

*Perugia, Scuola dello Sport  
Federazione Ginnastica d'Italia  
11 maggio 2019*

**MASTER: GINNASTICA, TALENTO E NEUROSCIENZE**

# **Cognizione motoria e neuroscienze applicate allo sport con particolare riferimento alle discipline della ginnastica**

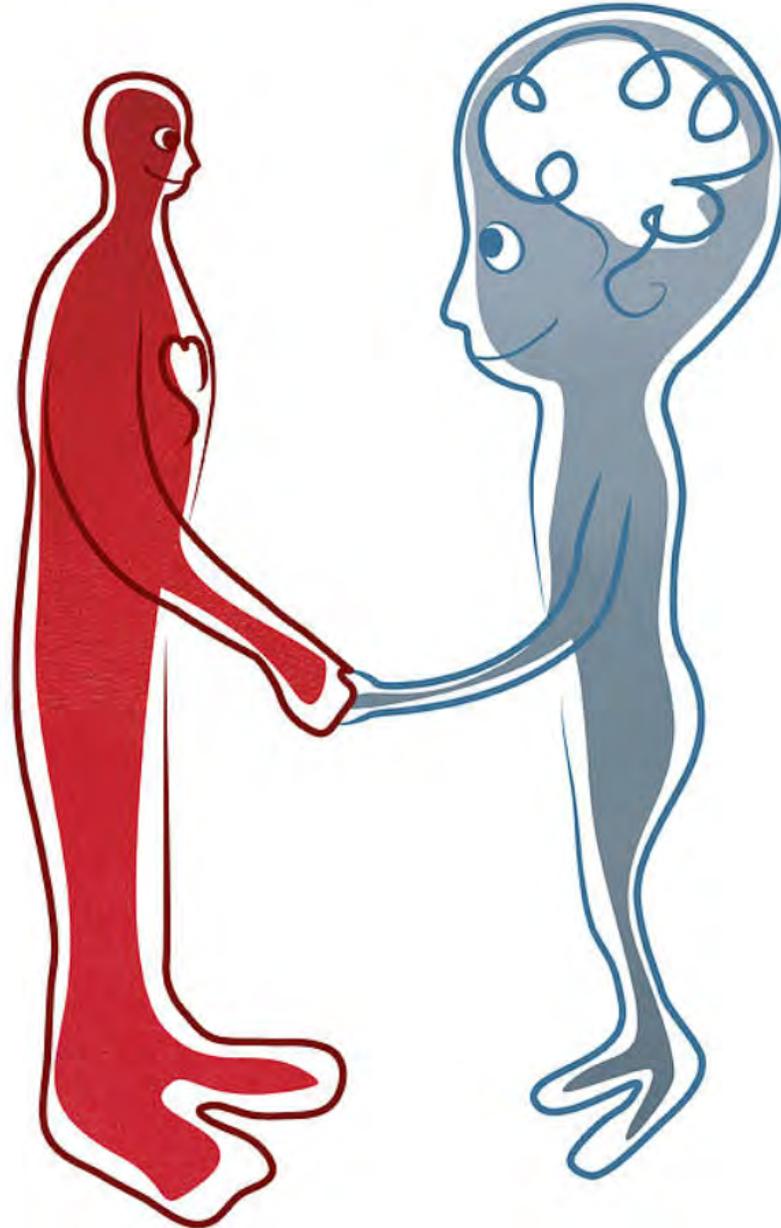
**Dott. Marco Ivaldi, Ph.d. Fisiopatologia medica**

Dipartimento di Scienze mediche - Università degli Studi di Torino  
Professore a contratto - Neurofisiologia del movimento

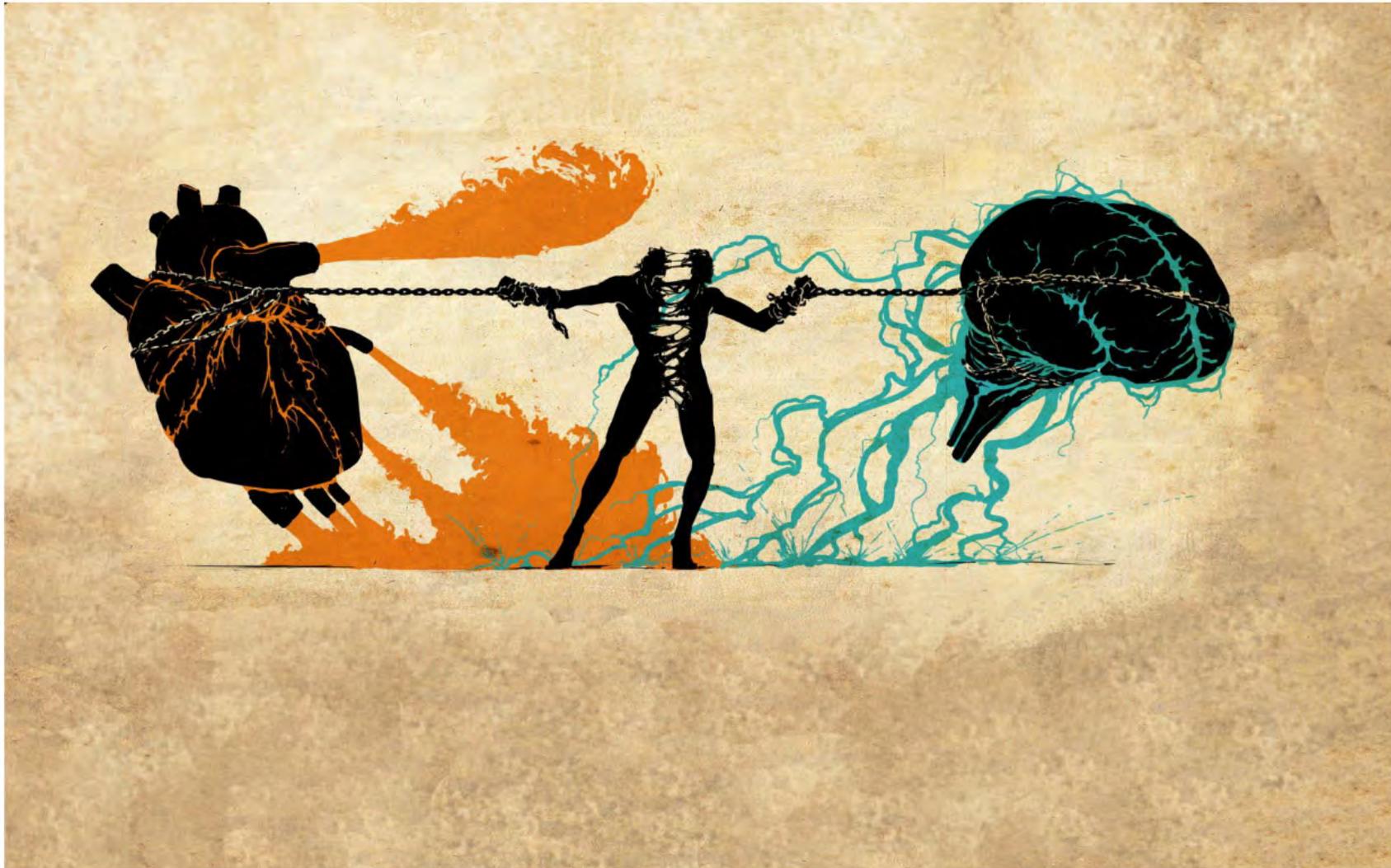
# Dicotomie



# Corpo vs mente



# Cuore vs cervello



PENSIERI LENTI

VS

PENSIERI VELOCI

CERVELLO PRIMITIVO  
VS  
CERVELLO EVOLUTO

SISTEMA LIMBICO  
VS  
CORTECCIA CEREBRALE

EMISFERO DESTRO

VS

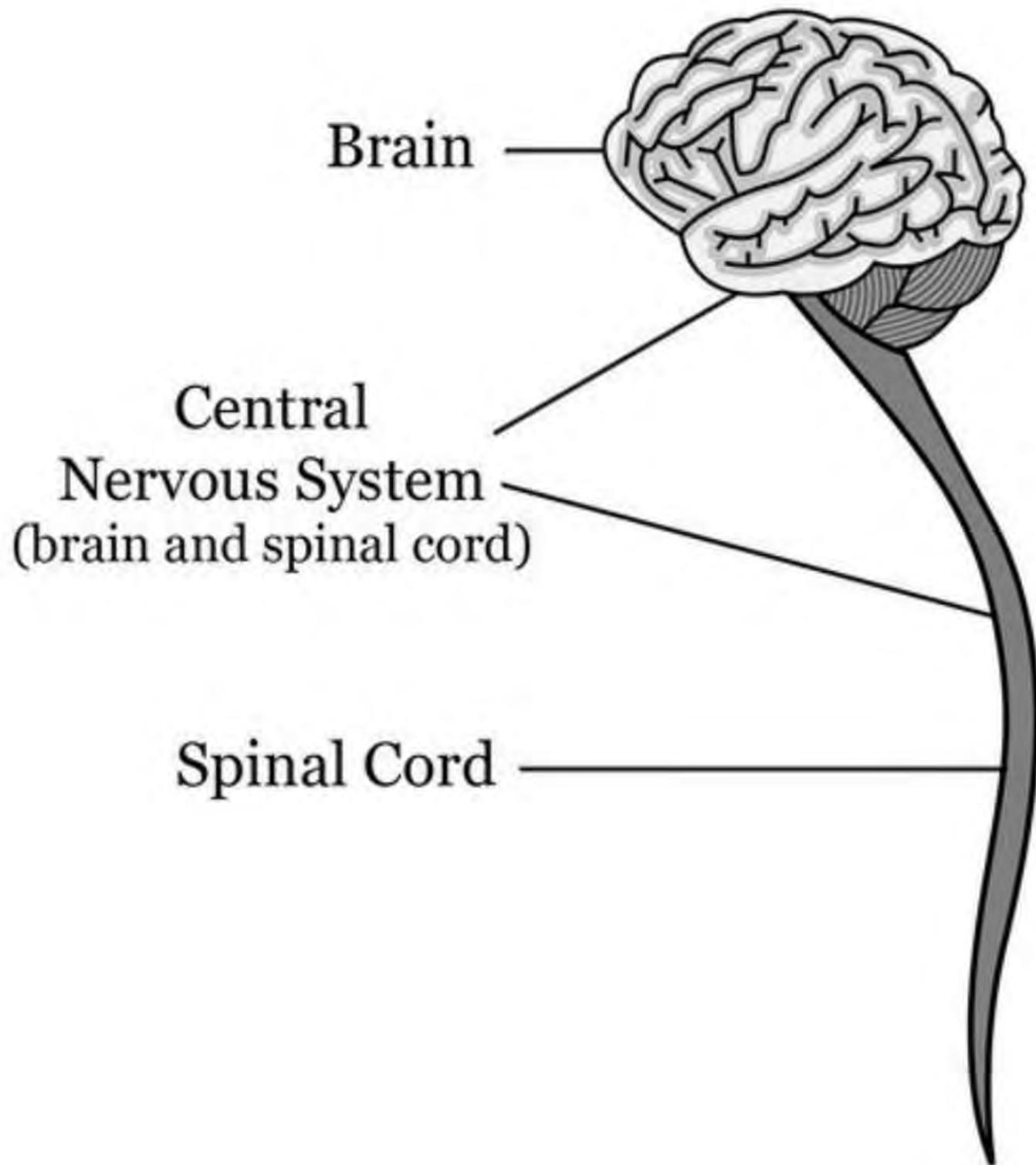
EMISFERO SINISTRO

CERVELLO MASCHILE  
VS  
CERVELLO FEMMINILE

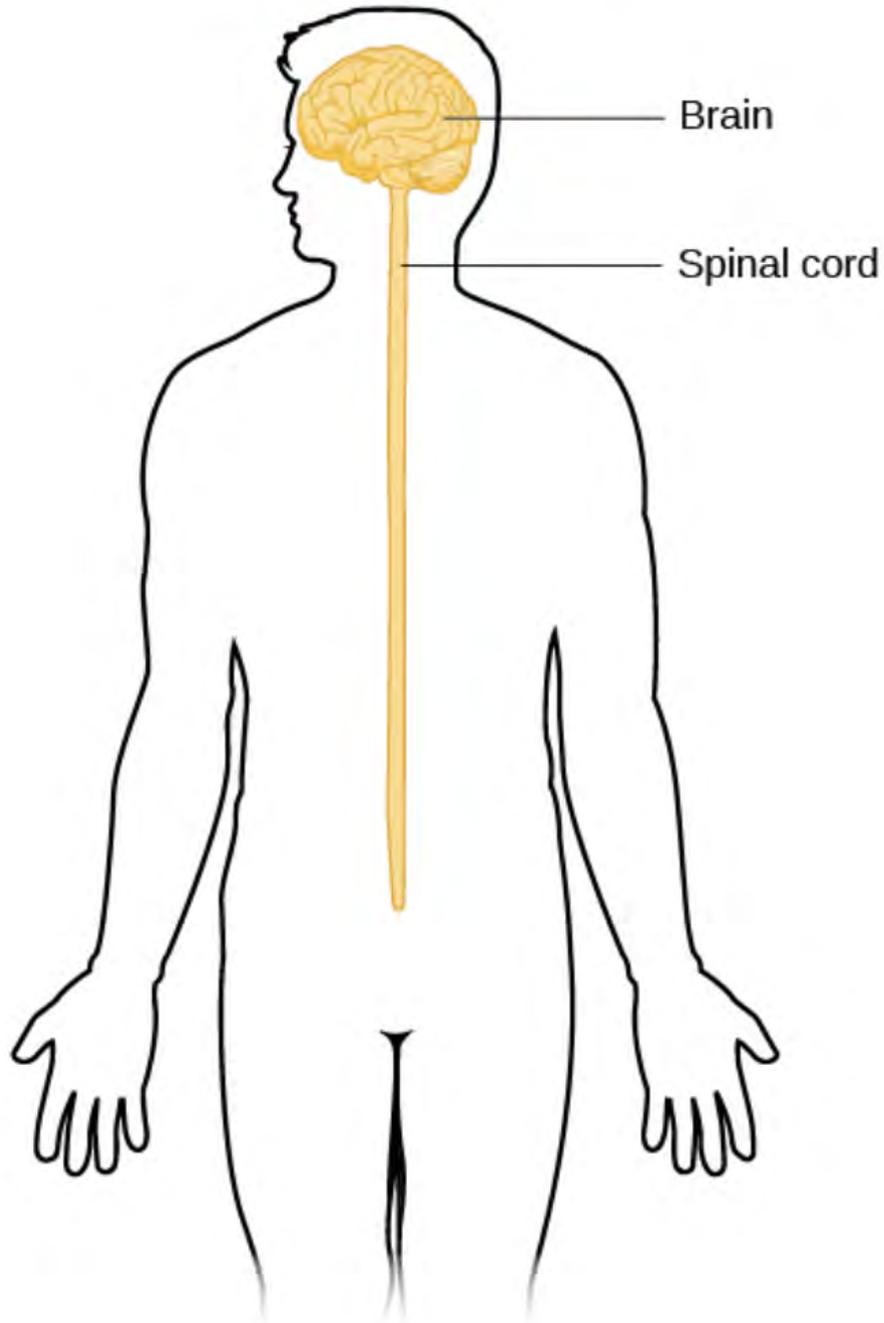
SNC

VS

SNP

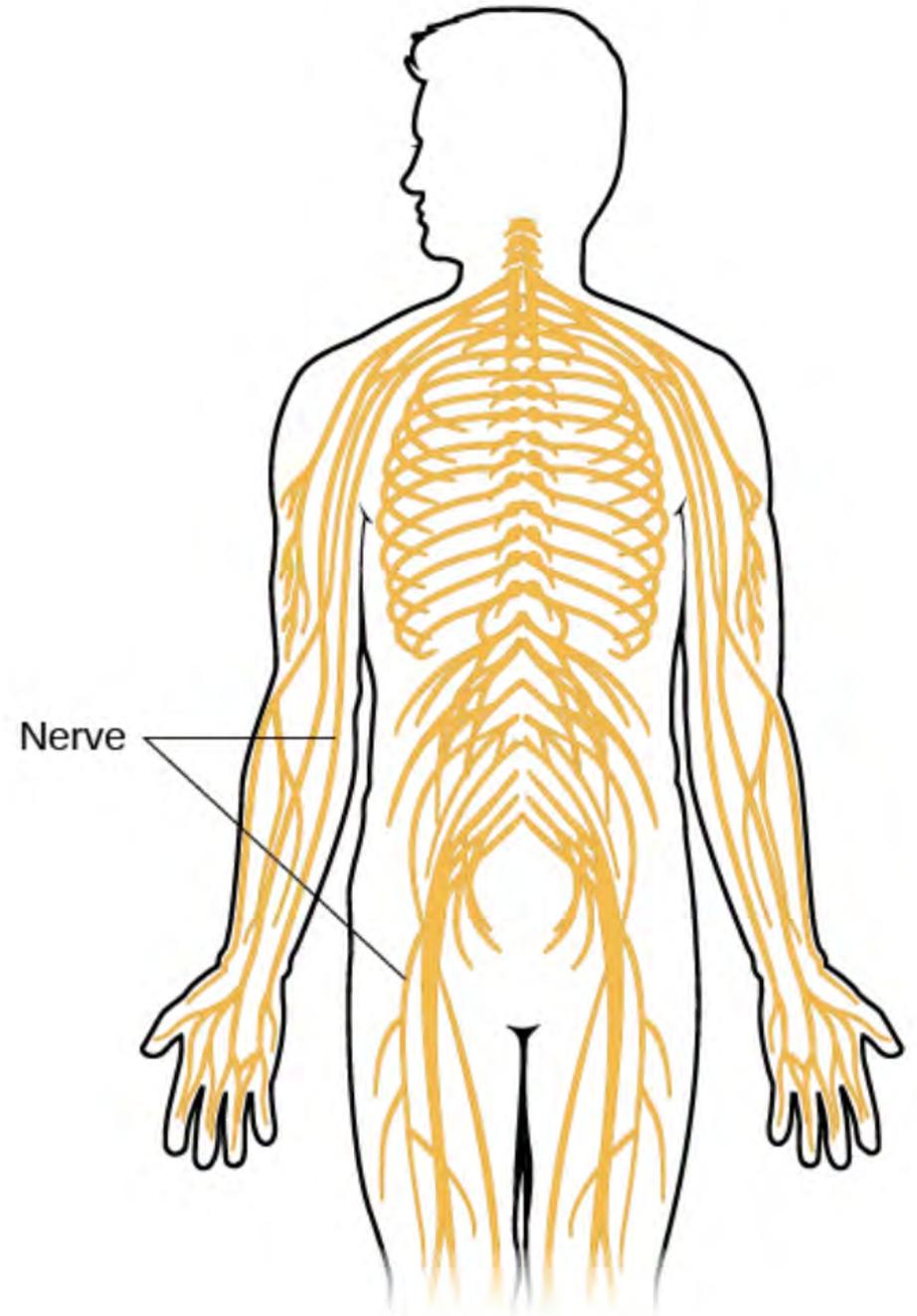


## Central Nervous System



(a)

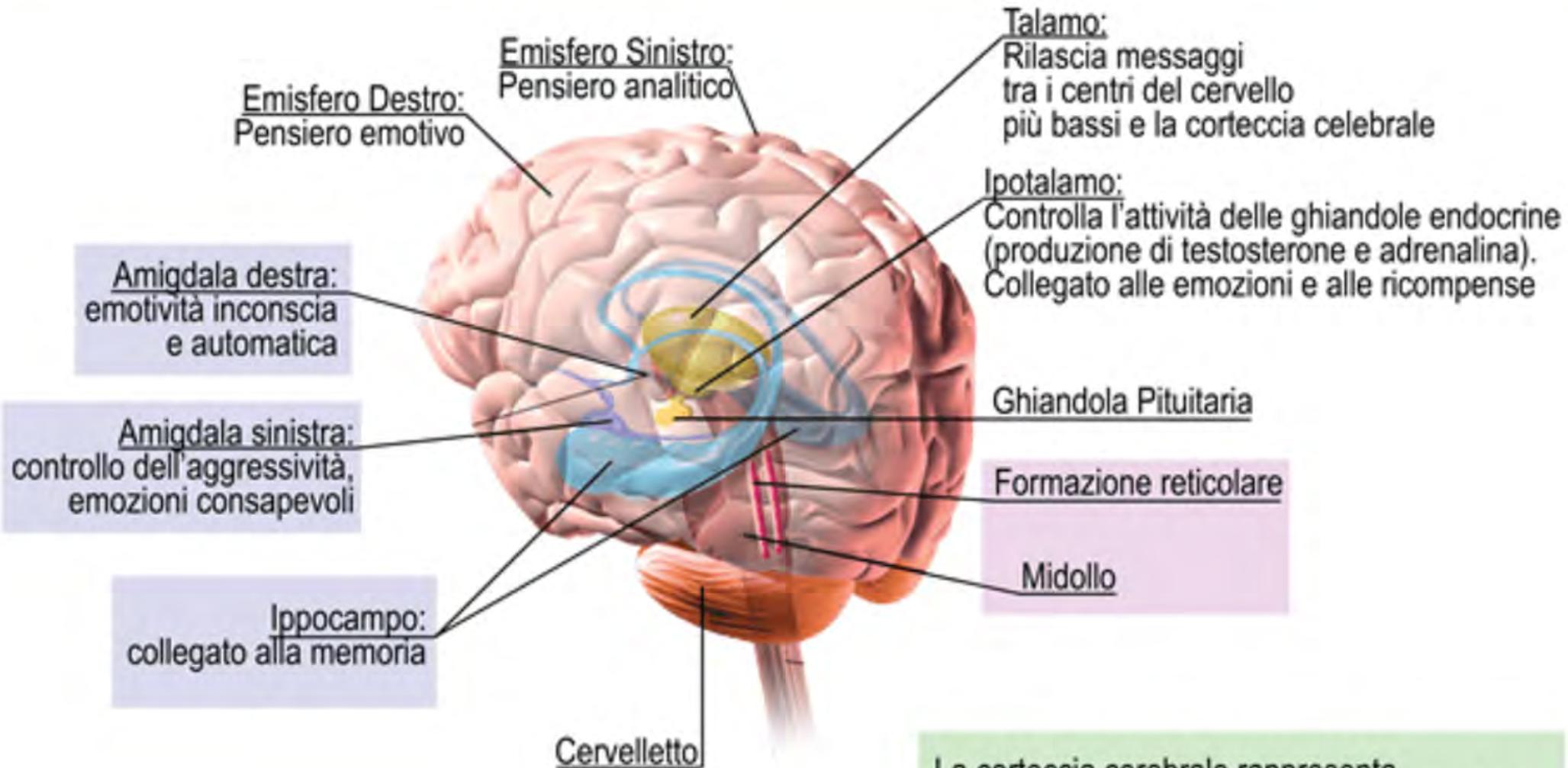
## Peripheral Nervous System



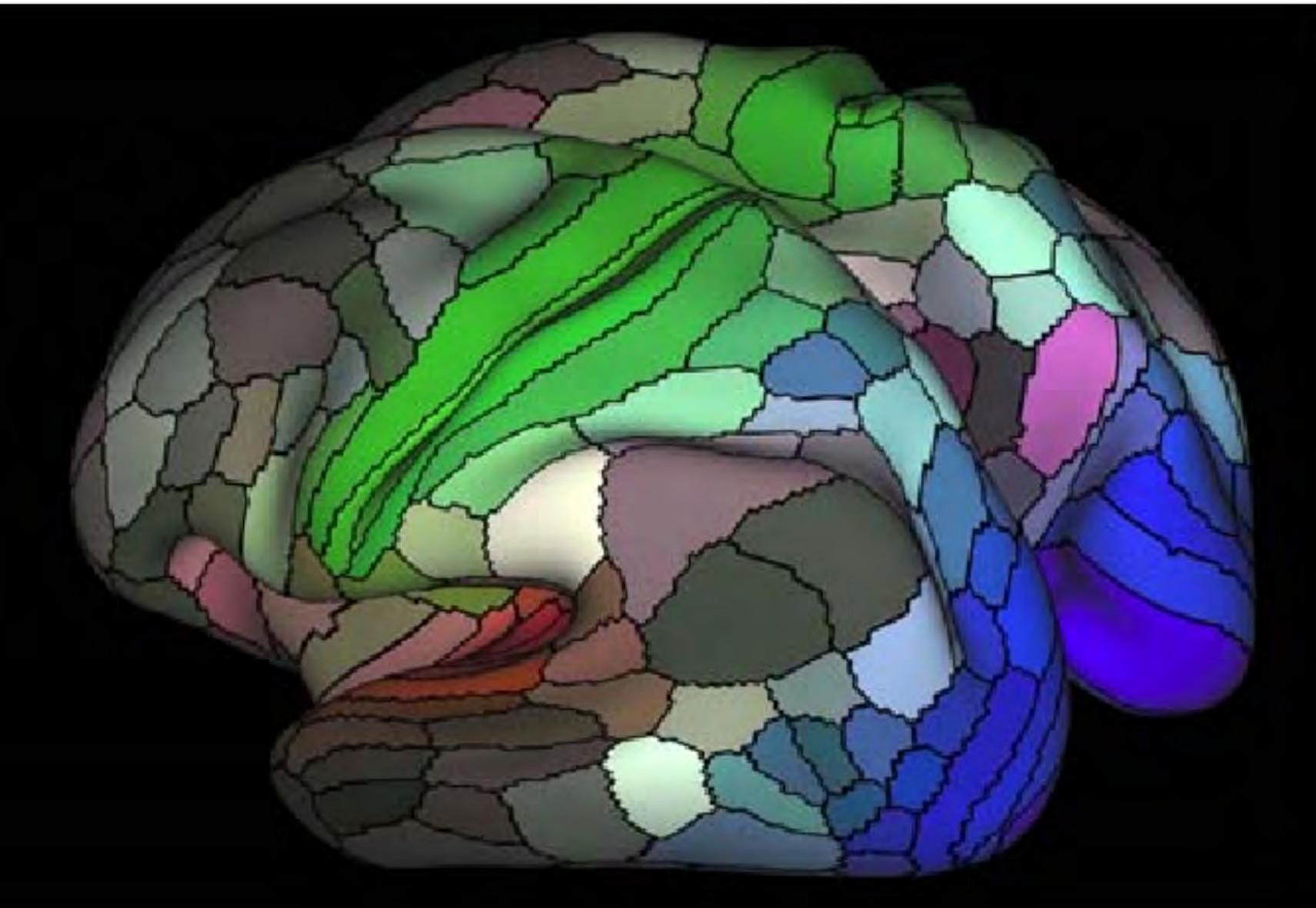
(b)

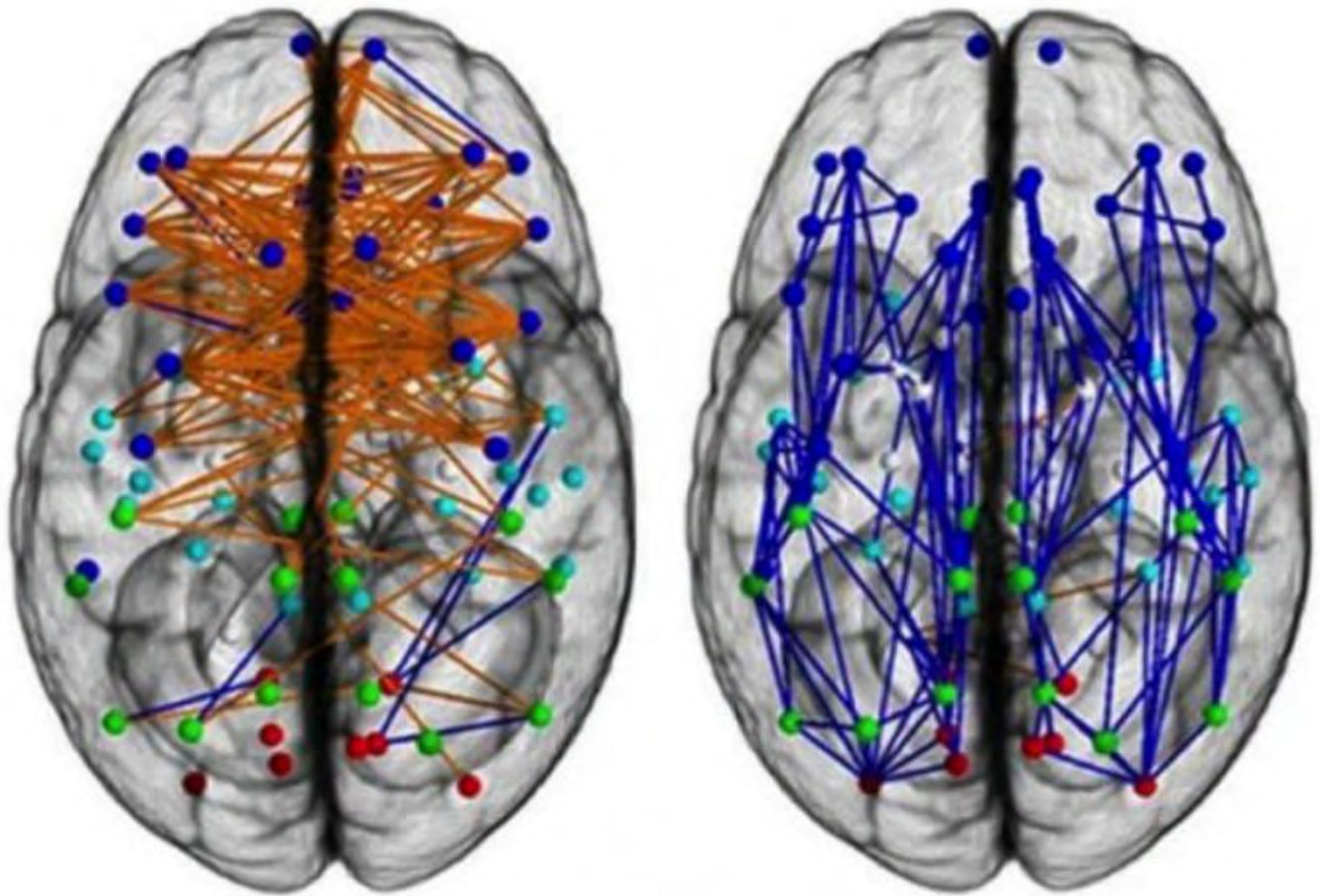


Il Sistema Limbico è formato da ghiandola pineale, talamo, amigdala, ipotalamo, nucleo caudato. Controlla le emozioni e le decisioni di agire

