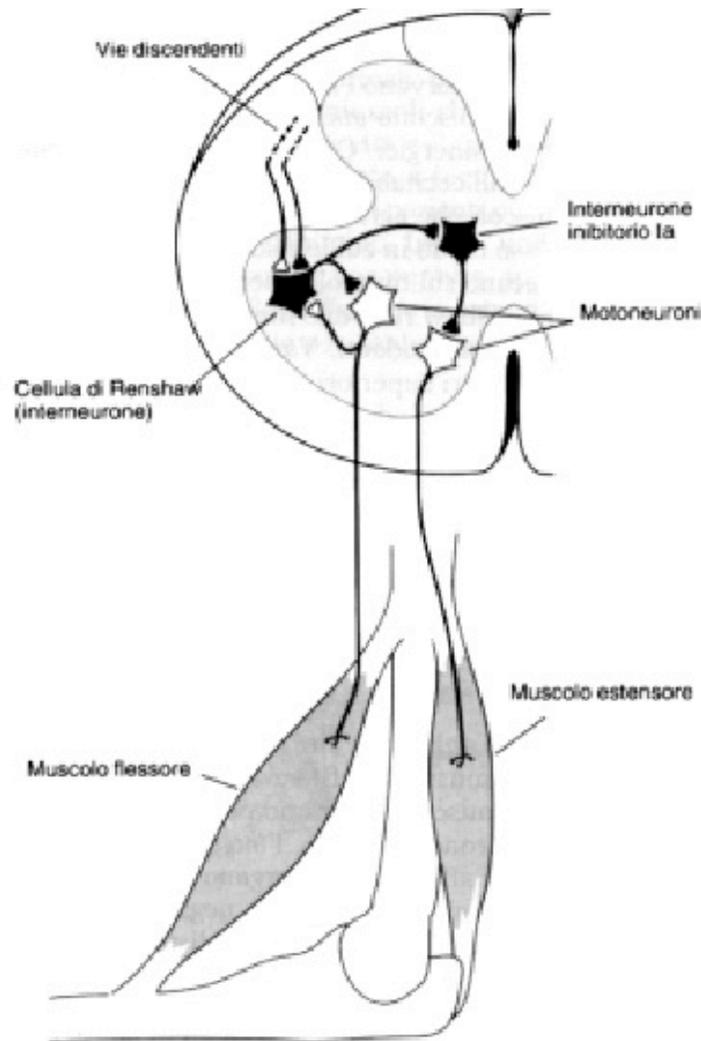
**1:100 muscoli della  
mano**

**1:2000 muscolo  
gastrocnemio**



## **Unità motrice**

1 motoneurone e le fibre  
muscolari da esso innervate

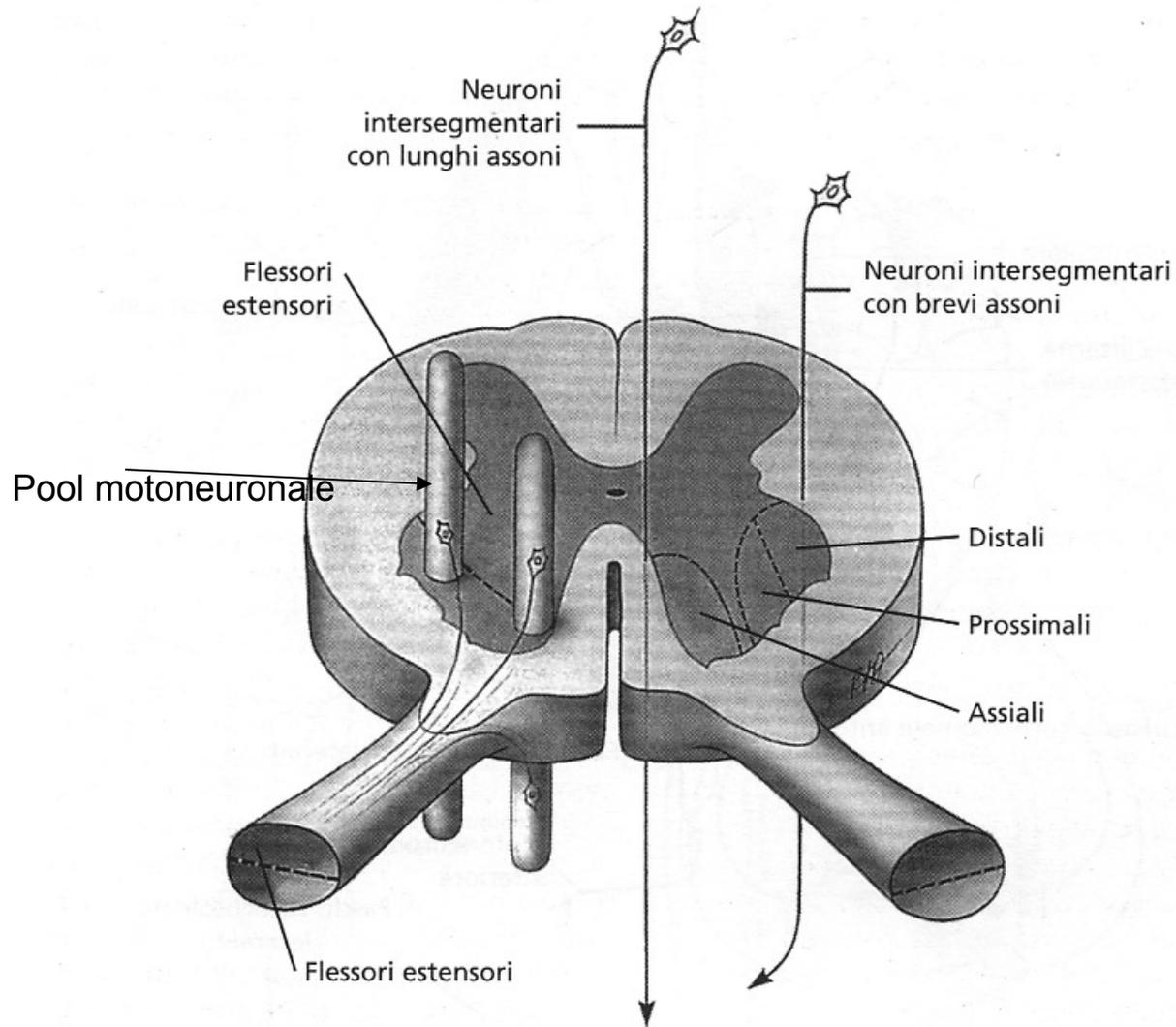


**FIGURA 38-3**

Le cellule di Renshaw esercitano un'azione inibitoria di tipo ricorrente sui motoneuroni. Questi interneuroni spinali vengono eccitati da collaterali degli stessi motoneuroni che essi inibiscono. Questo sistema a feedback negativo regola l'eccitabilità dei motoneuroni e stabilizza la loro frequenza di scarica. Le cellule di Renshaw inviano collaterali anche ai motoneuroni che innervano i muscoli sinergici (non riprodotti nella figura) e agli interneuroni inibitori Ia. Quindi, i segnali discendenti che modulano l'eccitabilità delle cellule di Renshaw regolano l'eccitabilità di tutti i motoneuroni che controllano i muscoli che agiscono su un'articolazione.

Le cellule di Renshaw sono al centro di un circuito complesso che coinvolge la popolazione neuronale delle corna anteriori (e la porzione intermedia) del midollo spinale. Questi interneuroni ricevono un collaterale dal motoneurone e inviano i loro assoni allo stesso e ad altri motoneuroni della stessa popolazione, esercitando su di essi una azione inibitoria. In questo modo la frequenza di scarica dei motoneuroni viene stabilizzata su determinati valori che rappresentano la frequenza limite oltre la quale la contrazione muscolare risulterebbe essere indebolita (per via della frequenza troppo elevata degli stimoli che provengono dai motoneuroni).

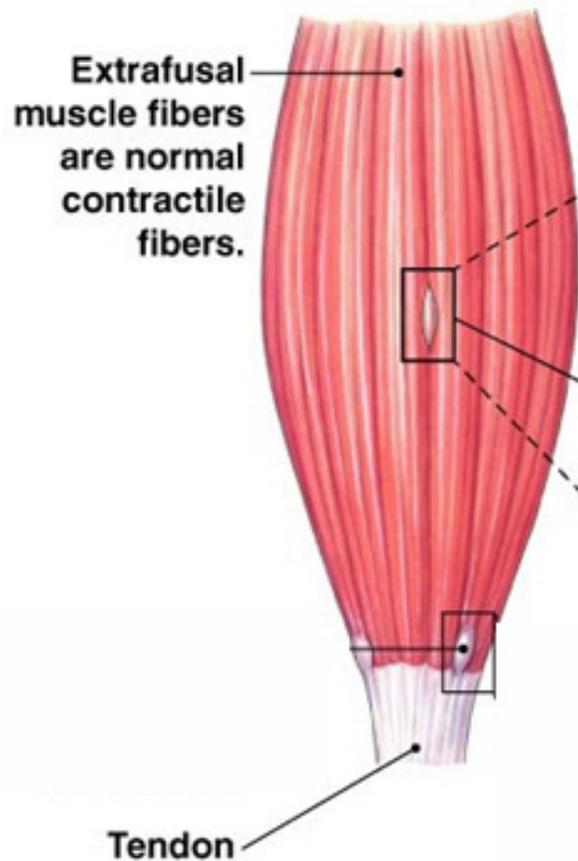
Importantissimo risulta essere anche il fatto che a parità di impulsi provenienti dalla corteccia verso il midollo l'attivazione muscolare potrà essere più o meno intensa (modulazione) in funzione del funzionamento, o del blocco, delle cellule di Renshaw). In questo modo lo stesso comando motore viene trasformato in risposte muscolari di diversa intensità senza aver bisogno di generare sequenze di comandi specifiche



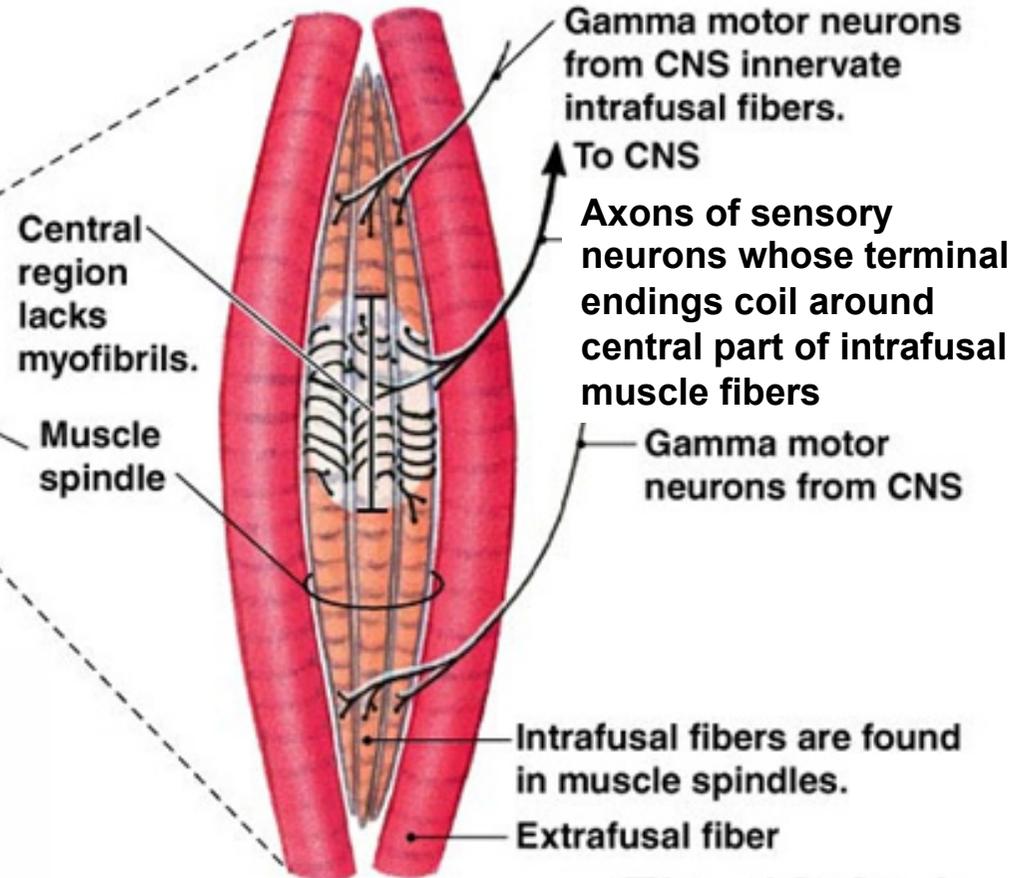
**Figura 11.1** I motoneuroni alfa e gamma sono organizzati in gruppi funzionalmente definiti nella lamina IX del corno anteriore. I motoneuroni situati medialmente innervano la muscolatura assiale (del collo e del dorso) e quelli situati lateralmente innervano la muscolatura prossimale e distale degli arti. I motoneuroni situati dorsalmente innervano i muscoli flessori e quelli situati ventralmente innervano i muscoli estensori. I motoneuroni mediali sono collegati tramite neuroni intersegmentari con lunghi assoni, e i motoneuroni laterali tramite neuroni intersegmentari con assoni più brevi. Il cilindro, che si prolunga per più di un segmento spinale nella lamina IX, rappresenta la distribuzione dei motoneuroni inferiori che innervano un muscolo specifico o muscoli funzionalmente correlati.

# I propriocettori dei fusi neuromuscolari

**(a)** Muscle spindles are buried among the extrafusal fibers of the muscle.

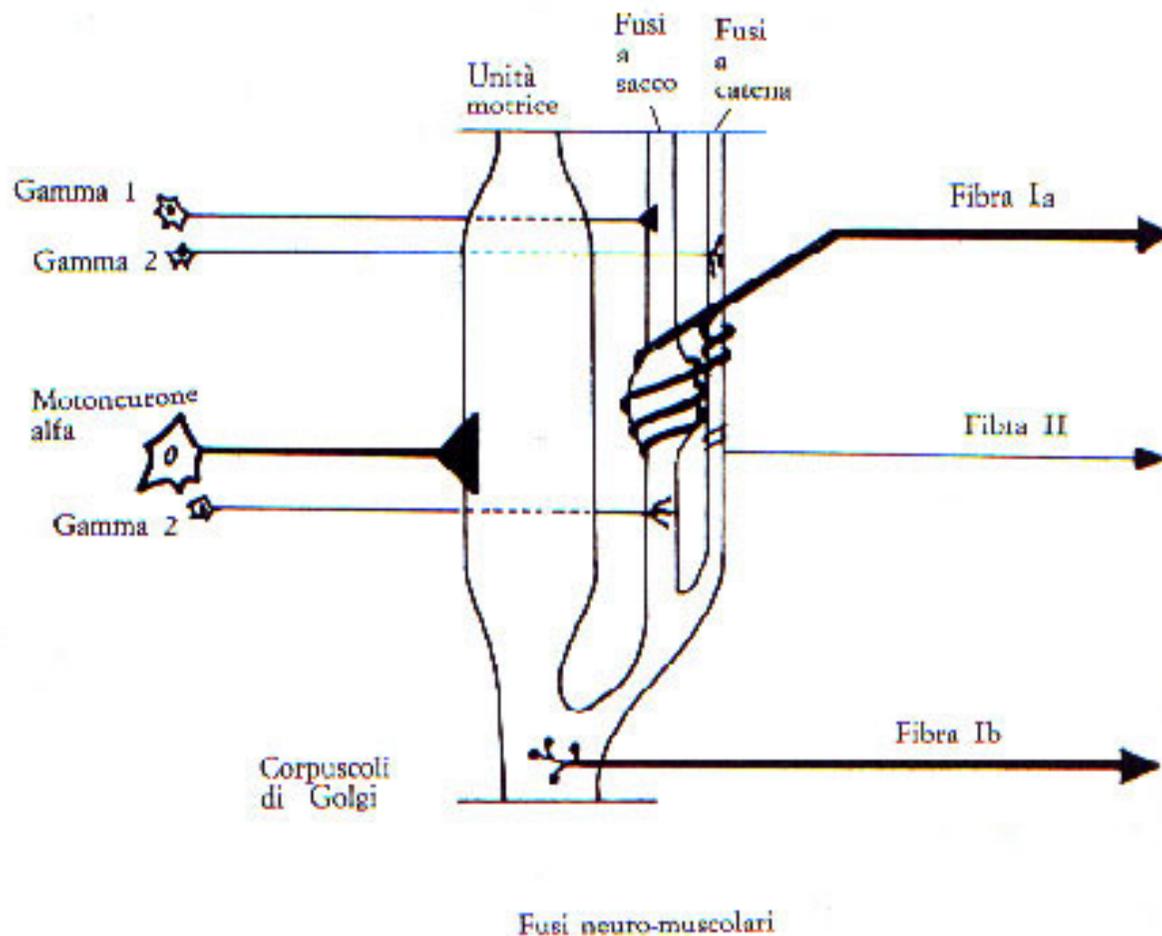


**(b)** Muscle spindle sends information about muscle stretch to the CNS.



la

Fig. 13-3a,b



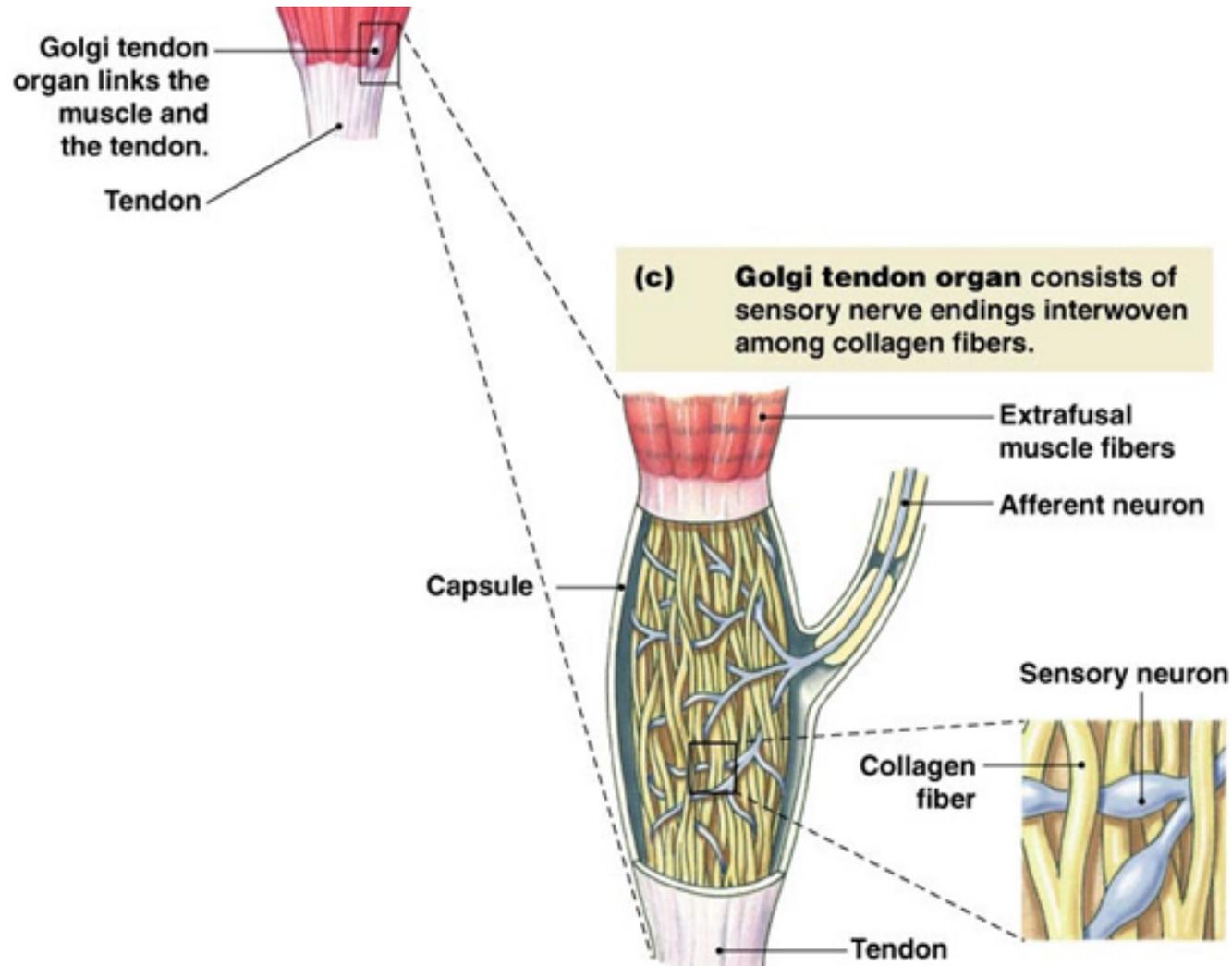
I fusi neuromuscolari sono posti in parallelo alle fibre muscolari extrafusali.

Un allungamento del muscolo causa un allungamento dei fusi con conseguente eccitazione delle fibre Ia.

Un accorciamento (contrazione) del muscolo causa un afflosciamento dei fusi con conseguente riduzione o cessazione della scarica delle fibre Ia.

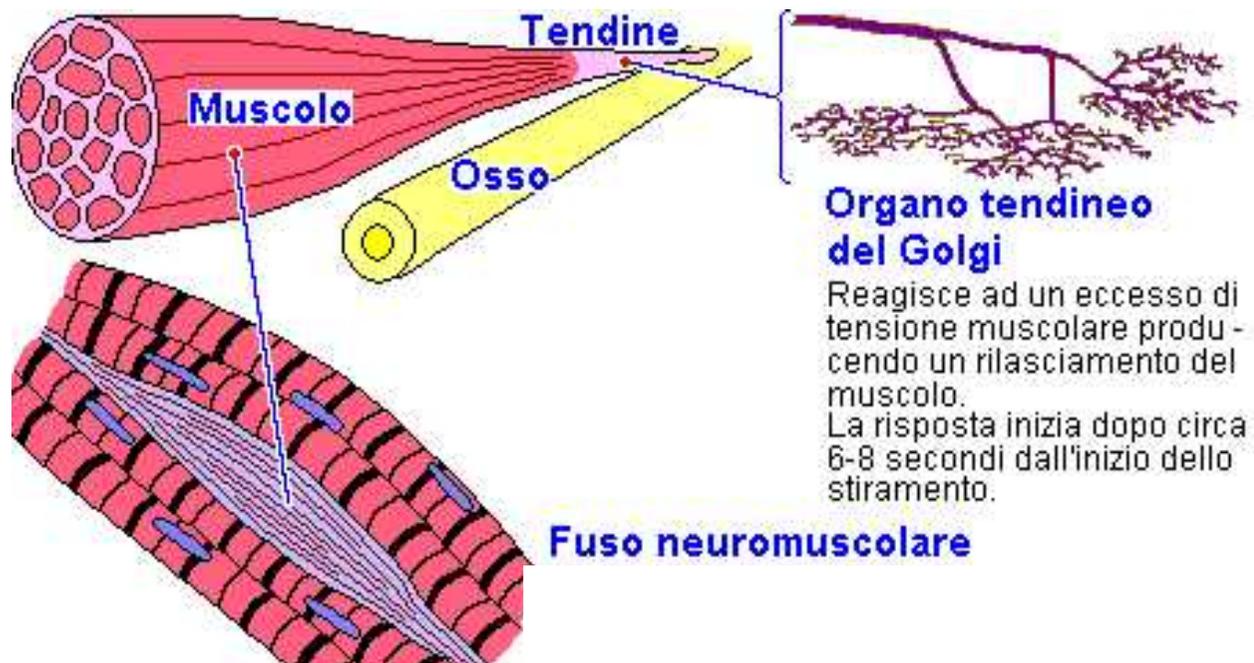
**Segnalano la lunghezza muscolare**

# I propriocettori tendinei del Golgi



Ib

Fig. 13-3c

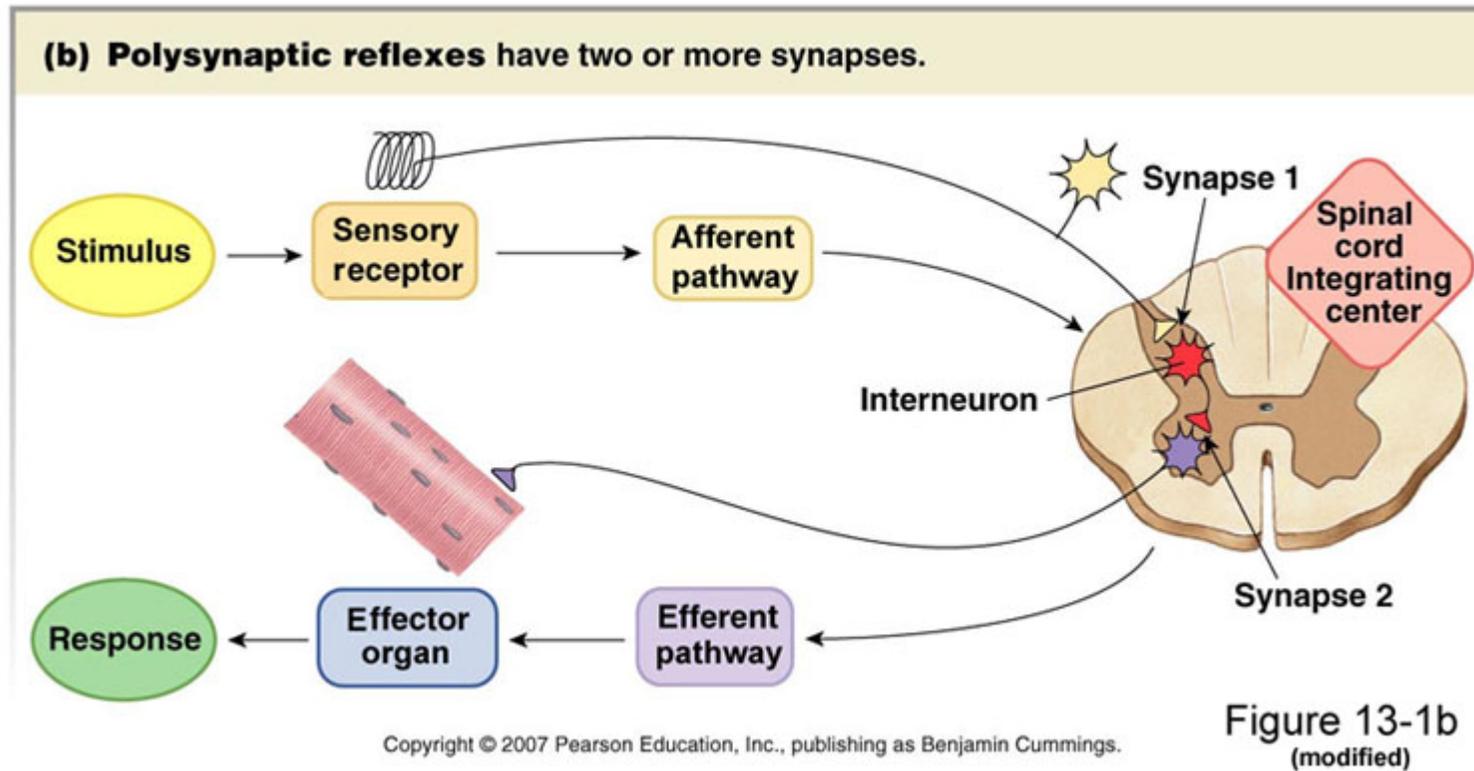


I recettori tendinei del Golgi sono posti in serie alle fibre muscolari extrafusali. Un allungamento del muscolo a causa di un piegamento dell' articolazione o di una peso determina un aumento di tensione al tendine con conseguente eccitazione delle fibre Ib.

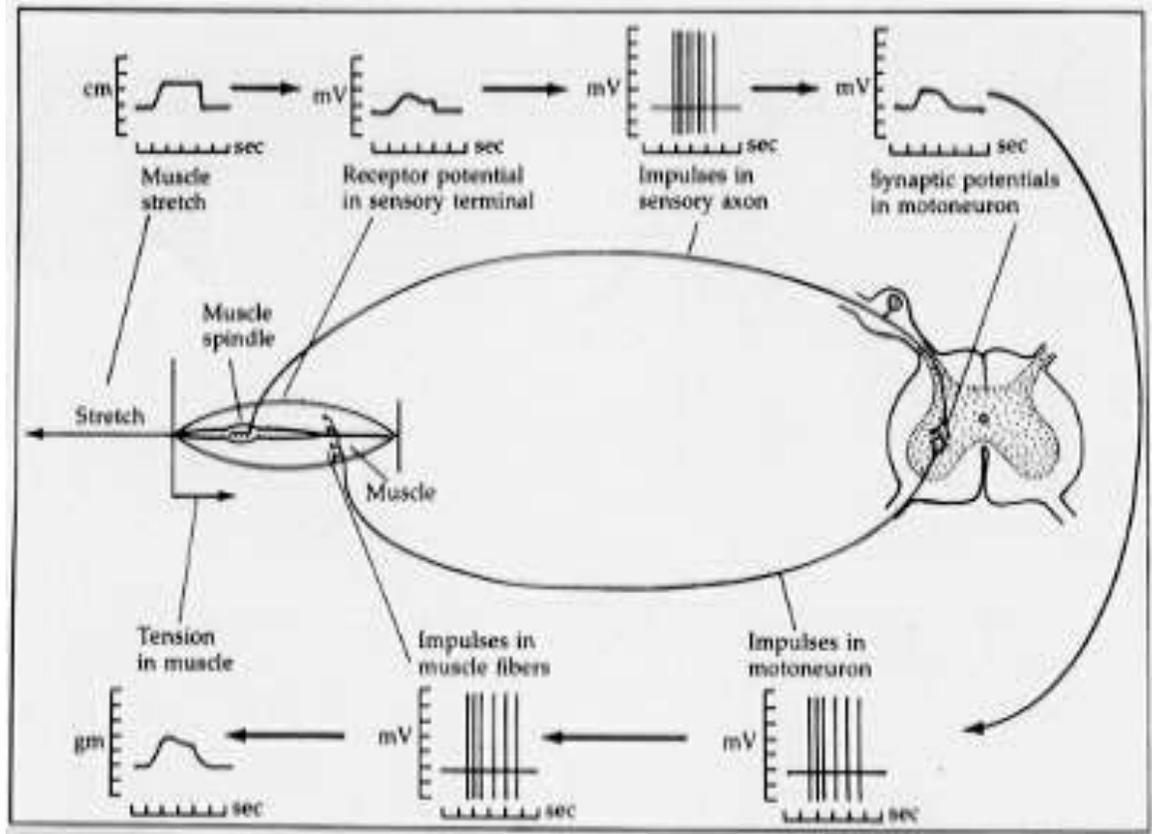
Un accorciamento (contrazione) del muscolo causa un aumento di tensione al tendine, con conseguente attivazione dei recettori del Golgi e aumento della scarica delle fibre Ib.

**I recettori del Golgi sono recettori di tensione.**

## Il più semplice circuito di controllo: i circuiti riflessi spinali



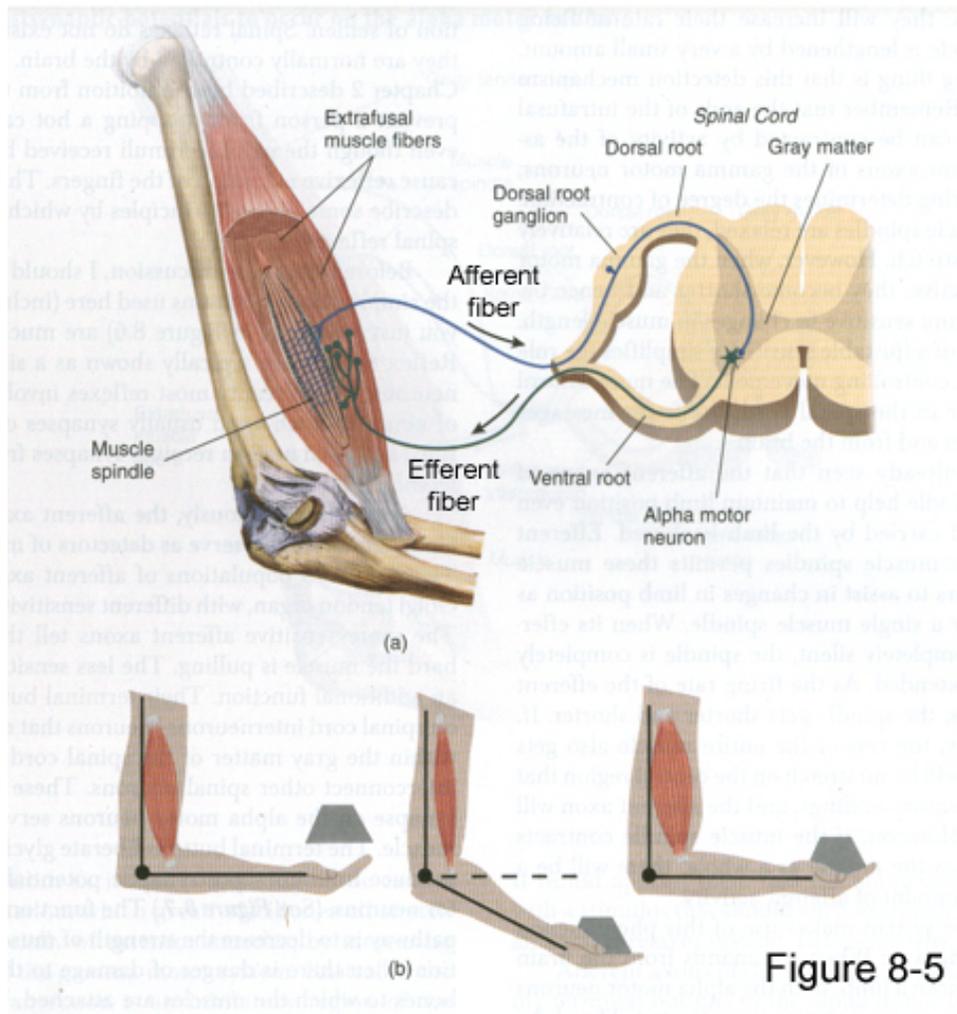
## Il più semplice circuito di controllo: i circuiti riflessi spinali



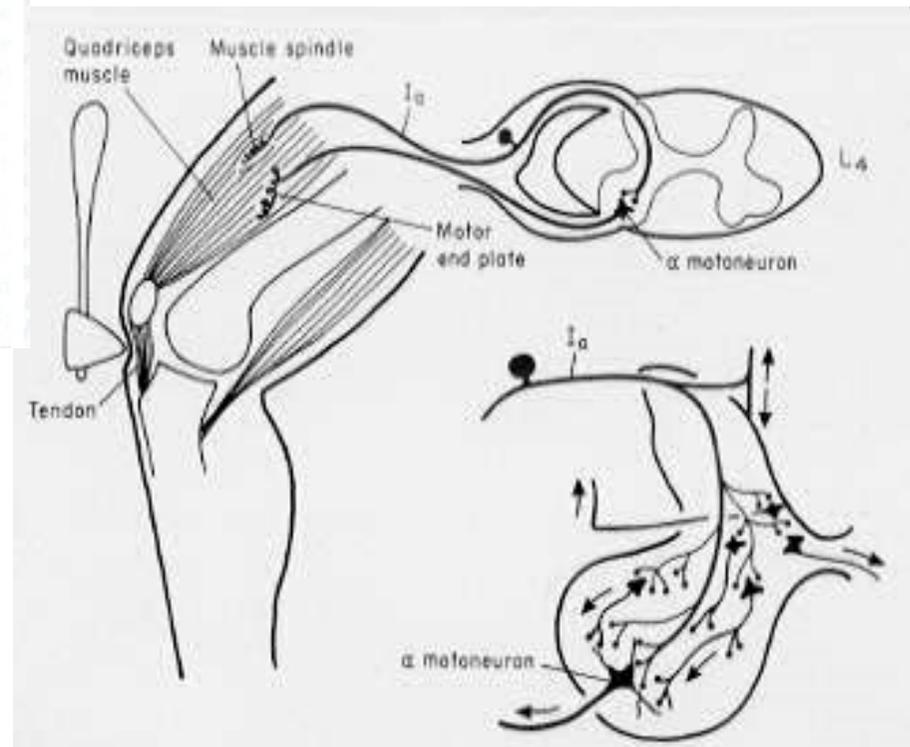
Il riflesso da stiramento

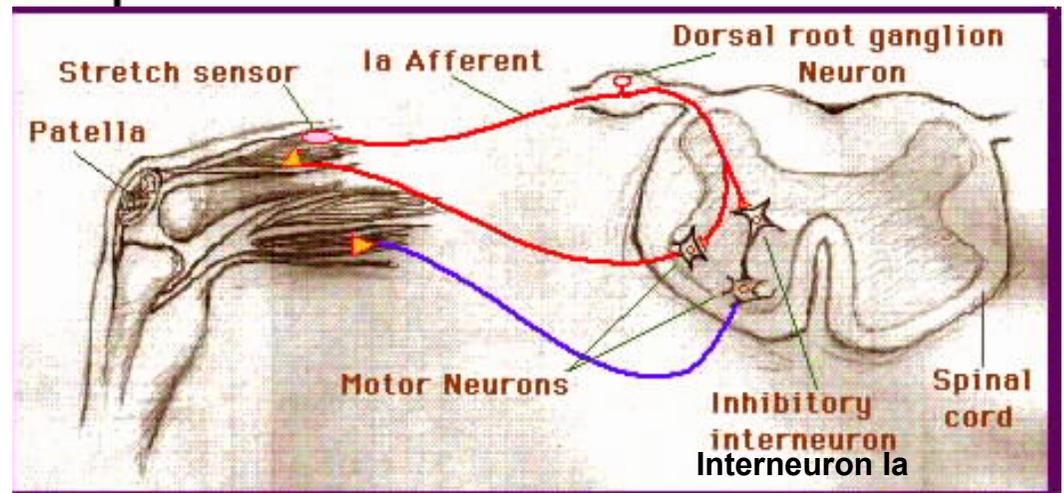
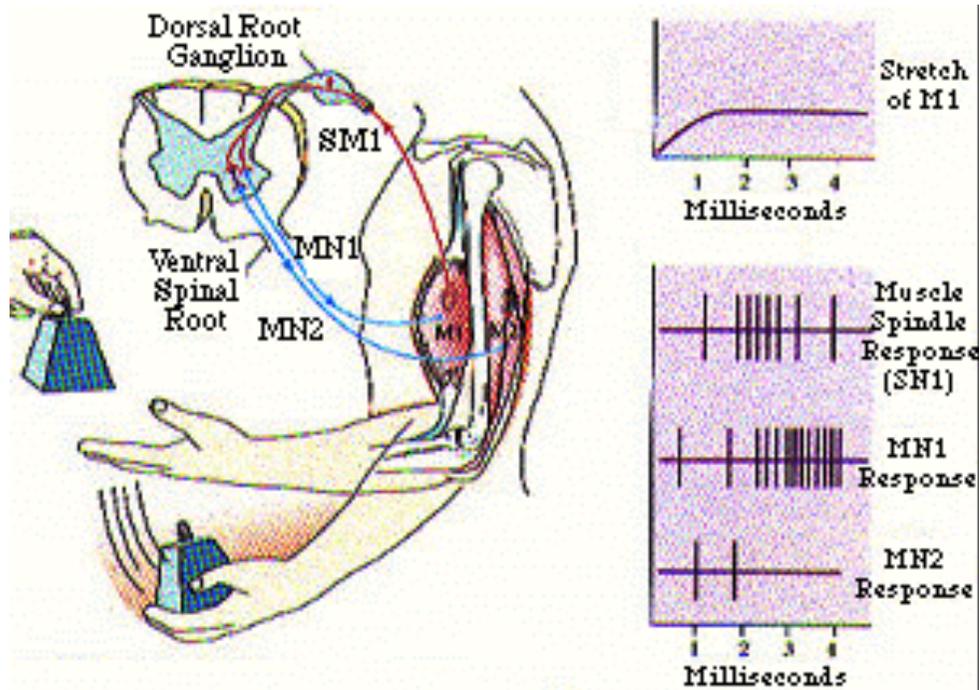
Recettori dei fusi  
neuromuscolari, motoneuroni  
alfa

Per la funzione che esplicano i muscoli si dividono in sinergici, se concorrono alla stessa funzione e in antagonisti, se producono effetti opposti. Così si hanno muscoli flessori ed estensori, quando, con la loro contrazione, diminuiscono o aumentano l'angolo che due ossa insieme articolate formano fra di loro. Il bicipite, per es., è un muscolo flessore che piega l'avambraccio sul braccio, mentre il tricipite è estensore. In stato di riposo



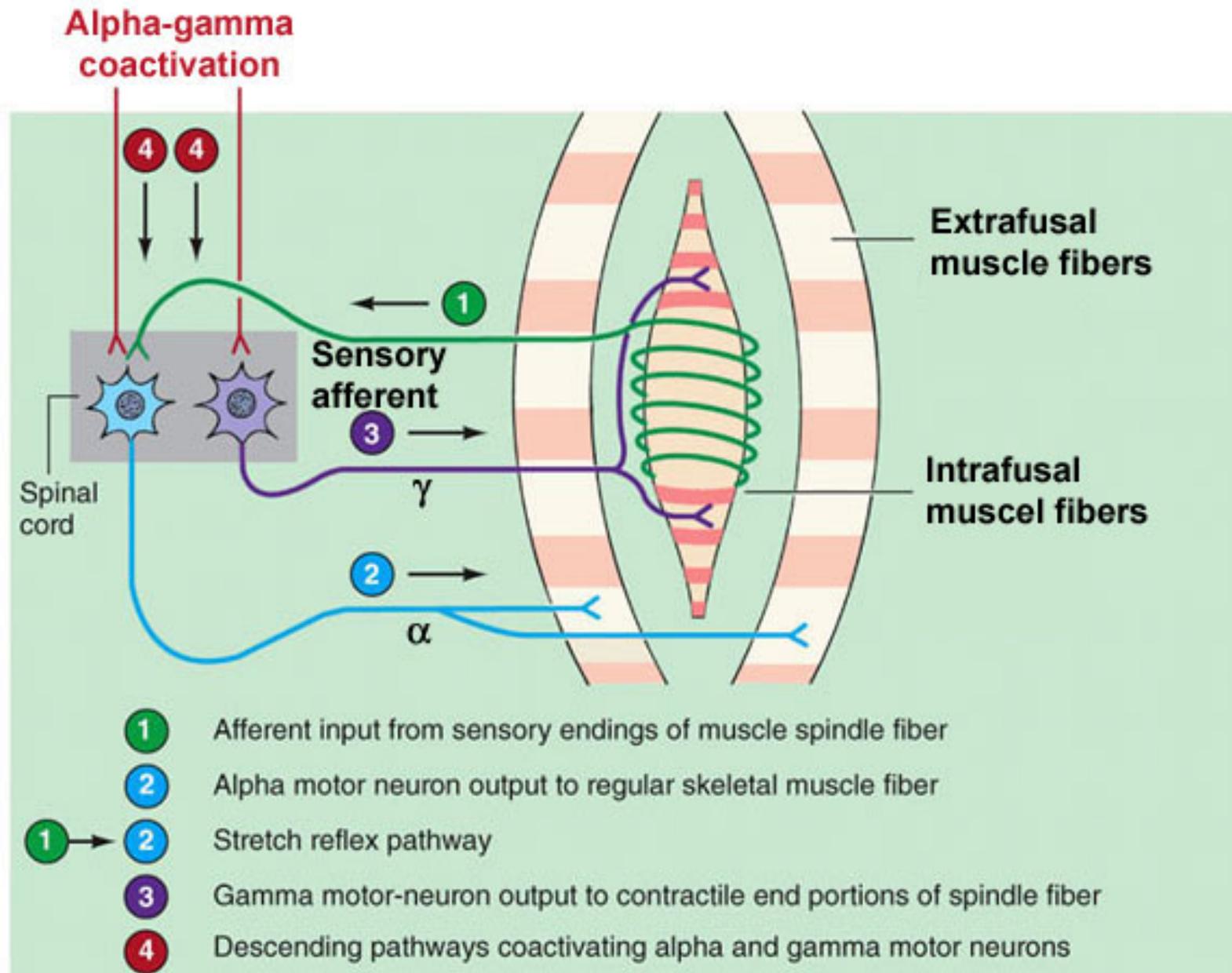
Due esempi di riflesso da stiramento, circuito monosinaptico, il controllo del muscolo omonimo e dei muscoli sinergici