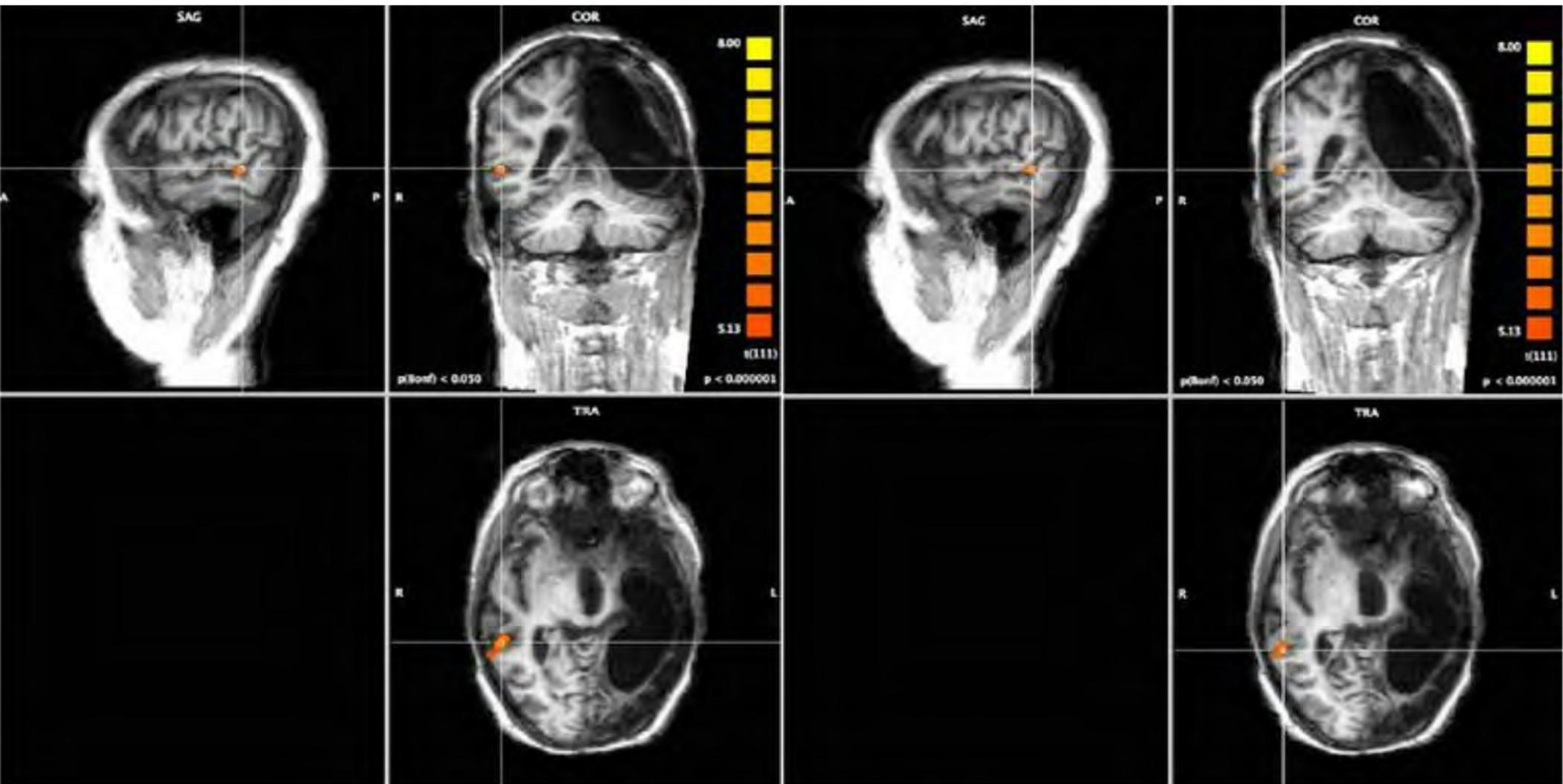


La corteccia cerebrale rappresenta la parte più esterna del cervello dei vertebrati: Ha la capacità di fare e comprendere discorsi. È il centro che fa l'ultimo controllo e processa le informazioni.





**Differenze nelle connessioni. Il cervello a sinistra (connessioni orizzontali arancioni) è della donna, mentre quello a destra dell'uomo (connessioni verticali blu)**



## Brain and Language

## EMISFERO SINISTRO

## EMISFERO DESTRO

LOGICO E ANALITICO

CONTA  
SULLA RAGIONE

REALISMO  
PREDOMINANTE

ORGANIZZATO  
E ORDINATO

MENTALITÀ MATEMATICA  
E SCIENTIFICA

PREFERENZA  
SAGGISTICA



EMOTIVO E INTUITIVO

SI AFFIDA  
ALL'ISTINTO

SOGNI E FANTASIA  
PREDOMINANTI

CURIOSO E  
SPONTANEO

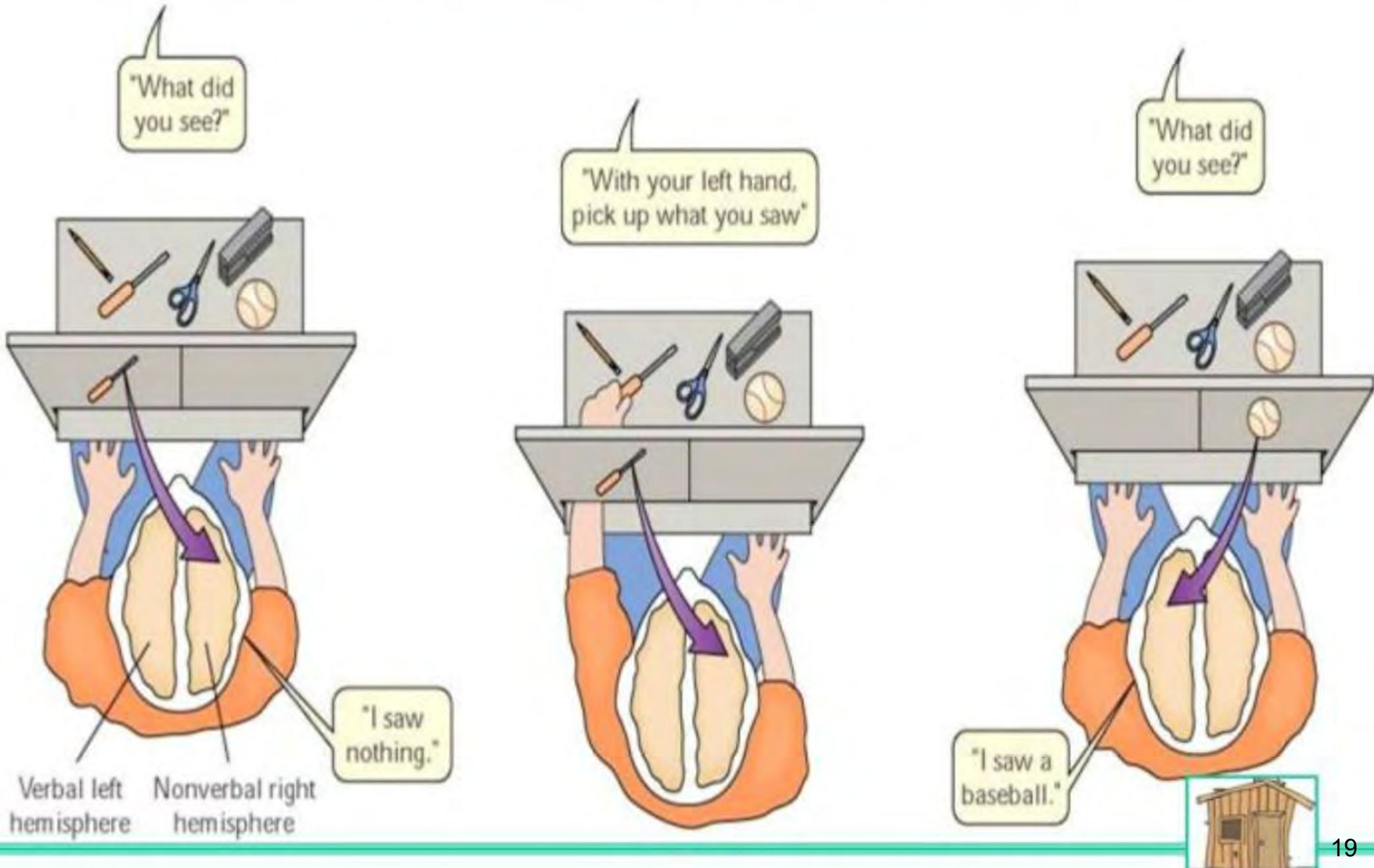
MENTALITÀ  
ARTISTICA E CREATIVA

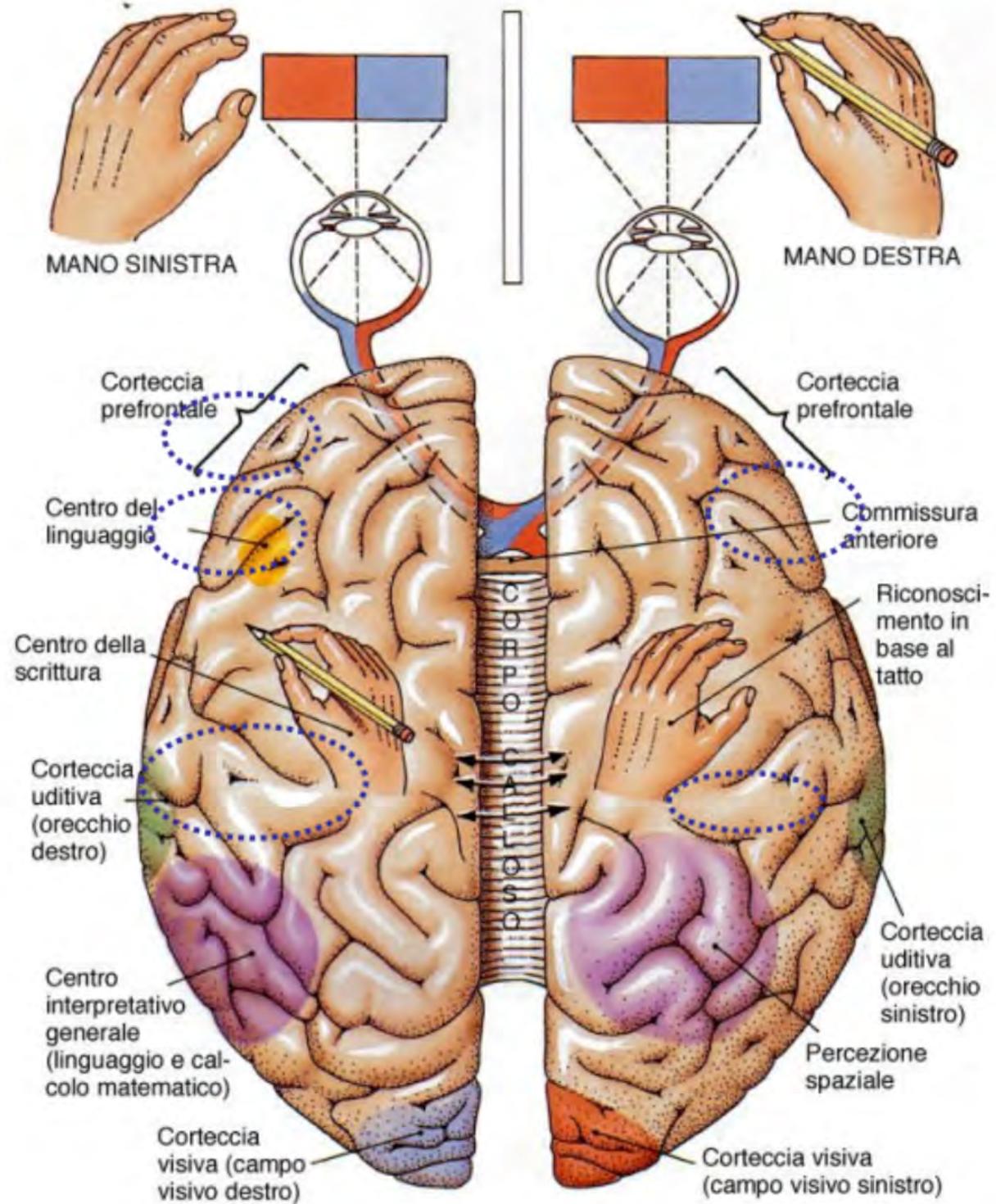
PREFERENZA  
PER LA NARRAZIONE

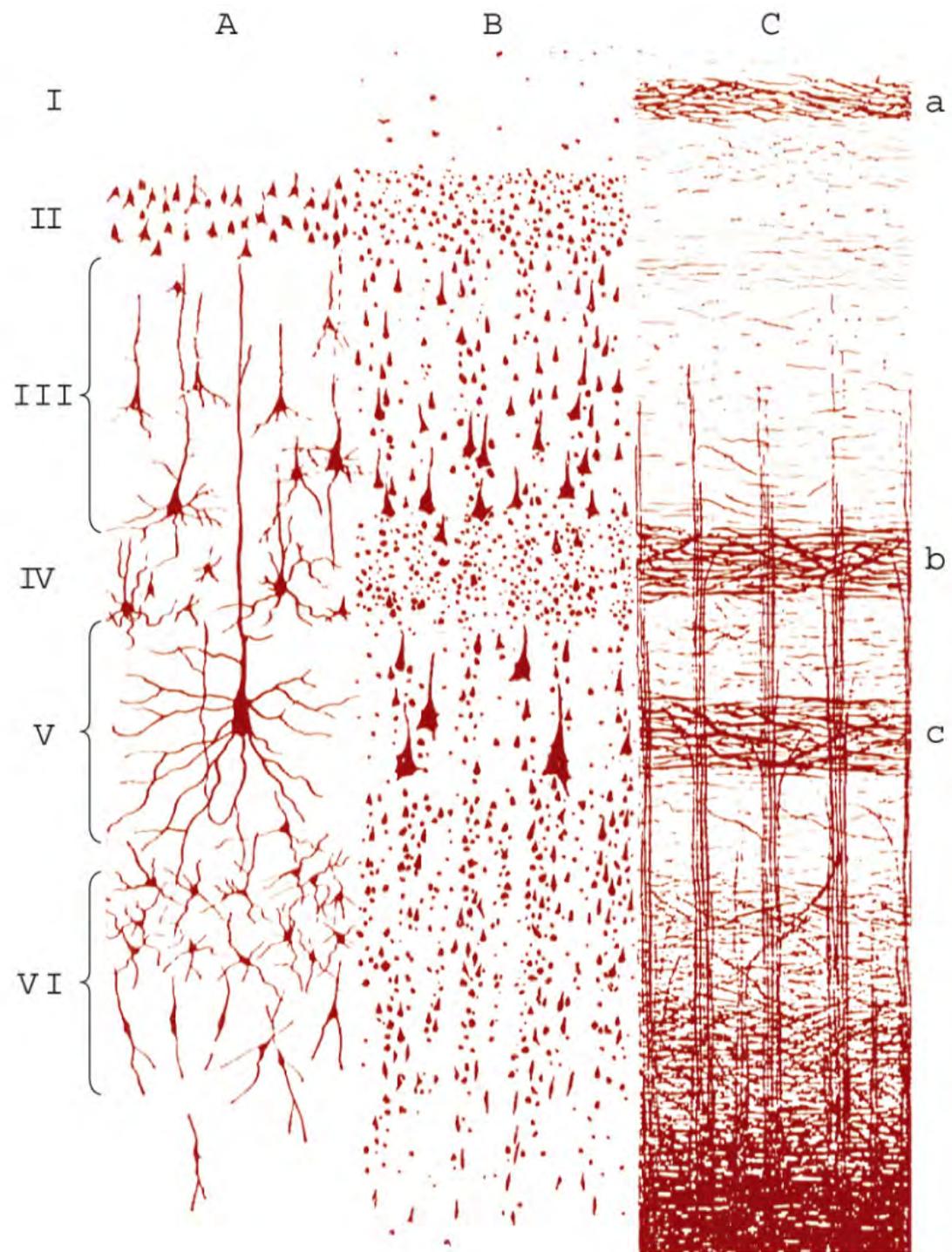


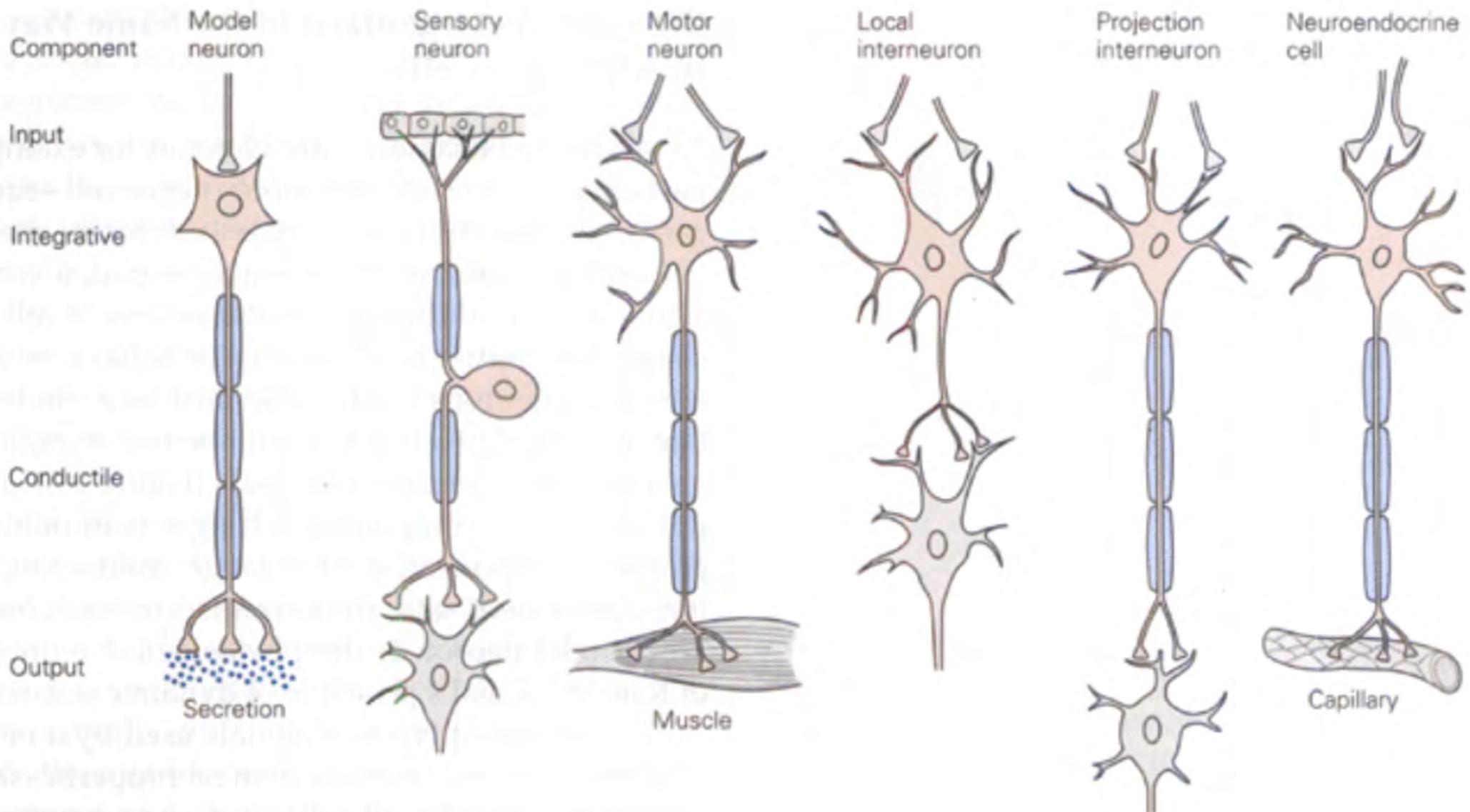


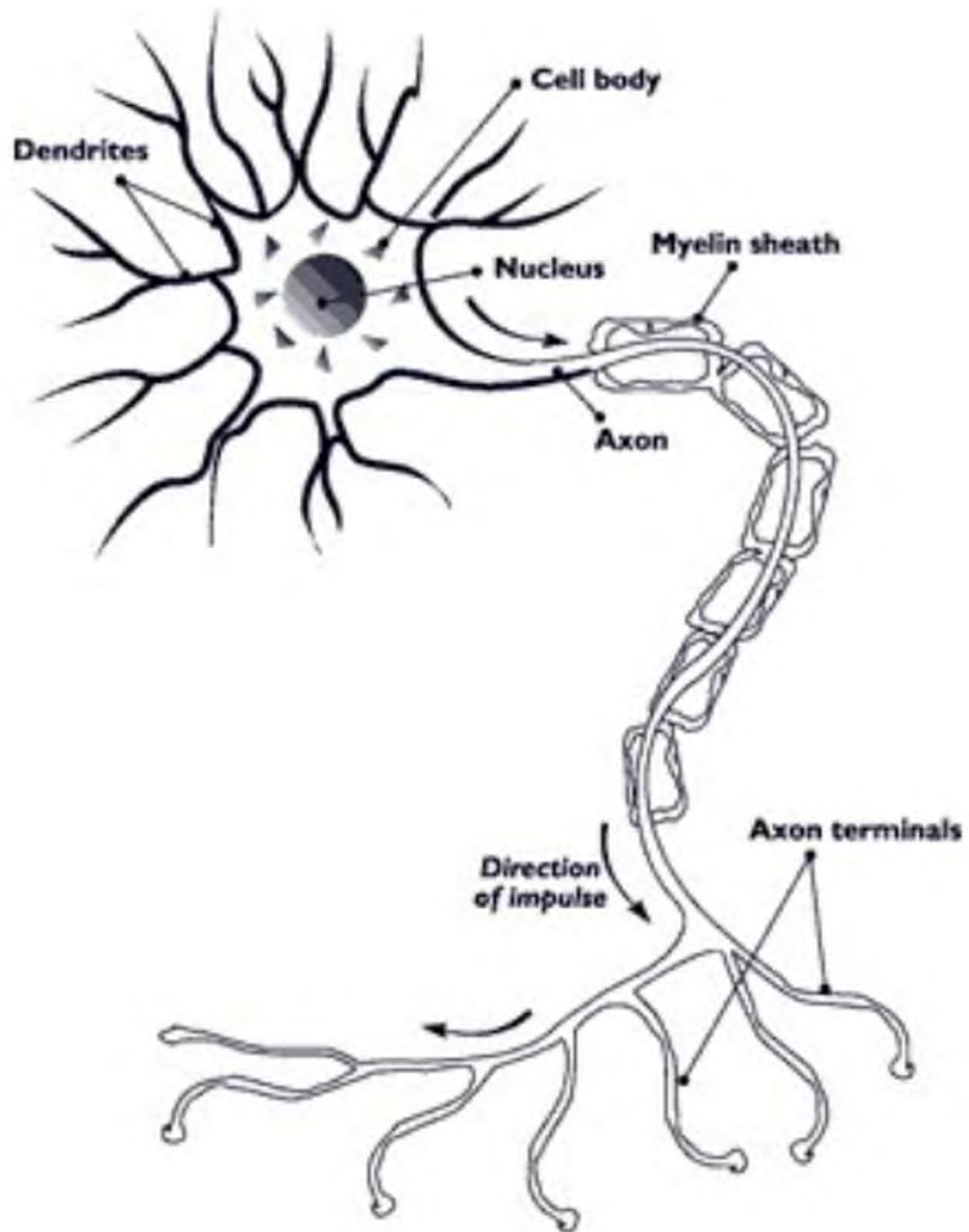
# Split-Brain Research











# E ADESSO UN PICCOLO QUIZ

Prova a dire il COLORE e non la parola

GIALLO AZZURRO ARANCIONE

NERO ROSSO VERDE

MARRONE GIALLO ROSSO

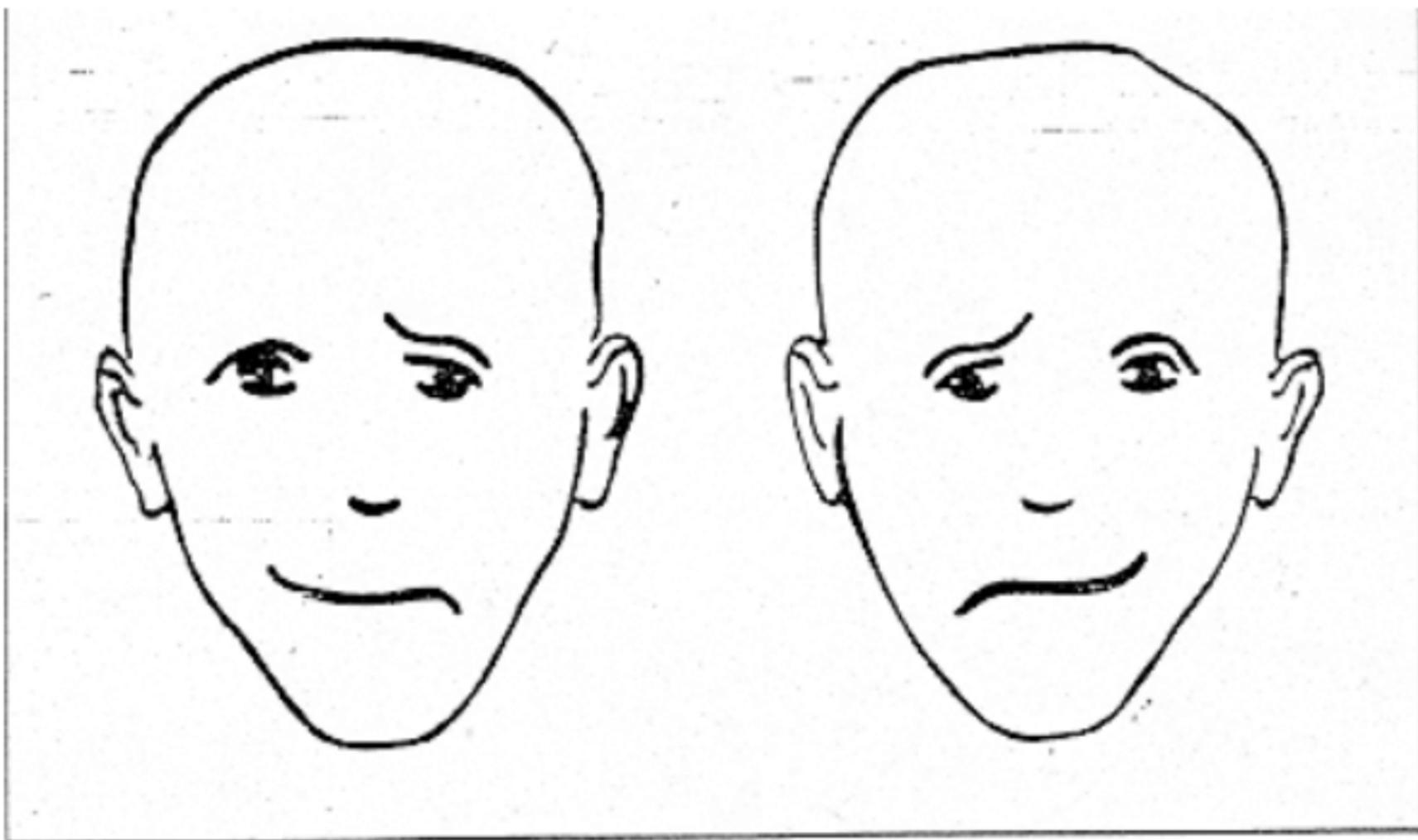
ARANCIONE VERDE NERO

AZZURRO ROSSO MARRONE

VERDE AZZURRO ARANCIONE

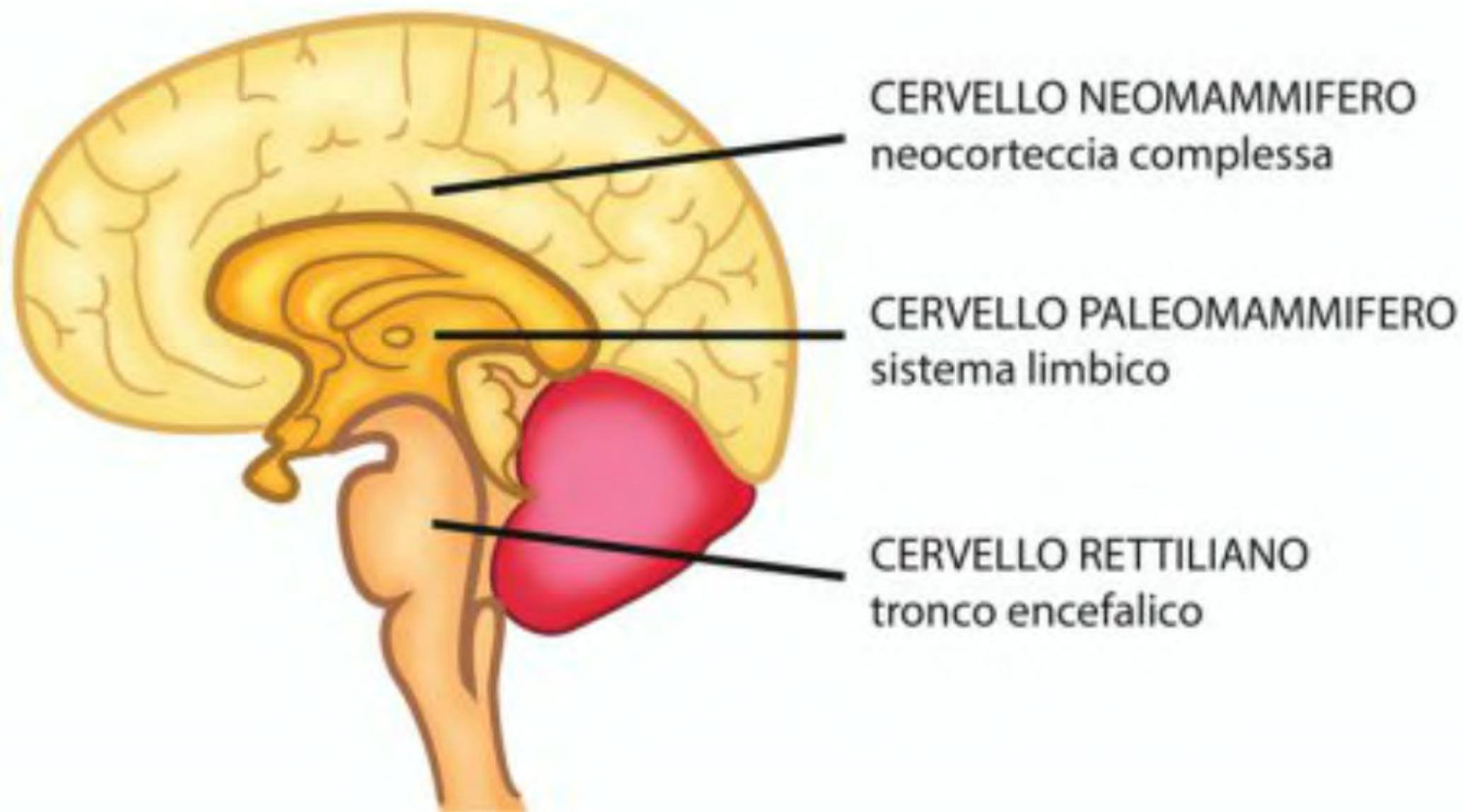
## Conflitto Destra-Sinistra

La parte destra del tuo cervello prova a farti dire il colore,  
ma la parte sinistra insiste nel farti leggere la parola



Se si chiede a un destrimane quale dei due volti esprime felicità viene indicata la faccia che sorride verso sinistra. L'emisfero destro ha un ruolo preferenziale nell'elaborare le emozioni.