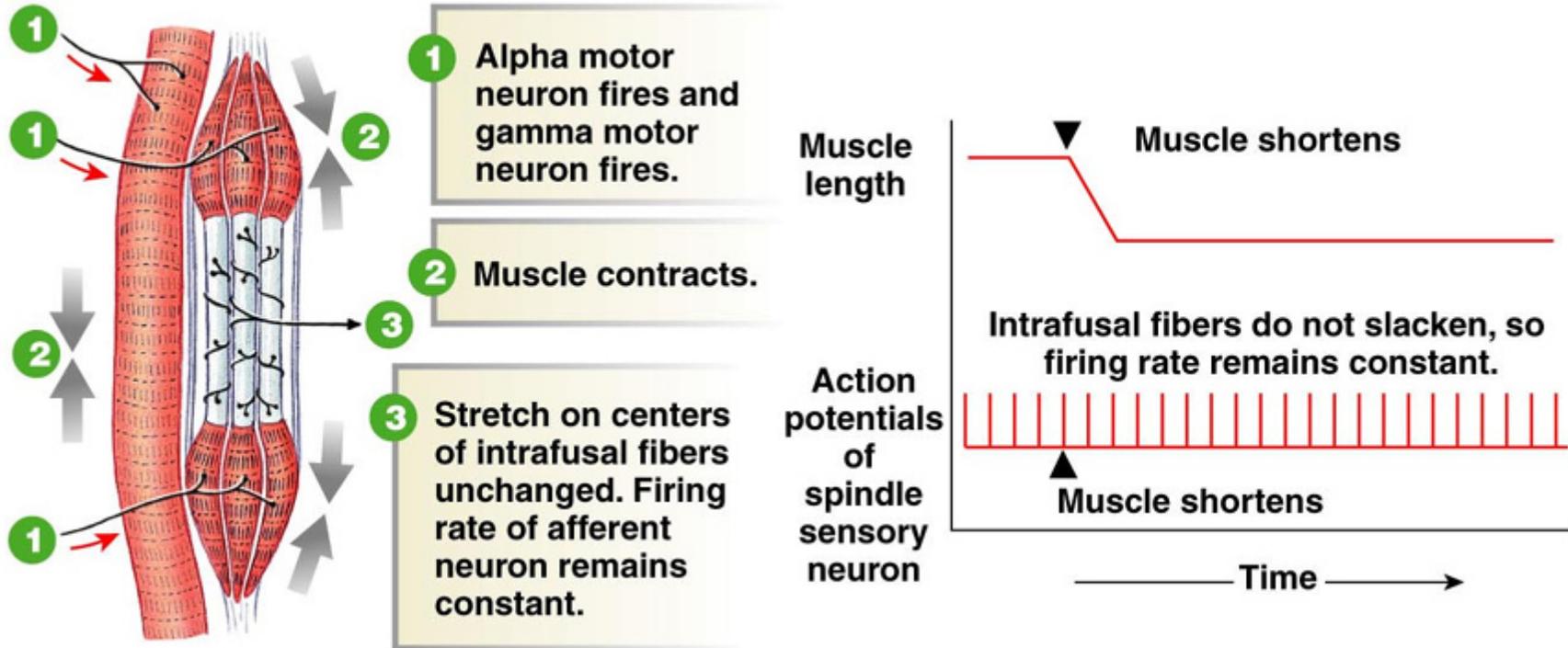


Il riflesso da stiramento, controllo dei muscoli antagonisti

# Il riflesso da stiramento, ruolo dei motoneuroni gamma

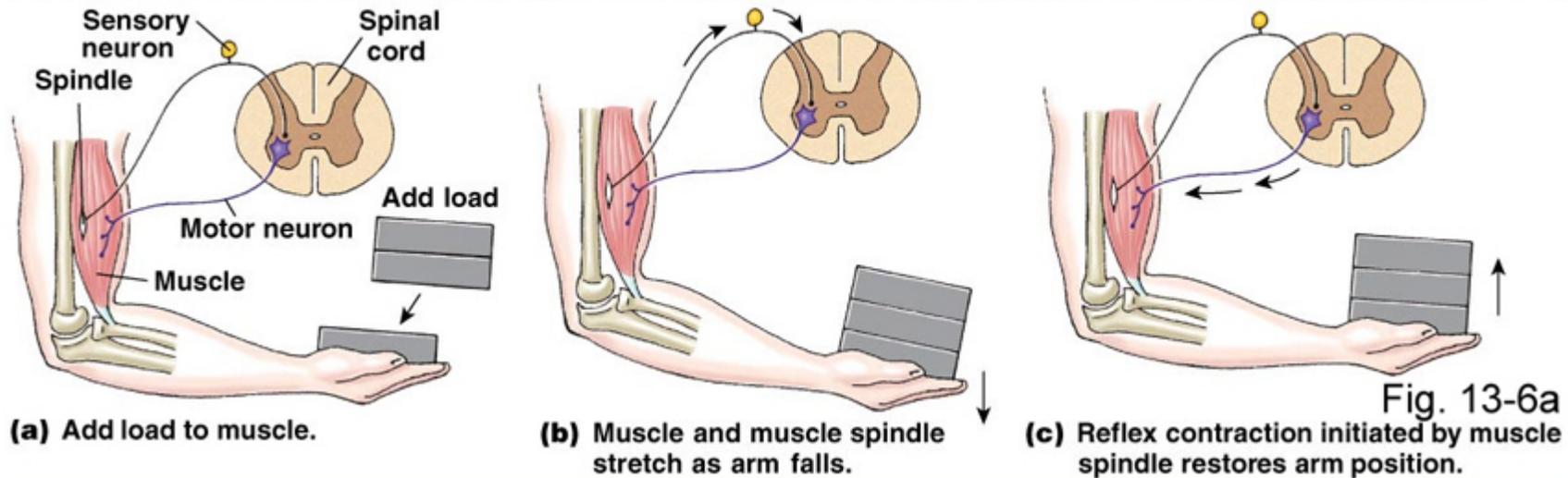


**(b) Alpha-gamma coactivation maintains spindle function when muscle contracts.**

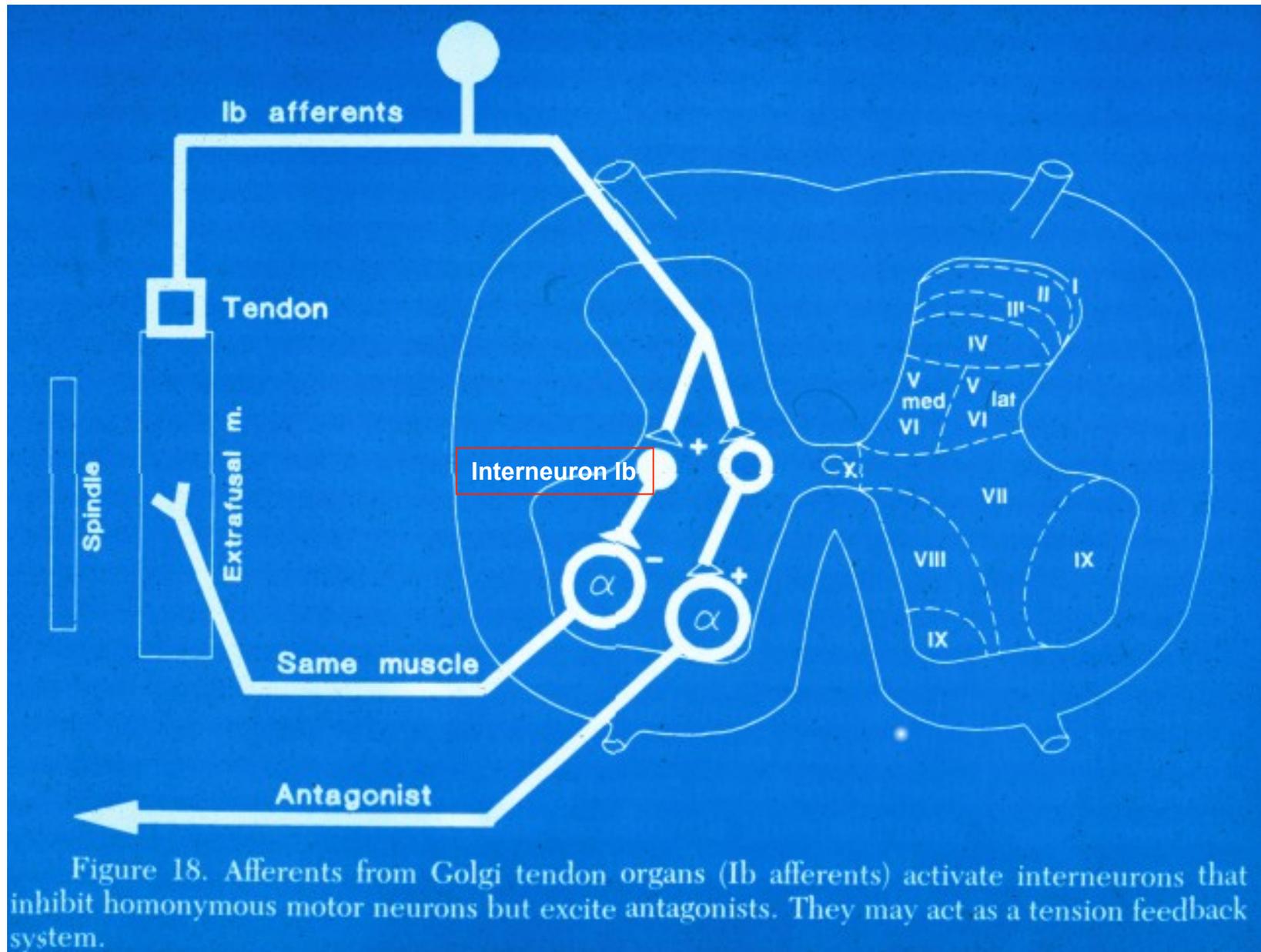


# Ruolo principale del riflesso da stiramento: mantenere una prefissata lunghezza muscolare

**Muscle spindle reflex:** the addition of a load stretches the muscle and the spindles, creating a reflex contraction.



# Il riflesso del Golgi



# Ruolo protettivo del riflesso del Golgi

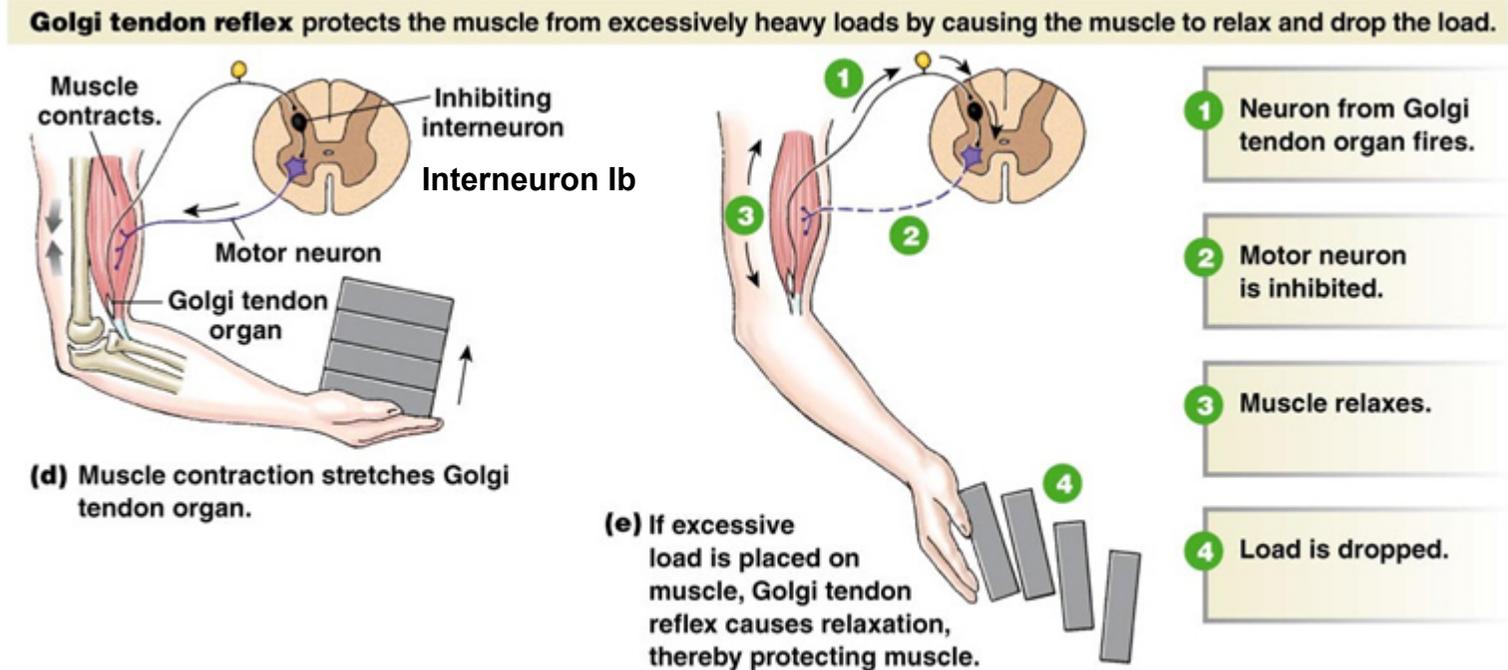
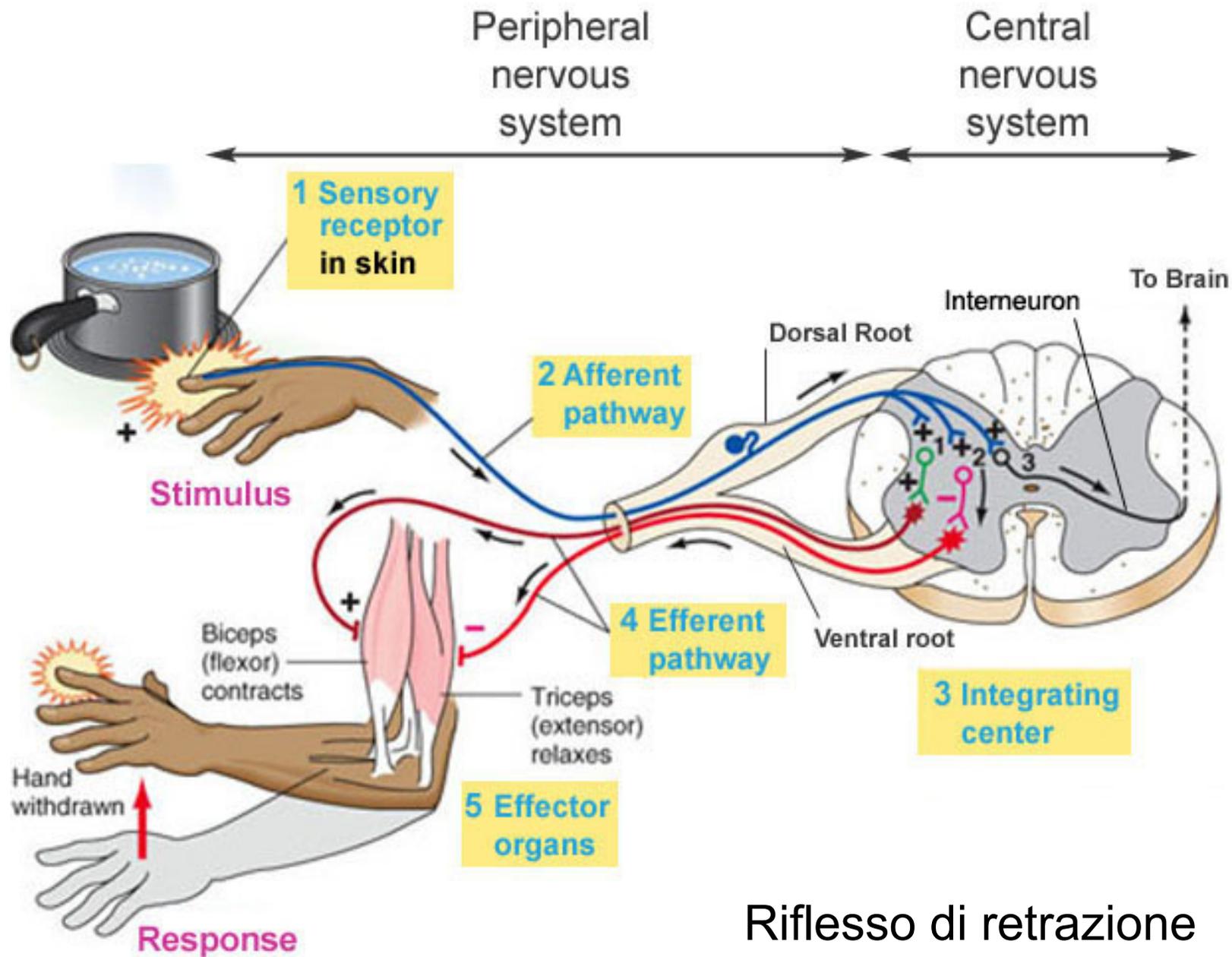


Fig. 13-6b

Ruolo di controllo fine della forza della muscolatura distale da parte del riflesso del Golgi

L' interneurone Ib controlla il rilascio della muscolatura delle dita nel momento in cui la forza muscolare esercitata raggiunge il livello prefissato (presa di precisione con forza muscolare controllata)



Riflesso di retrazione

# Crossed-extensor Reflex

(riflesso ipsilaterale flessorio)

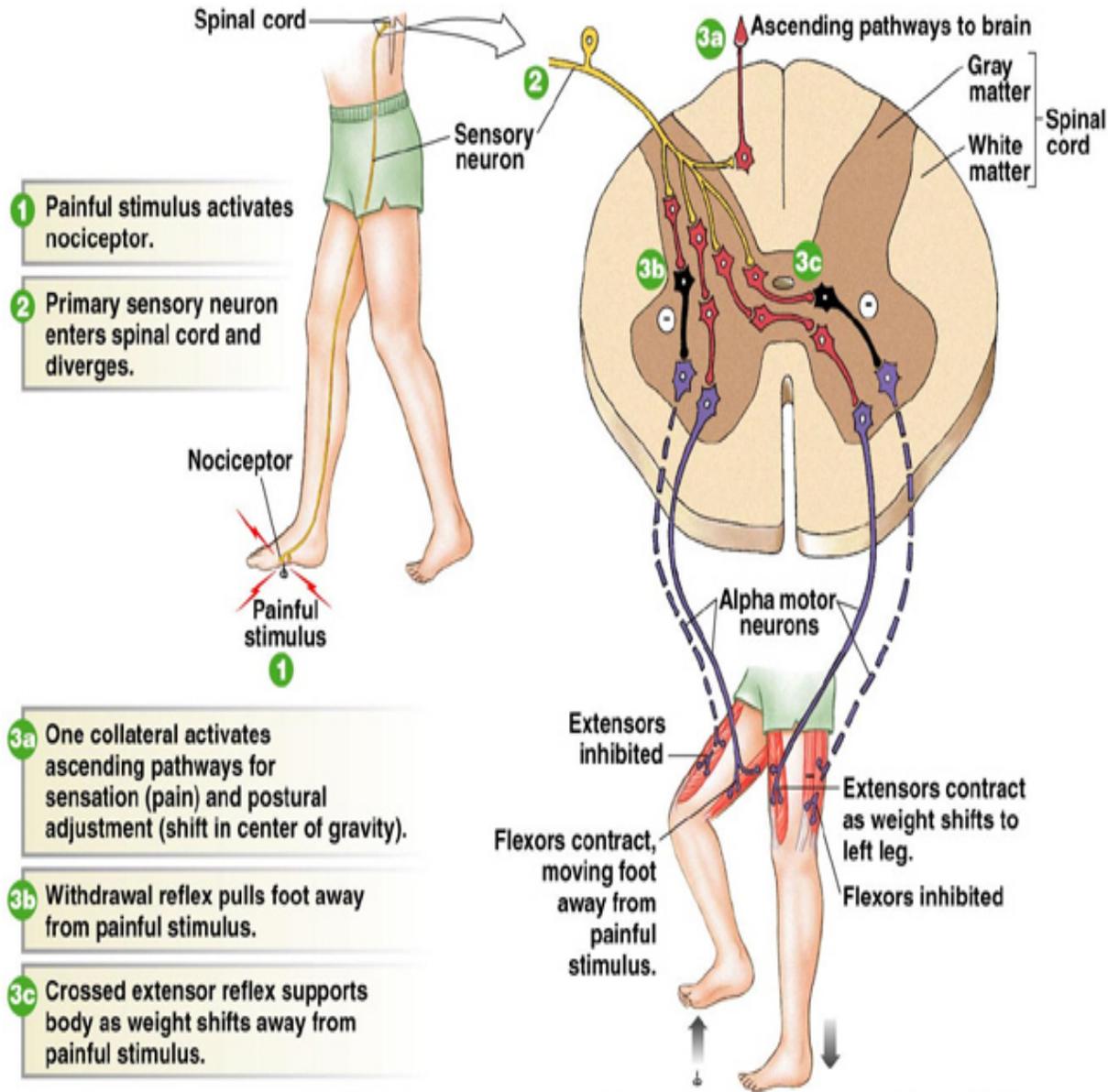


Fig. 13-8

I riflessi possono dare anche origine a movimenti ritmici complessi che coinvolgono segmenti spinali diversi (ad esempio, riflesso di grattamento).



I riflessi sono modulati da vie discendenti provenienti dai diversi livelli di controllo del sistema motorio per integrarli nella funzione motoria desiderata.

Vedremo ora tre esempi di funzione motoria :

La postura

La locomozione

Il movimento volontario

## Il tono posturale

La postura è la posizione del corpo, sia a riposo che durante un movimento, volontario o imposto, mantenuta contro la forza di gravità.

Il tono posturale è il mantenimento di una postura attraverso la contrazione di muscoli che sono principalmente assiali o prossimali.

La conservazione di una postura antigravitaria è un processo attivo. Il tono posturale è mantenuto automaticamente attraverso circuiti neurali dedicati.

## Il tono posturale

Abbiamo diverse vie di controllo per il mantenimento del tono posturale: queste vie utilizzano ingressi propriocettivi, visivi e vestibolari. Tali ingressi innescano risposte veloci ed accurate, utilizzando circuiti nervosi relativamente semplici.

Il principale riflesso spinale utilizzato per il mantenimento del tono posturale è il riflesso da stiramento (innervazione gamma).

Vie di cruciale importanza per il controllo del tono posturale sono le vie mediali dal tronco dell'encefalo

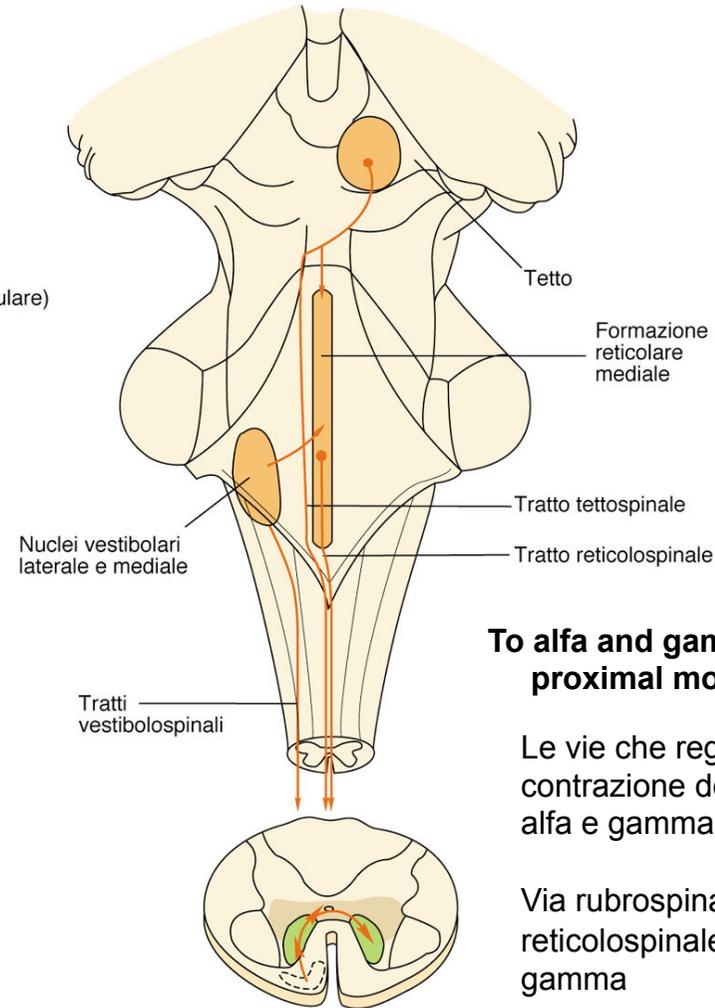
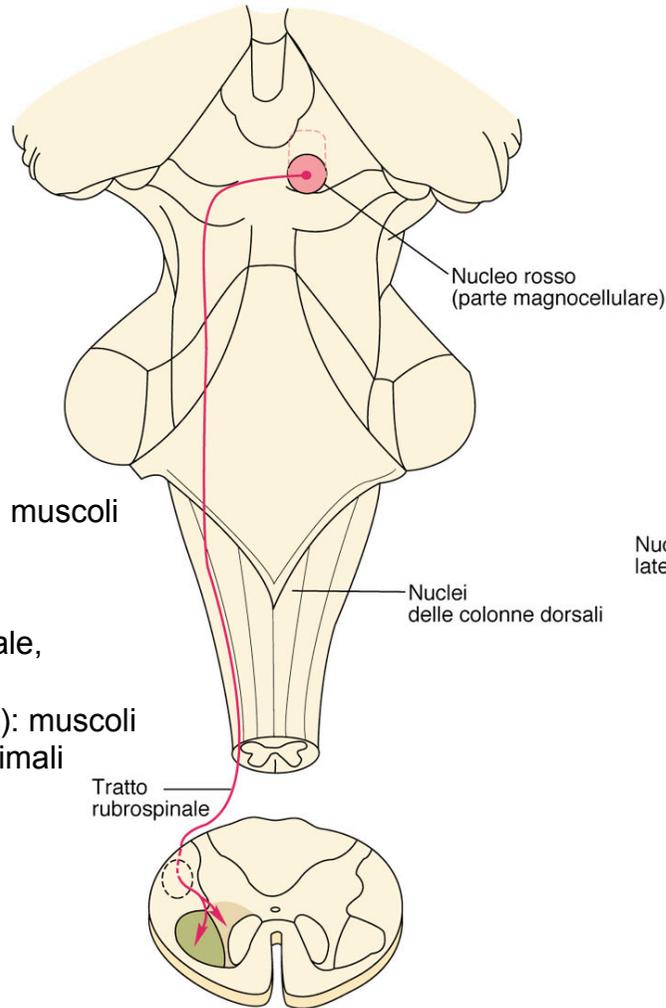
# Il tronco dell'encefalo

Via reticolo-spinale e vestibolo-spinale: importanti per la postura e l'equilibrio.

Via tetto-spinale: importante per la coordinazione dei movimenti degli occhi e del capo

A Vie laterali del tronco dell'encefalo

B Vie mediali del tronco dell'encefalo



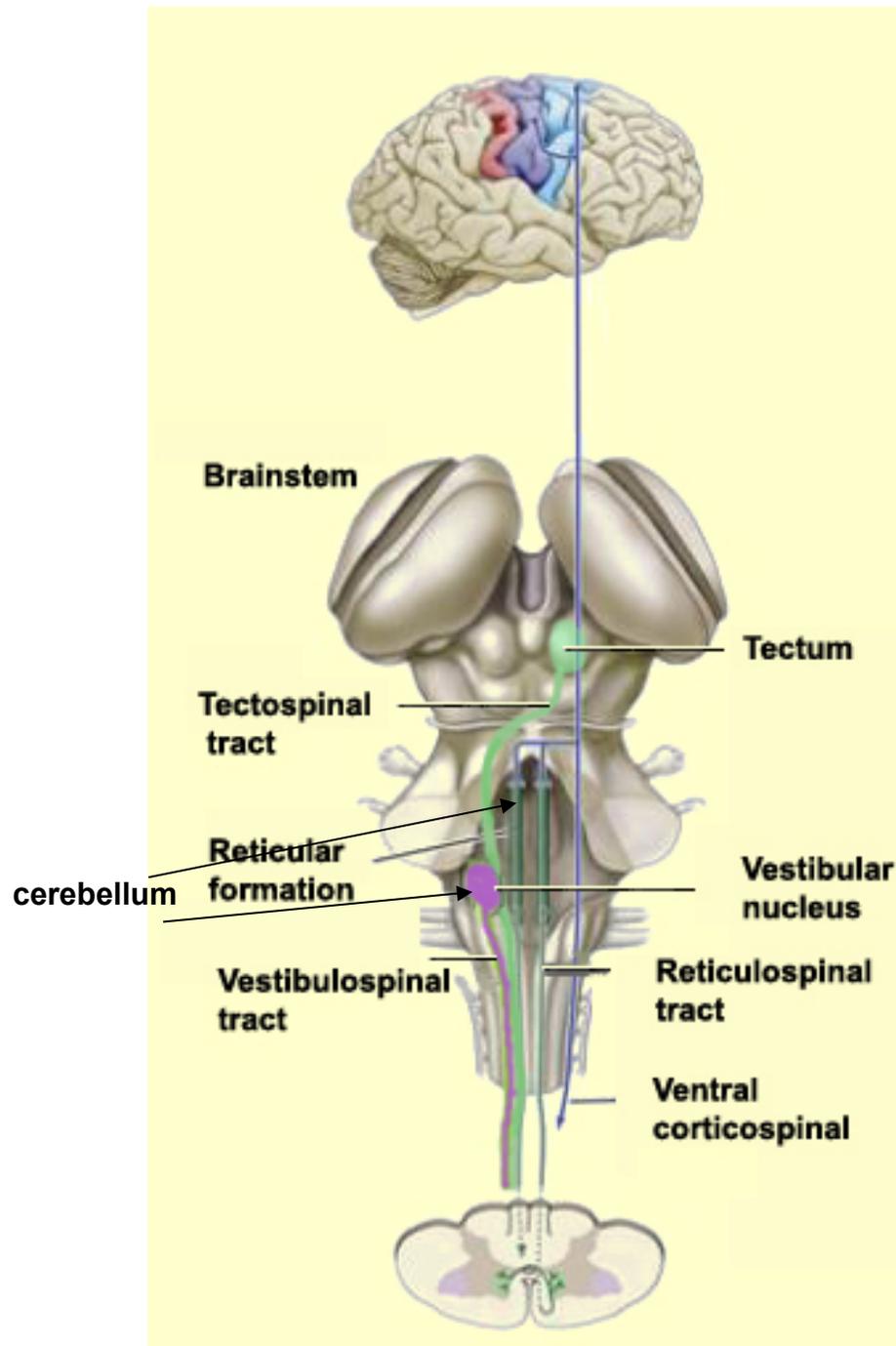
- Vie laterali (rubrospinale): muscoli distali
- Vie mediali (vestibolospinale, tettospinale, reticolospinale): muscoli assiali e prossimali

## To alfa and gamma axial and proximal motoneurons

Le vie che regolano lo stato di contrazione dei motoneuroni alfa e gamma sono diverse

Via rubrospinale e reticolospinale: controllo gamma

Via vestibolospinale: controllo alfa



The **ventromedial system**, is composed of four tracts that originate in various areas of the brainstem and contribute chiefly to postural control and certain reflex movements. The originating neurons of these tracts receive sensory information related to **balance, body position, and the visual environment**.

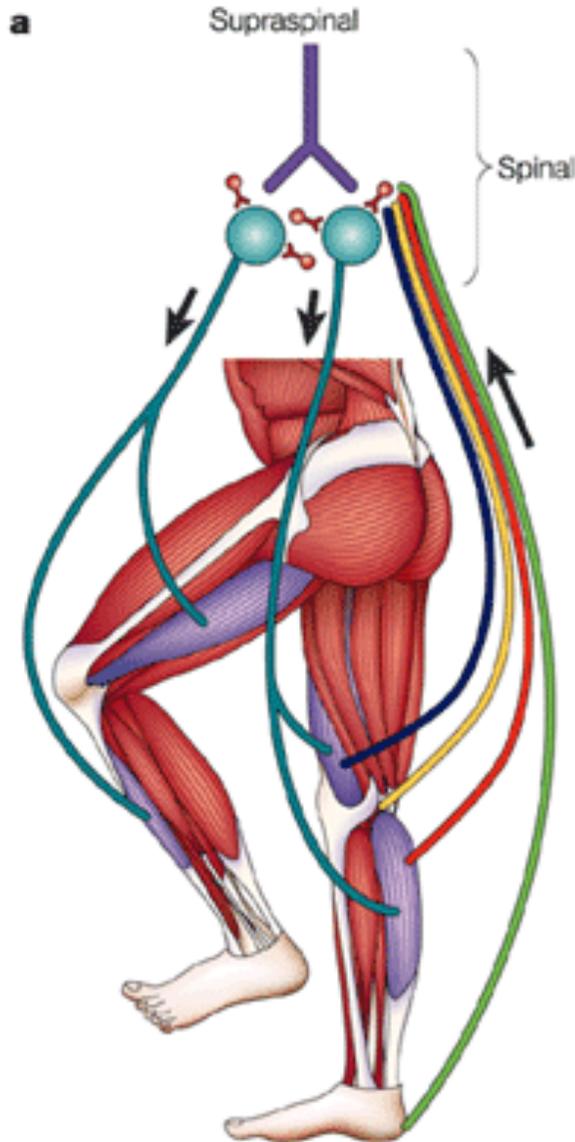
The **vestibulospinal tract** originates in the vestibular nuclei that receive information from the inner ear. This tract helps to maintain the posture under the **vestibular** control. Receive inputs from the cerebellum.

The **tectospinal tract** arises in the superior colliculus (tectum) in the midbrain. The superior colliculus receives some visual information directly from the retina, as well as somatosensory and auditory information. Through the representation of the environment formed by the superior colliculus, the tectospinal tract contributes to visual orientation and to the **tone of the neck muscles**.

The **pontine (medial) and medullary (lateral) reticulospinal tracts** arise from the reticular formation nuclei in two main parts of the brainstem: the pons and the medulla oblongata. The reticular formation receives inputs from many sources (**visual and somatosensory**) and extends the entire length of the brainstem, from the pons to the medulla. These two tracts help to maintain posture. **The axons originating in the pons (receive input from the cerebellum) enhance the spinal antigravity reflexes, while the axons originating in the medulla (receive input from the motor cortex) have the opposite effect, releasing the muscles involved in these reflexes and thus facilitating other movements.**

## La locomozione

Le attività motorie ritmiche, come la deambulazione e la masticazione, hanno la caratteristica di essere generalmente volontarie in partenza e termine, riflesse, ovvero gestite automaticamente dai riflessi spinali, per il resto della durata.

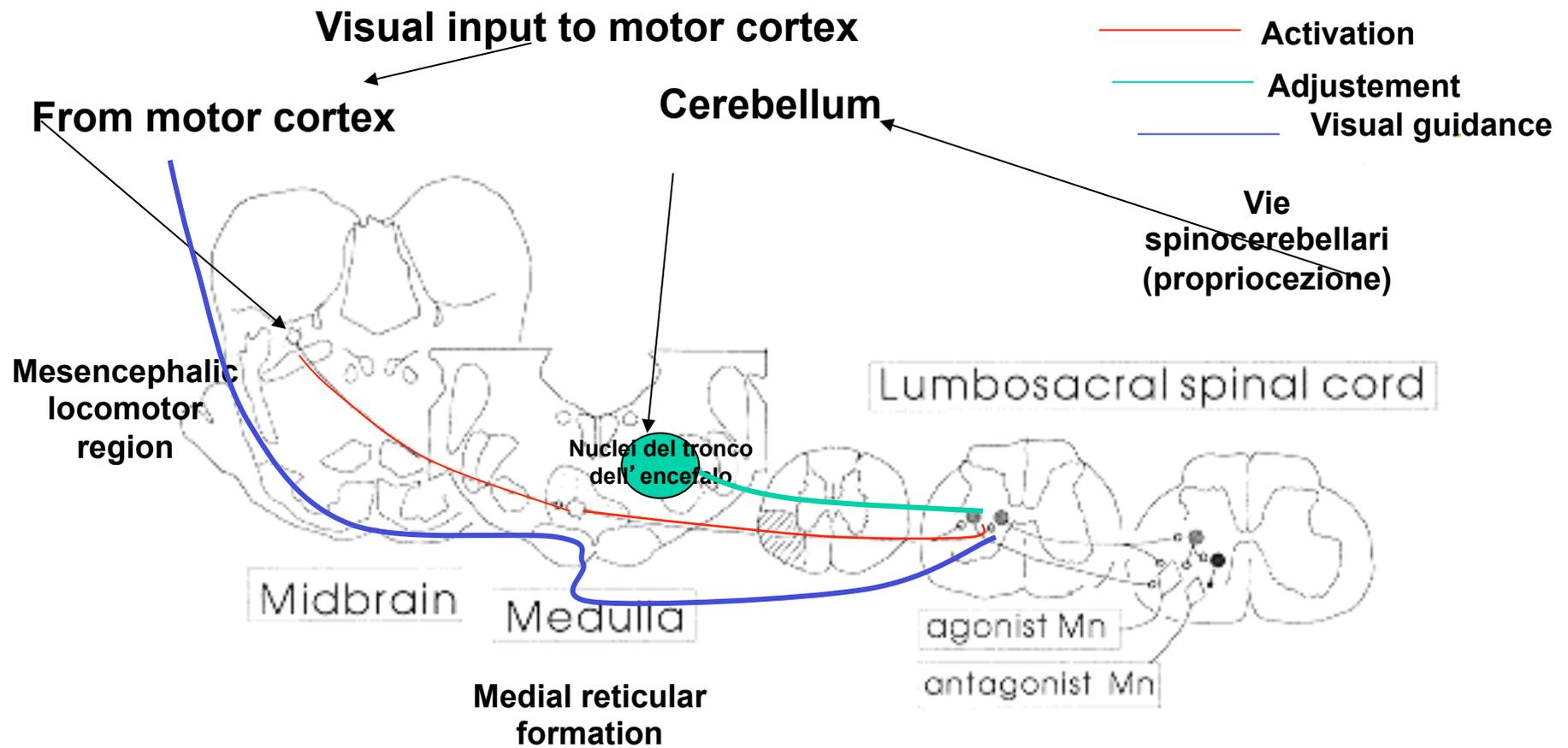


Leg muscles become activated by a programmed pattern that is generated in spinal neuronal circuits (turquoise pathway).

This pattern is modulated by multisensory afferent input, which adapts the pattern to meet existing requirements.

Both the programmed pattern and the reflex mechanisms are under supraspinal control.

In addition, there is differential neuronal control of leg extensor and flexor muscles. Whereas extensors are mainly activated by proprioceptive feedback, the flexors are predominantly under central control.

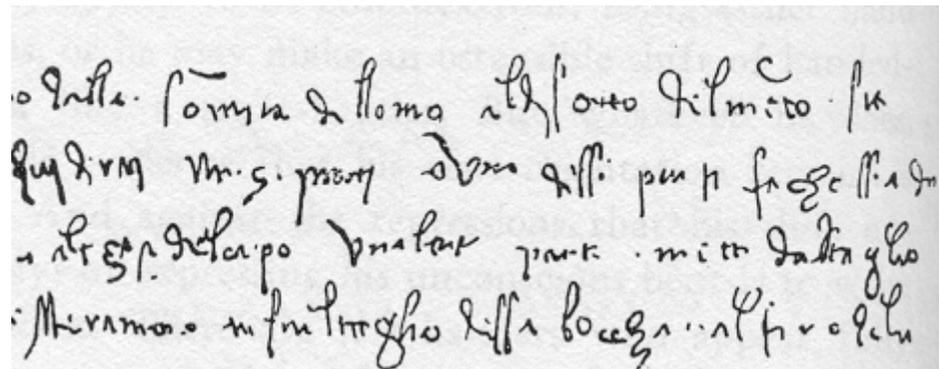


*Schematic drawing of brainstem and spinal cord neuronal systems involved in the control of locomotion. Mn: Motoneurons.*

## Il movimento volontario

Il movimento volontario richiede la funzione della corteccia motoria e delle vie corticospinali.

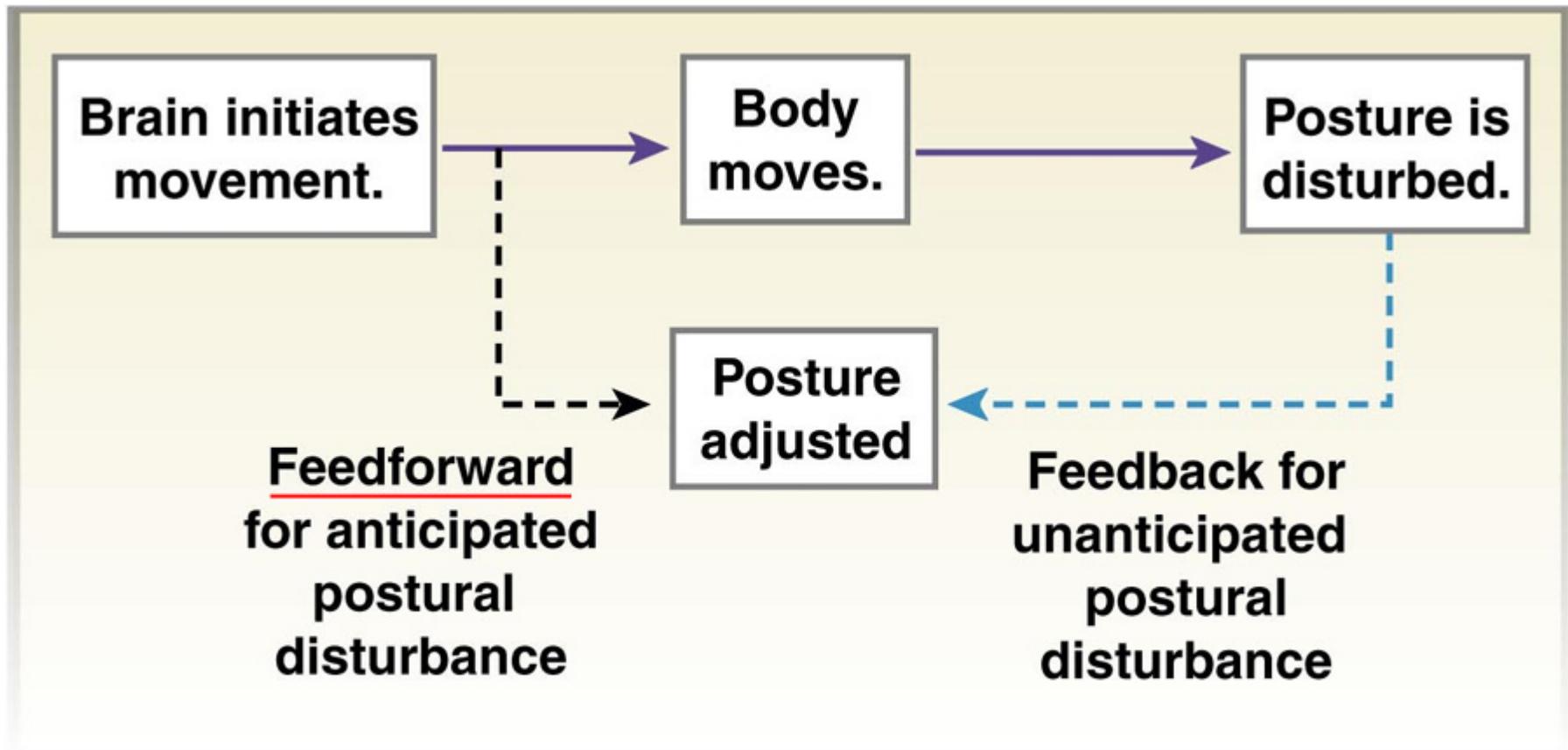
Il movimento volontario ha un piano motorio, una elaborazione interna del movimento che poi può essere eseguito anche con muscoli diversi.



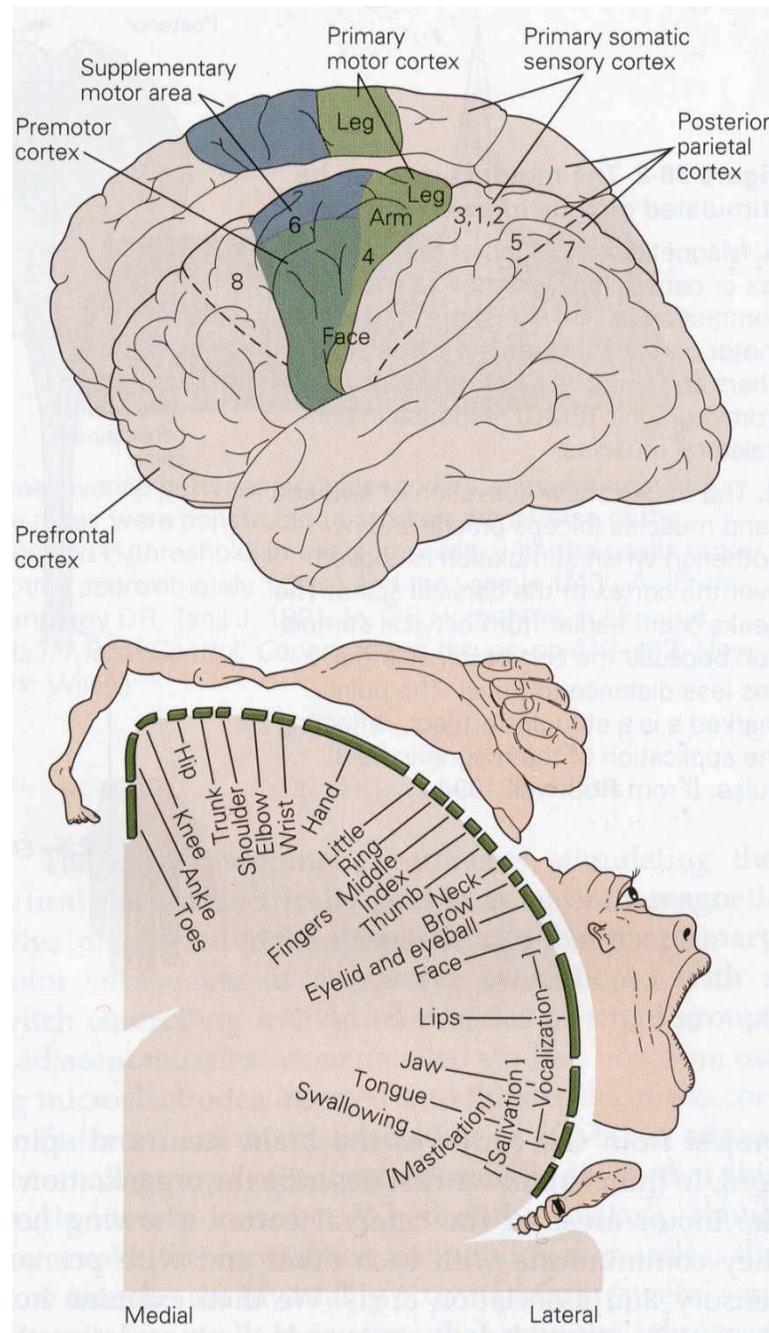
.

Il comando alle vie corticospinali verso la muscolatura distale si accompagna al comando verso i sistemi posturali, per l'aggiustamento della postura necessario a mantenere l'equilibrio durante un movimento (feedforward control).

Cambiamenti inattesi della postura sono compensati dai sistemi posturali (feedback control)



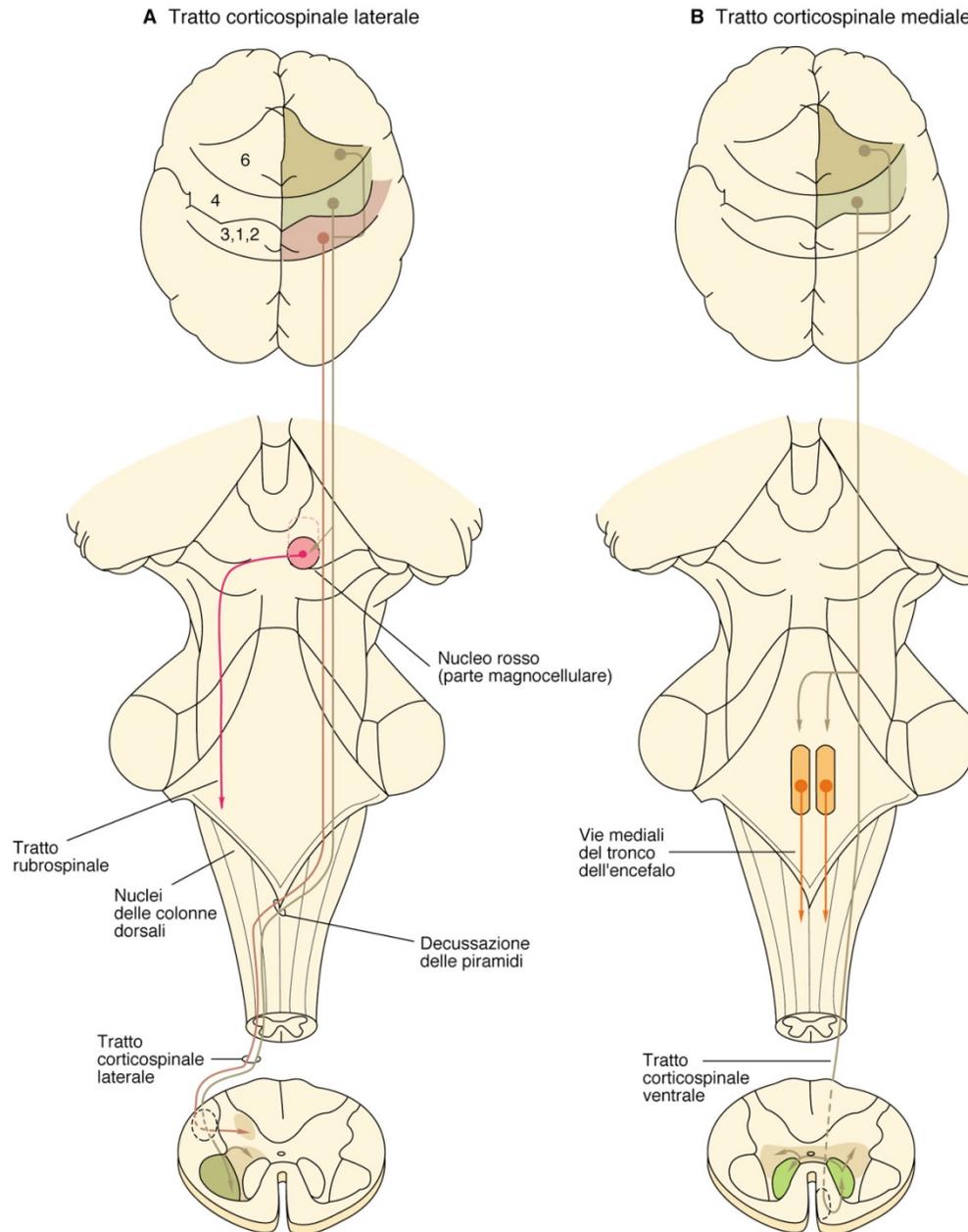
# Le aree motorie sono organizzate in modo somatotopico



Mappa ottenuta con la stimolazione intracorticale diretta. Ora ottenibile con la TMS.

La mappa mostra sovrapposizioni parziali: i neuroni di M1 possono proiettare allo stesso pool motoneuronale pur essendo in siti corticali diversi.

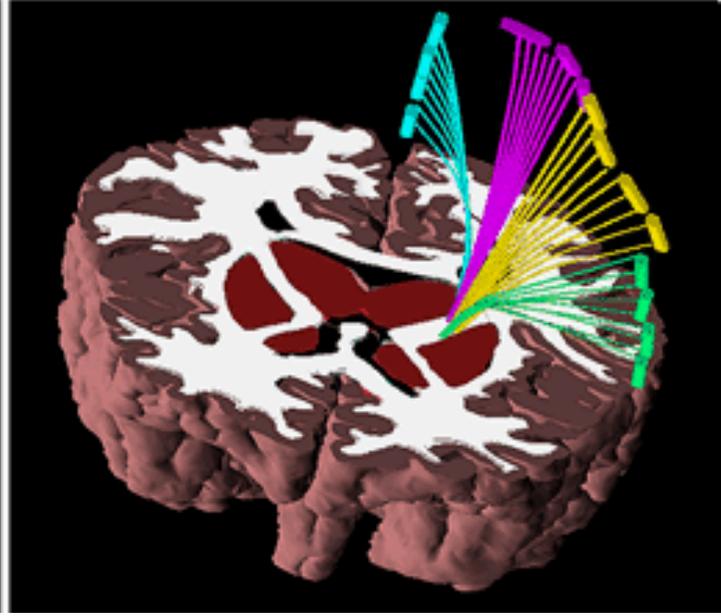
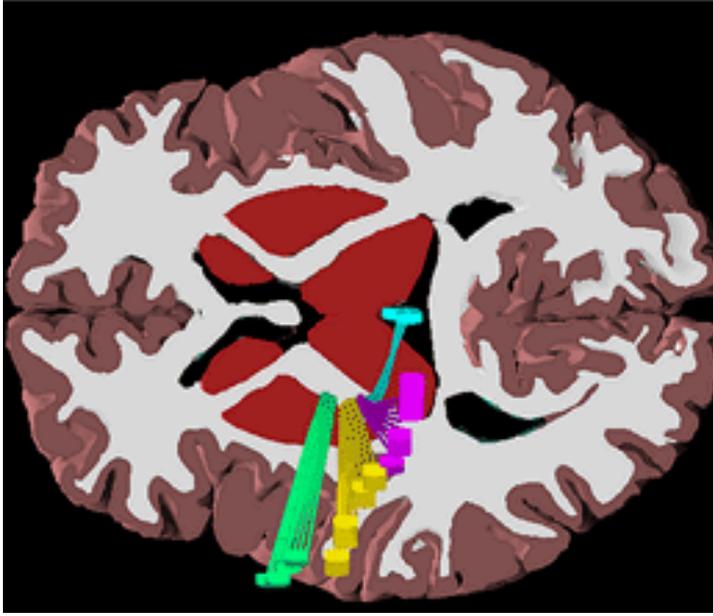
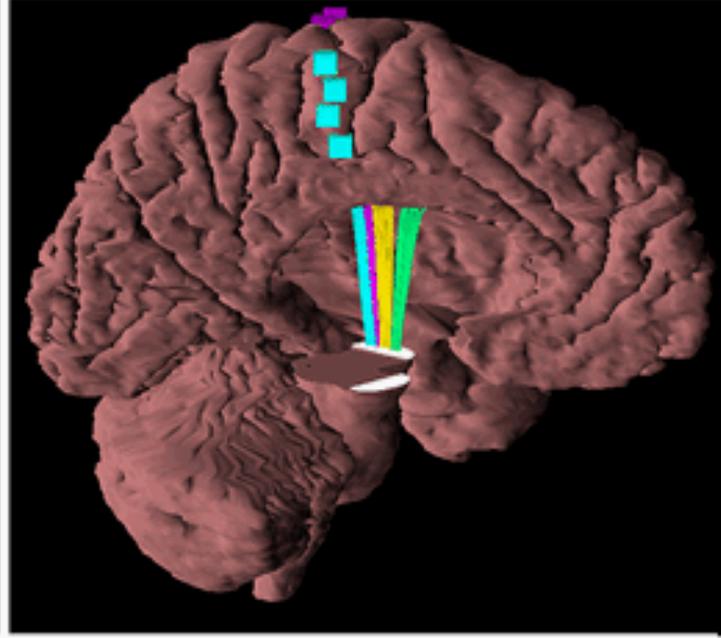
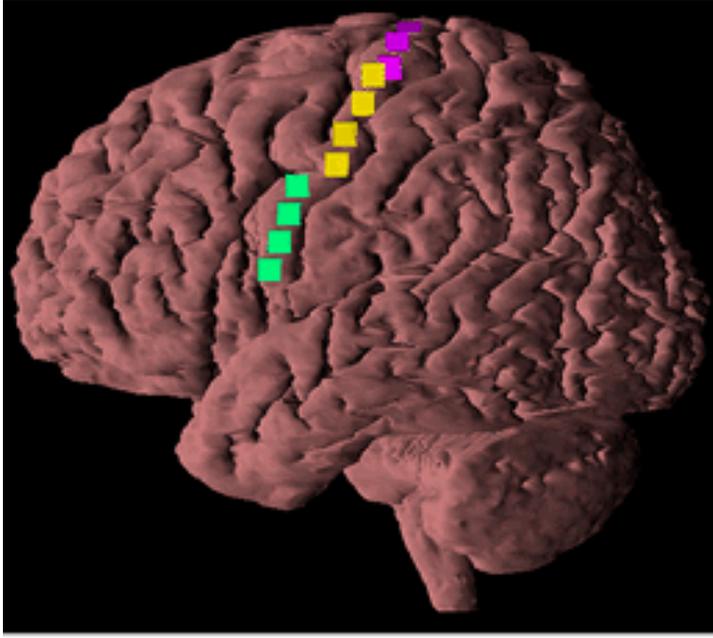
# Le vie cortico spinali



La via cortico spinale (laterale (o via piramidale) e' responsabile dei movimenti fini e complessi della muscolatura distale (decussano circa l'80% delle fibre).

Tratto corticospinale laterale: muscoli degli arti

Tratto corticospinale mediale: muscoli del tronco



### Babinski negativo



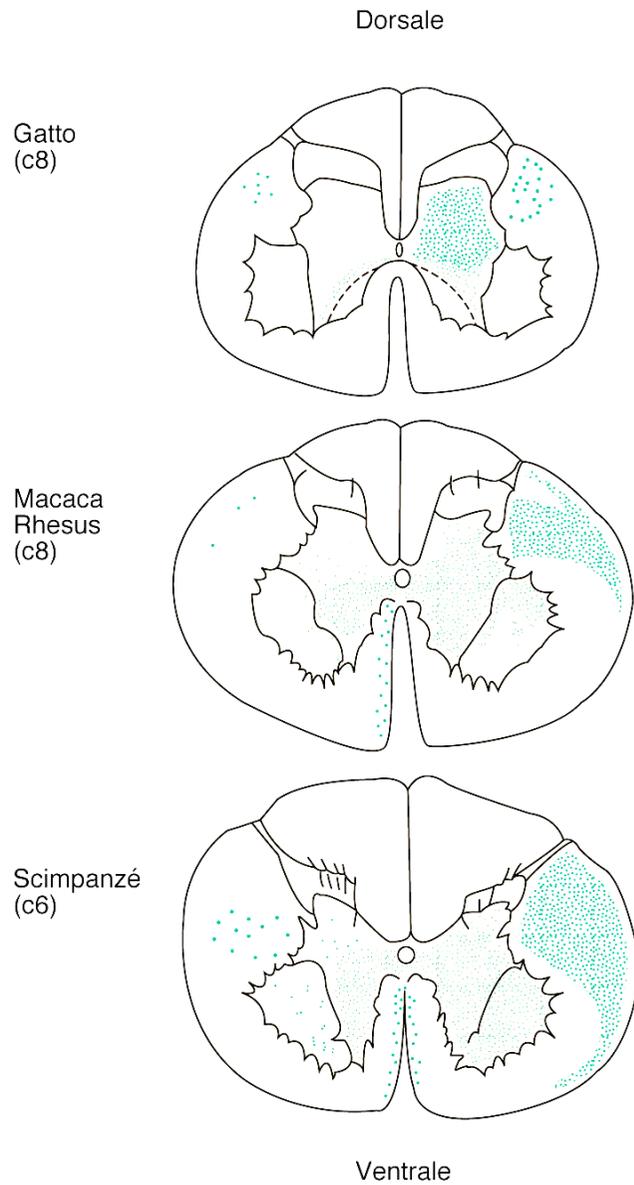
Normale nell'adulto

### Babinski positivo



Normale fino a 12-16 mesi di vita,  
oltre è segno di deficit corticospinale

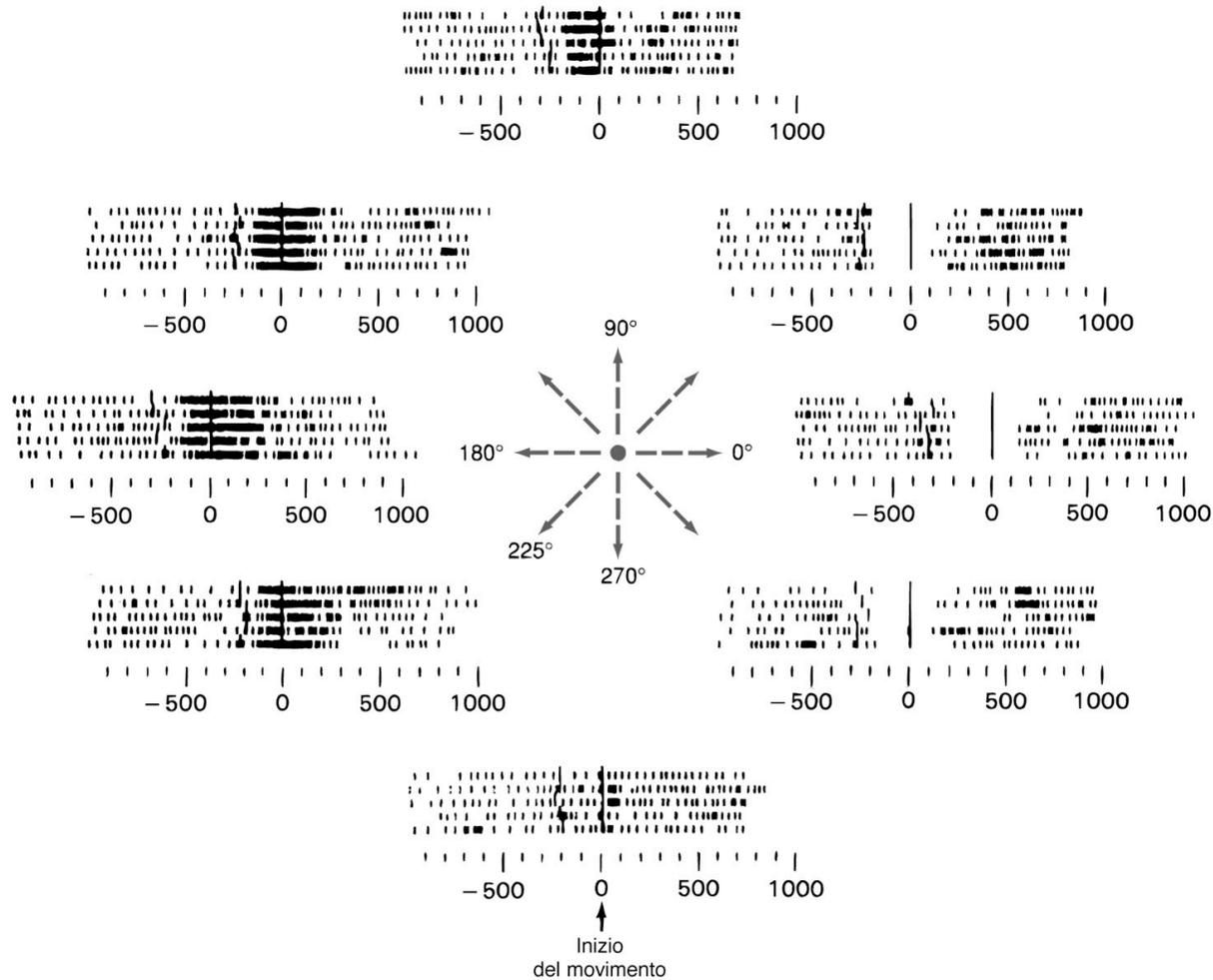
# La via cortico-spinale è tipica dei primati antropomorfi e dell'uomo



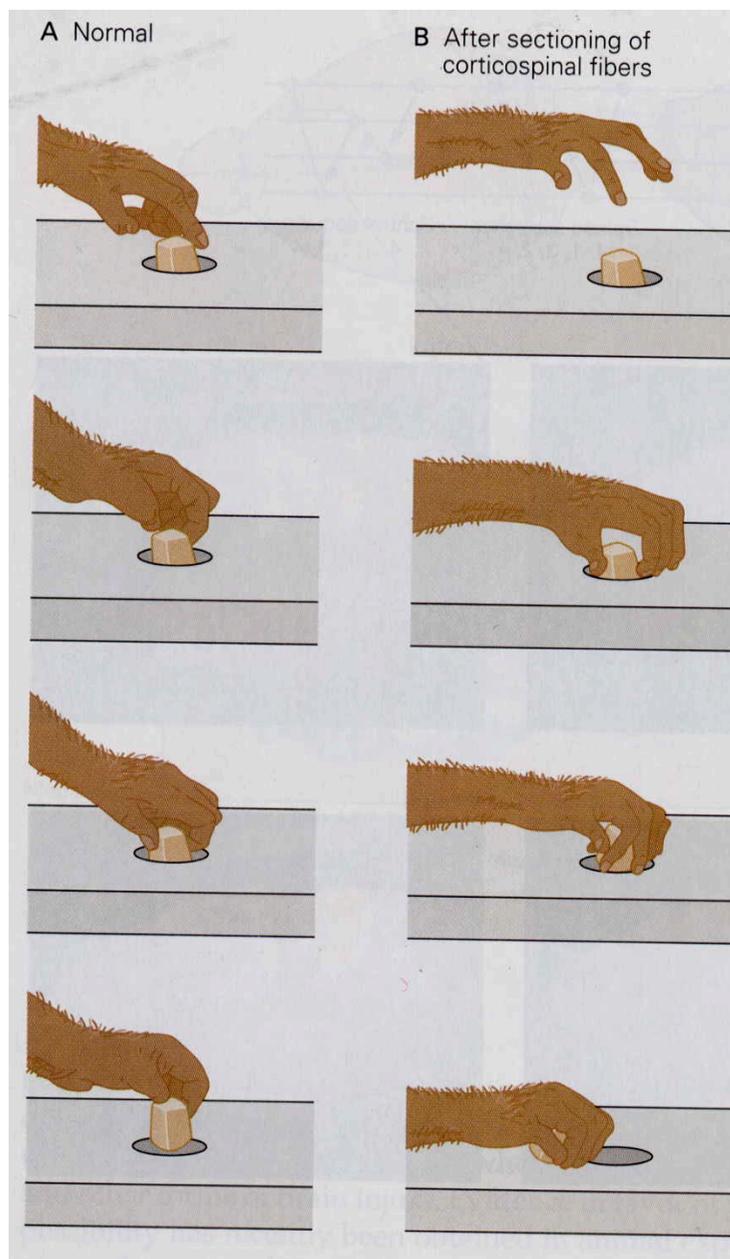
Terminazioni cortico-spinali in  
varie specie.