<https://www.arealme.com/left-right-brain/it/>



CERVELLO NEOMAMMIFERO  
neocorteccia complessa

CERVELLO PALEOMAMMIFERO  
sistema limbico

CERVELLO RETTILIANO  
tronco encefalico



**Cervello Cosciente**  
neo-pallium  
(cervello neo-mammiliano)

**Cervello Emozionale**  
Sistema Limbico  
(cervello paleo-mammiliano)

**Cervello Istintivo**  
R-Complex (cervello rettiliano)

@francescogandolfi1961-fecit

# SUDDIVISIONE FILOGENETICA

## 1. PALEOCORTEX

PIU' ANTICA E MENO SVILUPPATA (OLFATTO)

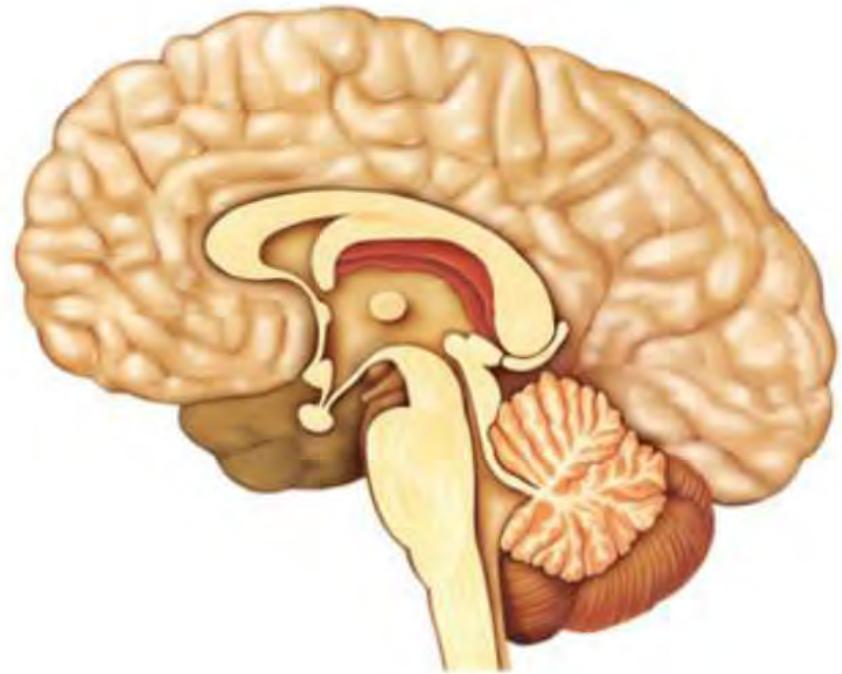
## 2. ARCHICORTEX

COMPRENDE L'IPPOCAMPO  
E COSTITUISCE IL LOBO LIMBICO

## 3. NEOCORTEX

PIU' RECENTE E SVILUPPATA

- STRATO MOLECOLARE
- STRATO GRANULARE ESTERNO
- STRATO PIRAMIDALE ESTERNO
- STRATO GRANULARE INTERNO
- STRATO PIRAMIDALE INTERNO
- STRATO DELLE CELLULE FUSIFORMI



## PARIENTAL LOBE

- KNOWING RIGHT FROM LEFT
- SENSATION
- READING
- BODY ORIENTATION

## OCCIPITAL LOBE

- VISION
- COLOR PERCEPTION

## CEREBELLUM

- BALANCE
- COORDINATION
- FINE MUSCLE CONTROL

## FRONTAL LOBE

- PROBLEM SOLVING
- EMOTIONAL TRAITS
- REASONING
- SPEAKING
- VOLUNTARY MOTOR ACTIVITY

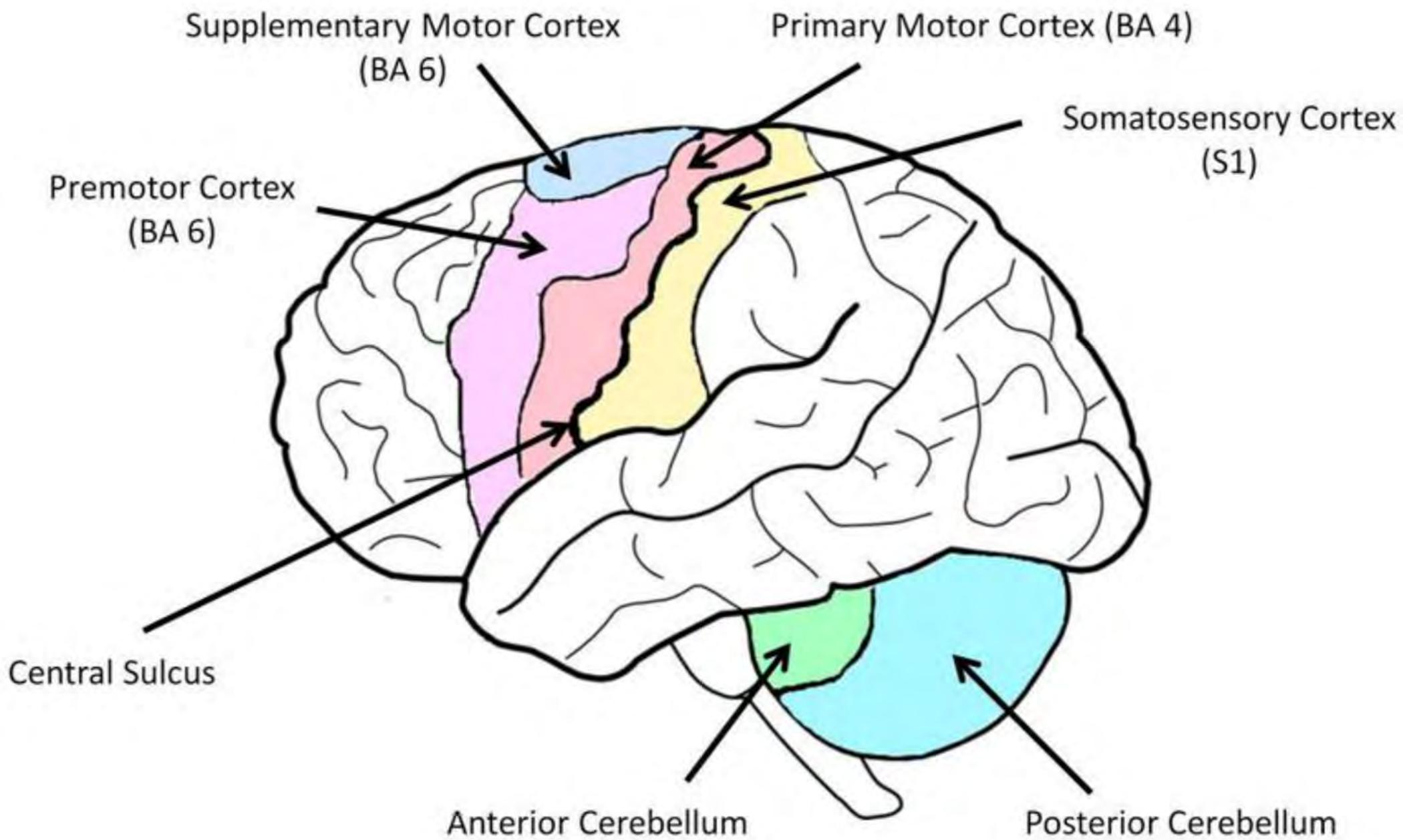
## TEMPORAL LOBE

- BEHAVIOR
- MEMORY
- HEARING
- UNDERSTANDING LANGUAGE

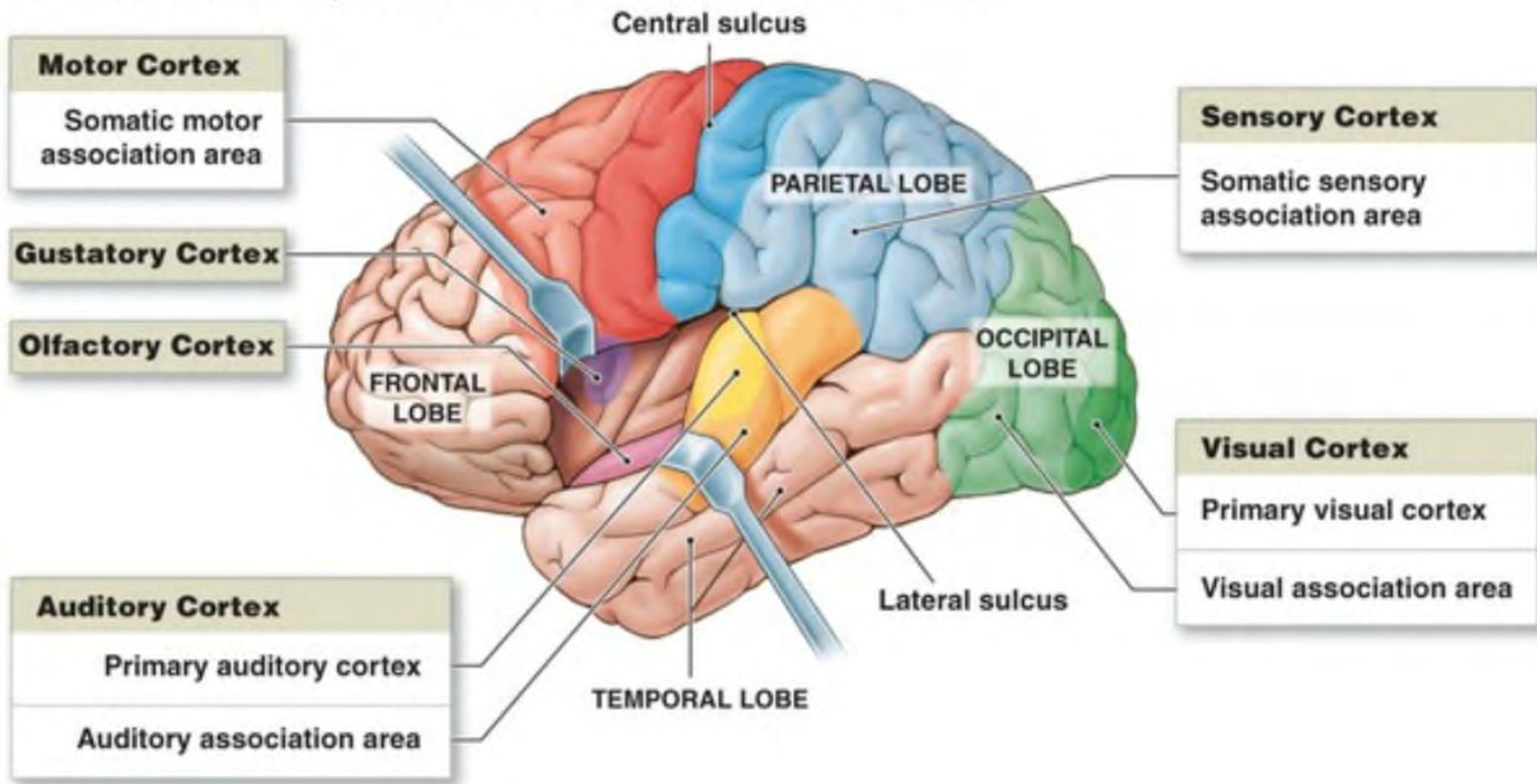
## BRAIN STEM

- BREATHING
- BODY TEMPERATURE
- DIGESTION
- ALERTNESS
- SWALLOWING





The motor and sensory cortexes and the association areas for each

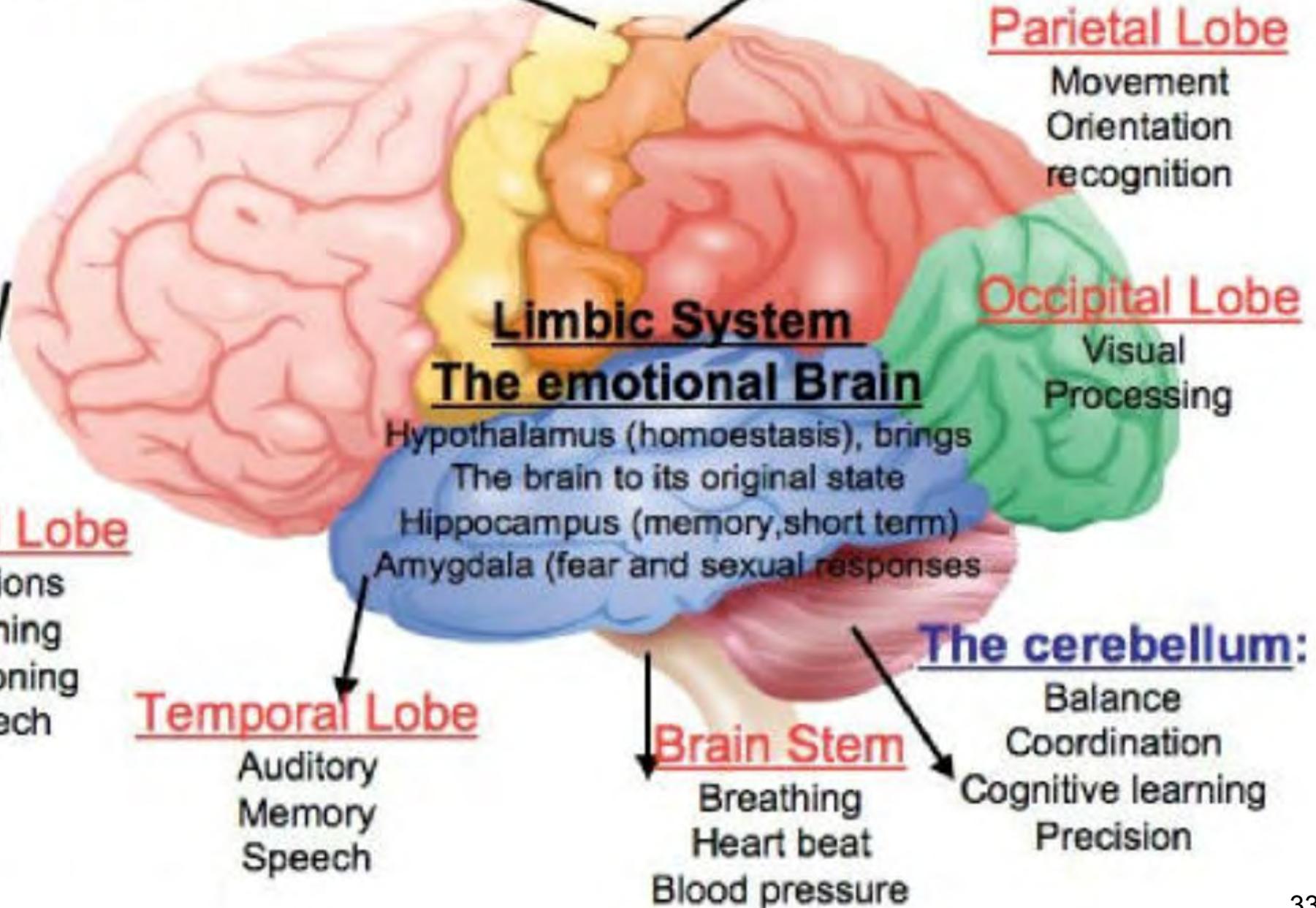


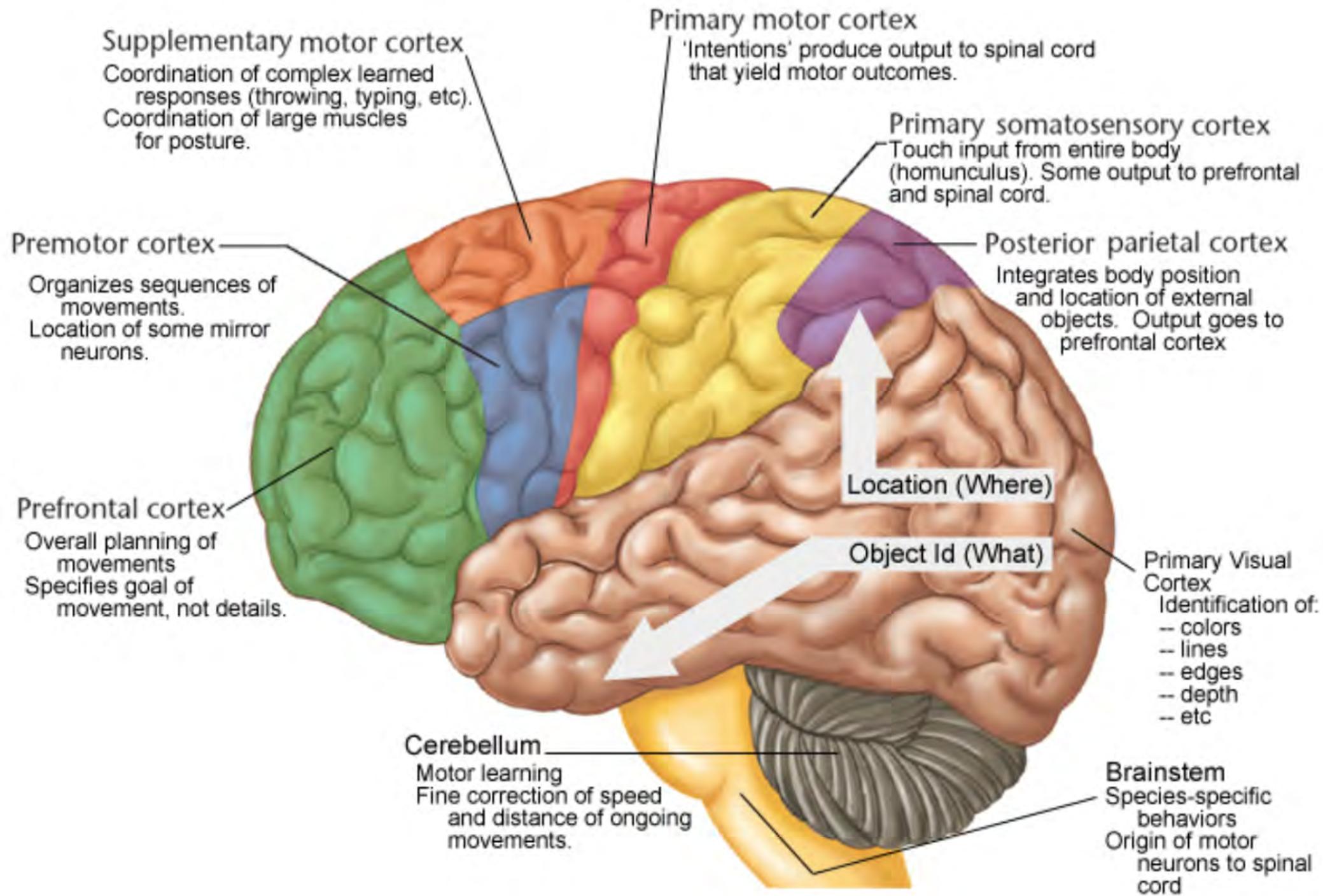
© 2011 Pearson Education, Inc.

# THE BRAIN

Speech motor

Voluntary muscle movement





# Le aree cerebrali coinvolte

**Quando la mente non è impegnata in compiti specifici** (Default Mode Network) sono interessate

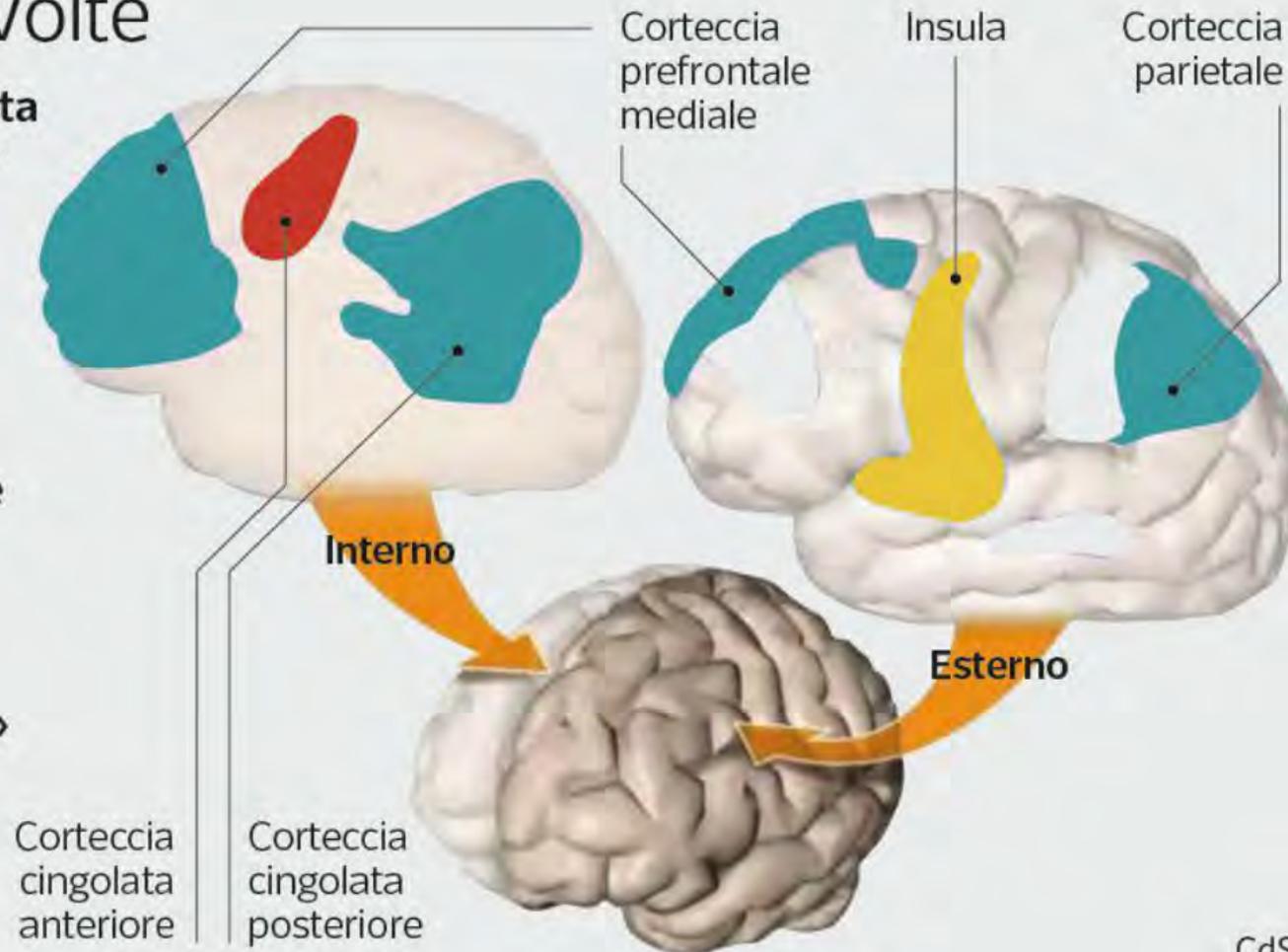
- corteccia cingolata posteriore
- corteccia prefrontale mediale
- corteccia parietale

**Quando la mente è impegnata in compiti specifici** sono coinvolte

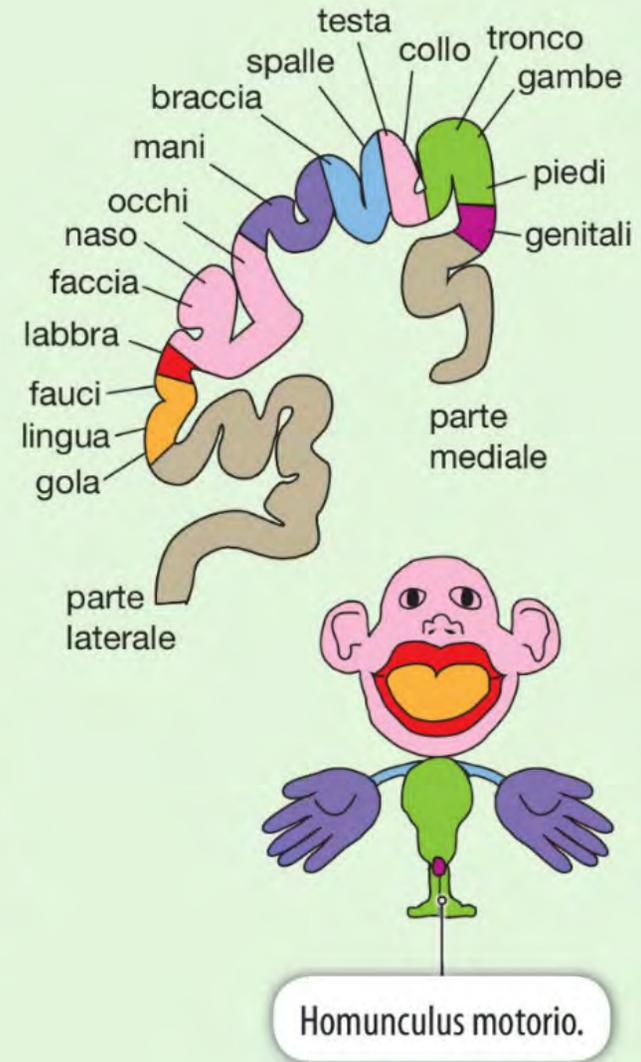
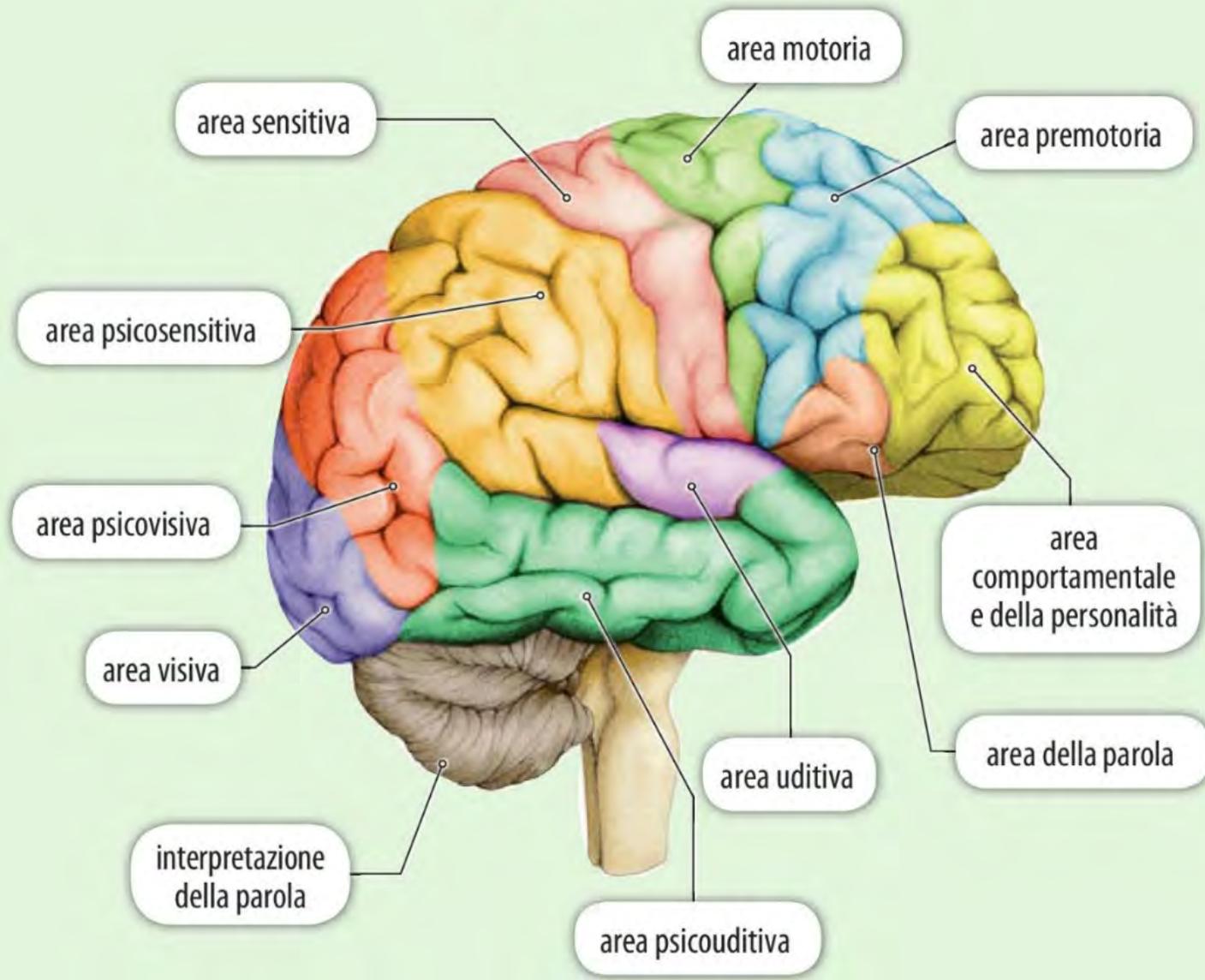
- corteccia prefrontale
- corteccia orbitale
- corteccia cingolata anteriore

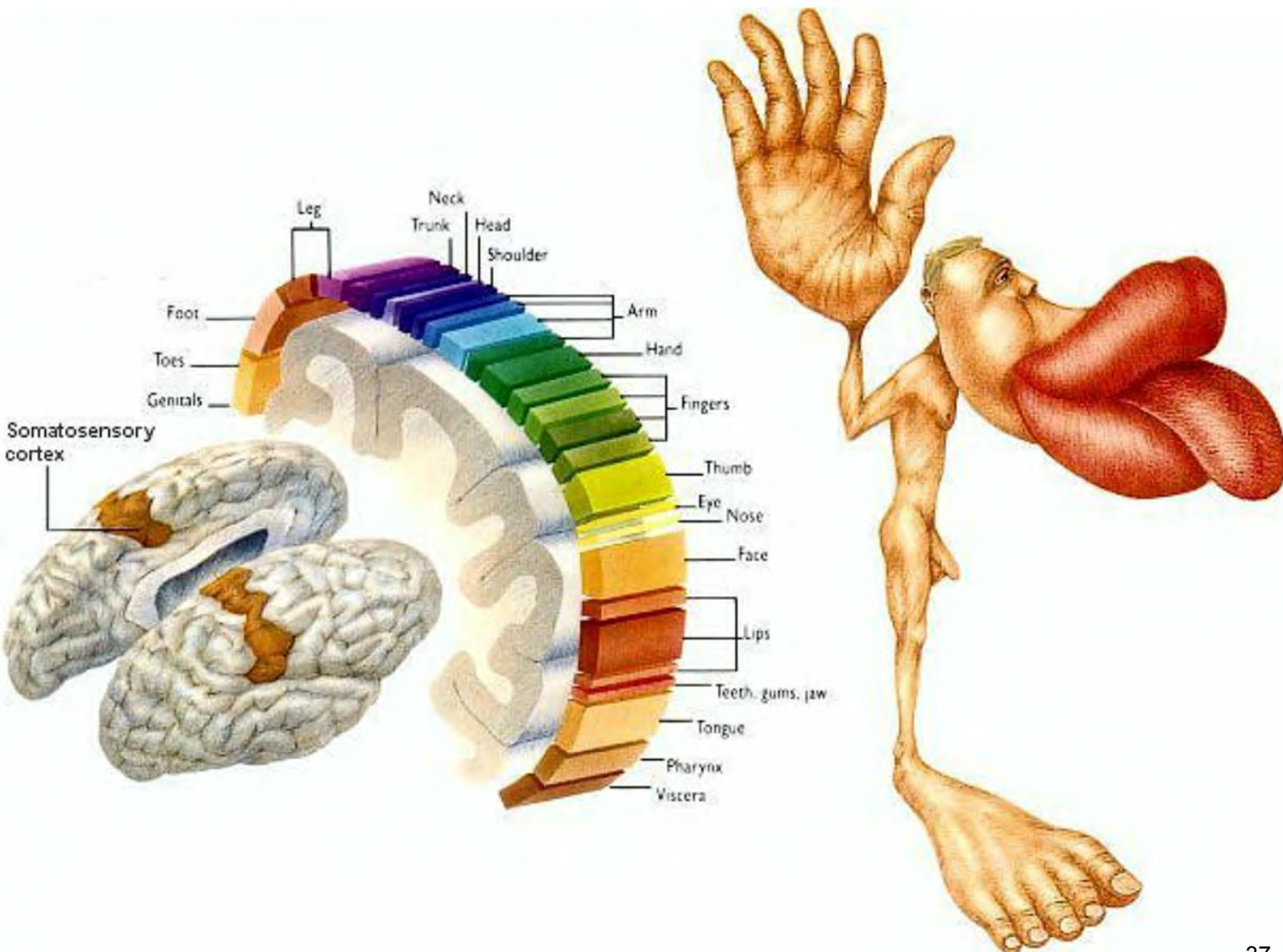
**Per passare da «non impegnata» a «impegnata»**, la mente usa con funzione di interruttore

- insula

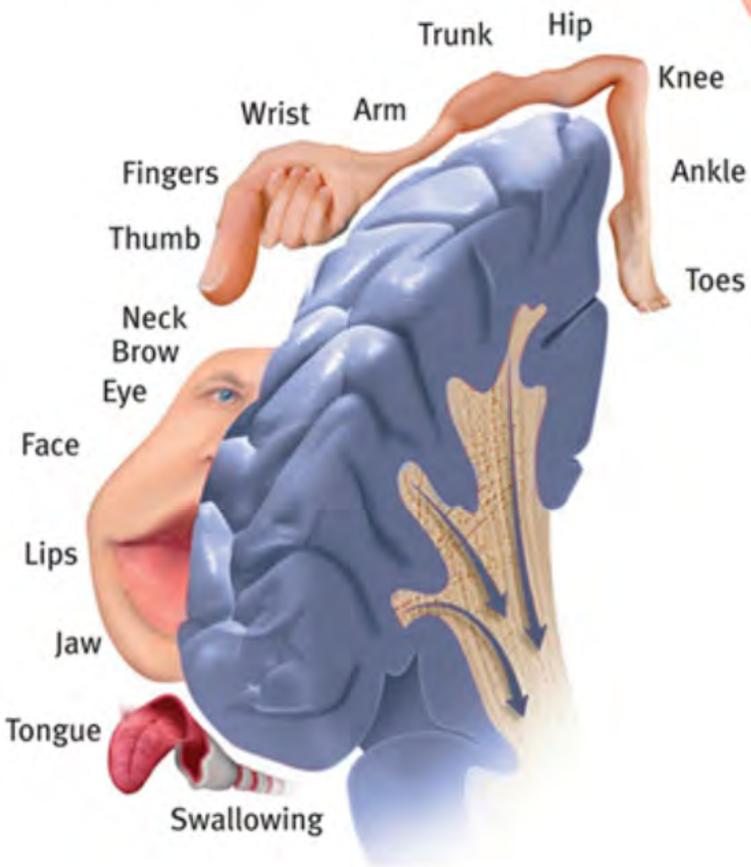


## Mapa della corteccia

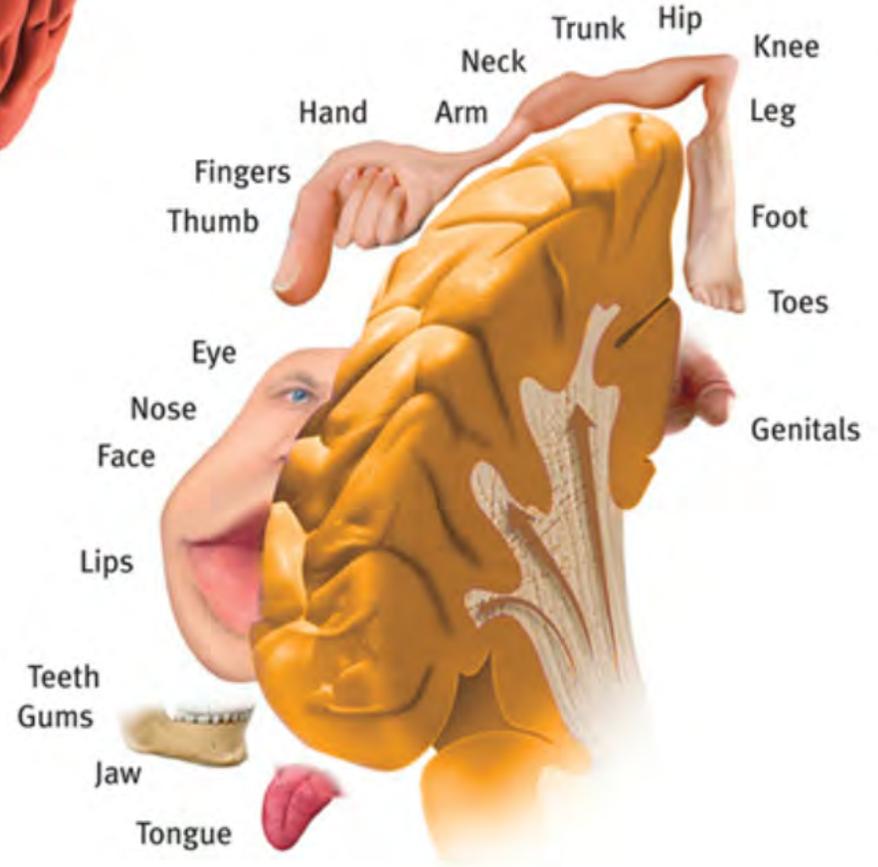




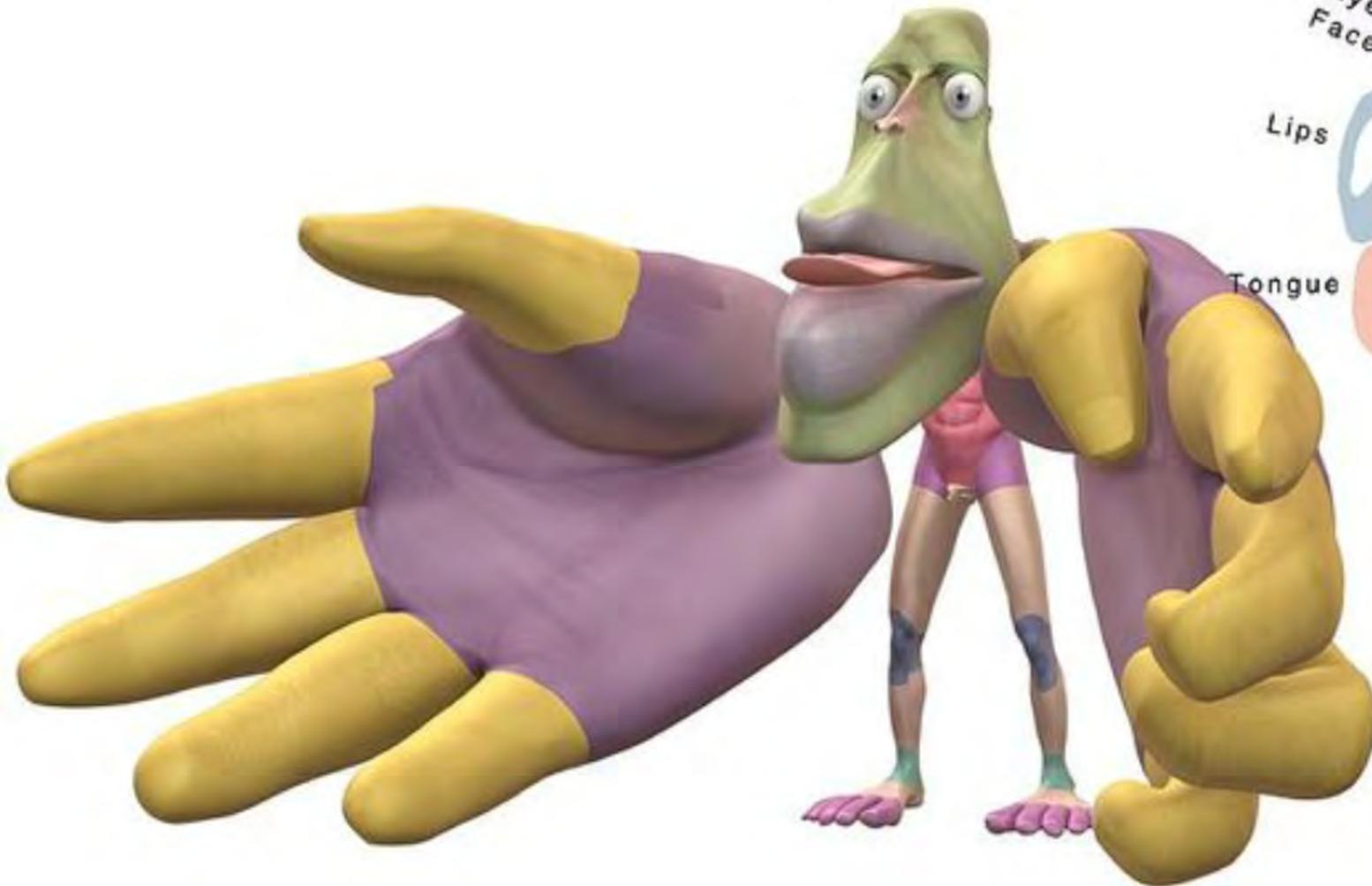
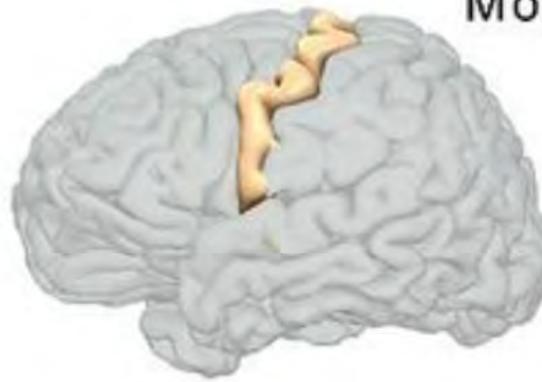
**Output: Motor cortex**  
(Left hemisphere section controls the body's right side)



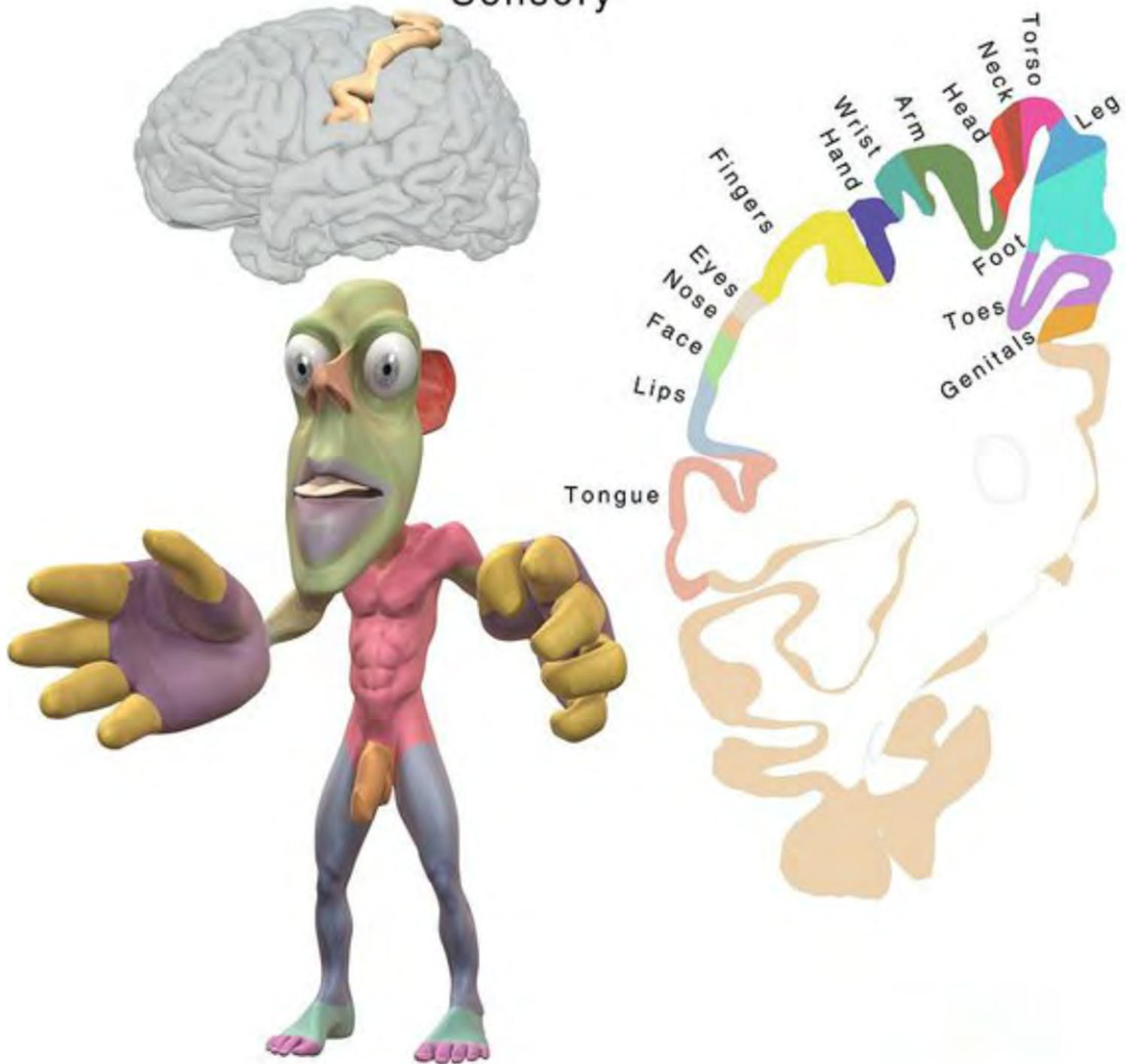
**Input: Sensory cortex**  
(Left hemisphere section receives input from the body's right side)