# I neuroni cortico-spinali

I singoli neuroni cortico-spinali codificano principalmente la forza mentre sono moderatamente selettivi direzione del movimento, che è codificata con un codice di popolazione



# Ruolo della via cortico-spinale diretta (via piramidale)



La corteccia motoria è organizzata in colonne di “movimento”.

Al centro di una colonna ci sono neuroni che formano la via piramidale e la cui stimolazione evoca un preciso e semplice movimento (ad esempio, flessione dell'indice). L'insieme dei muscoli attivati potrebbe essere chiamato “campo proiettivo”.

Molti finiscono per chiamarlo campo recettivo.

Intorno a questo nucleo centrale, vi sono neuroni la cui stimolazione provoca la flessione dell'indice insieme a movimenti di muscoli più prossimali (palmo, polso).

Intorno a questa zona vi sono neuroni la cui stimolazione provoca la flessione dell'indice insieme a contrazione di muscoli ancora più prossimali (avambraccio, braccio).

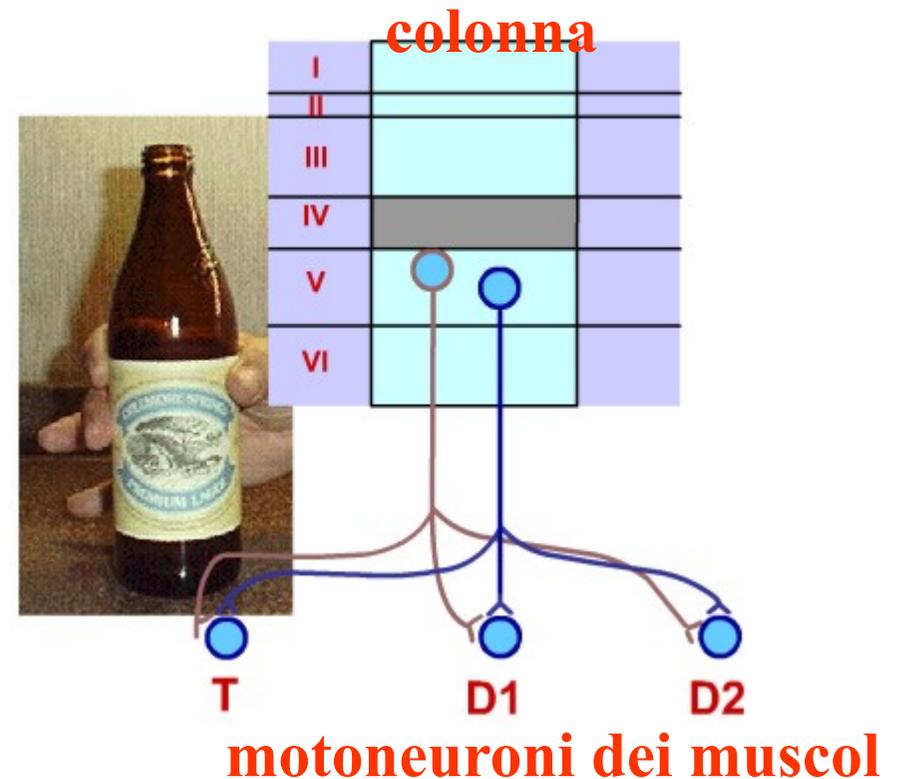
Una implicazione di questa ridondanza nella rappresentazione dei muscoli a livello di M1 è che ingressi a M1 possono combinare l'attivazione di muscoli prossimali e distali in maniera diversa, a seconda del compito.

La corteccia motoria primaria è una mappa dei movimenti del corpo ed è organizzata in colonne

Cellule nella stessa colonna influenzano muscoli comuni sinergici.

I muscoli sinergici sono quelli che agiscono assieme, cooperando al movimento.

Un esempio di muscoli sinergici sono quelli che contraggono i muscoli delle dita richiesti per trattenere una bottiglia.

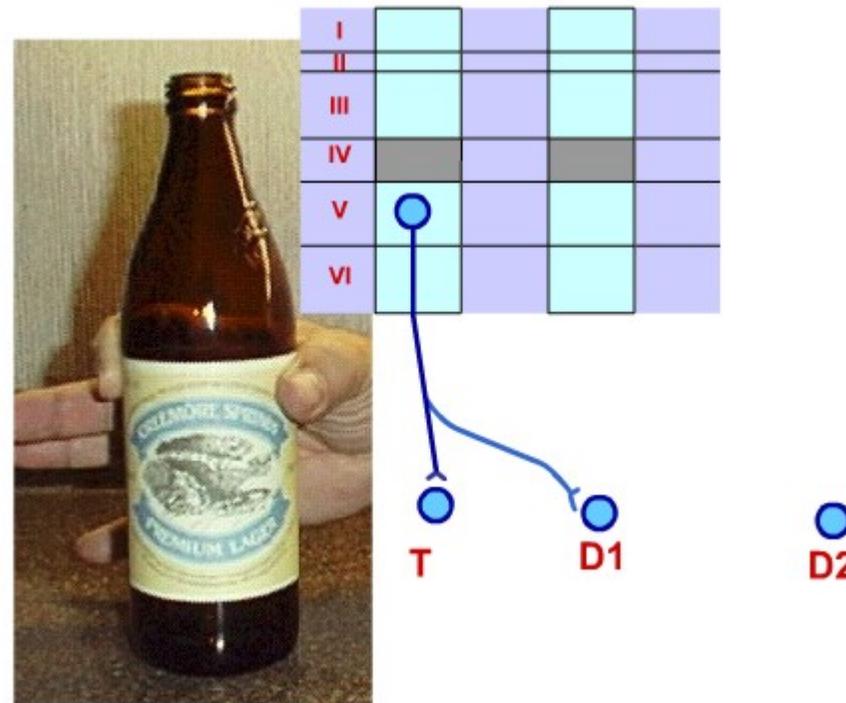


La corteccia motoria primaria è una mappa dei movimenti del corpo ed è organizzata in colonne

Un singolo muscolo può essere attivato da un gruppo di colonne.

Ciò perché un singolo muscolo può essere sinergico in una varietà di movimenti diversi.

Ad es., per afferrare una botiglia il pollice può essere usato assieme al dito 1 oppure assieme alle dita 1 e 2.

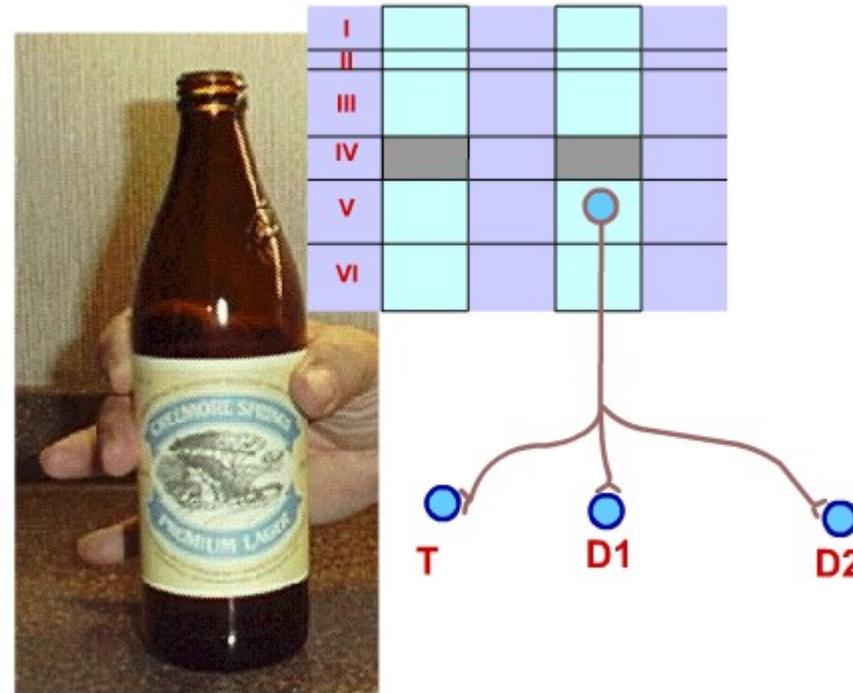


La corteccia motoria primaria è una mappa dei movimenti del corpo ed è organizzata in colonne

Un singolo muscolo può essere attivato da colonne diverse.

Ciò perché un singolo muscolo può essere sinergico in una varietà di movimenti diversi.

Ad es., per afferrare una botiglia il pollice può essere usato assieme al dito 1 oppure assieme alle dita 1 e 2.

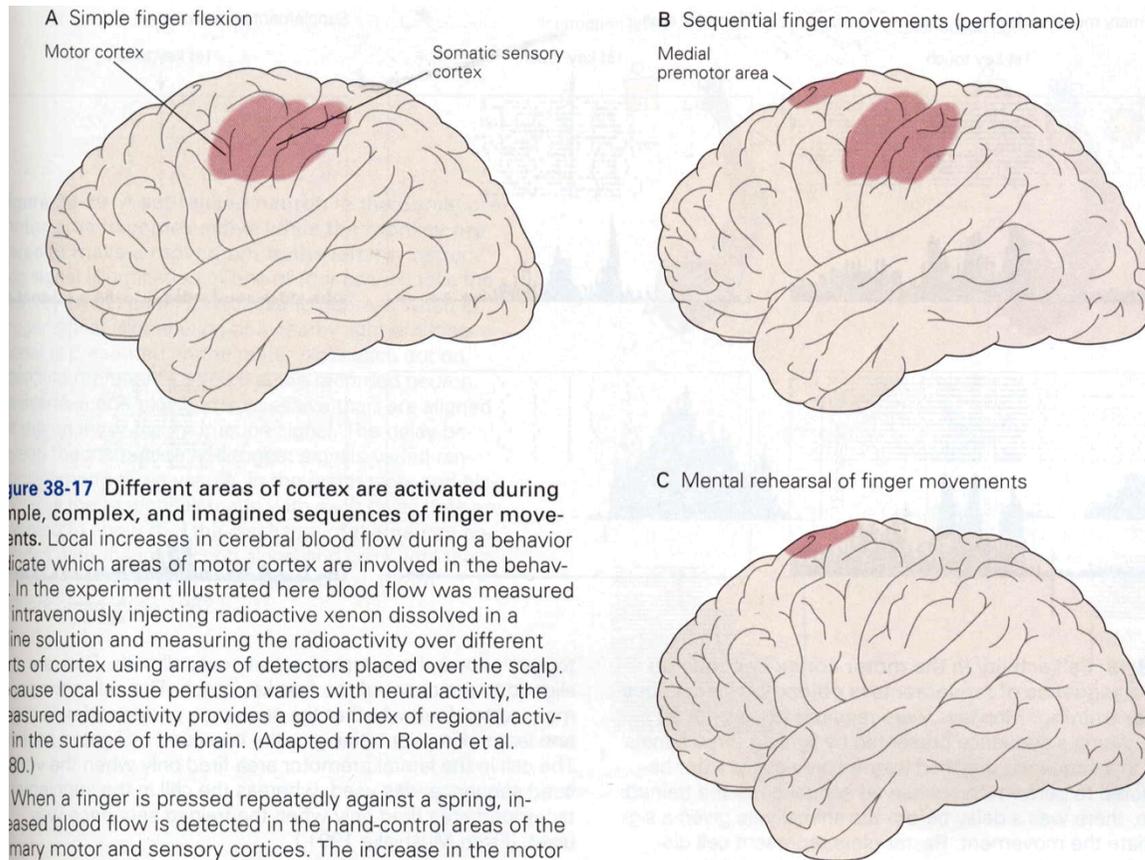


# Ruolo delle corteccie premotoria e supplementare

**Corteccia motoria primaria: aspetti semplici del movimento, forza, direzione, gruppi muscolari implicati**

**Corteccia premotoria: sequenza complessa (hand shaping, reaching)**

**Corteccia motoria supplementare: rappresentazione interna del movimento**



**Figure 38-17** Different areas of cortex are activated during simple, complex, and imagined sequences of finger movements. Local increases in cerebral blood flow during a behavior indicate which areas of motor cortex are involved in the behavior. In the experiment illustrated here blood flow was measured by intravenously injecting radioactive xenon dissolved in a saline solution and measuring the radioactivity over different parts of cortex using arrays of detectors placed over the scalp. Because local tissue perfusion varies with neural activity, the measured radioactivity provides a good index of regional activation in the surface of the brain. (Adapted from Roland et al., 1980.)

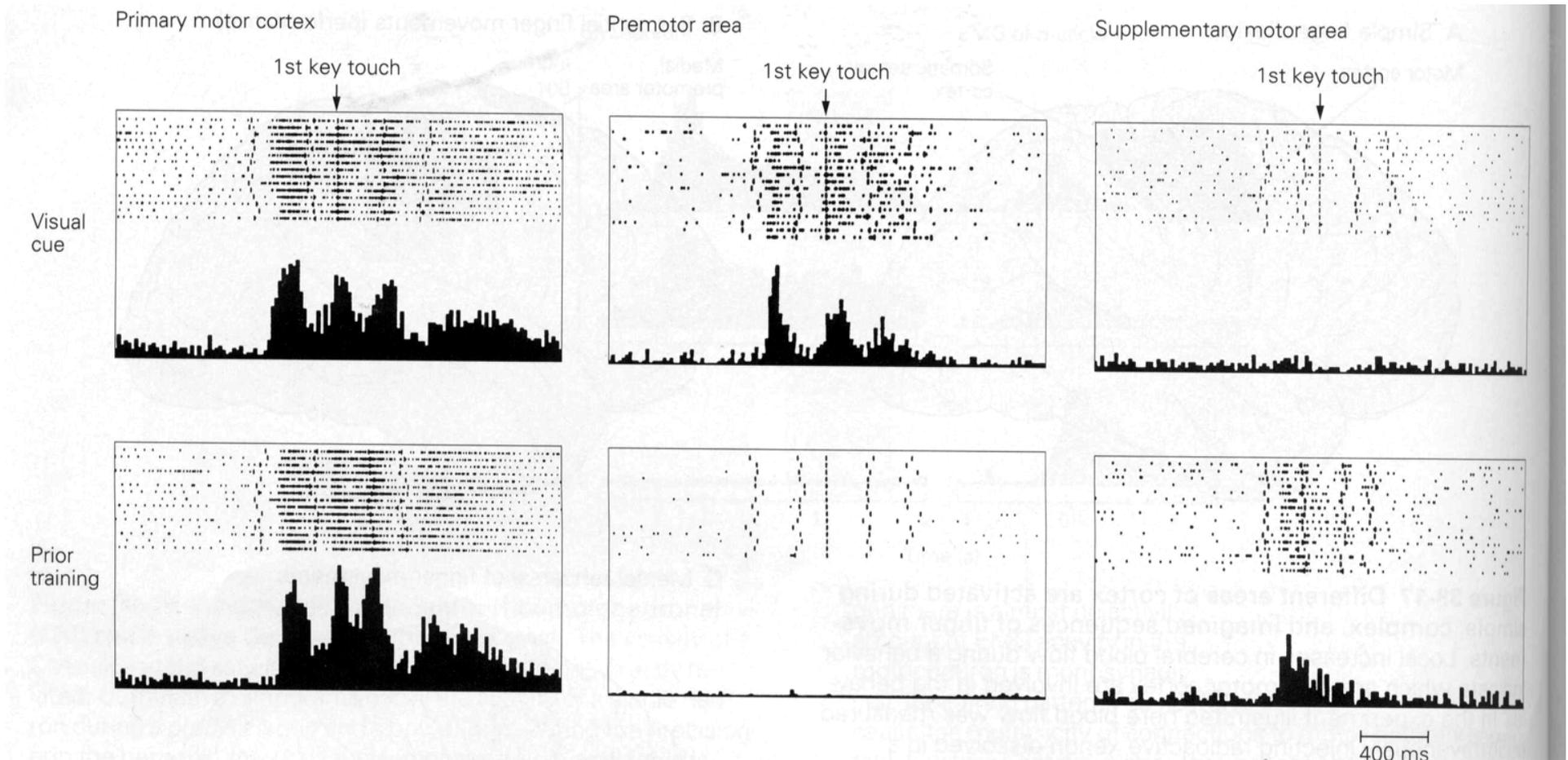
When a finger is pressed repeatedly against a spring, increased blood flow is detected in the hand-control areas of the primary motor and sensory cortices. The increase in the motor area is related to the execution of the response, whereas the increase in the sensory area reflects the activation of peripheral receptors.

During a complex sequence of finger movements the increase in blood flow extends to the medial premotor area,

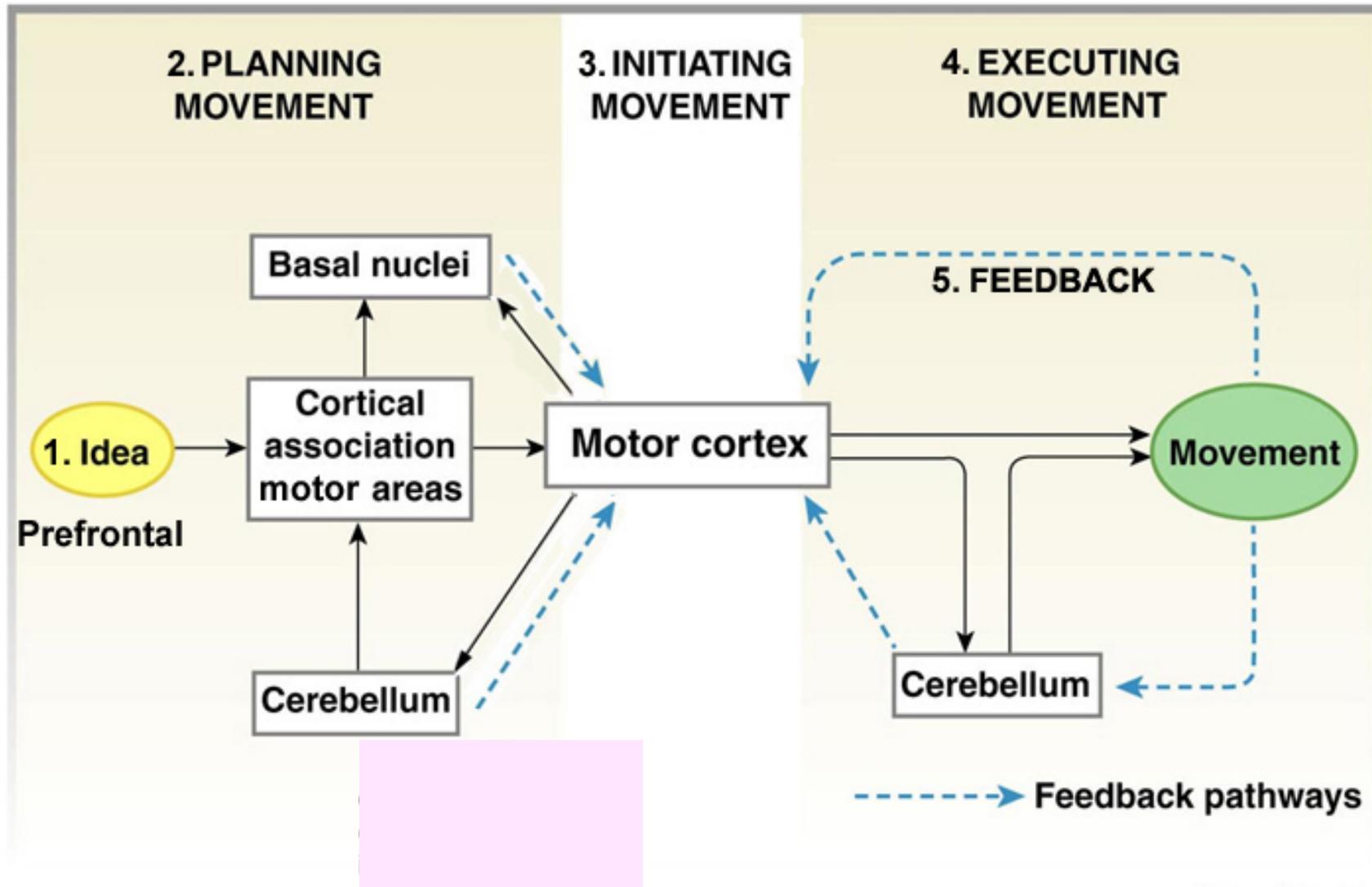
which includes the supplementary motor area (SMA) and pre-supplementary motor area (preSMA).

C. During mental rehearsal of the same sequence illustrated in part B, blood flow increases only in the medial motor area.

# Ruolo delle corteccie premotoria e supplementare



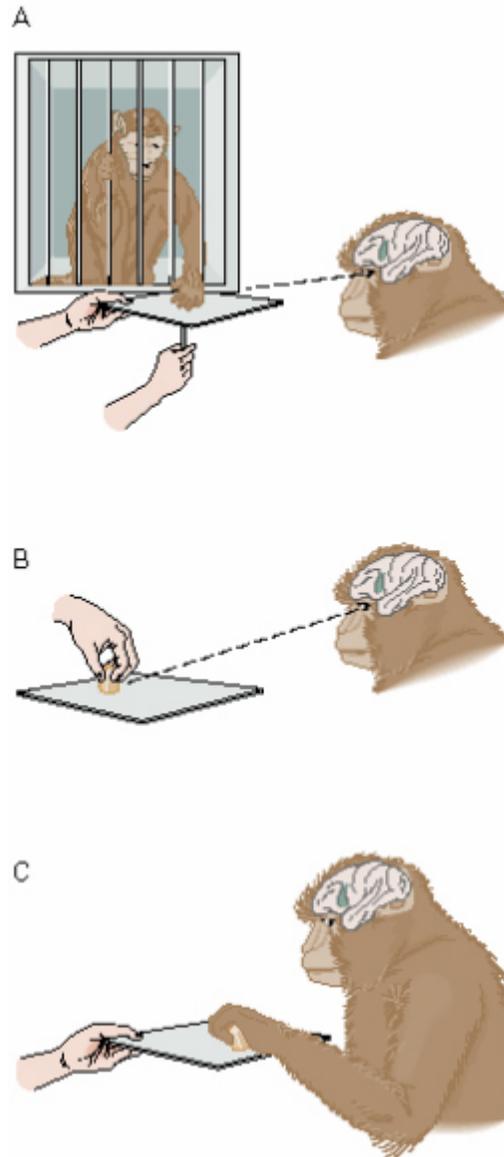
I neuroni della corteccia primaria si attivano sia per una sequenza appresa che per la pressione di pulsanti segnalati da lucine. La premotoria si attiva per la risposta alle lucine la supplementare per la sequenza appresa



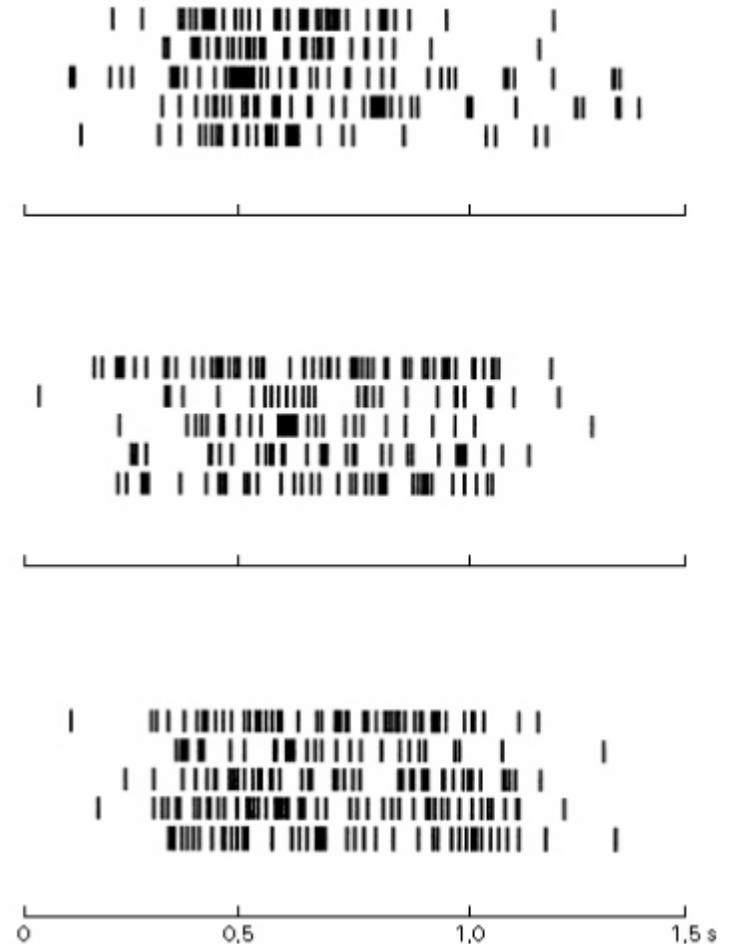
Alcuni neuroni delle aree premotorie sono attivi sia quando il soggetto compie il movimento, che quando il soggetto vede lo stesso compito eseguito da un altro soggetto. Sono i cosiddetti “neuroni-specchio”.

Alcuni di essi si attivano in risposta al “rumore” dell’ azione (schiacciare una noce, strappare un foglio di carta). Ipotesi che questi neuroni codifichino per l’ azione e per il “concetto” (la rappresentazione) dell’ azione.

La **teoria della mente** ne sta incorporando le proprietà.