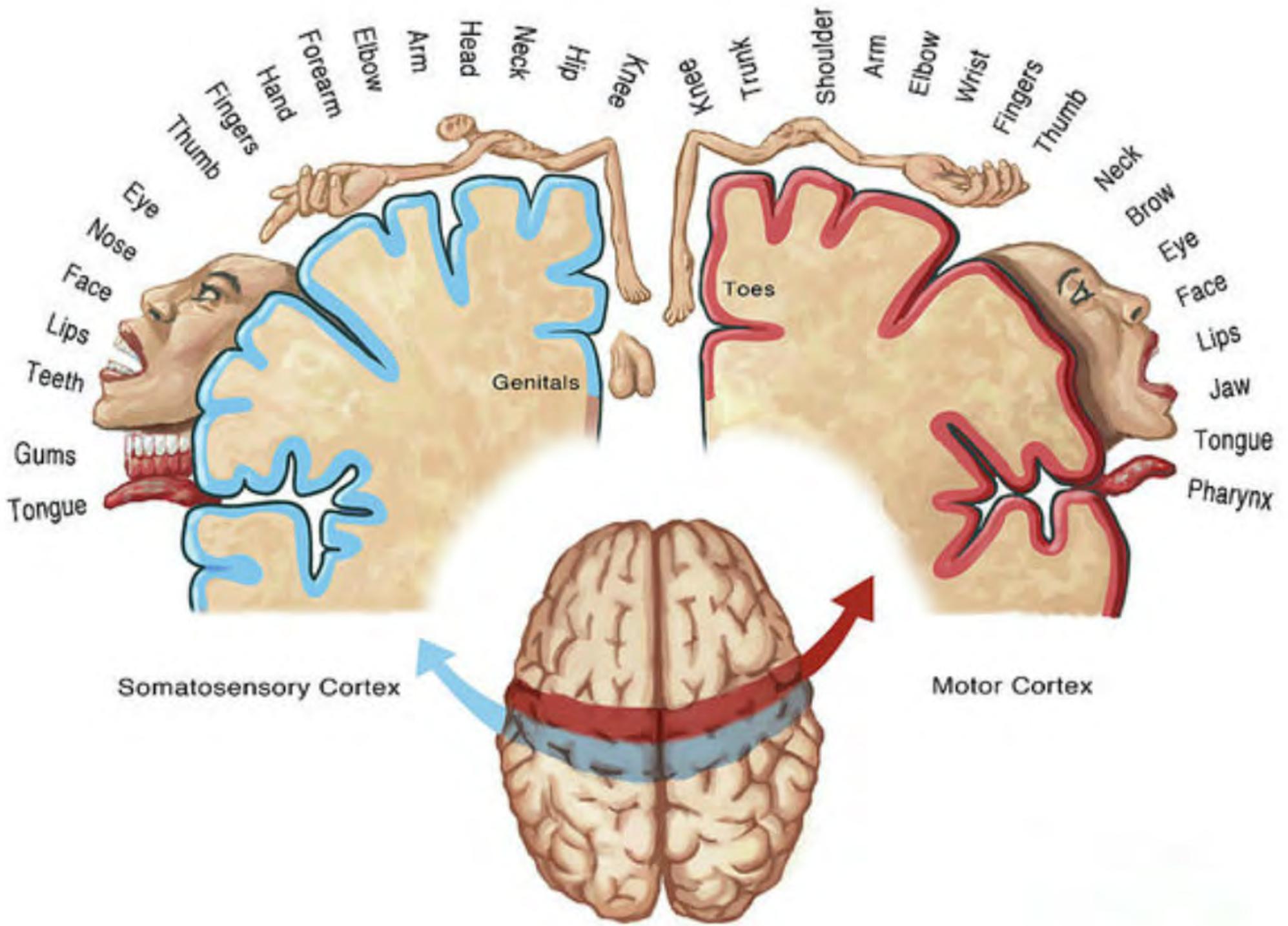


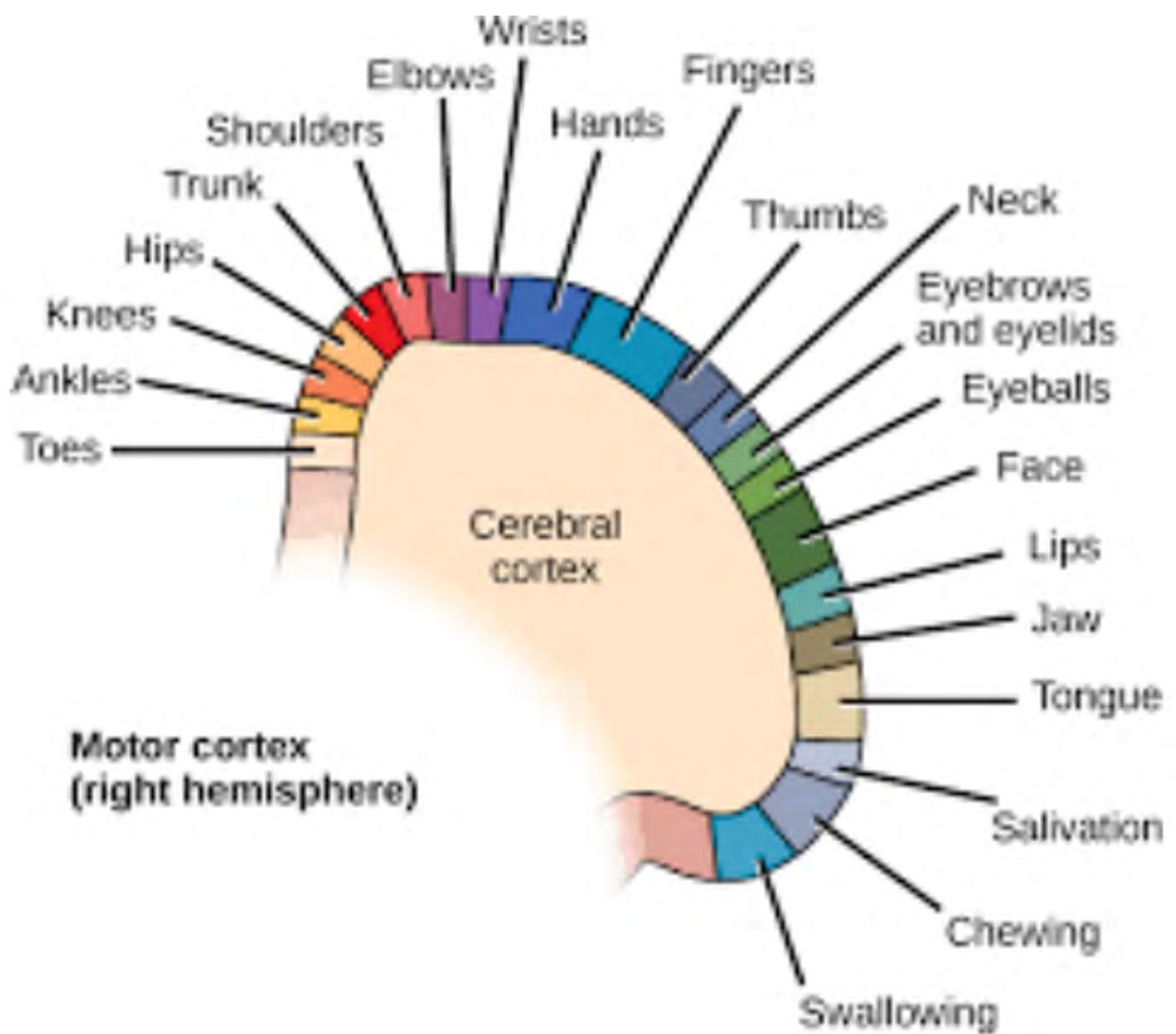
Motor



# Sensory

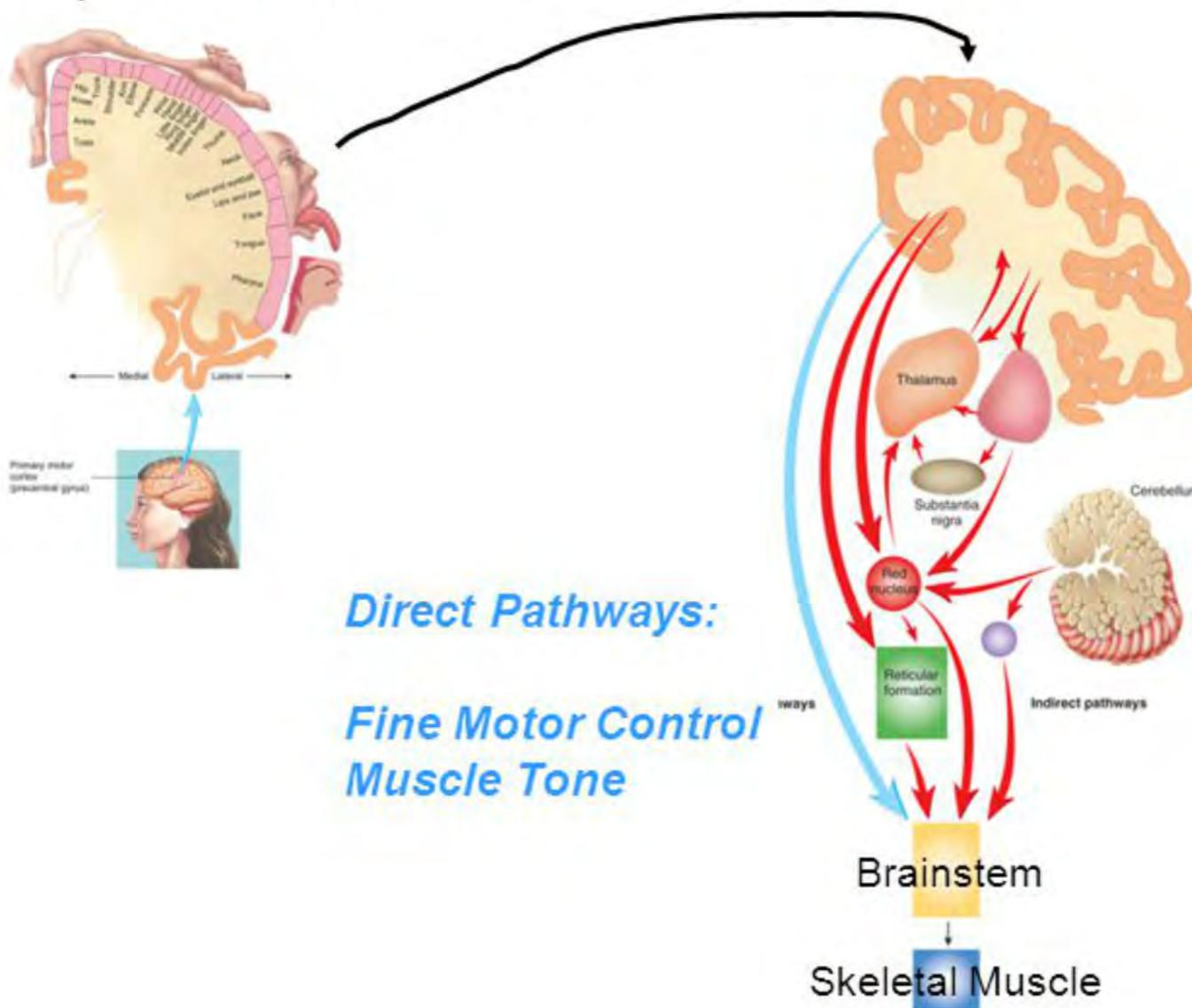






# Somatic Motor Pathways

Primary Motor Cortex

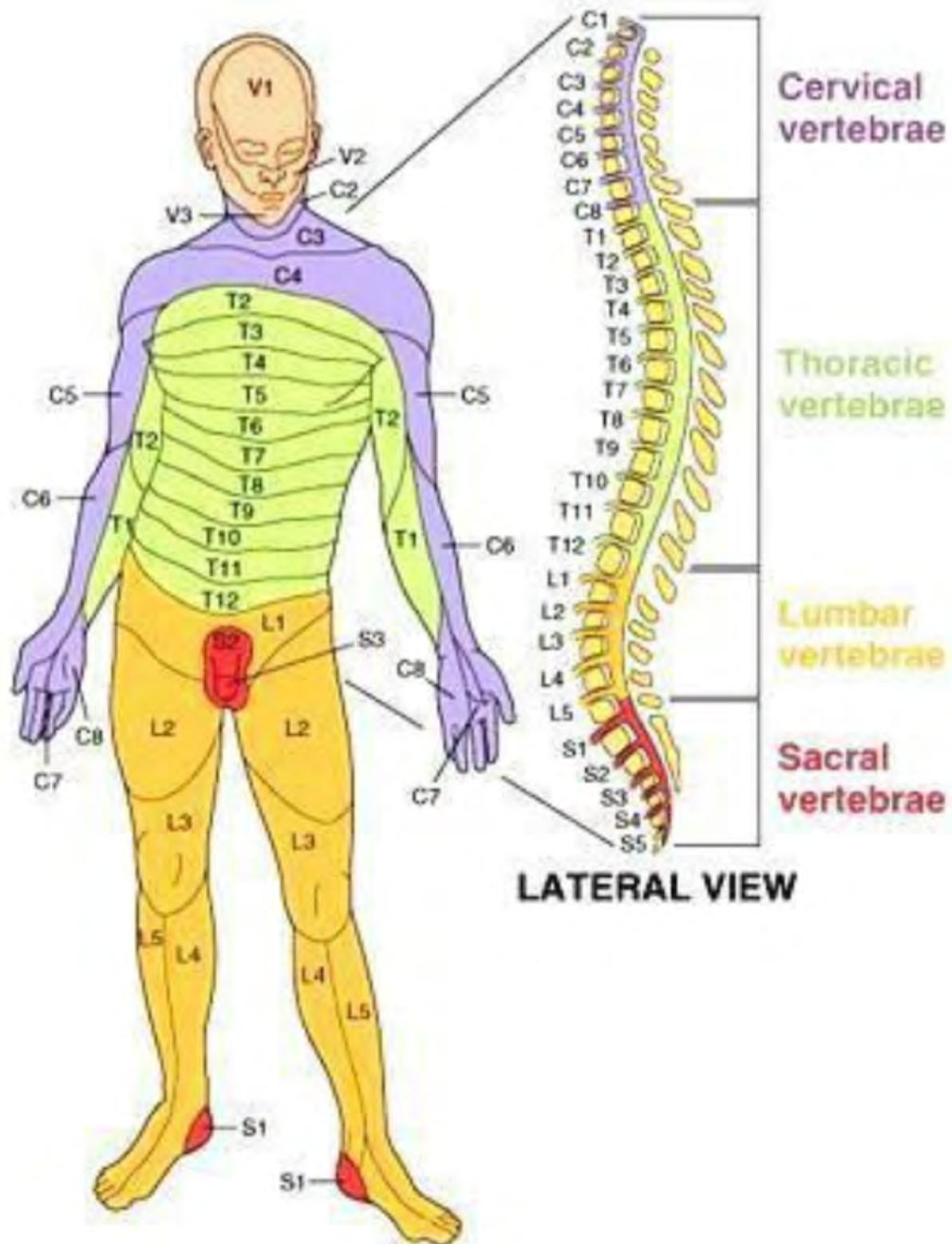


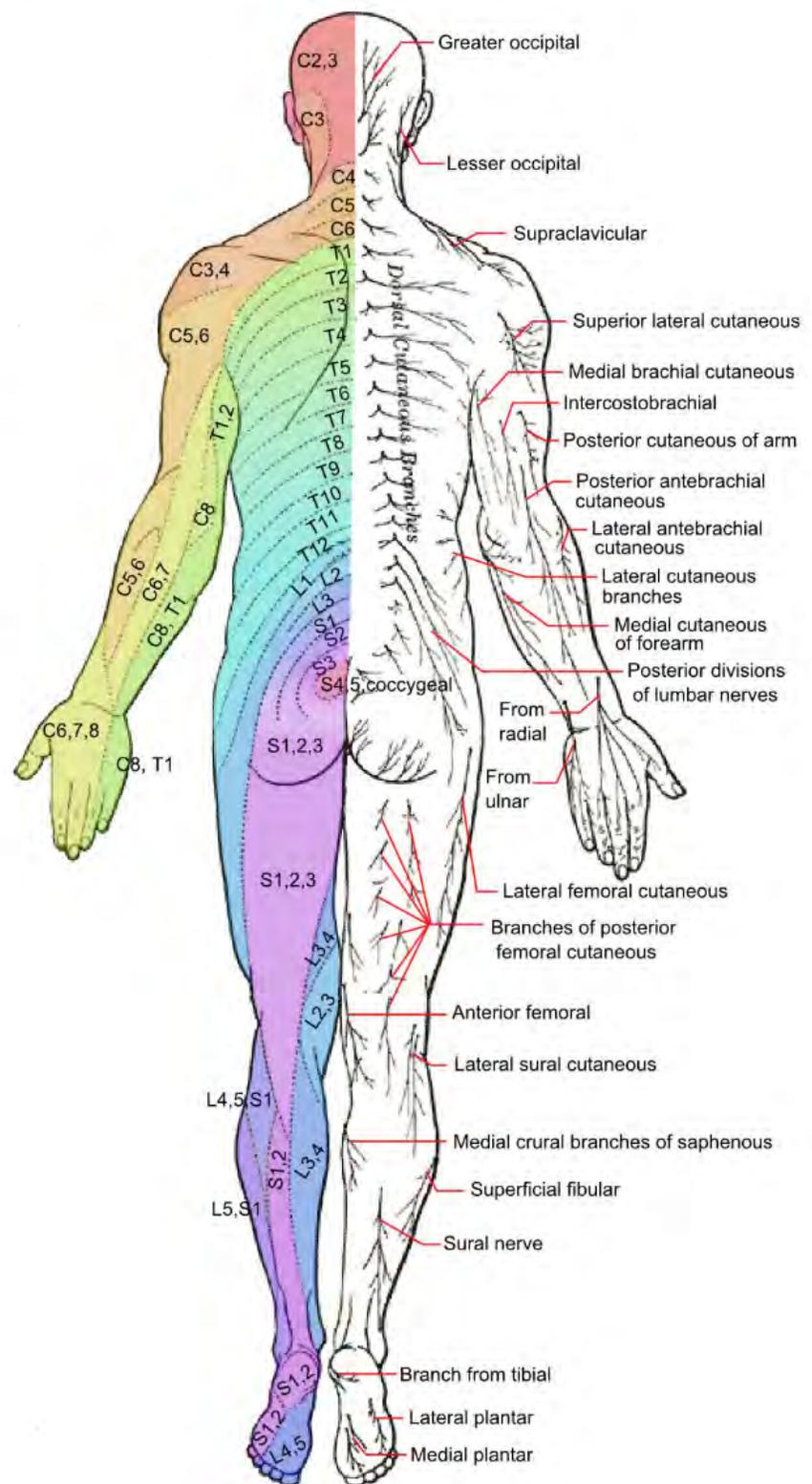
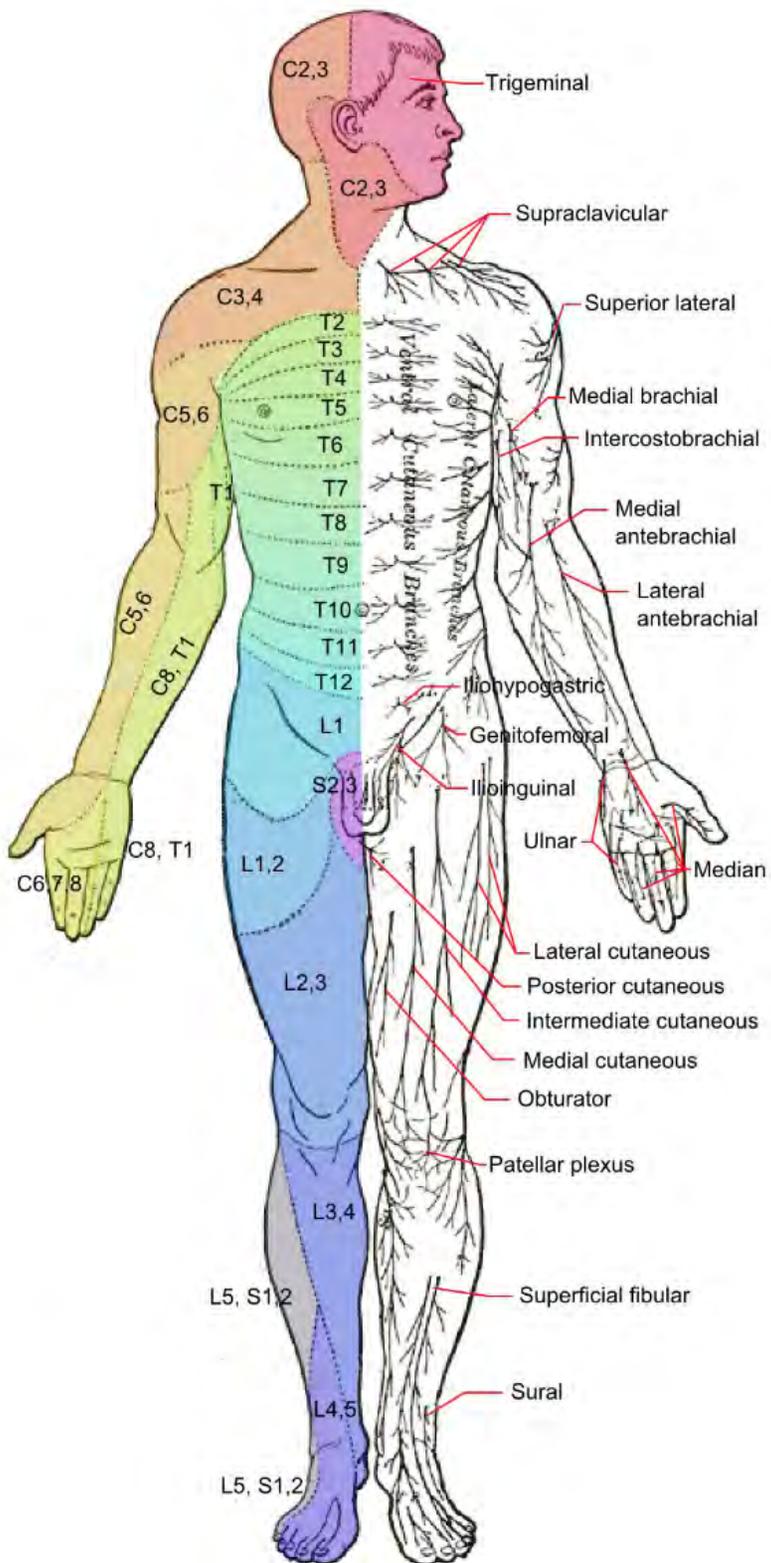
*Direct Pathways:*