## I neuroni specchio



## **Il cervelletto**

10% del volume totale del cervello,  $>1/2$  del numero totale di neuroni cerebrali

L'architettura è regolare, unità modulari si ripetono nel volume del cervelletto

Il cervelletto influenza i sistemi motori principalmente controllando l'esecuzione ma anche la programmazione del movimento

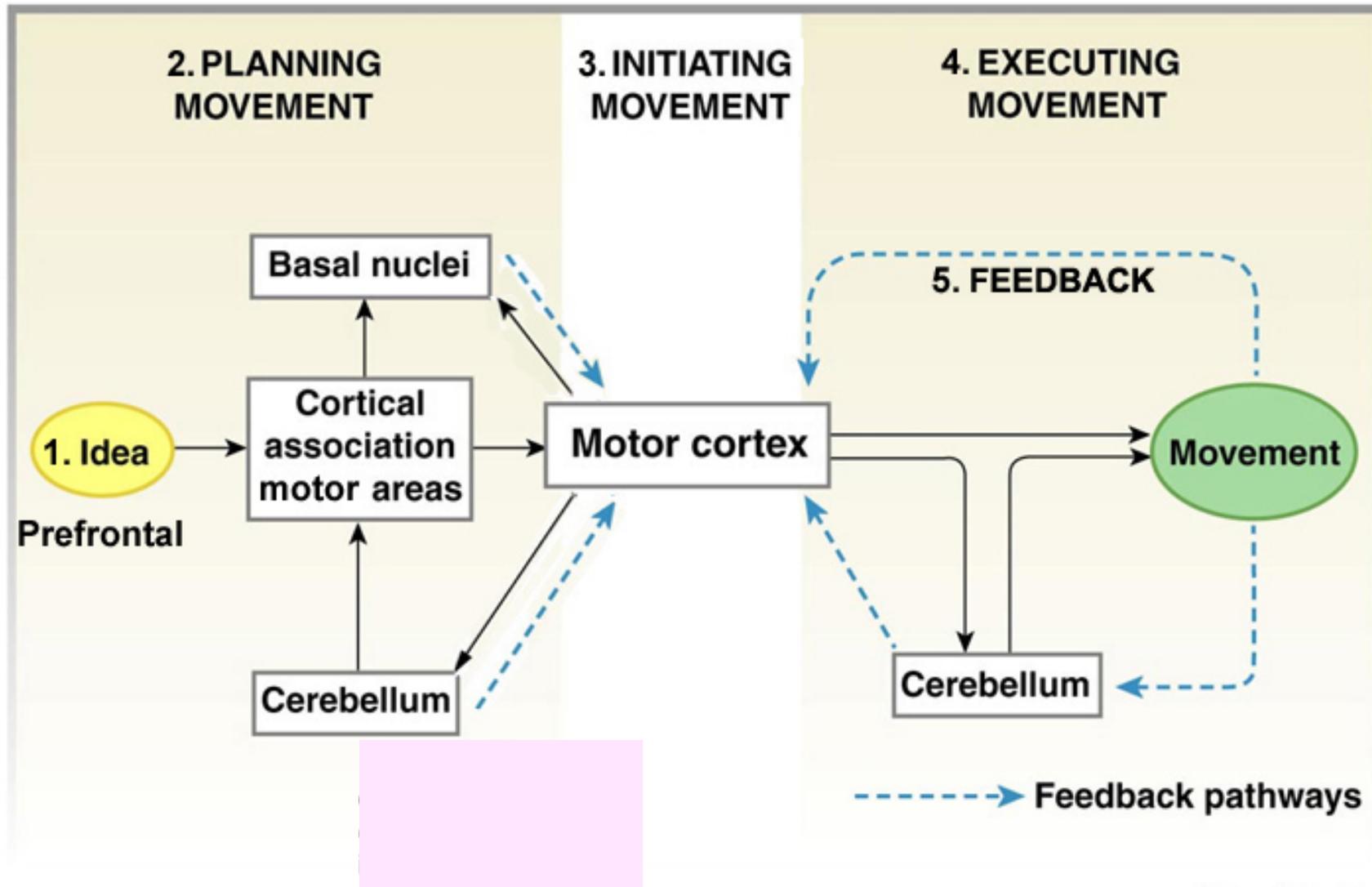
Tuttavia, il cervelletto NON dà inizio al movimento volontario: questo è ruolo della corteccia motoria

Il cervelletto è equipaggiato per questi ruoli in quanto:

È in grado di valutare la differenza fra l' intenzione e l' azione, ovvero fra il comando motorio inviato (riceve copia del comando inviato al midollo spinale) e l' effettivo movimento eseguito (riceve afferenze propriocettive dal midollo spinale e afferenze visive)

E' in grado di correggere un movimento on line (proiezioni dirette al tronco dell' encefalo ed alla corteccia motoria, strutture che controllano direttamente i circuiti spinali)

E' in grado di correggere un piano motorio (apprendimento motorio, proiezioni alla corteccia motoria e premotoria); le sinapsi del cervelletto sono modificabili con l' esperienza



**Lesioni del cervelletto NON alterano le soglie sensoriali e  
NON provocano paralisi o debolezza della contrazione  
muscolare**

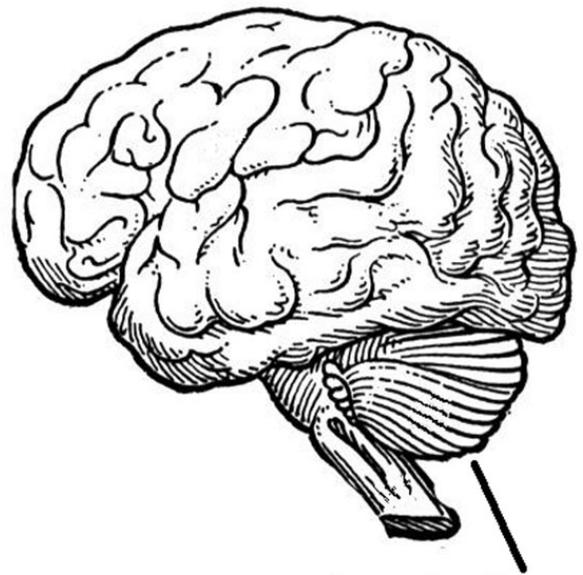
**Gli effetti di lesioni cerebellari sono:**

**Perdita di accuratezza spaziale e temporale della  
coordinazione del movimento**

**Compromissione dell'equilibrio**

**Compromissione dell'apprendimento motorio e di alcuni  
funzioni cognitive**

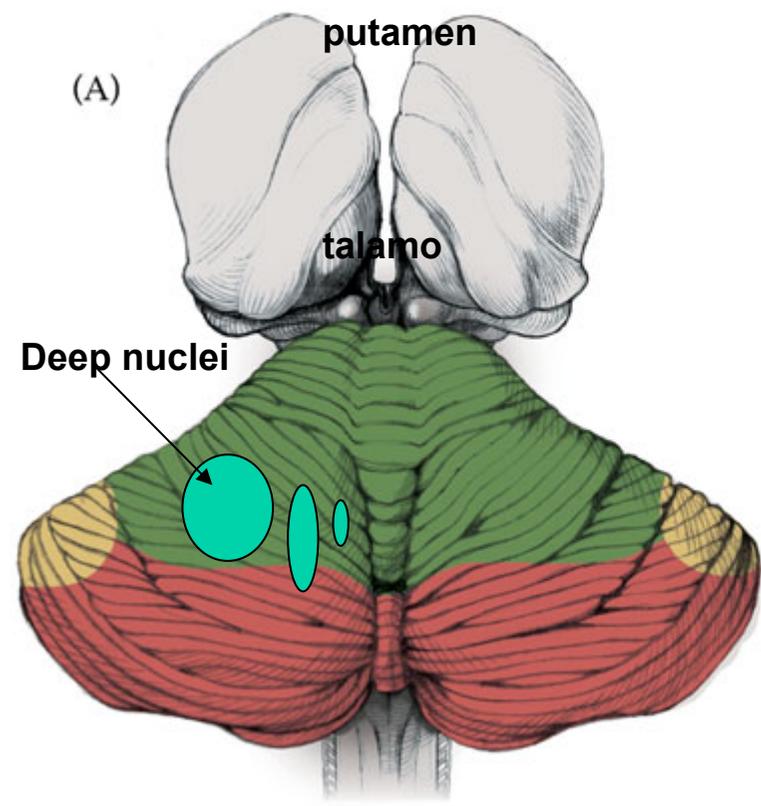
**Sostanza grigia (corteccia cerebellare) all' esterno**  
**Sostanza bianca all' interno**  
**3 paia di nuclei profondi nella sostanza bianca, fastigio, interposito, dentato**



Cerebellum

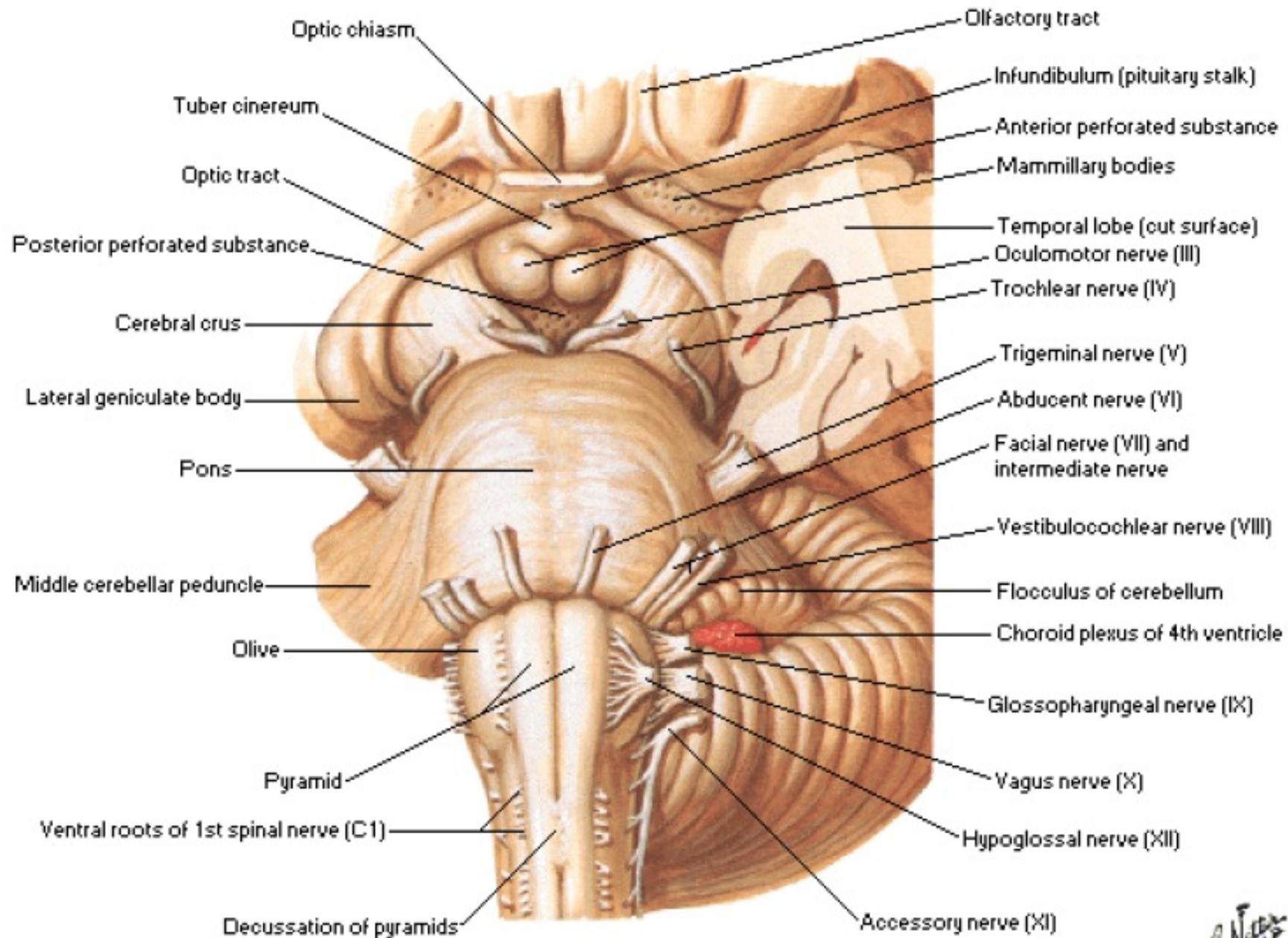
Dorsal view of cerebellum

Ventral view of cerebellum

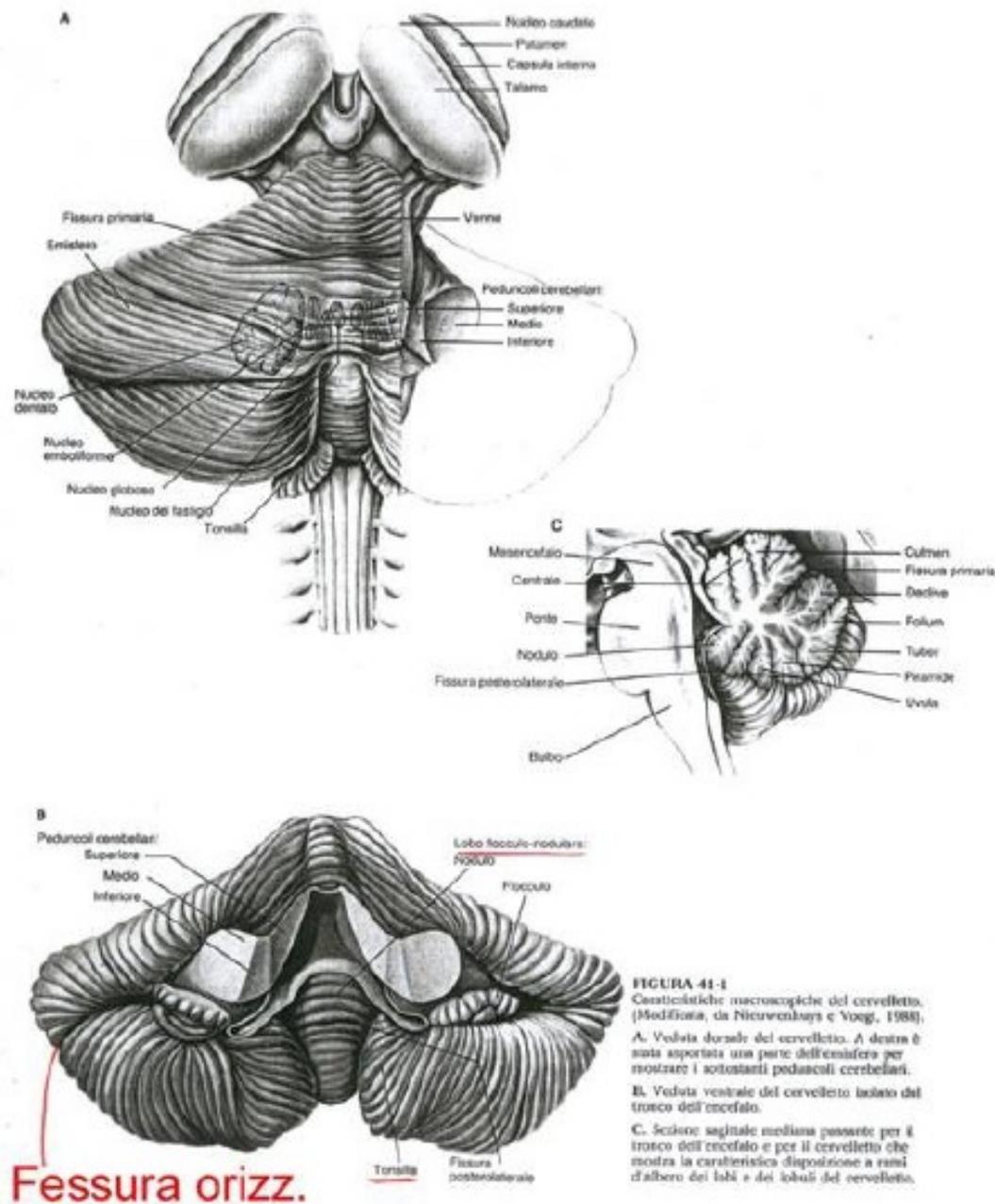


# Brainstem

## Anteroinferior View

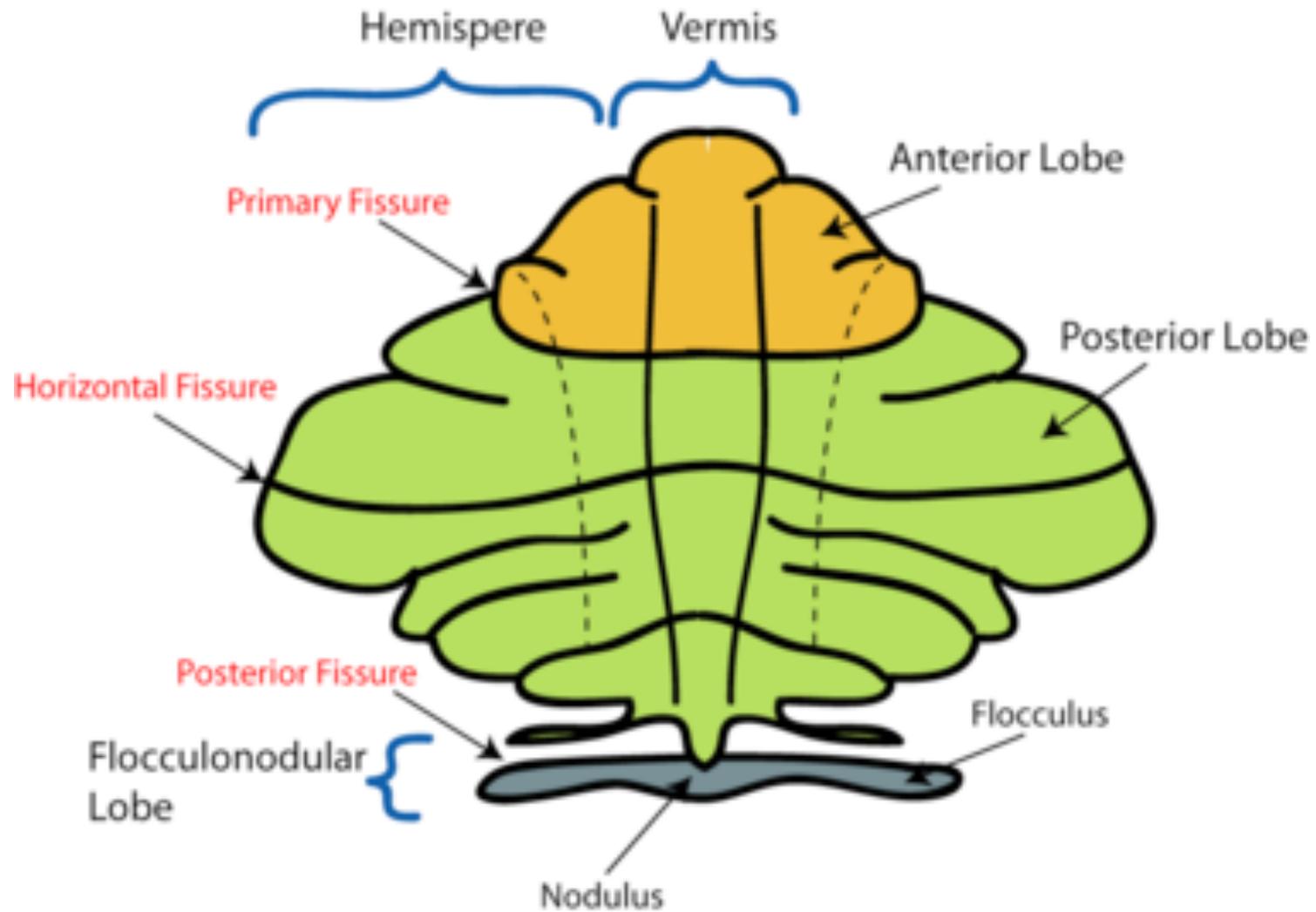


# Superfici cerebellari

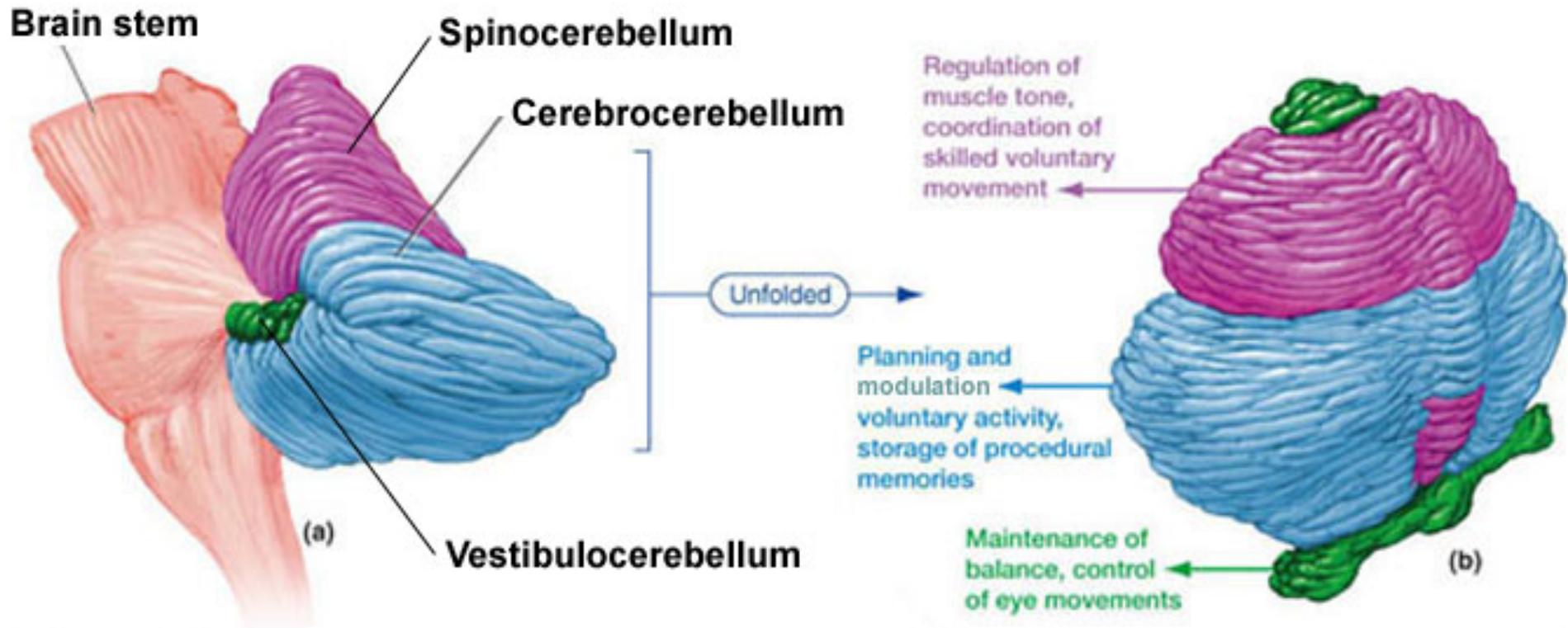


**FIGURA 41-1**  
 Caratteristiche macroscopiche del cervelletto. (Modificata da Nieuwenhuis e Voog, 1988).  
 A. Veduta dorsale del cervelletto. A destra è stata asportata una parte dell'emisfera per mostrare i sostantivi peduncoli cerebellari.  
 B. Veduta ventrale del cervelletto isolato dal tronco dell'encefalo.  
 C. Sezione sagittale mediana passante per il tronco dell'encefalo e per il cervelletto che mostra la caratteristica disposizione a rami d'albero dei lobi e dei lobuli del cervelletto.

# Suddivisioni anatomiche del cervelletto



# Suddivisioni funzionali del cervelletto



**Il cervelletto viene diviso su base filogenetica in:**

archicerebello (lobo flocculo-nodulare+uvula);

paleocerebello (gran parte del lobo anteriore);

neocerebello (gran parte del lobo posteriore).

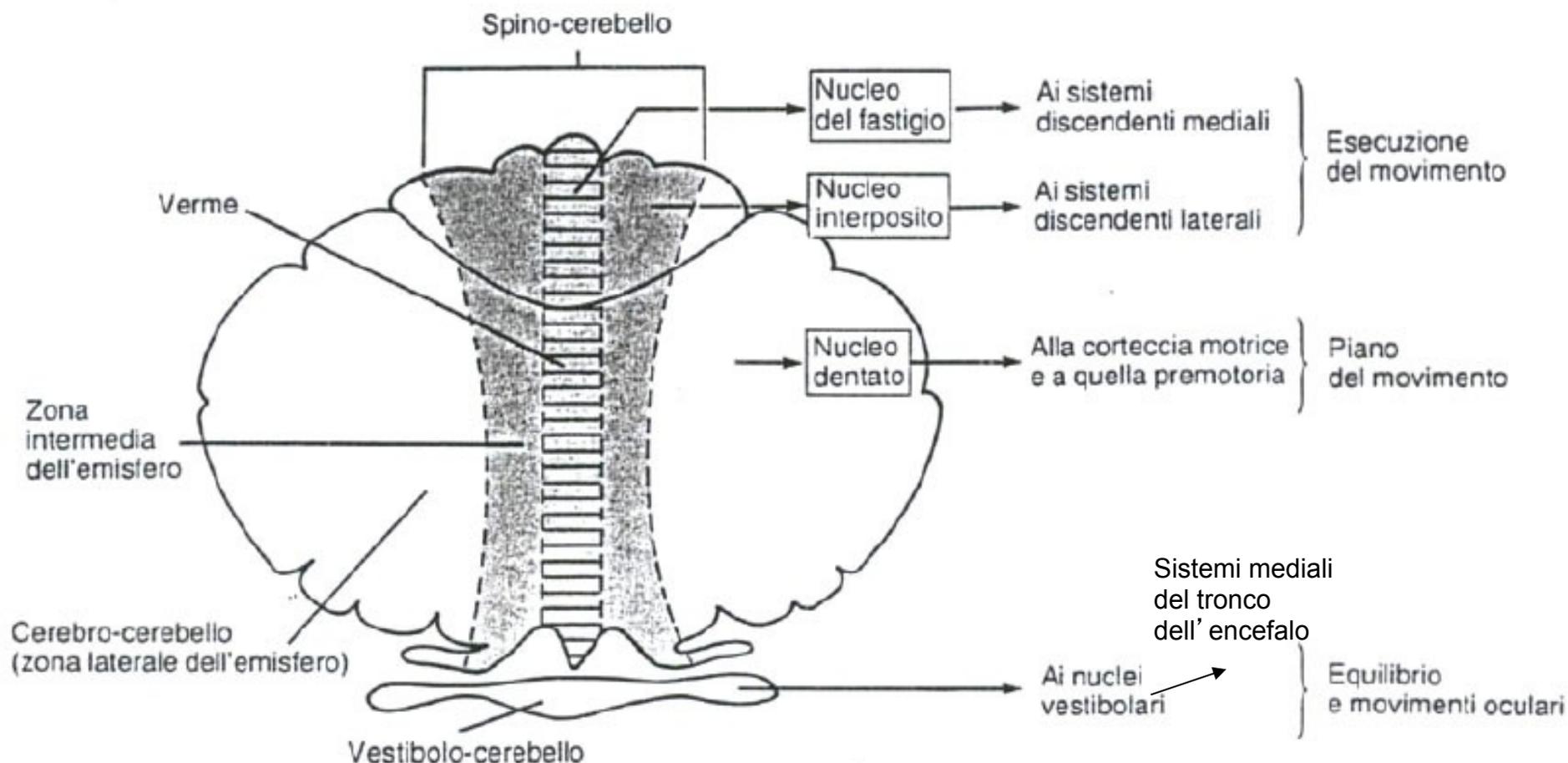
**Il cervelletto viene diviso su base funzionale in:**

vestibolocerebello (corrisponde al lobulo flocculo-nodulare);

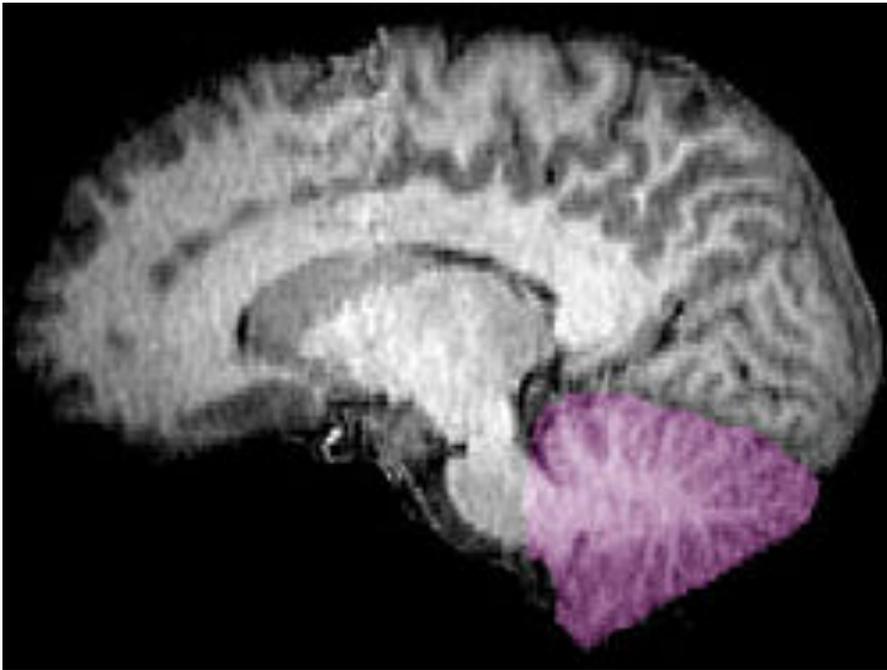
spinocerebello (verme e regioni paravermiane di entrambi gli emisferi);

cerebrocerebello o pontocerebello (regioni laterali degli emisferi).