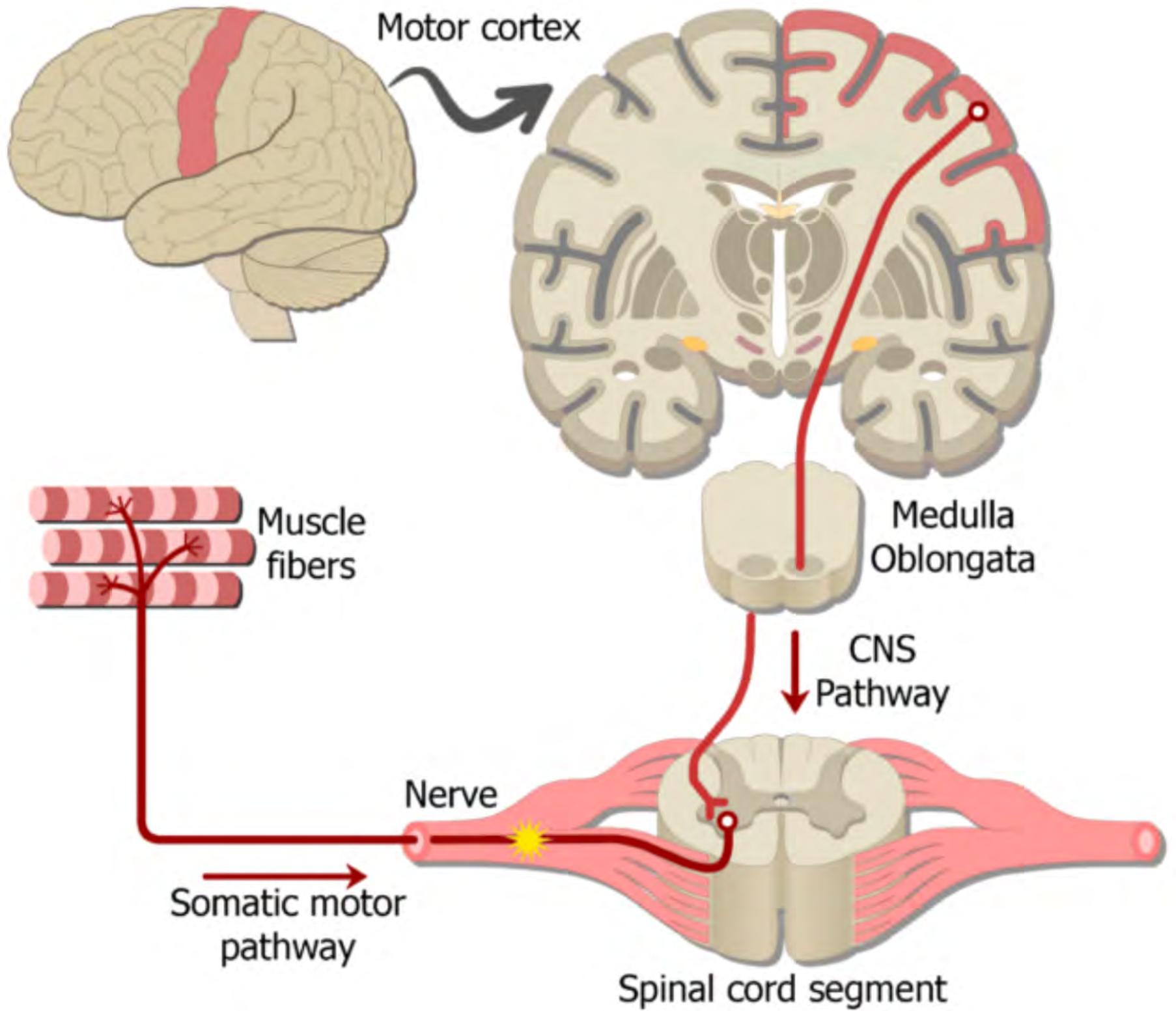
*Fine Motor Control  
Muscle Tone*

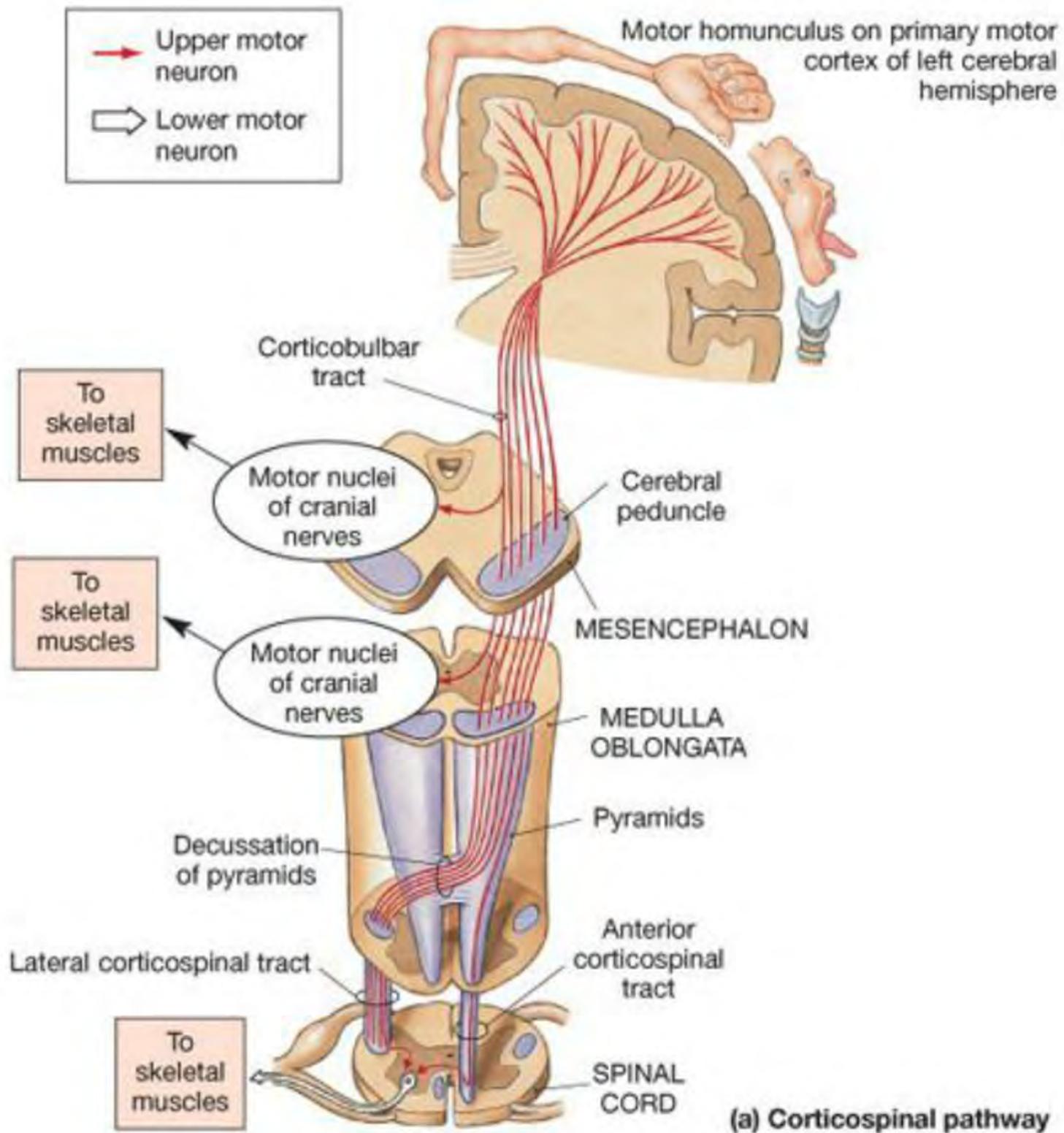
*Indirect Pathways:*

*Posture  
Positioning  
Coordination*

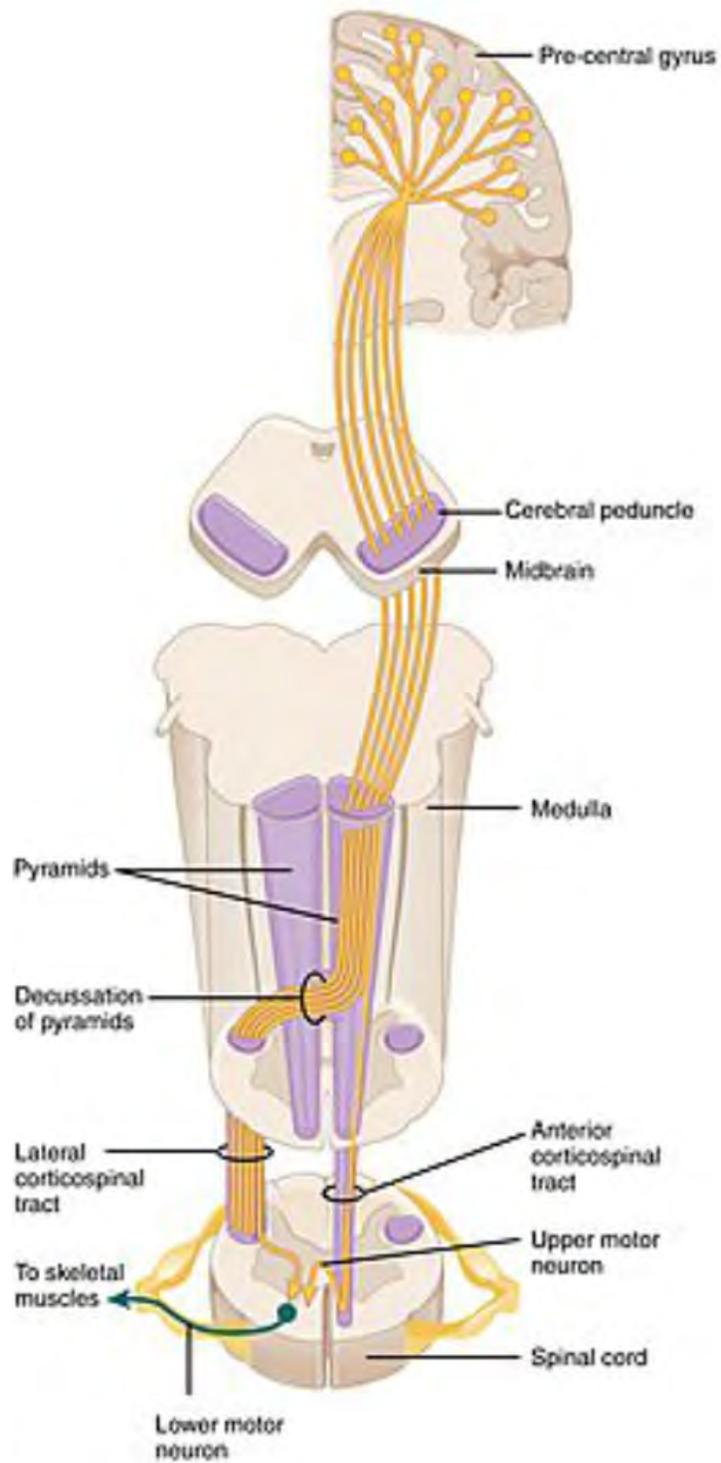








(a) Corticospinal pathway

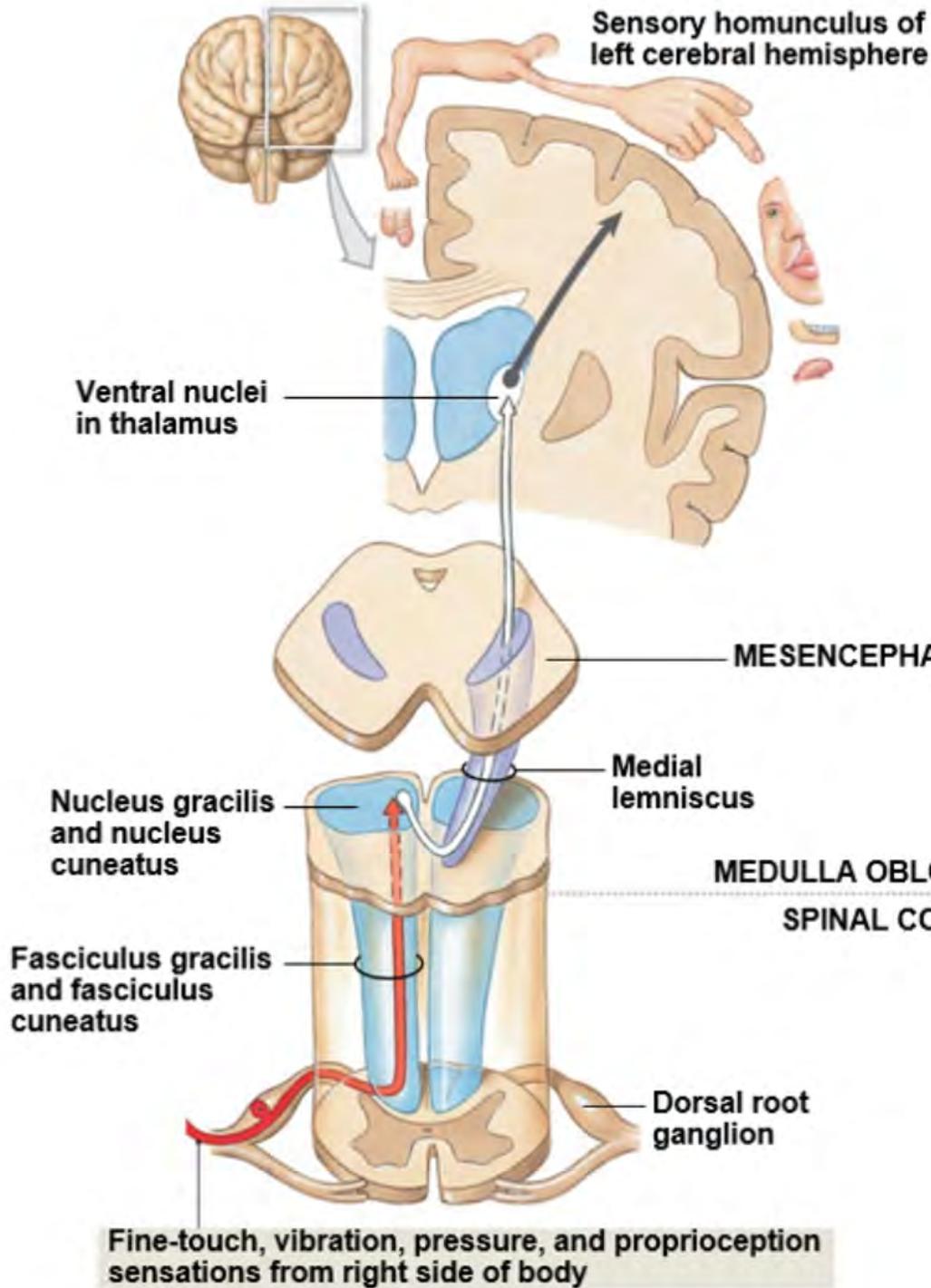


**Key**

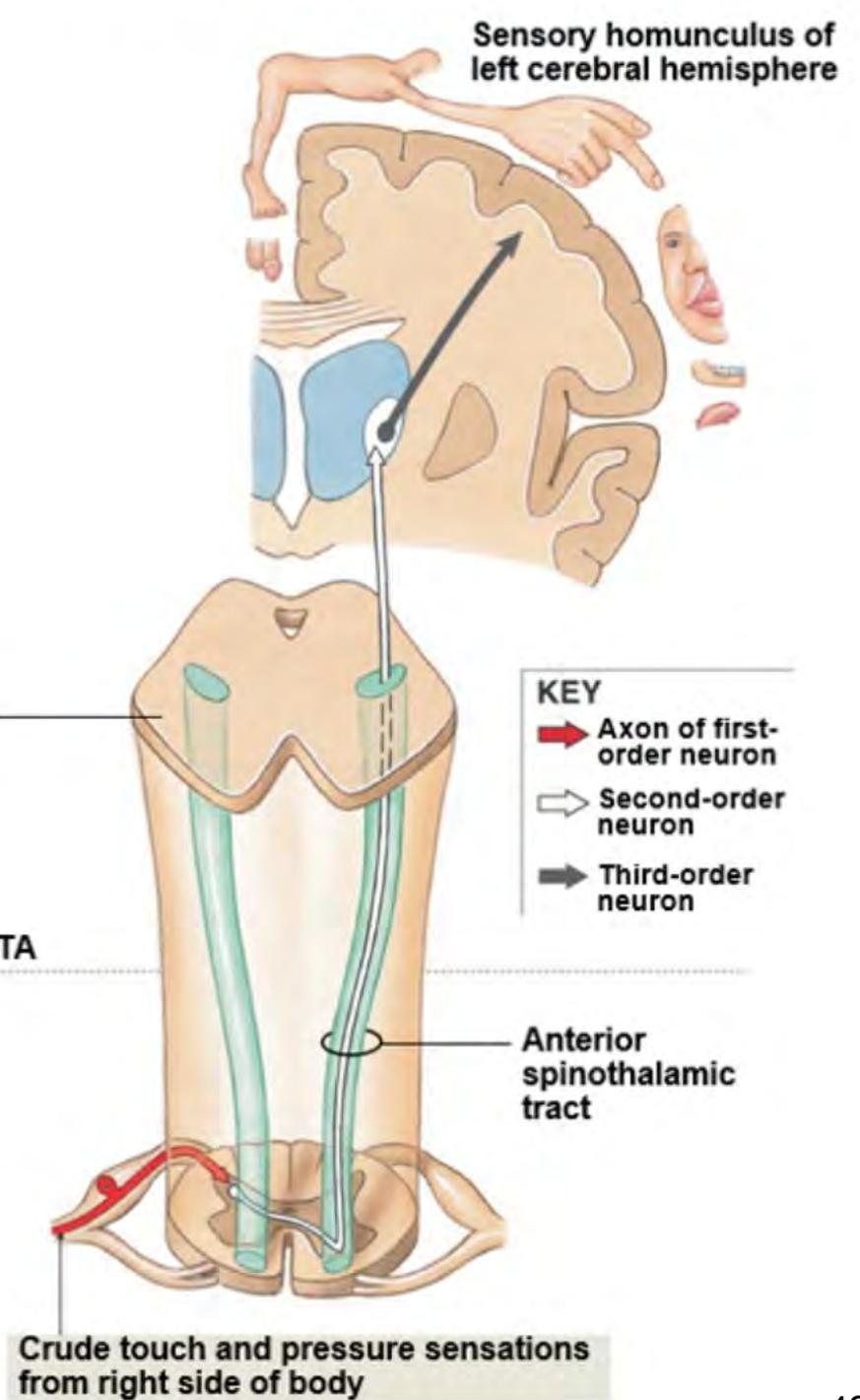
→ Upper motor neuron

→ Lower motor neuron

# Posterior column pathway



# Anterior spinothalamic tract



# The Corticospinal Pathways

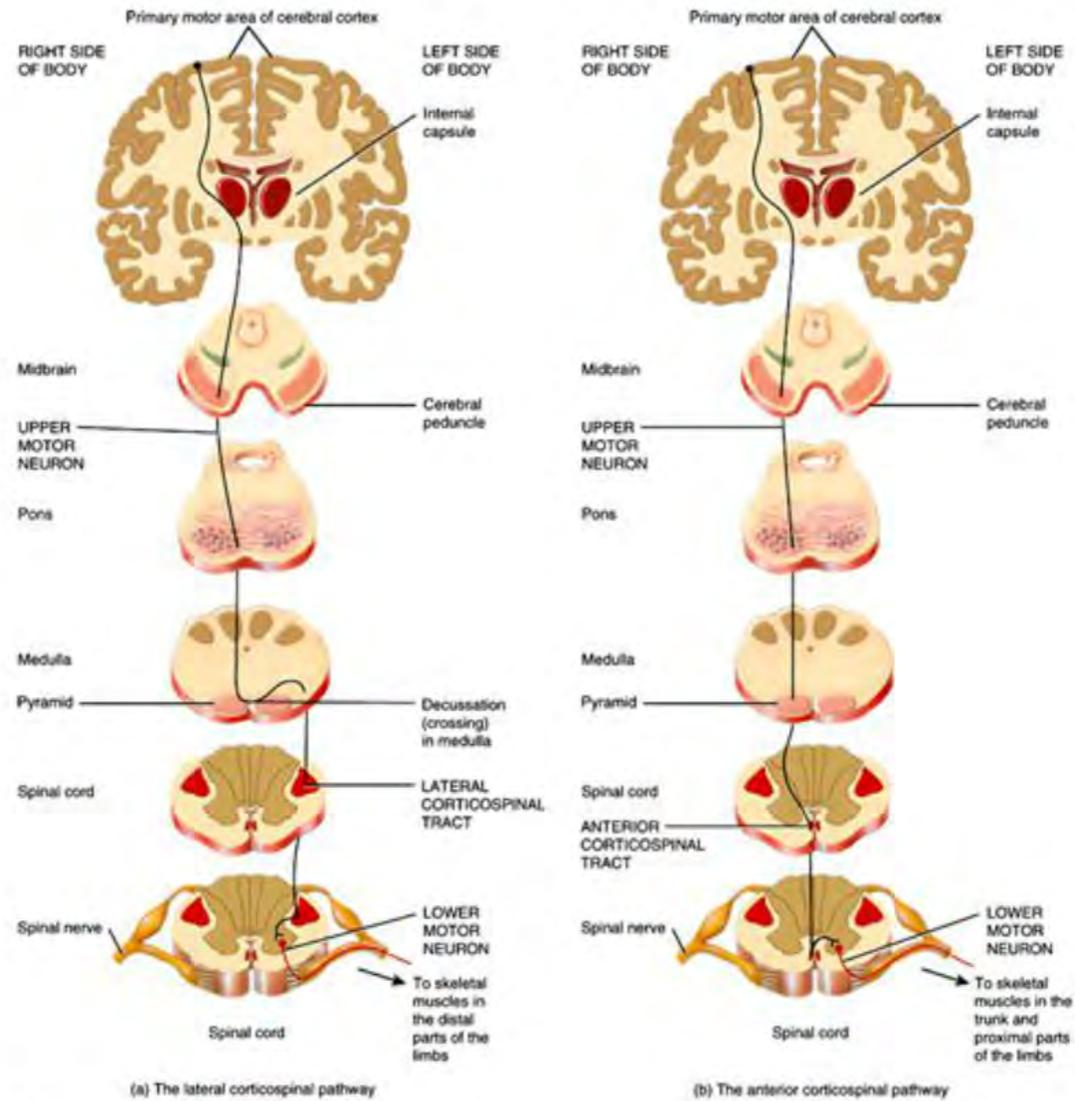
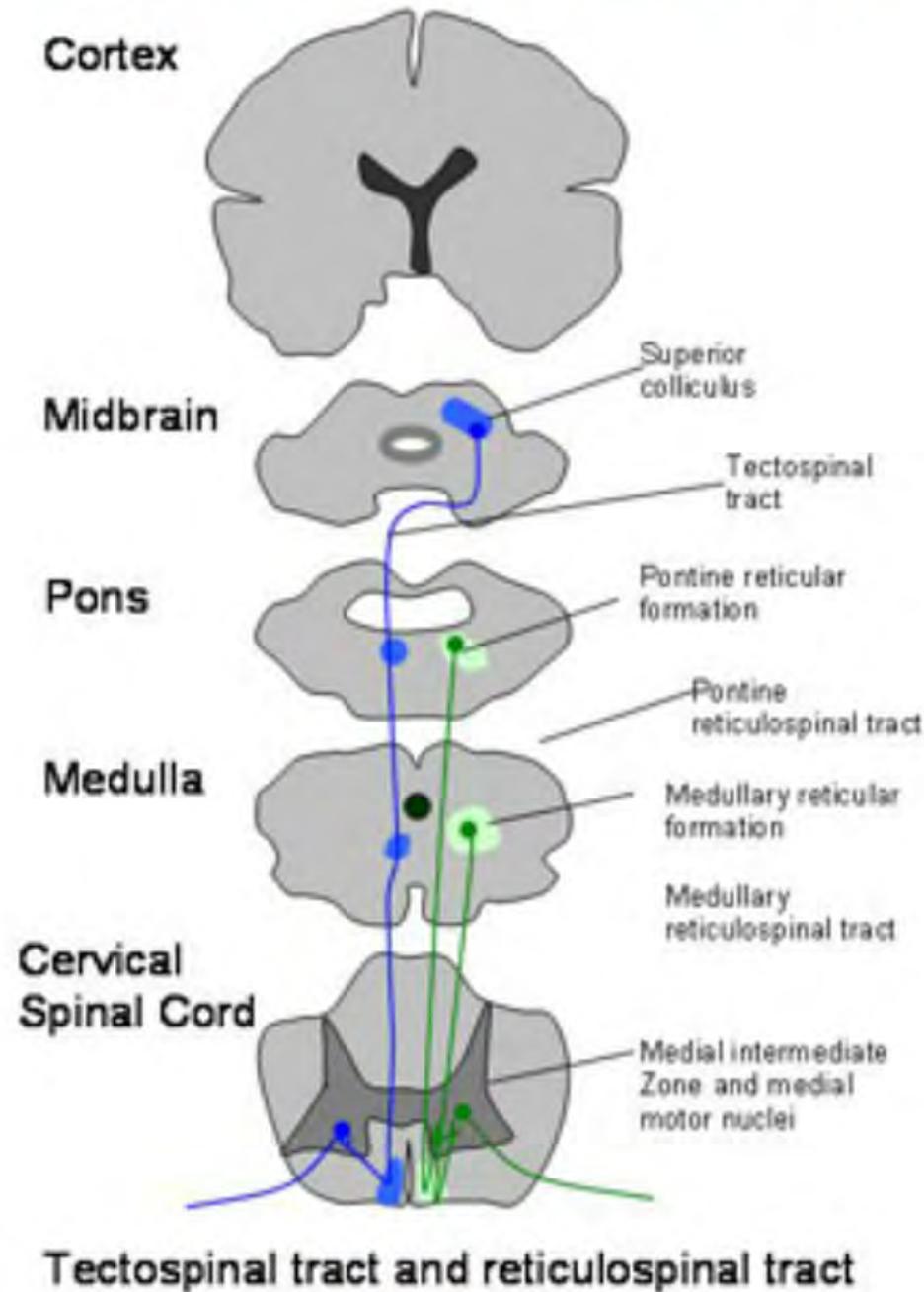
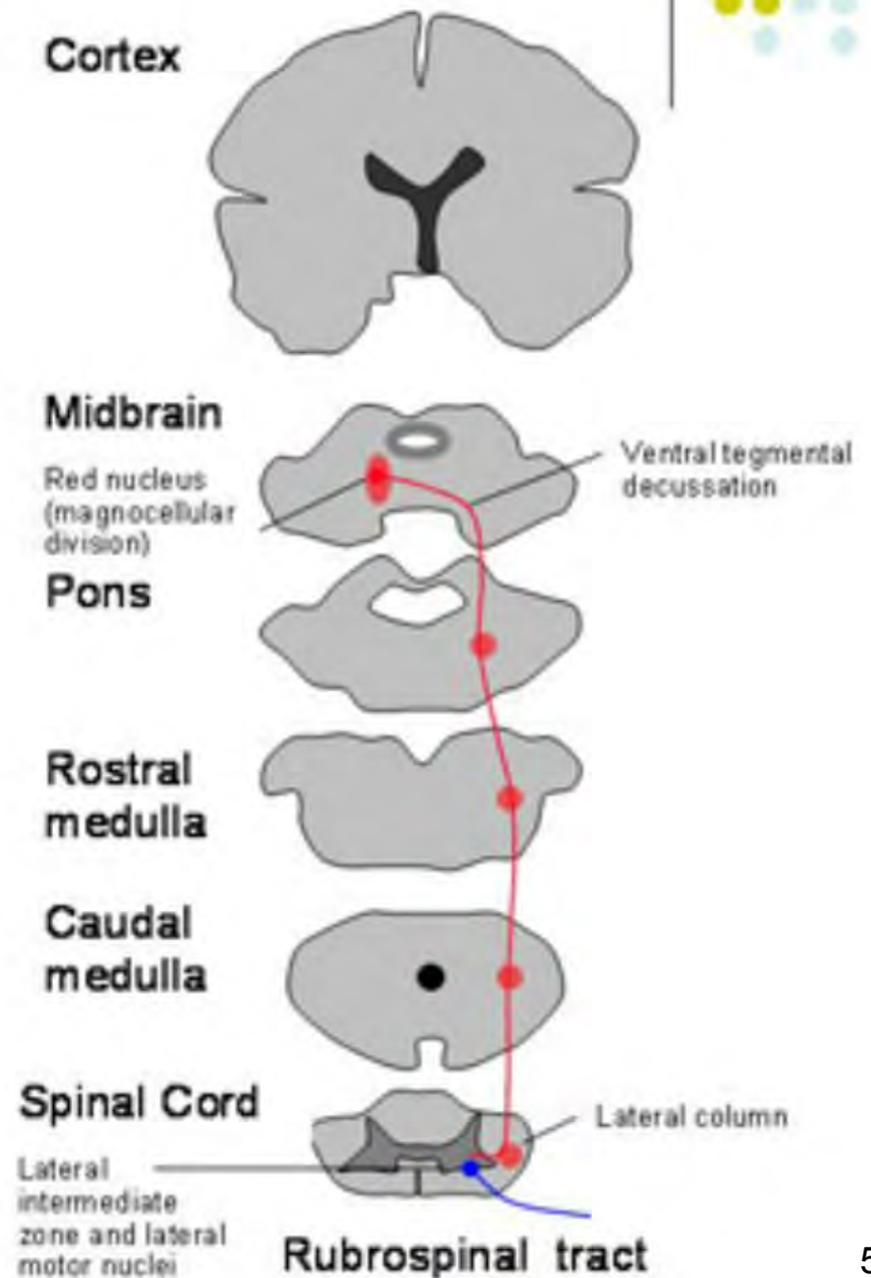
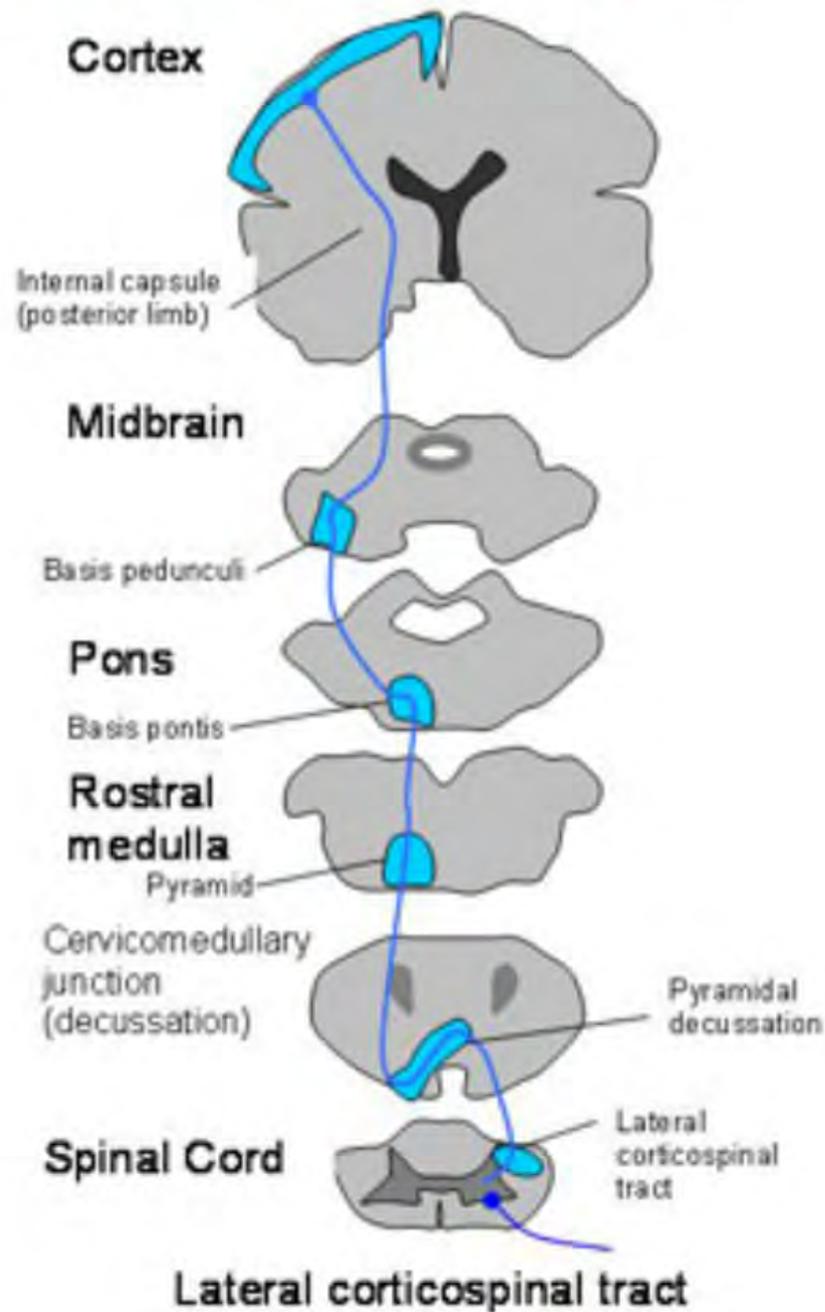


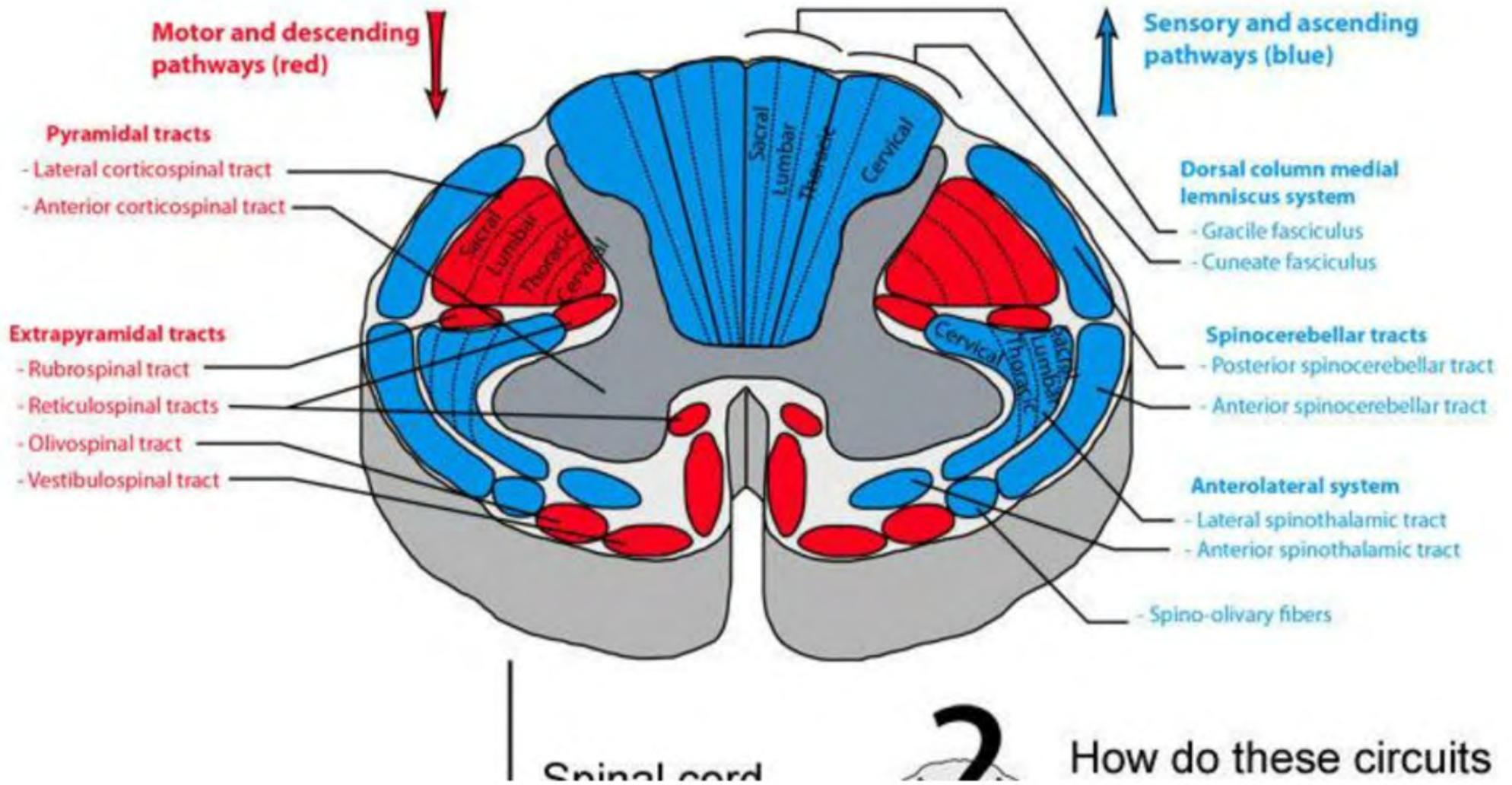
Figure 16.10 Tortora - PAP 12/e  
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