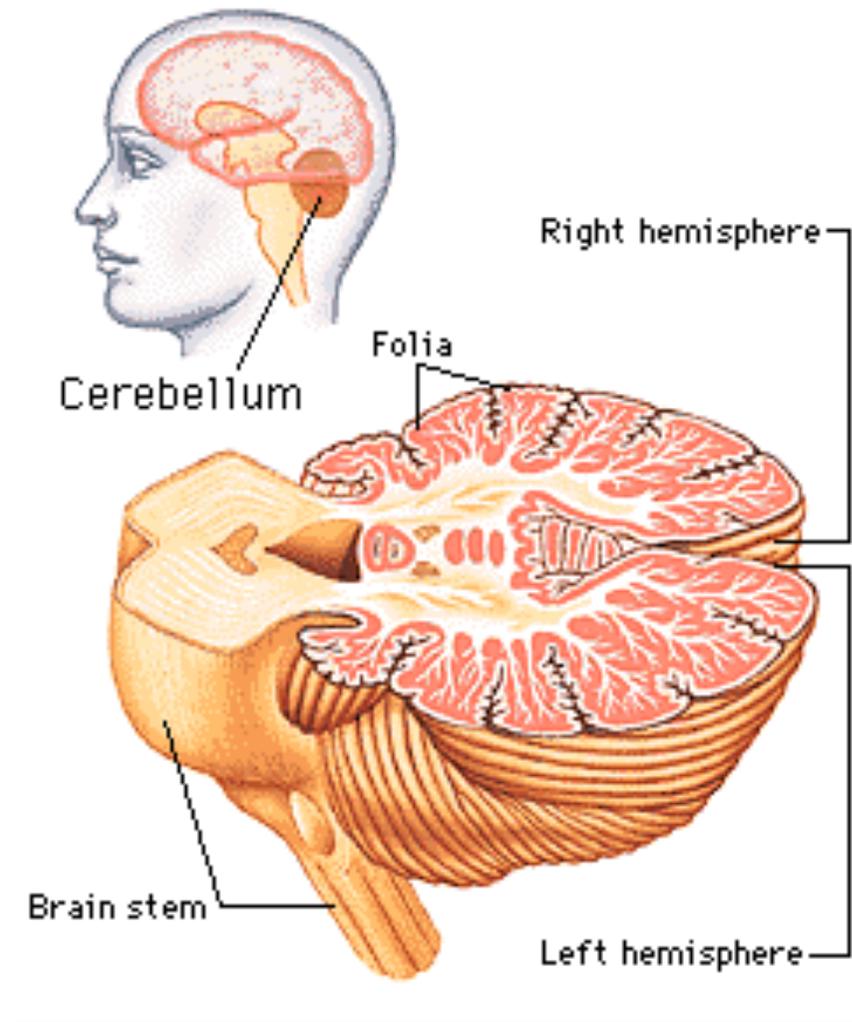
# Suddivisione funzionale del cervelletto



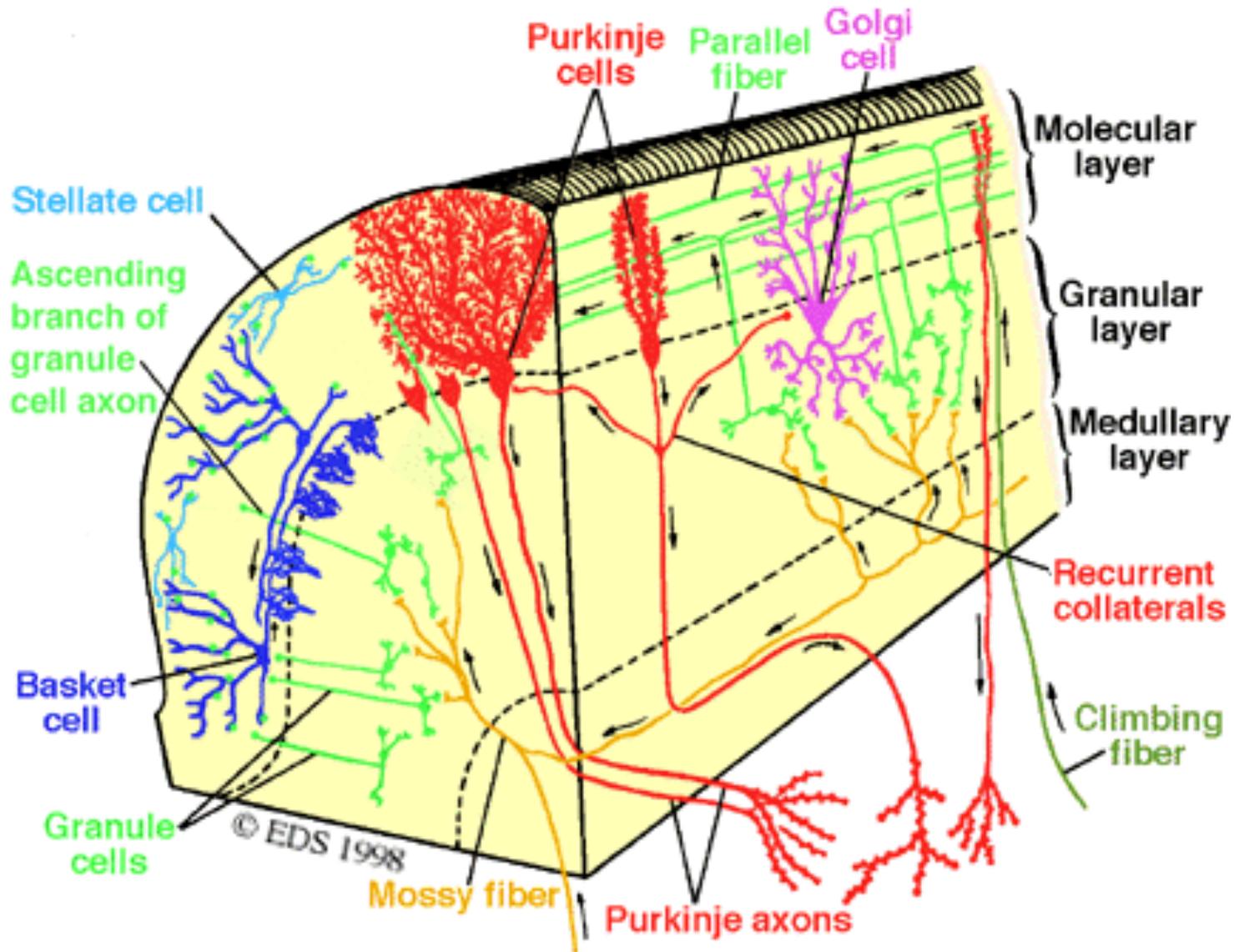
Ingressi: **vestibolo cerebello**: labirinto vestibolare=>riceve segnali vestibolari  
**spino-cerebello** verme: labirinto vestibolare, propriocezione prossimale, facial, visual and auditory inputs; spino-cerebello, propriocezione distale dal midollo spinale;  
 cerebro-cerebello, afferenze corticali



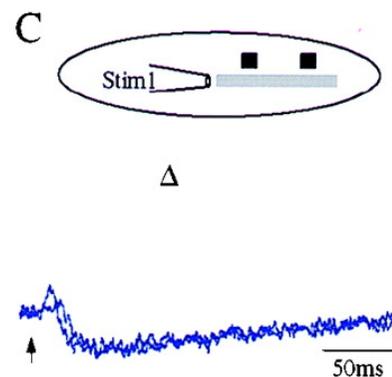
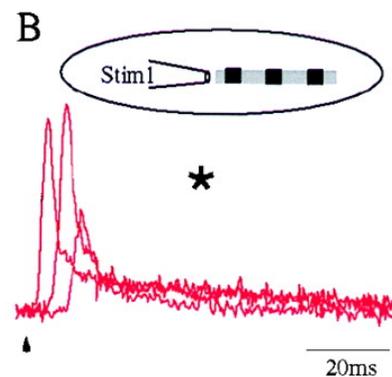
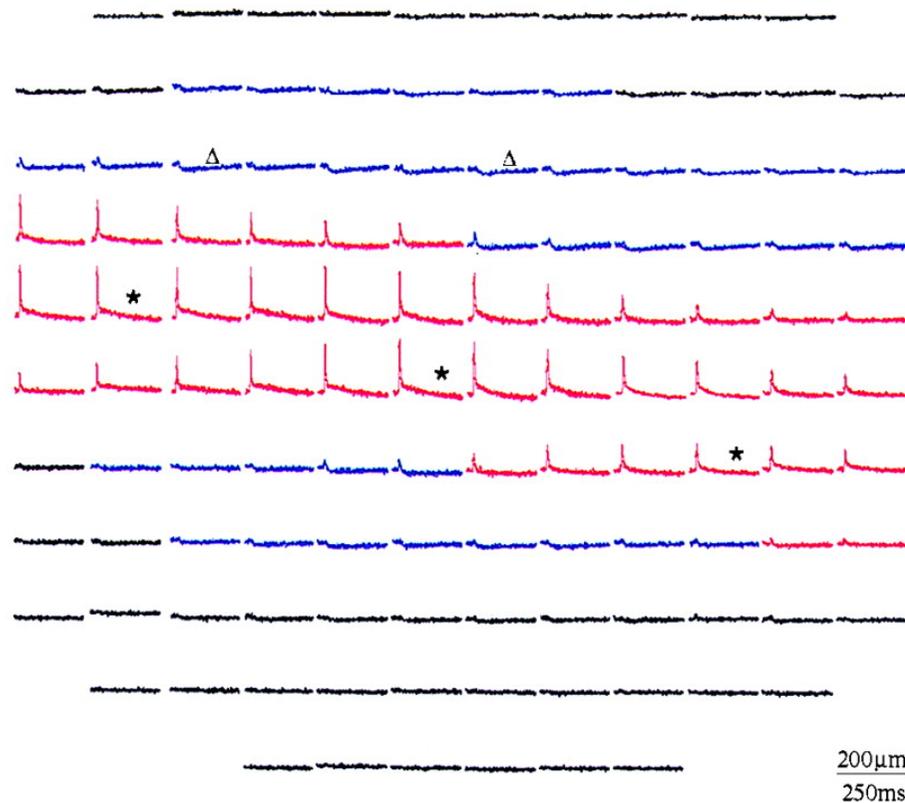
Struttura a “folia” della corteccia cerebellare



La corteccia cerebellare è organizzata su tre strati e contiene cinque tipi neuronali



## Inibizione laterale via le cellule a canestro



A single surface stimulus elicited a beam-like response. (A) The data are displayed as absolute change in fluorescence as a function of time in 128 sites in the cerebellar cortex. The calibration bar gives the scales for both time and space. The stimulating electrode was placed on the surface of the cerebellar cortex to the left of the recorded area. Each of the 128 traces is an average response of three identical stimuli repeated at a frequency of 0.3 Hz. The stimulus elicited a wave of positive responses (red), which propagated in a beam along the cerebellar folium. Negative signals (blue) were observed lateral to the positive beam. This well defined, narrow positive beam was always observed, but the negative signals were not detected in all experiments. (B) The traces marked with asterisks in A were superimposed to show that the signal propagated with a conduction velocity of 0.2 m/s. (C) The traces marked with triangles in A are superimposed on one another. Arrows denote the time of stimuli. The *Insets* in B and C are schematic representations of the experimental arrangement. A thick gray line represents the activated beam. The locations of the recording sites relative to the beam are marked by black rectangles.

I nuclei profondi del cervelletto sono tonicamente attivi e producono una forte eccitazione postsinaptica; le cellule del Purkinje li inibiscono, controllando così l'ingresso eccitatorio ai sistemi motori discendenti mediali (vie reticolospinali); le cellule del lobulo flocculonodulare proiettano direttamente al nucleo vestibolare laterale, inibendolo (via vestibolospinale).

Lesioni al nucleo dentato o interposito causano tremore intenzionale, ovvero l'oscillazione della posizione di un arto in movimento dovuta alla scorretta temporizzazione dell'attivazione sequenziale dei muscoli agonisti ed antagonisti

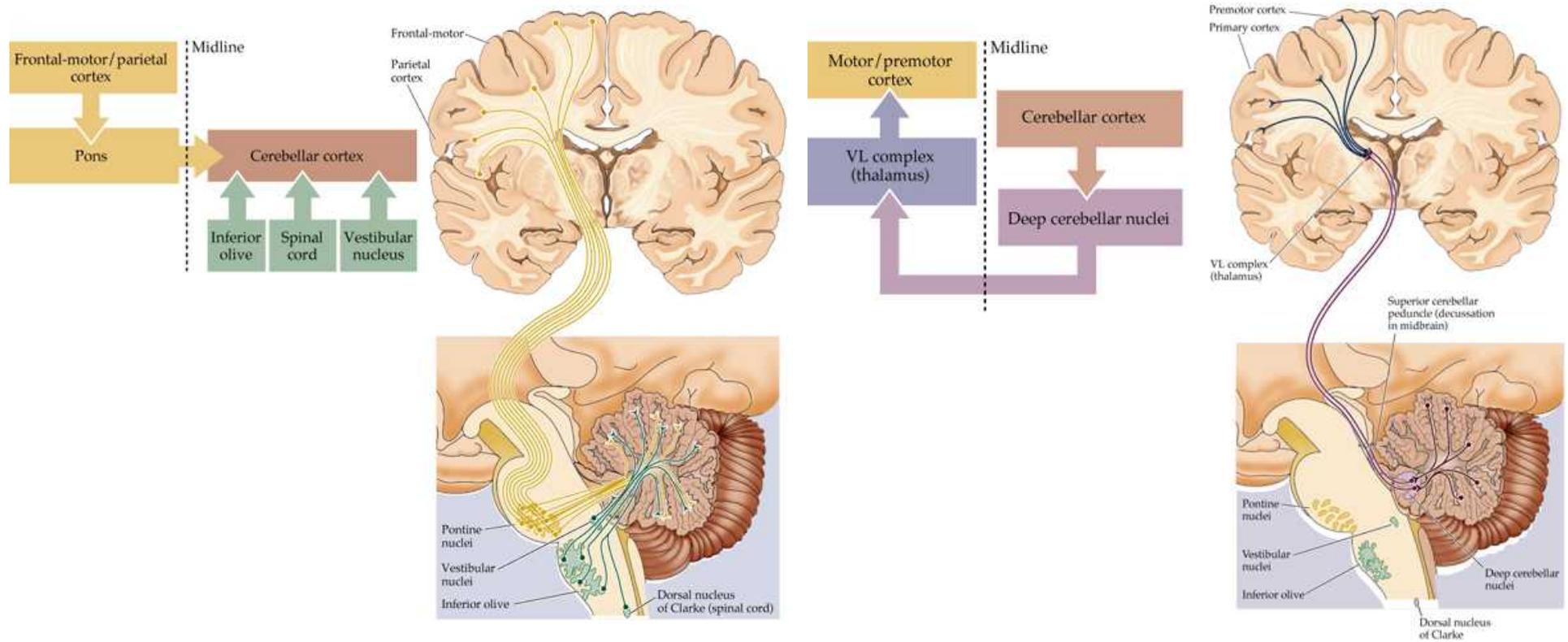
Anche la capacità di produrre tapping sequenziali a tempo è danneggiata in soggetti con lesioni cerebellari: la lesione delle parti mediali degli emisferi del cervelletto produce questo danno perché i soggetti non riescono ad eseguire (far partire e condurre) a tempo i movimenti

La lesione delle parti laterali degli emisferi cerebellari produce questo danno perché interferisce con la capacità cognitiva di attivare un meccanismo centrale tipo orologio. Questi pazienti hanno difficoltà a giudicare quanto tempo è passato da un T0 in compiti puramente percettivi (giudicare quale stimolo è di durata maggiore o quanto velocemente si muove un bersaglio)

Il cerebrocerebello partecipa quindi (insieme ai nuclei della base) a compiti motori di programmazione, proiettando alla corteccia premotoria e motoria e preparando il sistema motorio all'azione

Le aree motorie integrano tutte le informazioni e inviano il comando motorio, una copia del quale va allo spinocerebello, che confronta tale piano con l'effettivo movimento, segnalato dai propriocettori (vie spinocerebellari), dal sistema vestibolare o dal sistema visivo, e corregge errori di esecuzione o compensa per errori nel comando (proiezione ai sistemi mediali e ad M1),

# Cervelletto e corteccia motoria



Confronta il movimento pianificato con quello effettivamente eseguito  
Fa uscire un segnale di errore per correggere il movimento

# Il cervelletto e l' apprendimento motorio

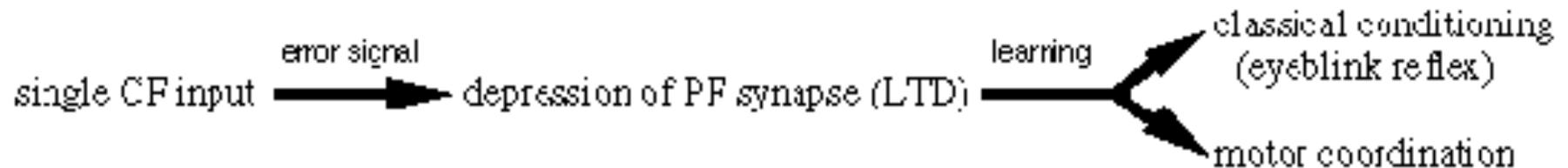
Corteccia cerebellare laterale proietta:

al nucleo dentato che proietta al talamo che proietta alle aree 4 e 6 che proiettano al tronco dell' encefalo ed al midollo spinale

Al nucleo rosso che proietta all' oliva inferiore che proietta alla corteccia cerebellare tramite le fibre rampicanti

(a)

Theory: Marr-Albus-Ito

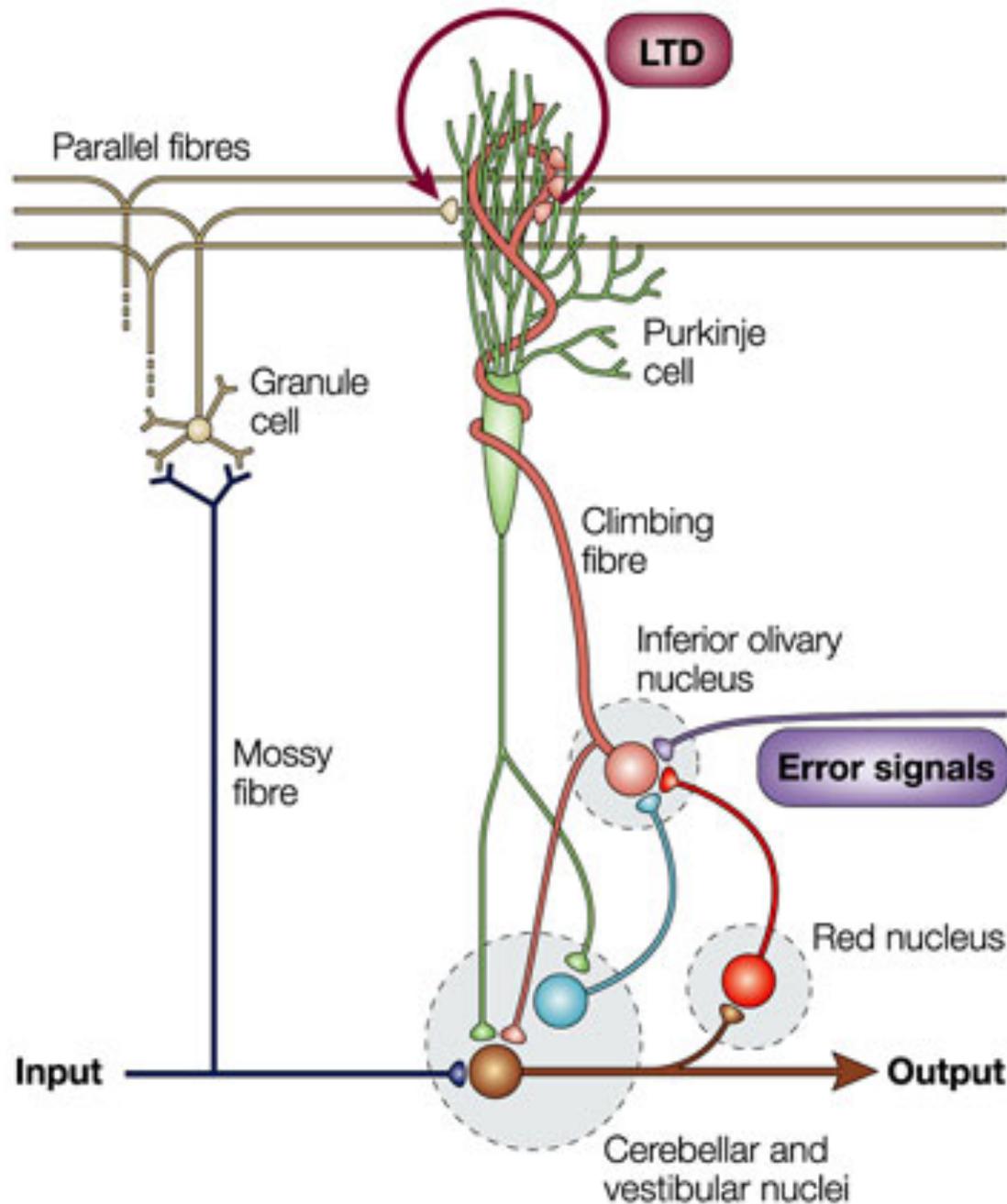


Each cerebellar Purkinje cell receives two different types of input:

- 1) many weak inputs from the parallel fibers
- 2) One very strong input from a single climbing fiber.

long-term depression in parallel fiber inputs has been observed

=> the climbing fiber serves as a "teaching signal", which induces a long-lasting change in the strength of parallel fiber inputs.

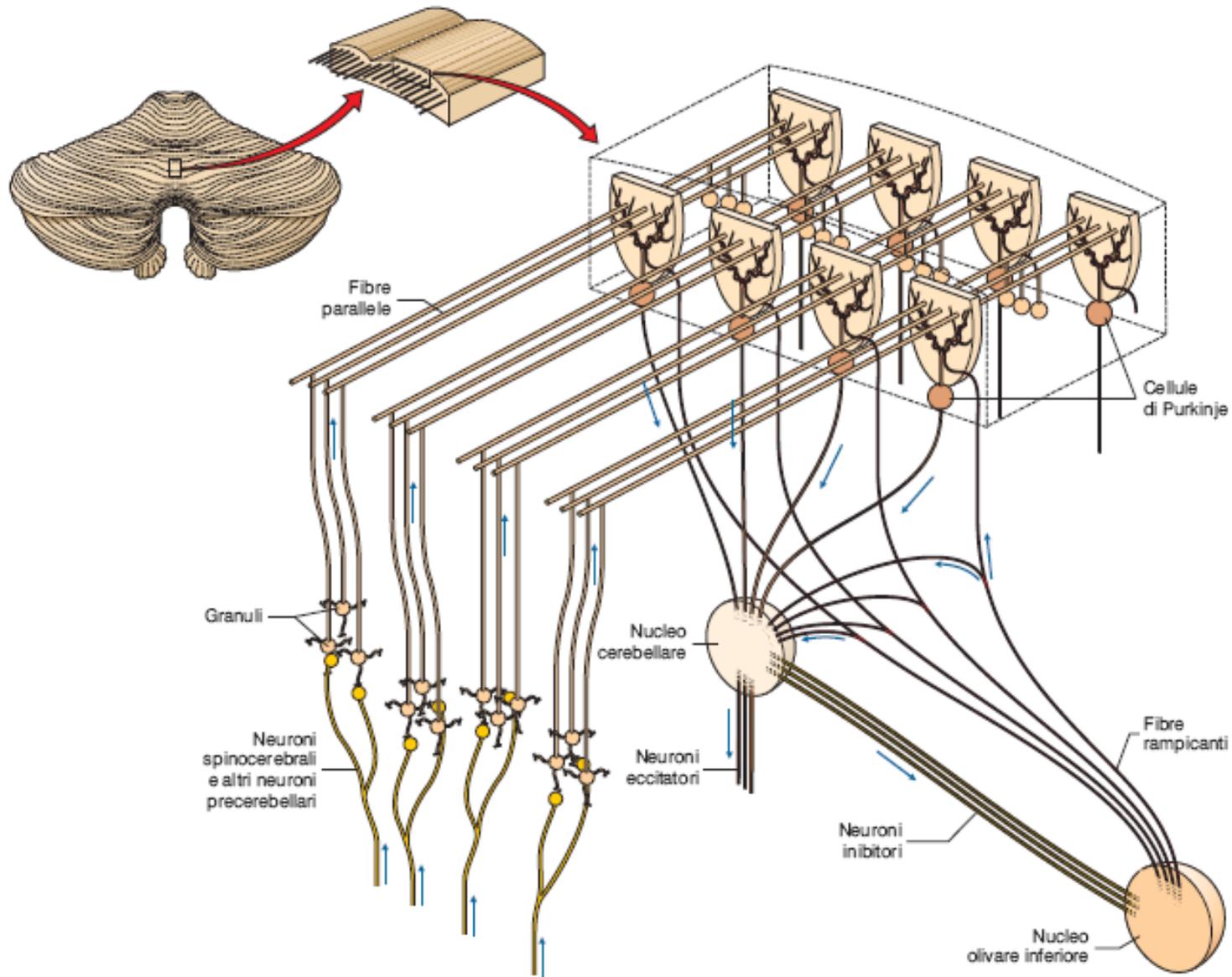


Le fibre rampicanti modificano l'attività delle fibre parallele che è legata al verificarsi di un errore nel movimento, cambiando il fascio di cellule del Purkinje attive e cambiando quindi l'uscita cerebellare; così si corregge l'errore.

L'apprendimento motorio è un apprendimento per prove ed errori, fino alla formulazione di un piano motorio che consente una corretta esecuzione del movimento.

Questo piano motorio viene immagazzinato per successivo riuso

# Circuito cerebellare



Oltre al già citato ruolo nel “timing” ed al ruolo nell’ apprendimento motorio, il cervelletto ha altri ruoli cognitivi:

Lesioni cerebellari influenzano l’ apprendimento di compiti di associazione di parole

Il linguaggio diventa strascicato, lento e meccanico, senza prosodia

Gli studi sul “cervelletto cognitivo” sono in piena espansione

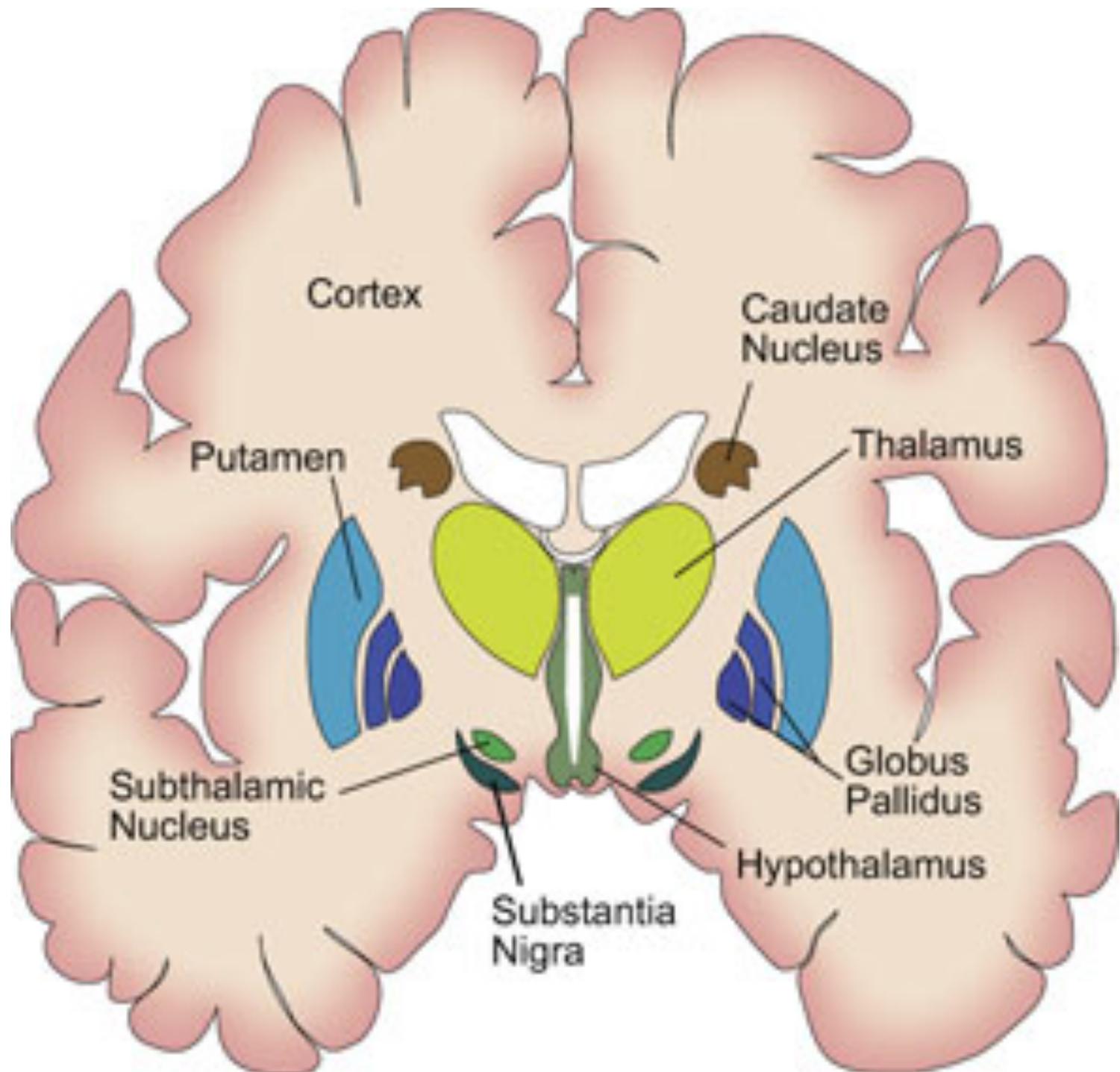
I nuclei della base sono strutture telencefaliche con ruolo importante nel movimento volontario

Non hanno accesso diretto o connessioni con i circuiti del midollo spinale: proiettano al talamo ed al tronco dell'encefalo e ricevono ingresso principalmente dalla corteccia cerebrale

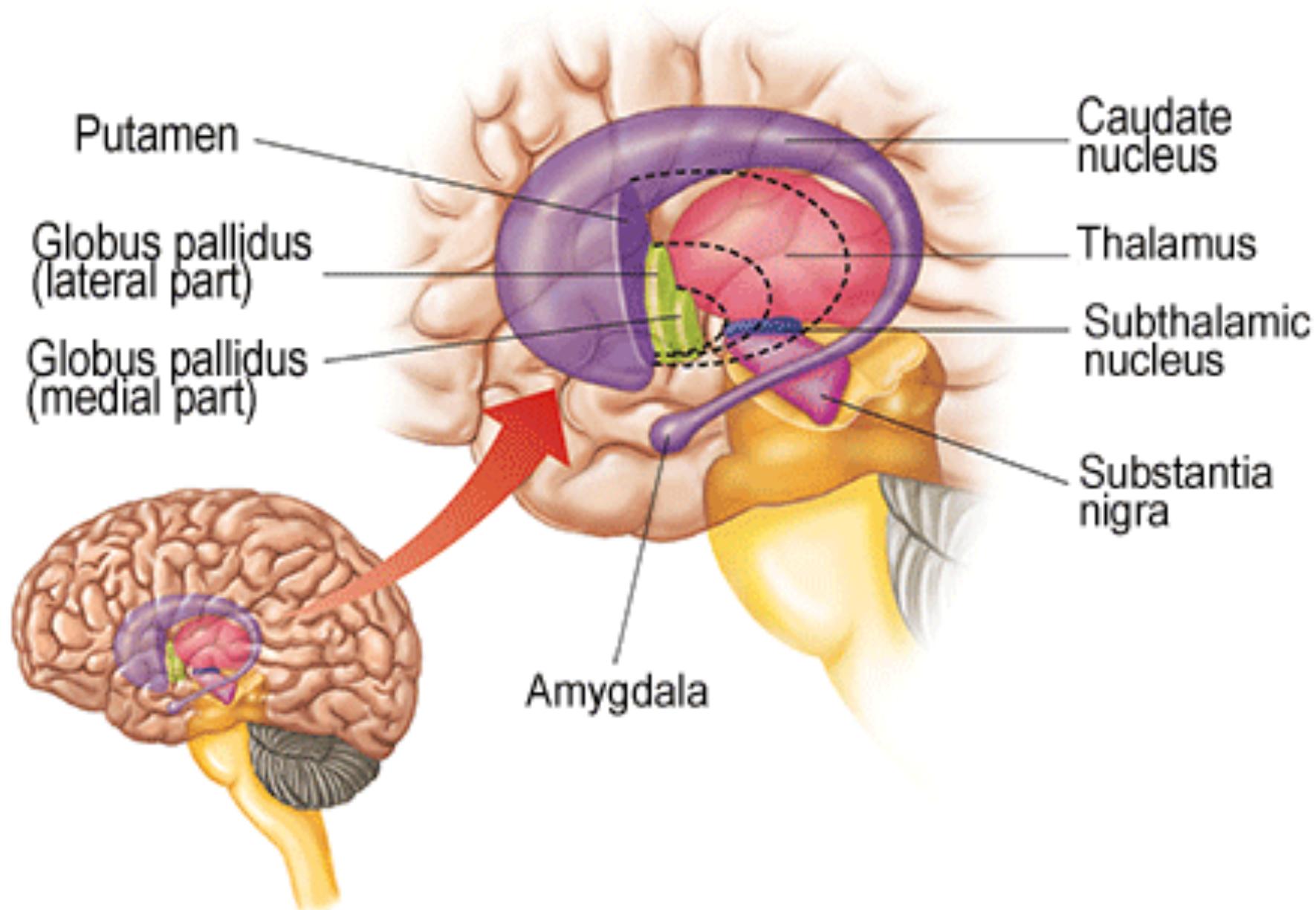
La loro uscita, via talamo, arriva alla corteccia premotoria e motoria

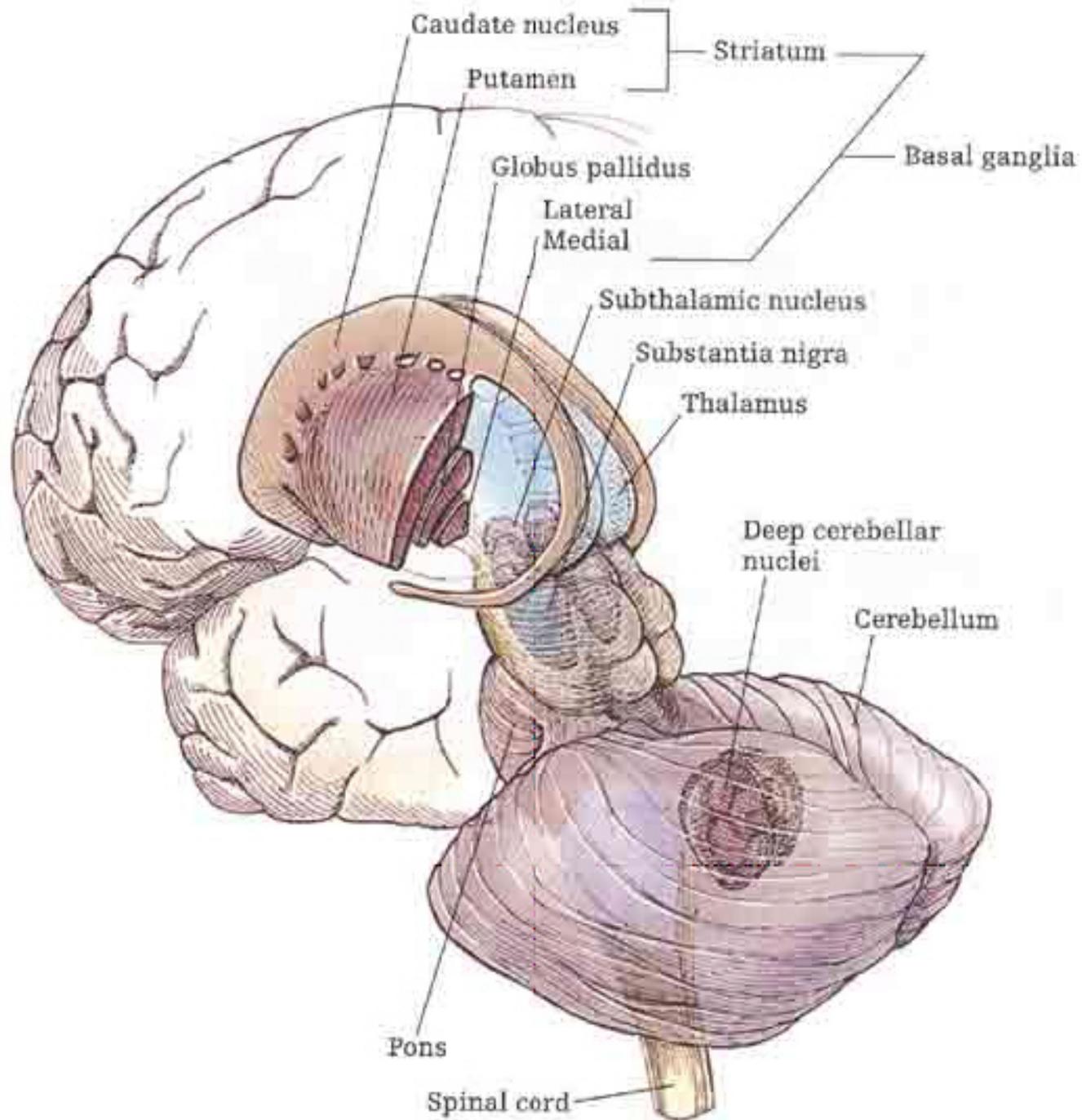
Disturbi ai nuclei della base danno tremore di riposo, presenza di movimenti involontari, oppure, in altri casi, povertà e lentezza di movimento

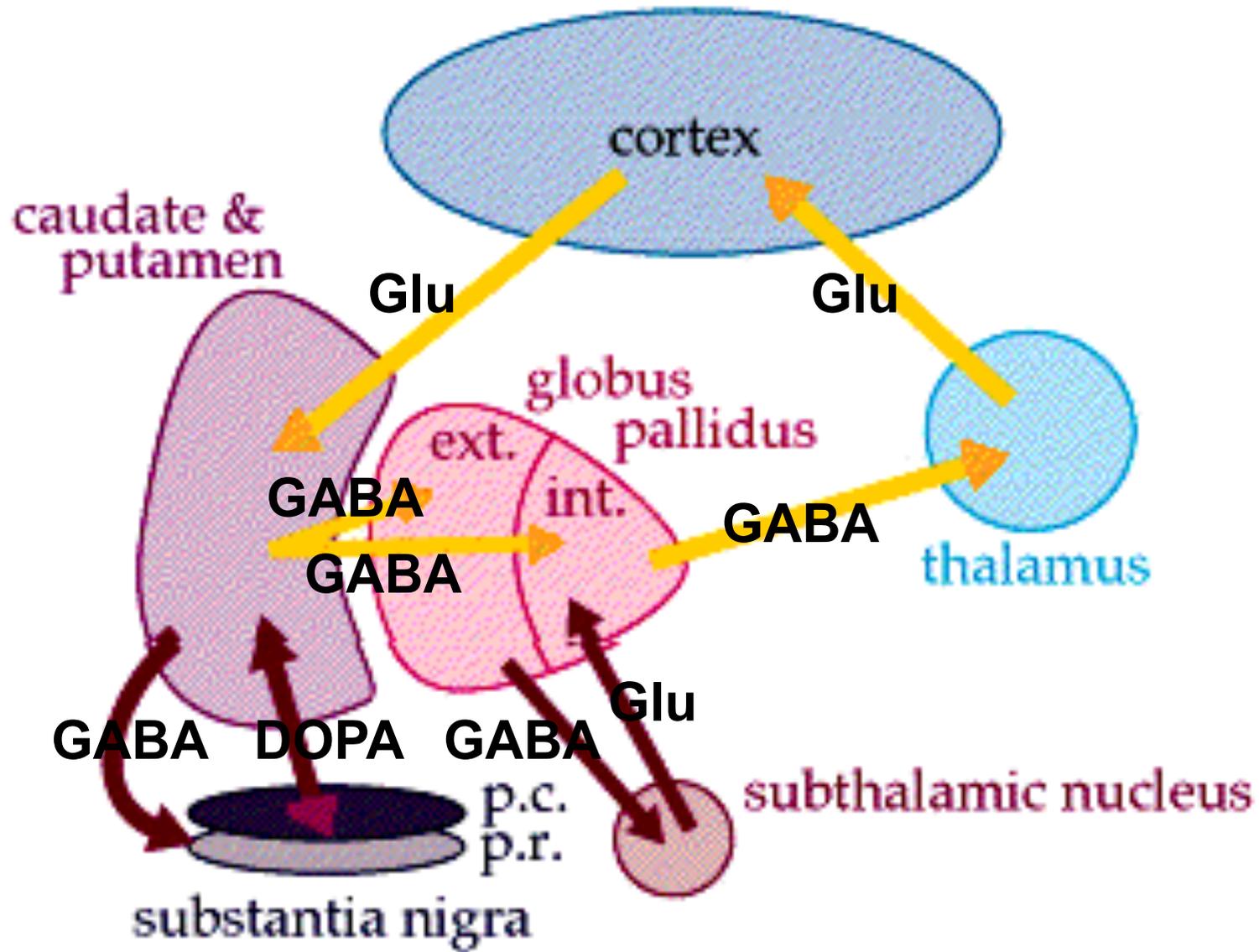
Compaiono anche deficit cognitivi (habits, implicit memory), a suggerire che questi nuclei hanno un ruolo più vasto del semplice controllo motorio



# The Human Basal Ganglia



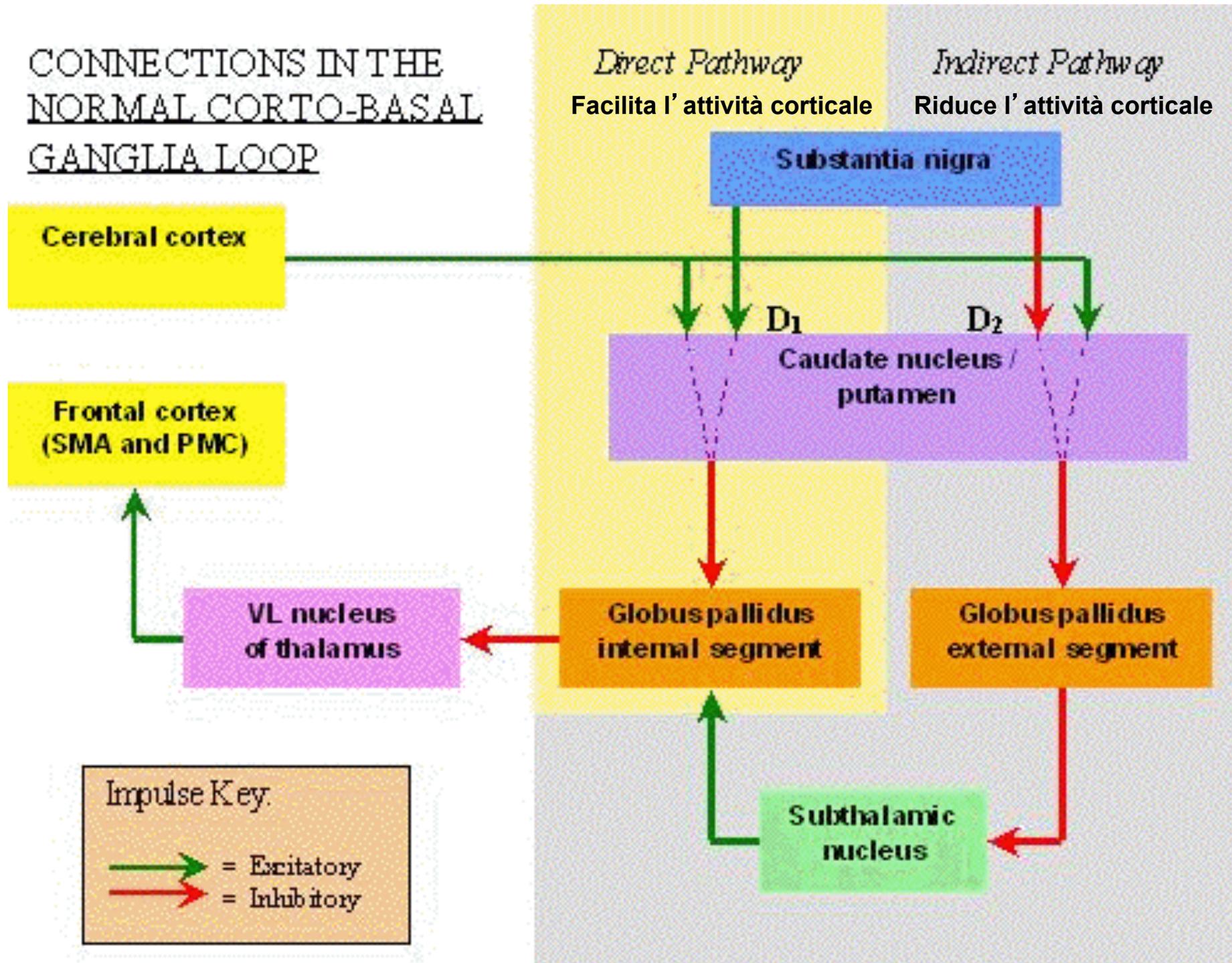




Ingresso dalla corteccia allo striato, uscita dal globus pallidus al talamo, interconnessioni interne

Ruolo delle connessioni nuclei della base-circuito talamocorticale: focalizzare l'attività neurale verso un pattern motorio (definire il piano motorio); questo ruolo viene svolto bilanciando l'attività di due vie all'interno dei nuclei della base

# CONNECTIONS IN THE NORMAL CORTO-BASAL GANGLIA LOOP





Comprendere la  
malattia di  
Parkinson

## Sintomi del Parkinson

Tremore ritmico mani e avambracci

Inclinazione postura in avanti

Rigidità muscolare (cogwheel effect)

Difficoltà ad alzarsi da una posizione seduta (sentirsi legati), fino al freezing

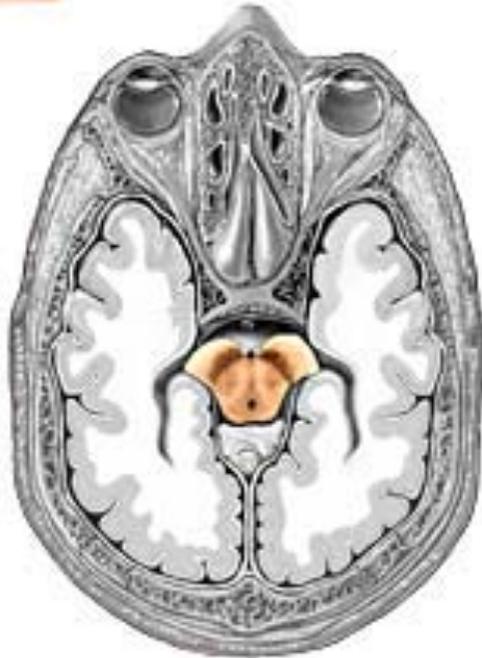
Bradicinesia

Sintomi non motori (non in tutti i pazienti, < 30%) deficit esecutivi, word finding difficulties, attenzione ridotta, disorientamento, confusione, fino a demenza.

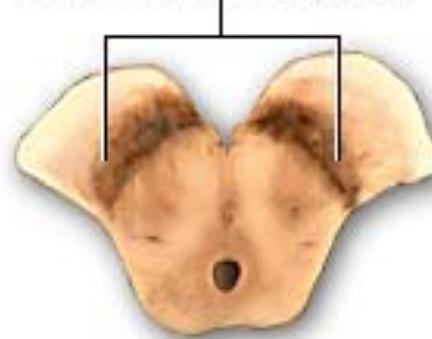
Depressione



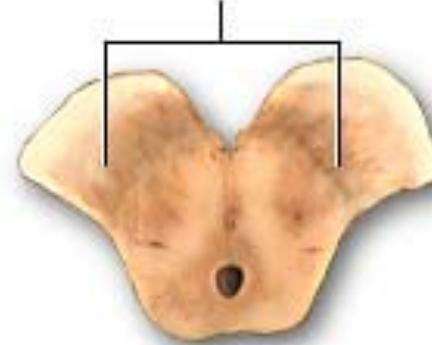
Cut section  
of the midbrain  
where a portion  
of the substantia  
nigra is visible



Substantia nigra



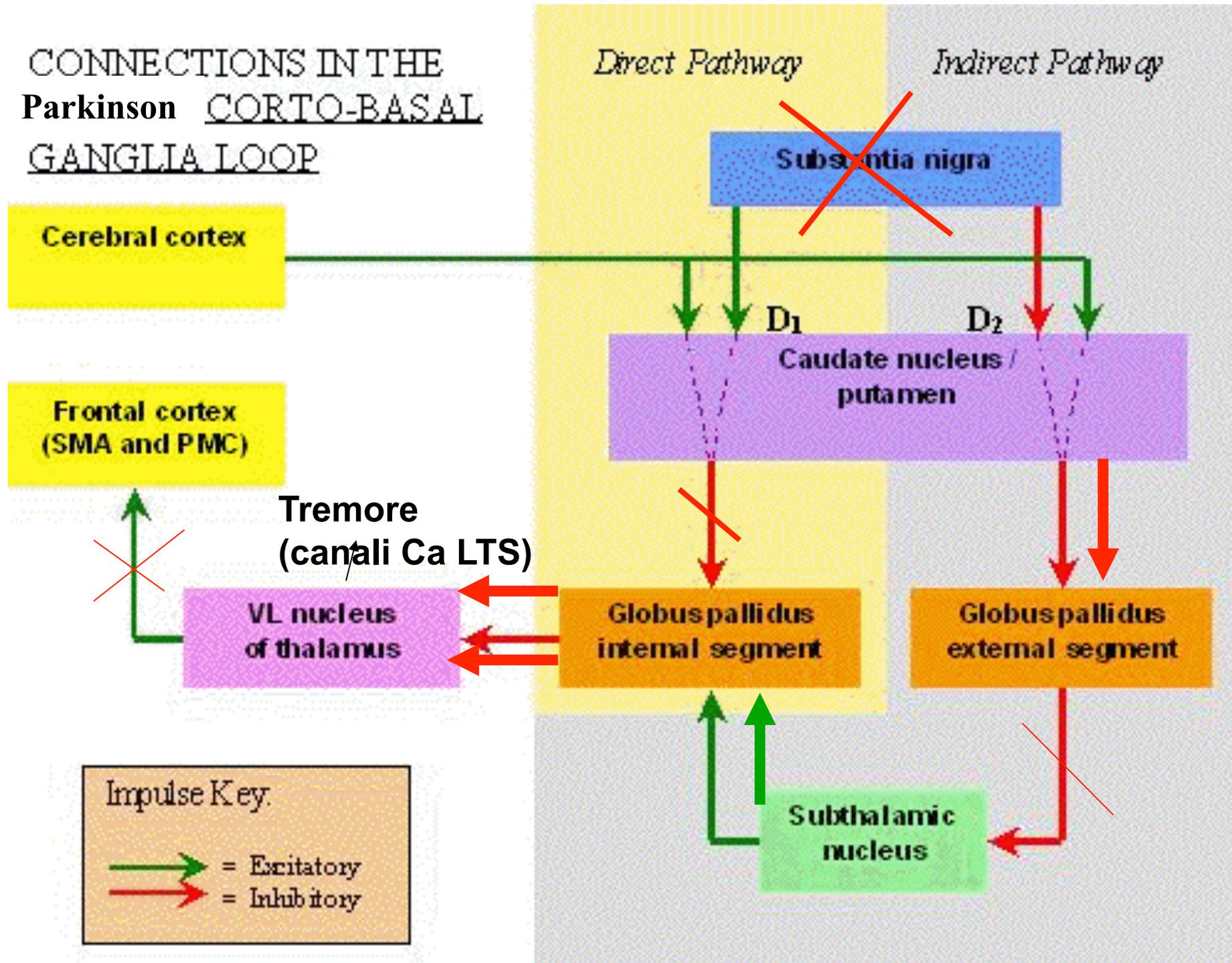
Diminished substantia  
nigra as seen in  
Parkinson's disease



© ADAM, Inc.

Deplezione di cellule dopaminergiche nella SN pars compacta

# CONNECTIONS IN THE Parkinson CORTO-BASAL GANGLIA LOOP



Terapie per il Parkinson (nessuna risolutiva, la neurodegenerazione prosegue)

L-DOPA

Terapie chirurgiche (lesione GP parte interna, lesioni del nucleo subtalamico), riducono l'attività eccessiva del GPi, uscita verso il talamo

Stimolazione elettrica (molto efficace sul tremore)

Una serie di casi singoli: i frozen-addicts del MPTP (metilfeniltetraidropiridina) e la conferma del ruolo della degenerazione della substantia nigra nella patogenesi del Parkinson

“Awakenings”: i prigionieri di se stessi (la forma estrema di freezing)

Lo striato ventrale e il circuito della ricompensa endogena (prossimamente)

Corea di Huntington: degenerazione dei neuroni GABAergici dello striato.

Minor ritorno inibitorio al talamo, eccesso di attività eccitatoria alla corteccia, movimenti involontari.