# Descending Motor Pathways

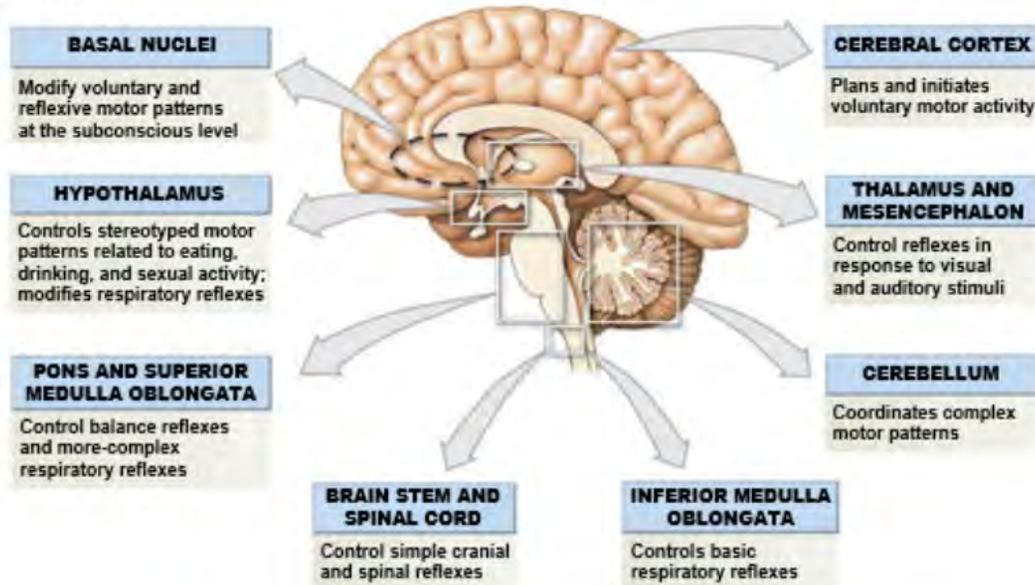


# Descending Motor Pathways

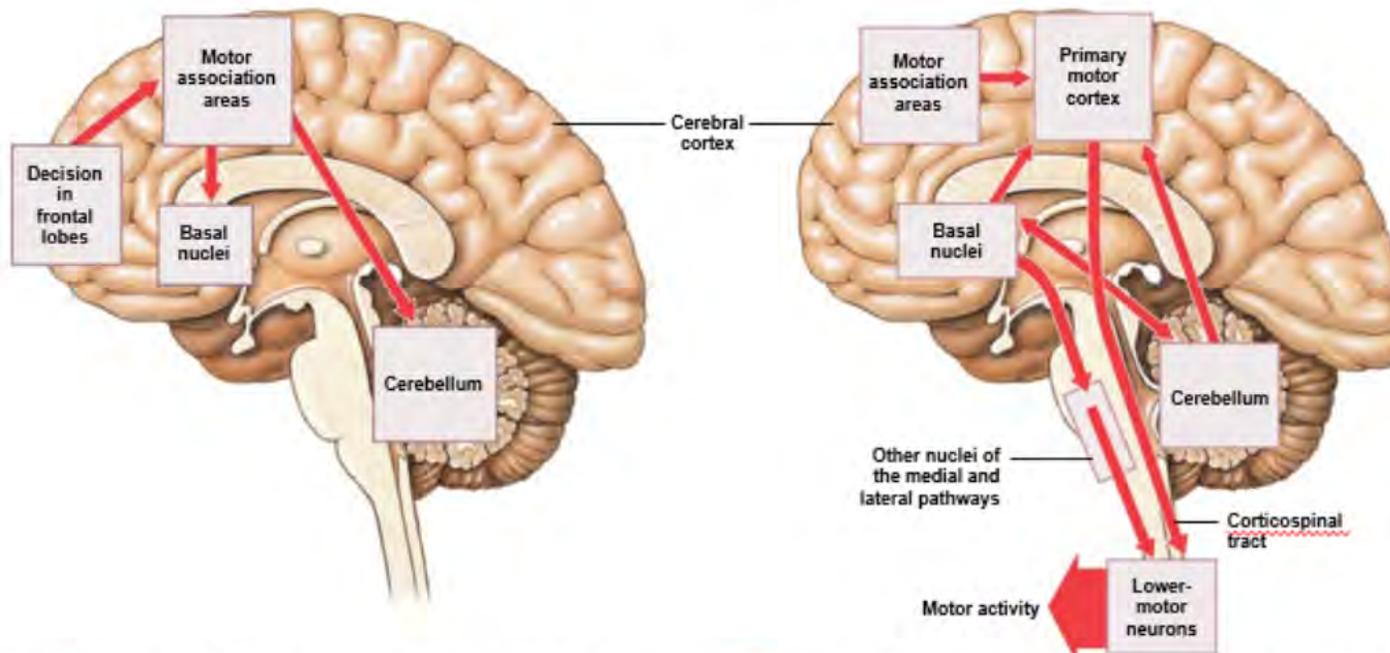




## Somatic Motor Control

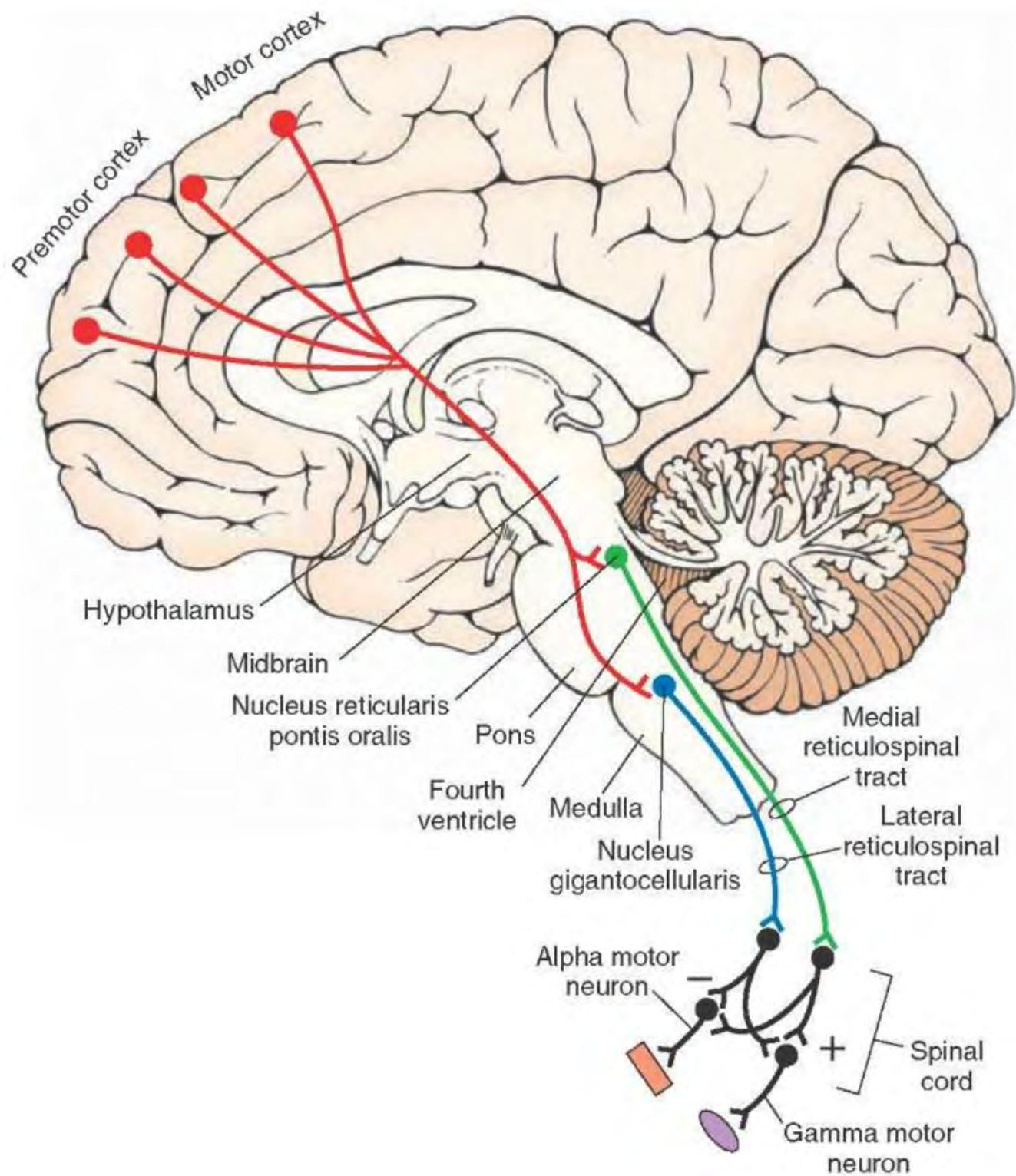


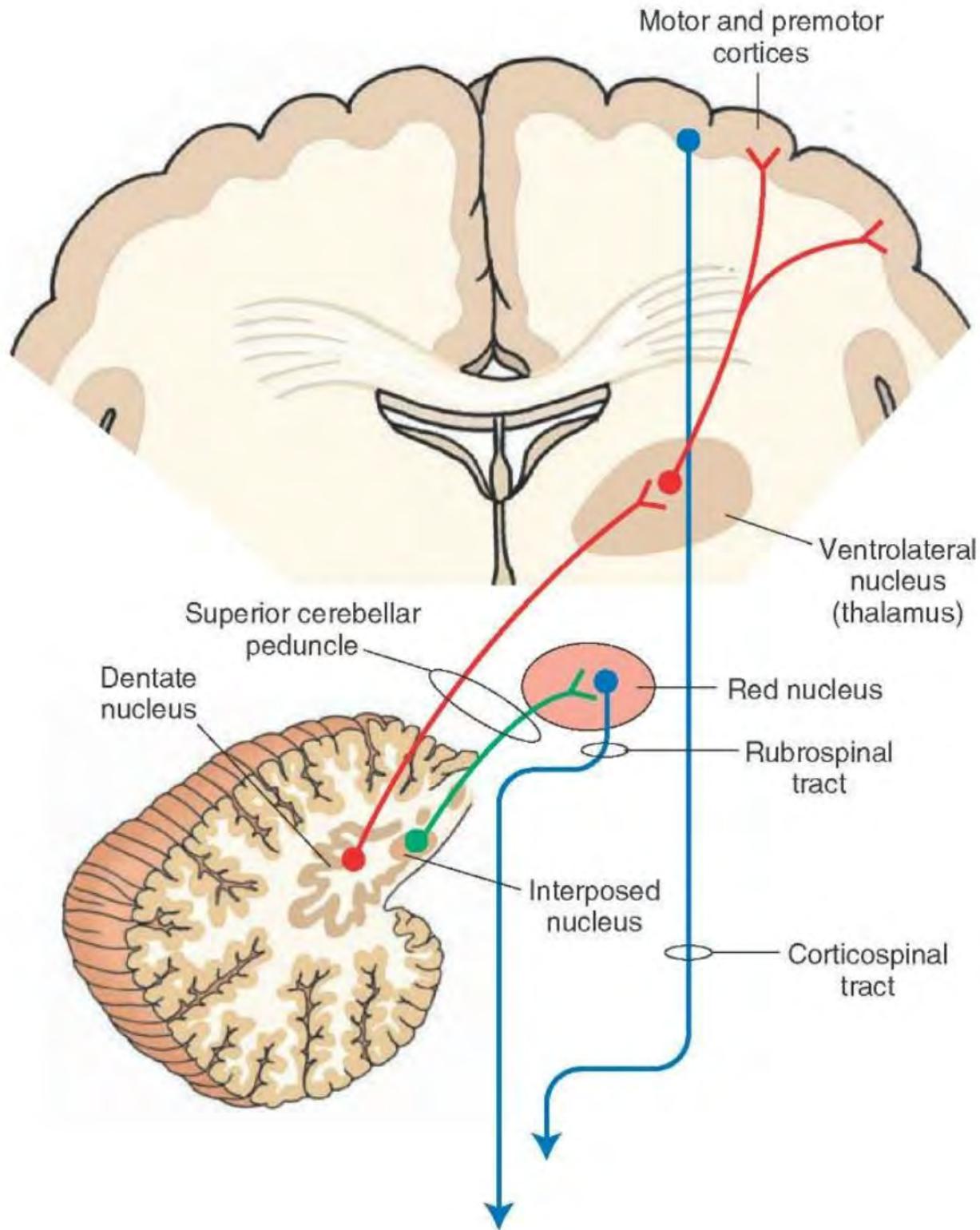
**a** Somatic motor control involves a series of levels, with simple spinal and cranial reflexes at the bottom and complex voluntary motor patterns at the top.

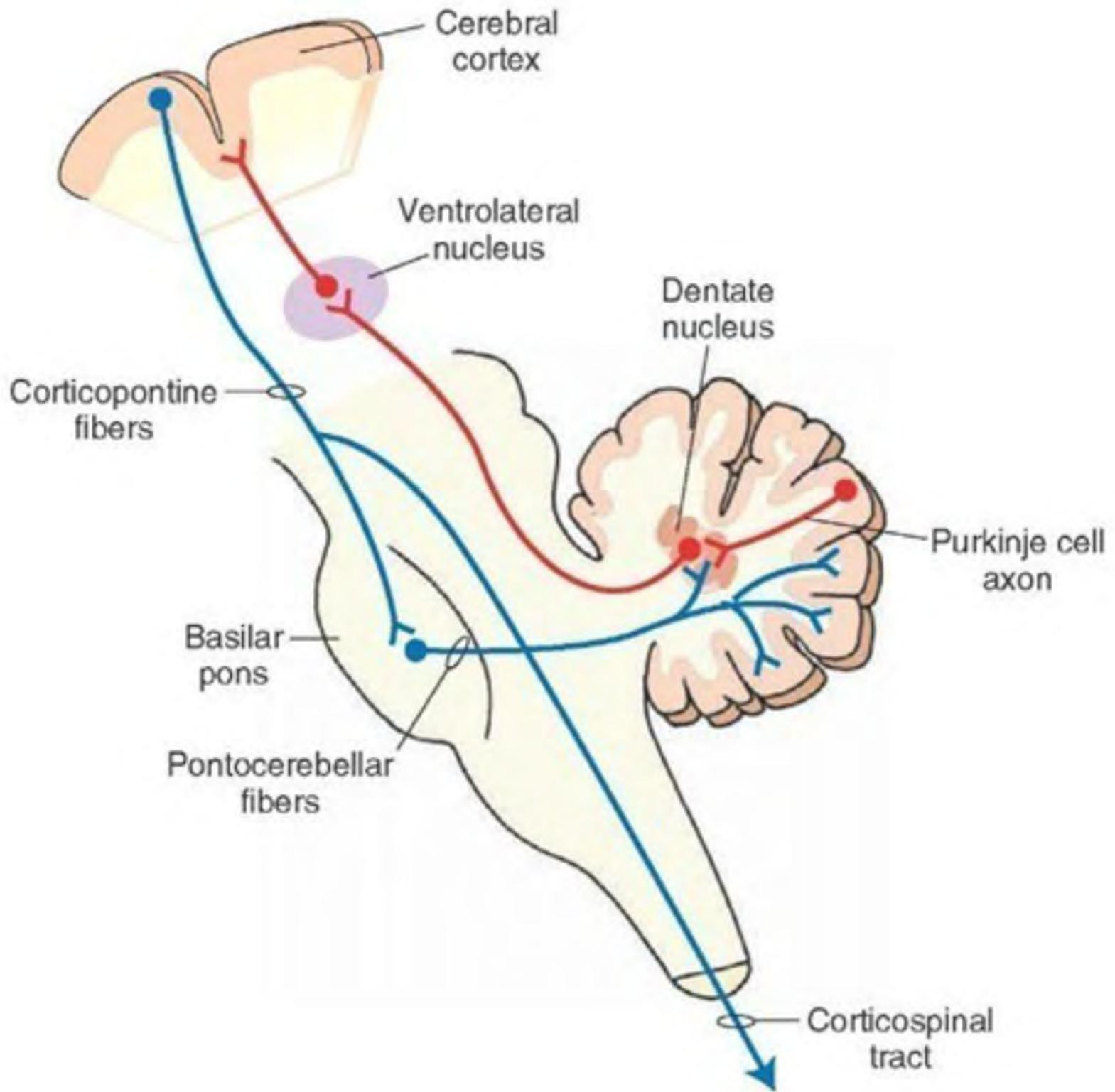


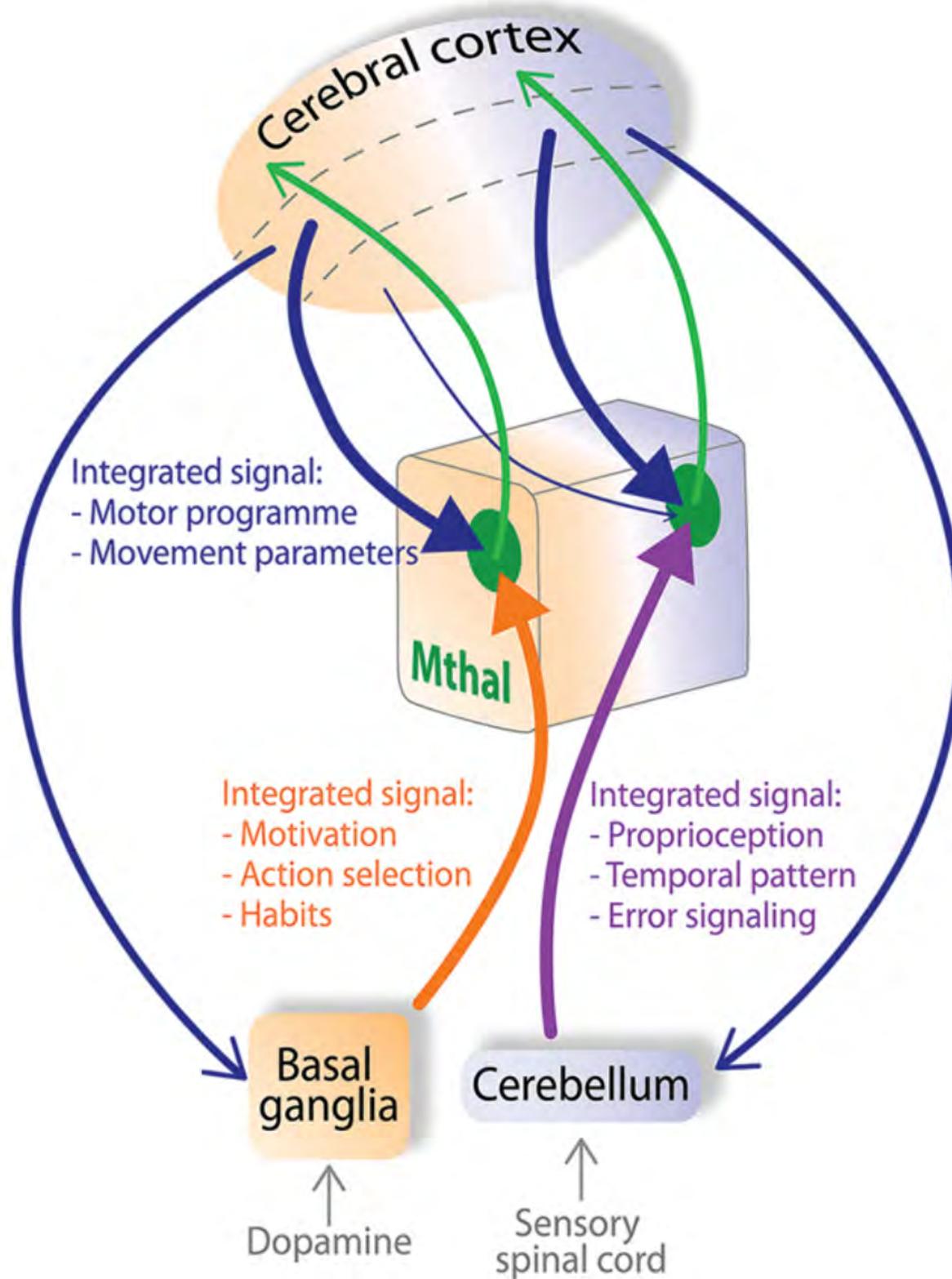
**b** The planning stage: When a conscious decision is made to perform a specific movement, information is relayed from the frontal lobes to motor association areas. These areas in turn relay the information to the cerebellum and basal nuclei.

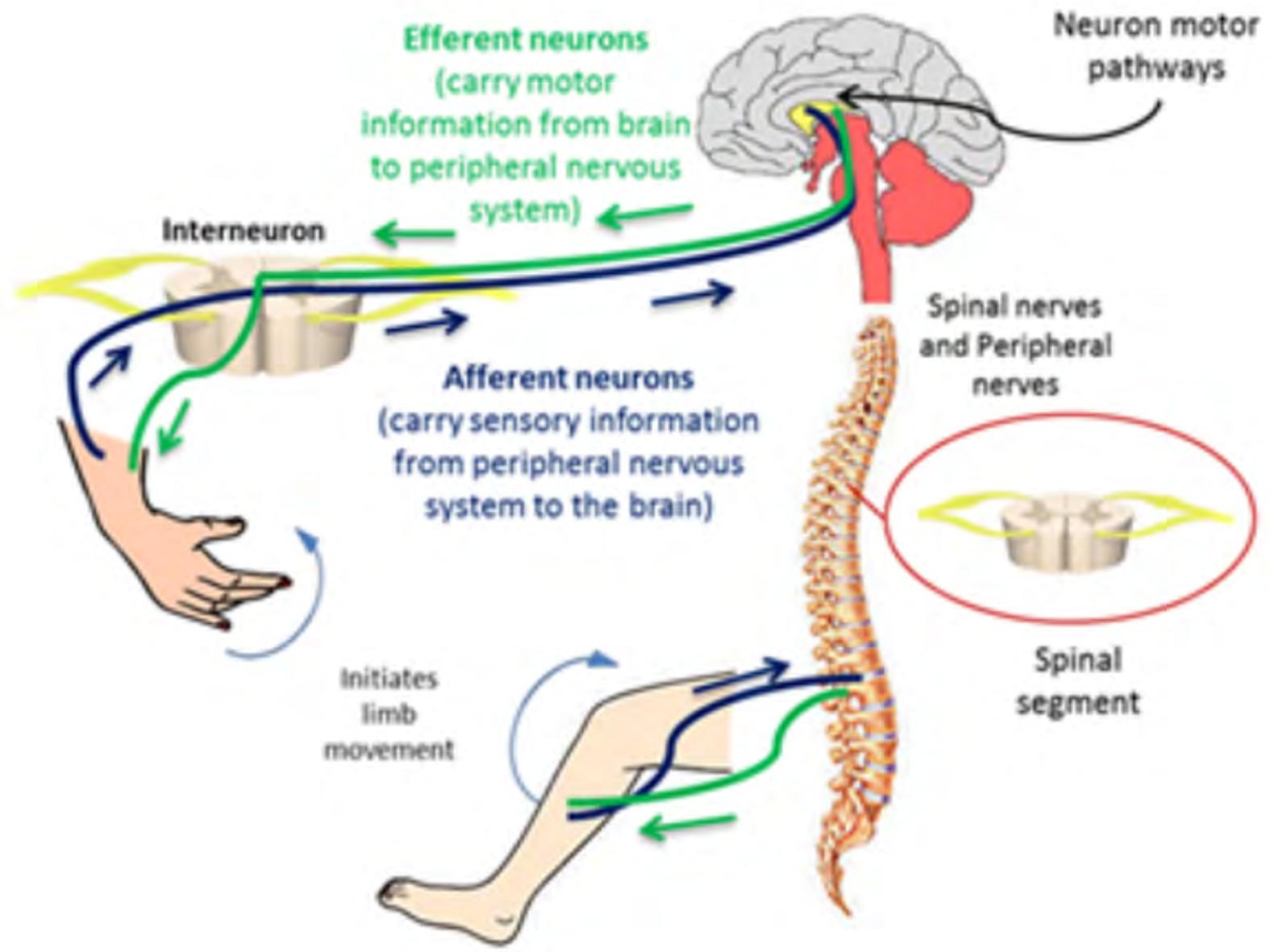
**c** Movement: As the movement begins, the motor association areas send instructions to the primary motor cortex. Feedback from the basal nuclei and cerebellum modifies those commands, and output along the conscious and subconscious pathways directs involuntary adjustments in position and muscle tone.

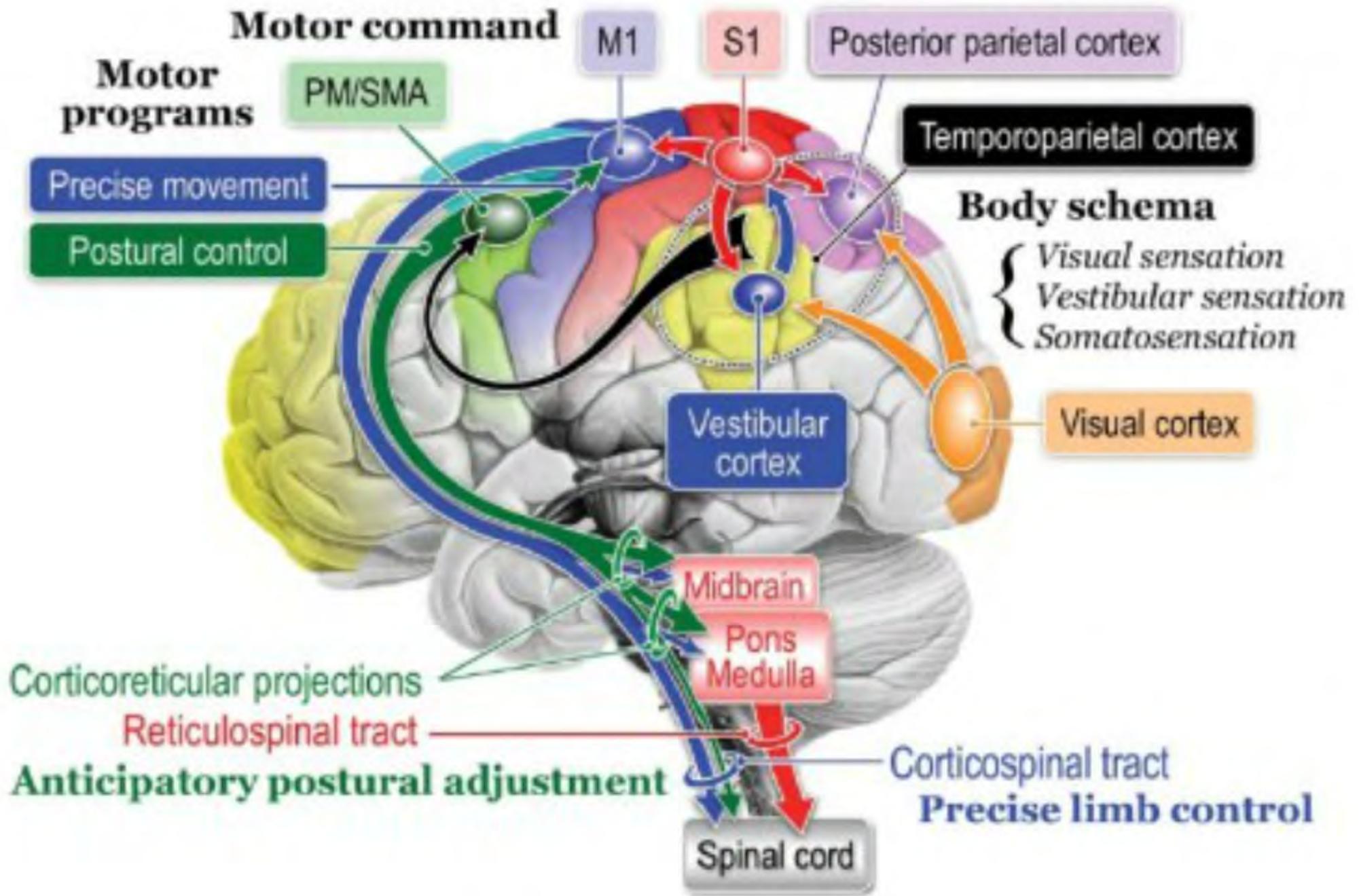












SNC + SNP

Sistema coordinato e complesso

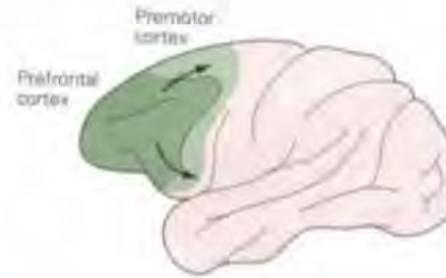
Governato da azioni su base riflessa ed automatica

Dipende da processi decisionali che coinvolgono stati cognitivi ed emozionali

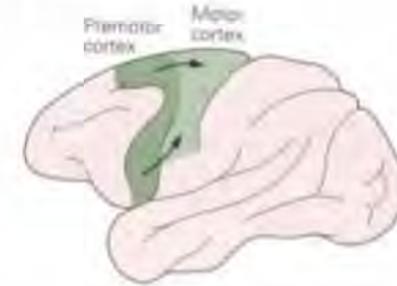
Aggiustamenti Posturali Compensatori (APC) +  
Aggiustamenti Posturali Anticipatori (APA)

- controllo a feedback
- se la perturbazione ambientale è imprevedibile
- dipendono da informazioni sensoriali derivanti dall'occhio, vestibolo, recettori muscolari e meccanocettori legamentosi e fasciali

A Motor planning



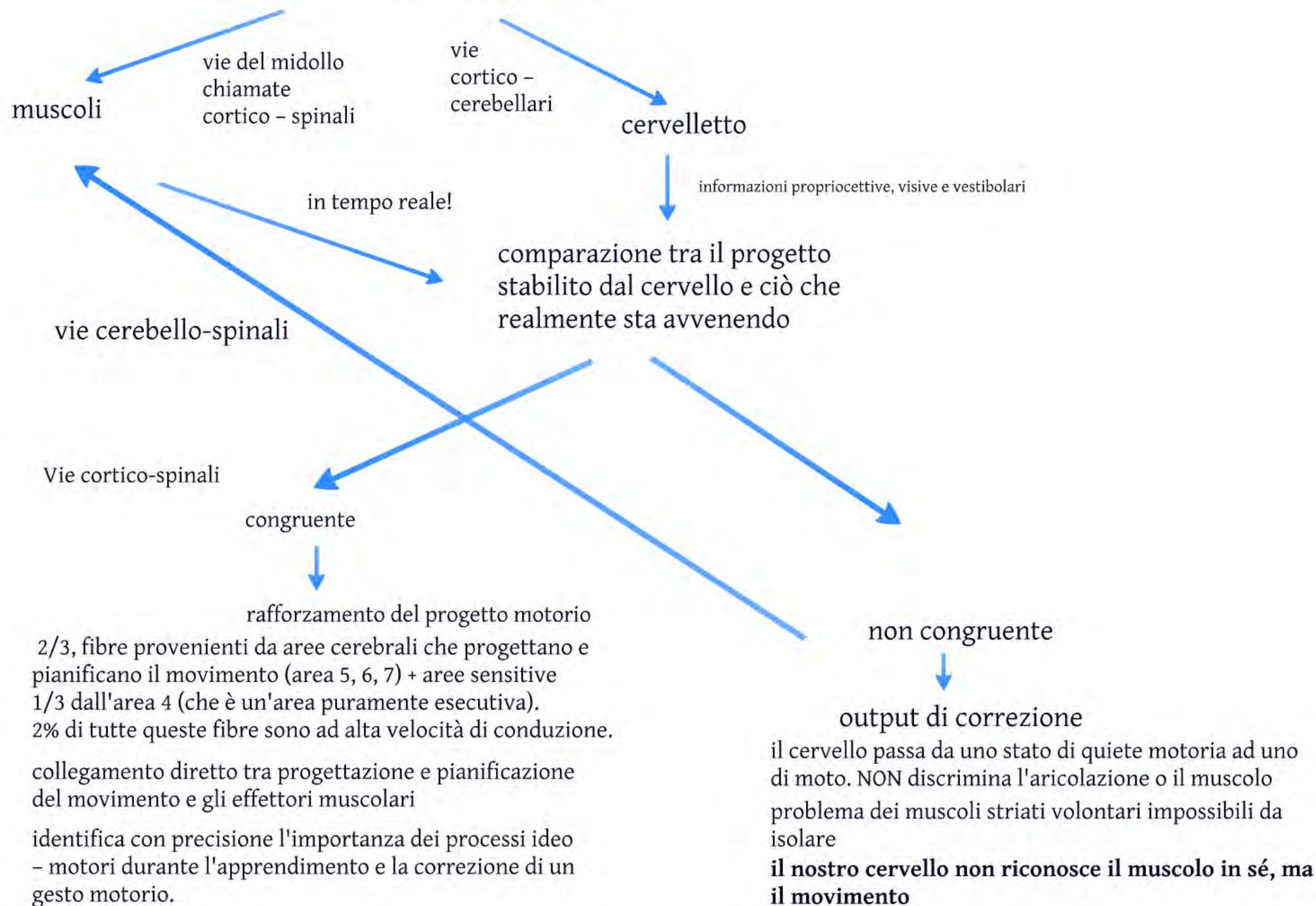
B Motor programs



sistemi che lavorano sinergicamente, non possono essere separati e sono allenabili

- controllo a feedforward
- se la perturbazione ambientale è prevedibile
- sono aggiustamenti muscolari che avvengono 150 – 300 msec prima dell'inizio di un movimento
- processamento delle informazioni relative alle caratteristiche fisiche e del moto della perturbazione, come velocità, direzione, stima delle dimensioni e peso.
- processamento delle informazioni relative a postura iniziale prima del movimento

## Il cervello invia il progetto motorio



"...un muscolo può essere sempre attivato dalla stimolazione di siti corticali diversi e ciò dimostra che ad ogni muscolo si proiettano neuroni di più siti corticali. Inoltre, la maggior parte degli stimoli attivano più muscoli, mentre l'attivazione dei singoli muscoli si osserva solo raramente" J. Krakauer e C. Ghez cit. da Alessandria M.

SNC è adattato a finalizzare ogni forma di movimento e ad immagazzinare una quantità variabile di schemi motori modificabili dall'esperienza grazie alla plasticità neuronale.

L'azione muscolare non rappresenta la porta d'accesso verso l'apprendimento e la correzione di un gesto motorio.

Quest'aspetto è tanto più vero quanto ci si avvicina ad **atleti già molto ben condizionati** e che si trovino a dover affrontare un percorso di revisione della propria tecnica, o in **atleti principianti** dove il condizionamento muscolare deve essere pensato per lo sviluppo delle capacità condizionali ma non per l'apprendimento tecnico.

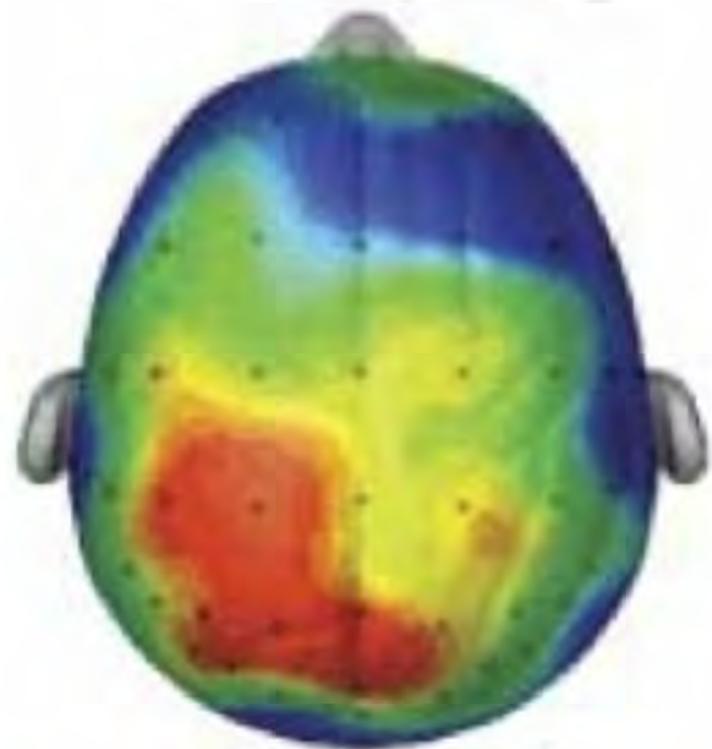
**Le metodiche più efficaci per stimolare i processi summenzionati con l'obiettivo di organizzare o riorganizzare il movimento sono la destabilizzazione del sistema attraverso training propriocettivi, visualizzazioni mentali del gesto motorio, biofeedback, apprendimento imitativo (importanza "del saper fare" da parte dell'istruttore/trainer/maestro) uniti al coinvolgimento dei differenti recettori.**

## **Cognitive Effects of Exercise in Preadolescent Children**

*Average composite of 20 students' brains taking the same test after sitting quietly or taking 20 minute walk*



**Brain after sitting quietly**



**Brain after 20 minute walk**

*Source: Derived from research by Dr. C.H. Hillman, University of Illinois at Urbana, Champaign, Urbana, IL (2009).*

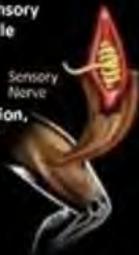
# HOW SIMONE BILES KEEPS HER BALANCE

Four-time Gold Medal Olympian Simone Biles is one of the most-decorated gymnasts in history. What is the secret to her amazing agility? Like all of us, Biles is hardwired to make split-second adjustments that keep her from falling. Here's an analysis of her remarkable balance.



## SENSING HER LIMBS

As Biles moves, sensory nerves in her muscle fibers monitor the position of her arms and legs. Called Proprioception, this is essential for coordinating muscles that flex and extend limbs, studies of mice suggest.



## GRIPPING THE BEAM

To feel the beam, Biles relies on sensory nerves in her skin. They send touch information to cells in the spine called interneurons. Interneurons help animals grip objects by talking to motor nerves that control muscles.



## MEASURING ACCELERATION

When Biles flips, fluid-filled tubes in the inner ear track the movement of her head. This Vestibular system is no more sensitive in gymnasts than it is in other people, according to a recent study, implying that reaction to balance matters most.



## STICKING THE LANDING

In preparation for landing, Biles tracks the beam with her eyes. This information passes through the visual cortex in the back of her brain and is integrated with commands to her muscles to achieve the perfect touchdown.



## CORRECTING MOVEMENTS

Throughout Biles' routine, her brain uses information from the senses to make small, split-second adjustments that keep her balanced. Different cells in the vestibular nucleus handle different adjustments, studies of mice suggest.



connessioni nervose tra la corteccia e il midollo spinale erano più forti nelle ginnaste rispetto alle non ginnaste

maggior connettività nelle regioni del cervello responsabili delle funzioni sensoriali e motorie, nonché dei sistemi attenzionali

maggior efficienza in diverse regioni del cervello che corrispondono a funzioni motorie e di attenzione.

gli adattamenti neuroanatomici ... si verificano nelle reti anatomiche del cervello delle ginnaste o in risposta a un allenamento intensivo a lungo termine o come una predisposizione innata o entrambi

plasticità cerebrale, cioè la capacità del cervello di apprendere riorganizzando il proprio cablaggio e fortificando alcune connessioni durante la pratica.

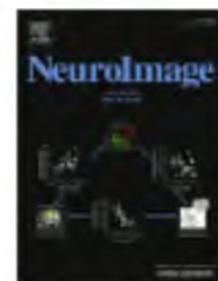
alcuni cervelli siano più plastici di altri. In altre parole, ciò che distingue i super-atleti può essere la capacità di apprendimento potenziata del loro cervello.

sistema motorio risponde alla pratica fisica anche meglio di quanto normalmente previsto.



NeuroImage

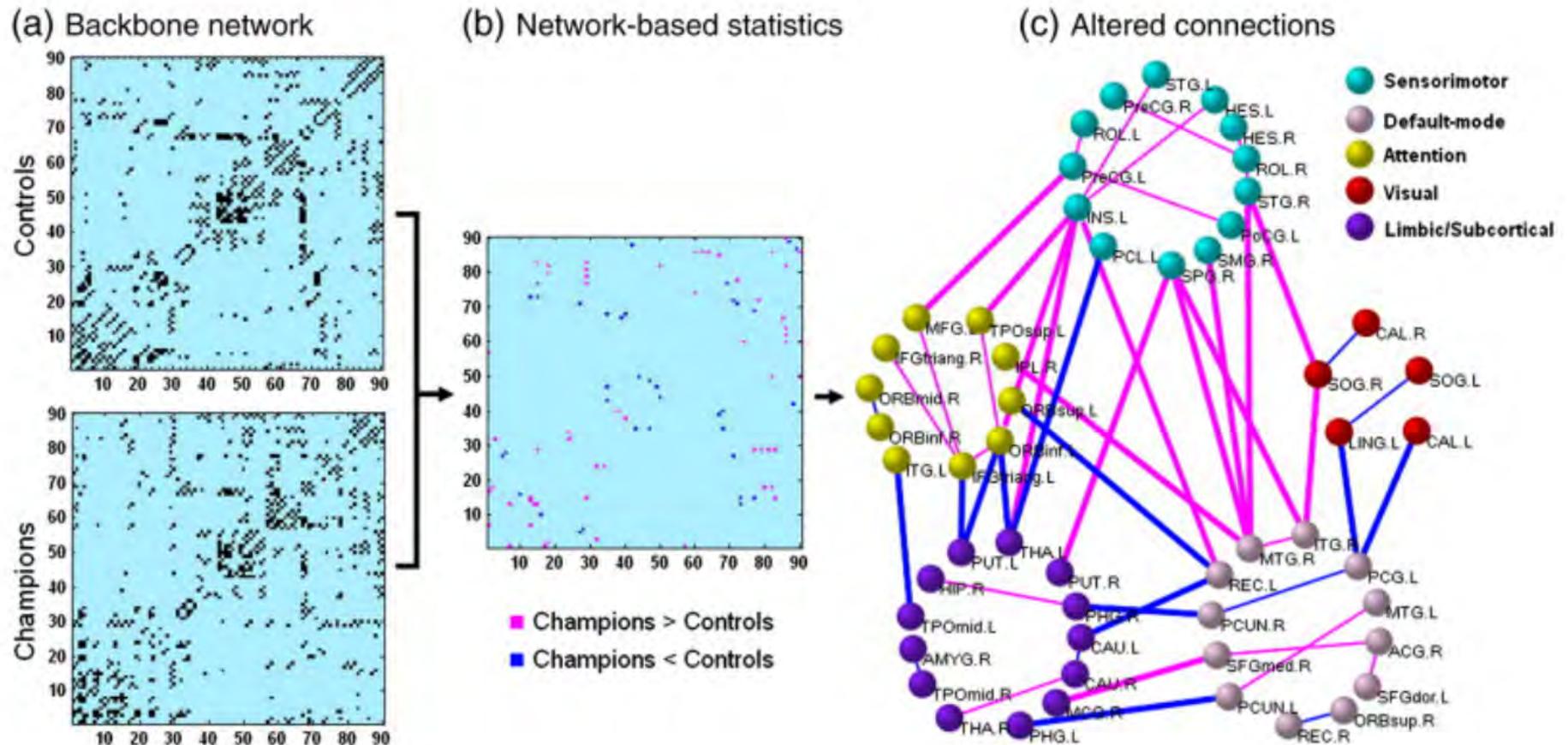
Volume 65, 15 January 2013, Pages 476-487



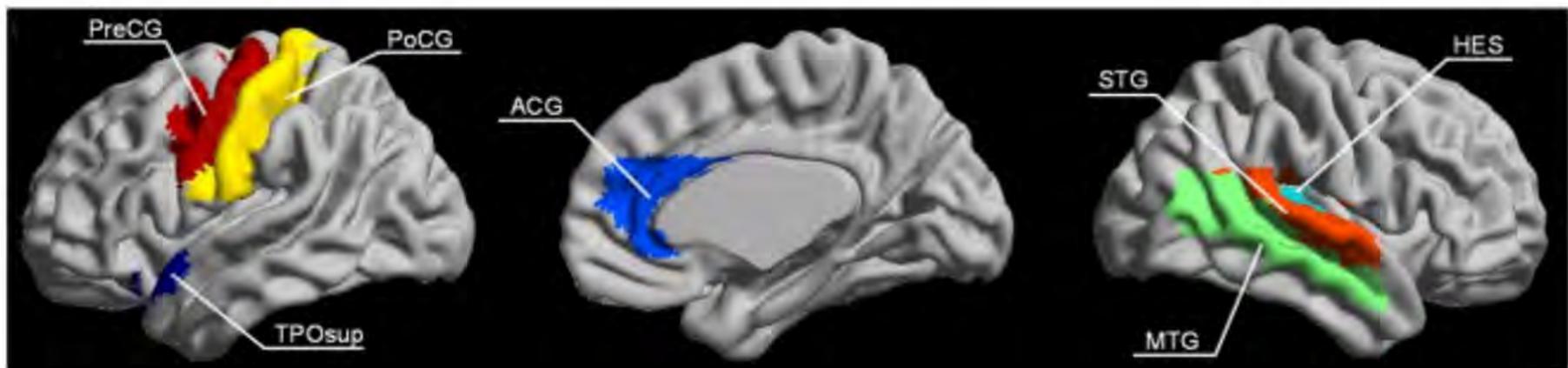
# Brain anatomical networks in world class gymnasts: A DTI tractography study

Bin Wang <sup>a</sup>, Yuanyuan Fan <sup>a</sup>, Min Lu <sup>b, c</sup>, Shumei Li <sup>a</sup>, Zheng Song <sup>b</sup>, Xiaoling Peng <sup>a</sup>, Ruibin Zhang <sup>a</sup>, Qixiang Lin <sup>b</sup>, Yong He <sup>b</sup>, Jun Wang <sup>b</sup>  , Ruiwang Huang <sup>a</sup>  

The pairs of brain regions in which the anatomical connections were altered belong to 5 functional systems (sensorimotor, default-mode, attention, visual and limbic/subcortical)

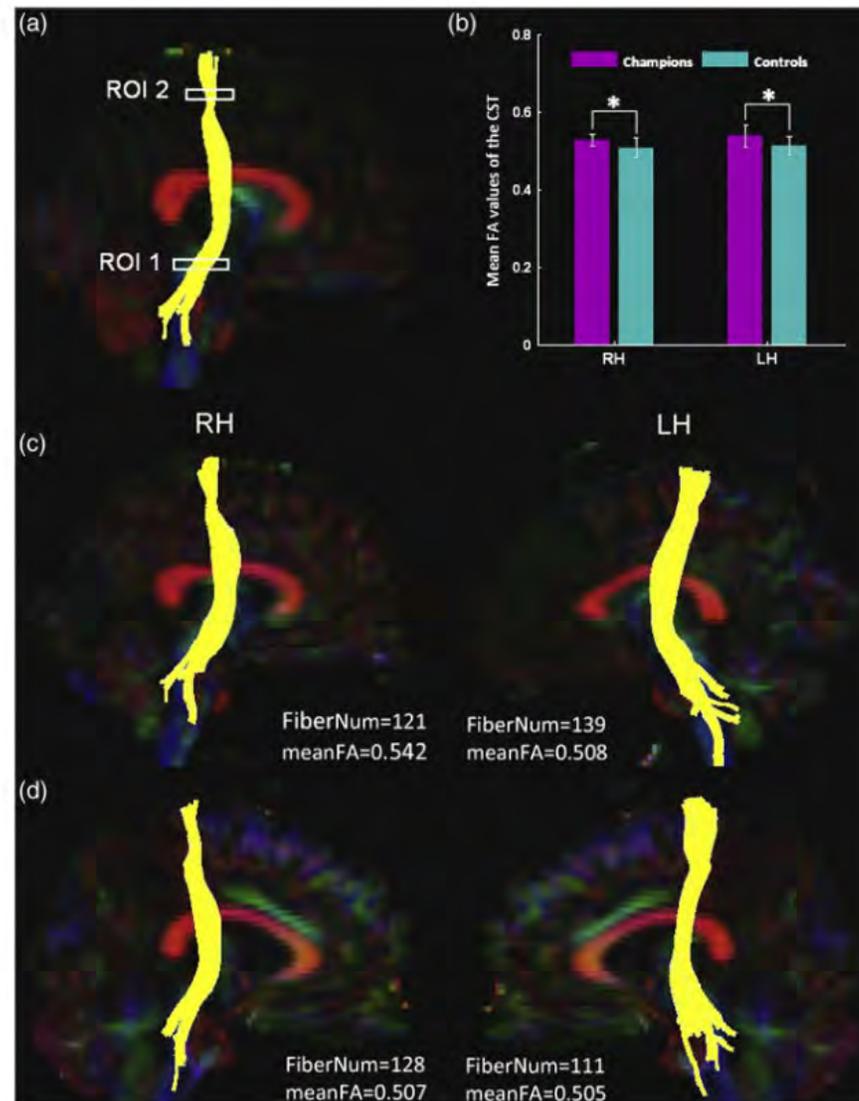


Rendering plot of the detected brain regions with statistically significant high values of the degree and regional efficiency of the anatomical networks of the world class gymnasts compared with those of the controls.





# Diffusion properties of the corticospinal tract (CST) for the world class gymnasts and the controls.



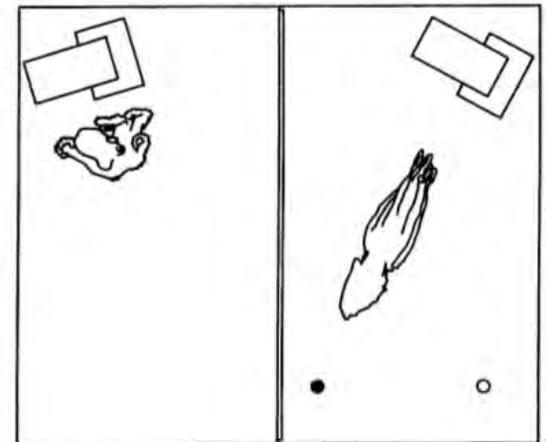
we found that the increased connection density primarily occurred in or between the **sensorimotor, attentional and default-mode systems** in the champion group.

several **regions that are known to be related to movement** showed significantly higher nodal degrees and greater **regional efficiency** in the anatomical networks corresponding to the champions compared with the controls.

the differences in brain structure between the world champion gymnasts and non-gymnasts, potentially including **brain plasticity** in response to long-term intensive gymnastic training.

# RETE NEURALE MINIMALISTA

Fiorito, Scotto: Observational  
Learning in *Octopus vulgaris*;  
Science, 1992



# APPRENDIMENTO per IMITAZIONE

[MIGLIORE DELL'APPRENDIMENTO PER CONDIZIONAMENTO]

[STABILE NEL TEMPO]

[INDIPENDENTE DALL'ESPERIENZA]

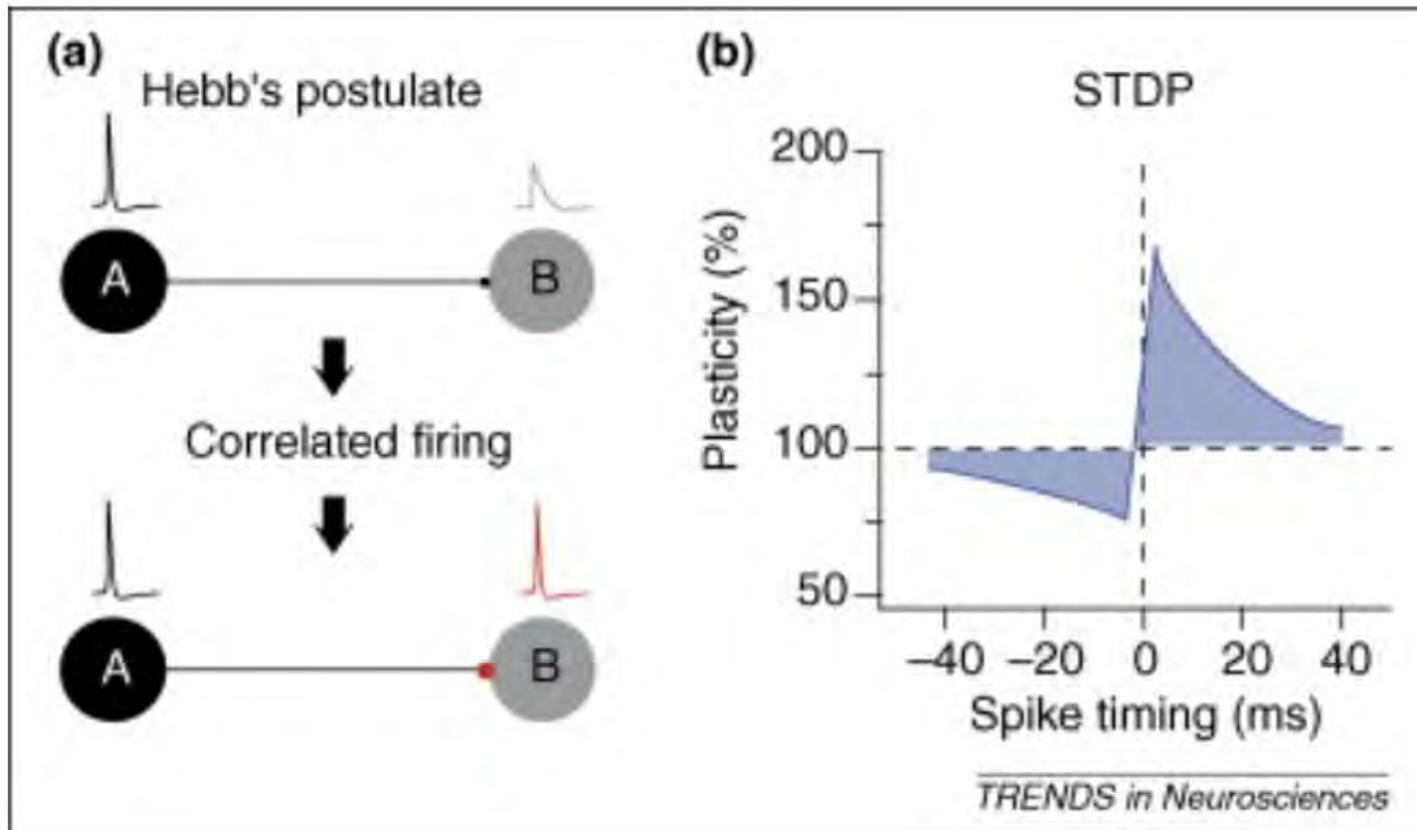
[INNATO]

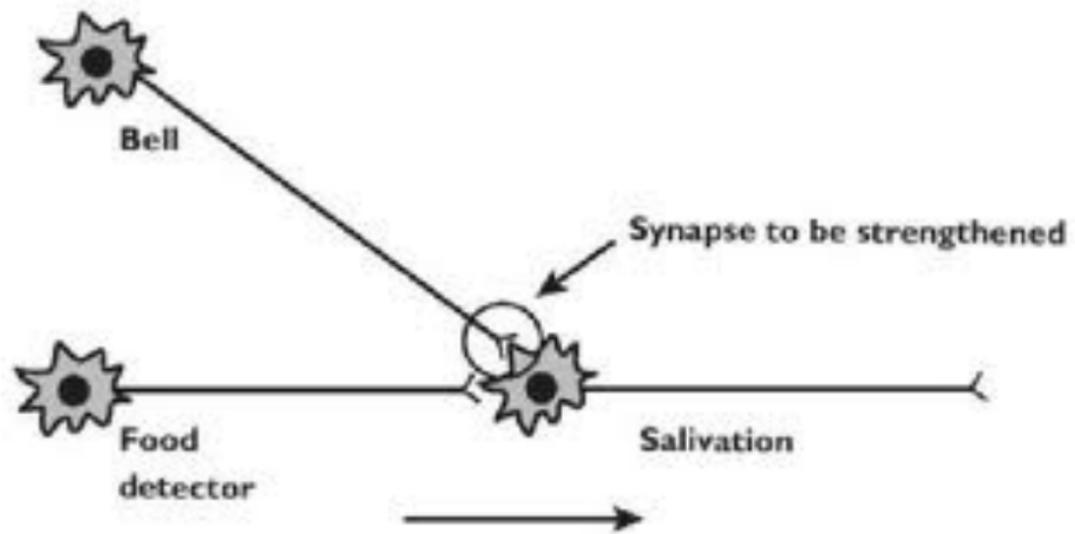
[E' MOLTO VELOCE (4 OSSERVAZIONI DA 40 SECONDI)]

## **COME FUNZIONA L'APPRENDIMENTO?**

Se un neurone A è abbastanza vicino ad un neurone B da contribuire ripetutamente e in maniera duratura alla sua eccitazione, allora ha luogo in entrambi i neuroni un processo di crescita o di cambiamento metabolico tale per cui l'efficacia di A nell'eccitare B viene accresciuta

(Hebb, The organization of behavior 1919)



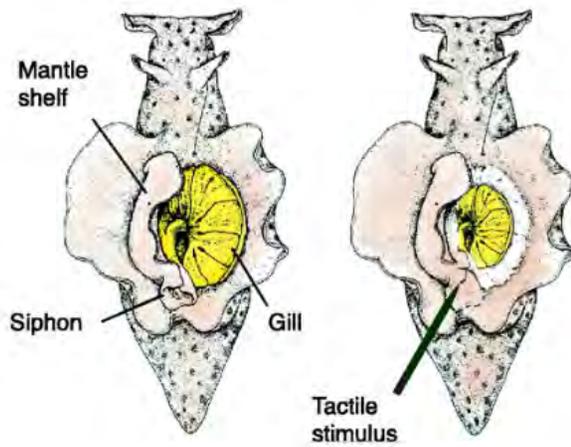


Kandel; The molecular biology of memory storage : a dialogue between genes and synapses 2001

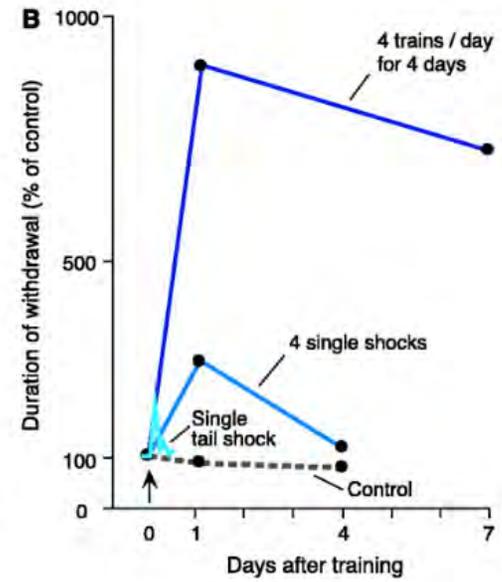
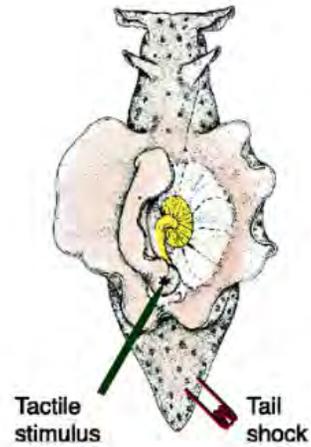
**NOBEL**

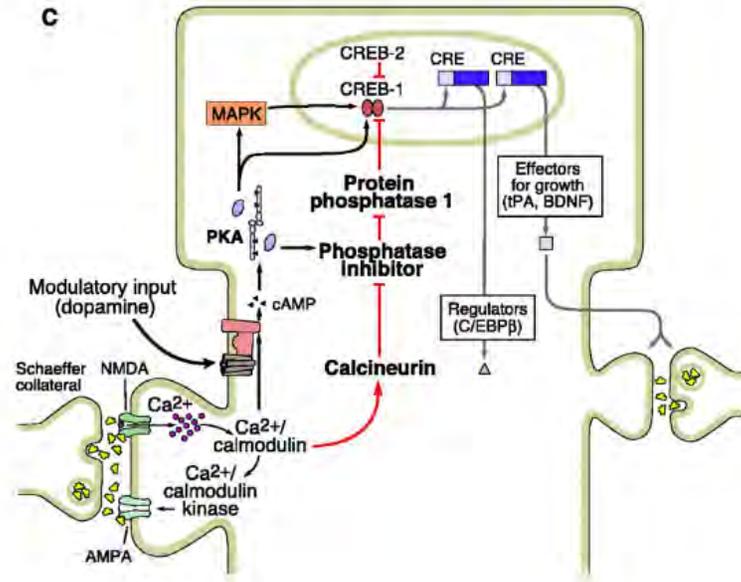
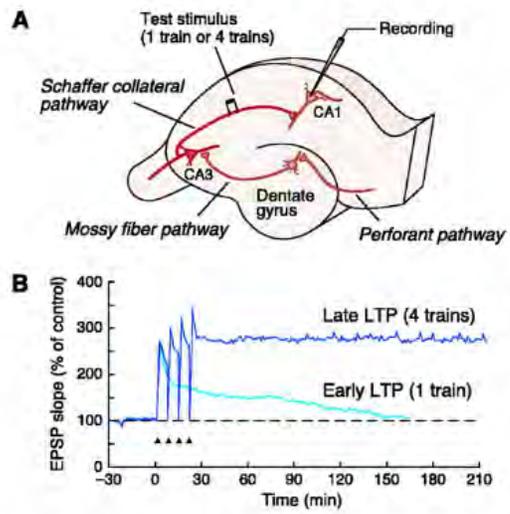


**A Gill Withdrawal Reflex**



**Sensitization**



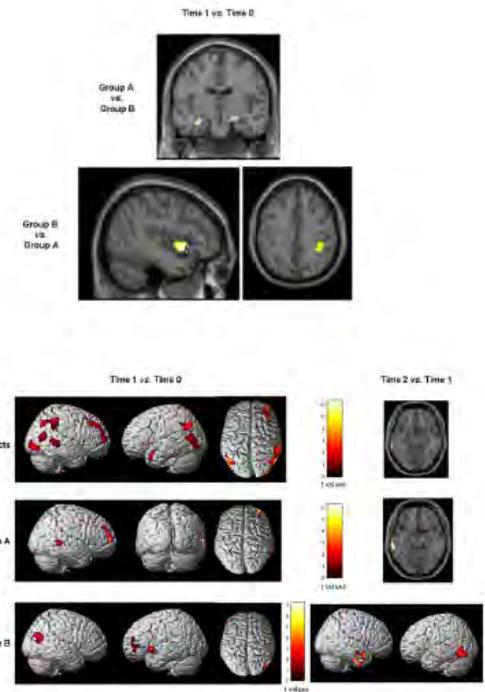


# Apprendimento di diversi atti motori di soggetto sottoposto a RM, alterazioni morfometriche della massa della sostanza grigia e modificazioni plastiche neuronali

Filippi, Ceccarelli, Pagani, Gatti, Rossi, Stefanelli  
 Motor learning in healthy humans is associated to gray matter changes: a tensor-based morphometry study; PLoS One 2010

Group A	Group B
Playing a guitar: increase of the number of strings, increase of the number of fingers used, increase of the speed of execution	Schemes of flexion/extension/rotation of the different fingers: e.g., flexion of forefinger and ring finger; flexion of middle finger and little finger; flexion of forefinger and ring finger plus extension of middle finger and little finger and vice versa; equal to the previous one, plus thumb rotation
Juggling: increase of the number of juggling balls, change of the size of juggling balls	Schemes of abduction of the different fingers: e.g., abduction of forefinger and little finger; abduction of forefinger and middle finger plus ring finger and little finger, equal to the previous one plus thumb rotation
Rolling a drumstick among the fingers: increase of the number of fingers used, increase of the speed of execution	Different schemes of finger tapping of the five fingers, with increasing complexity and increasing speed
Lifting objects of various dimensions: change of the size of the objects, change of the weight of the object, change of the speed of execution	

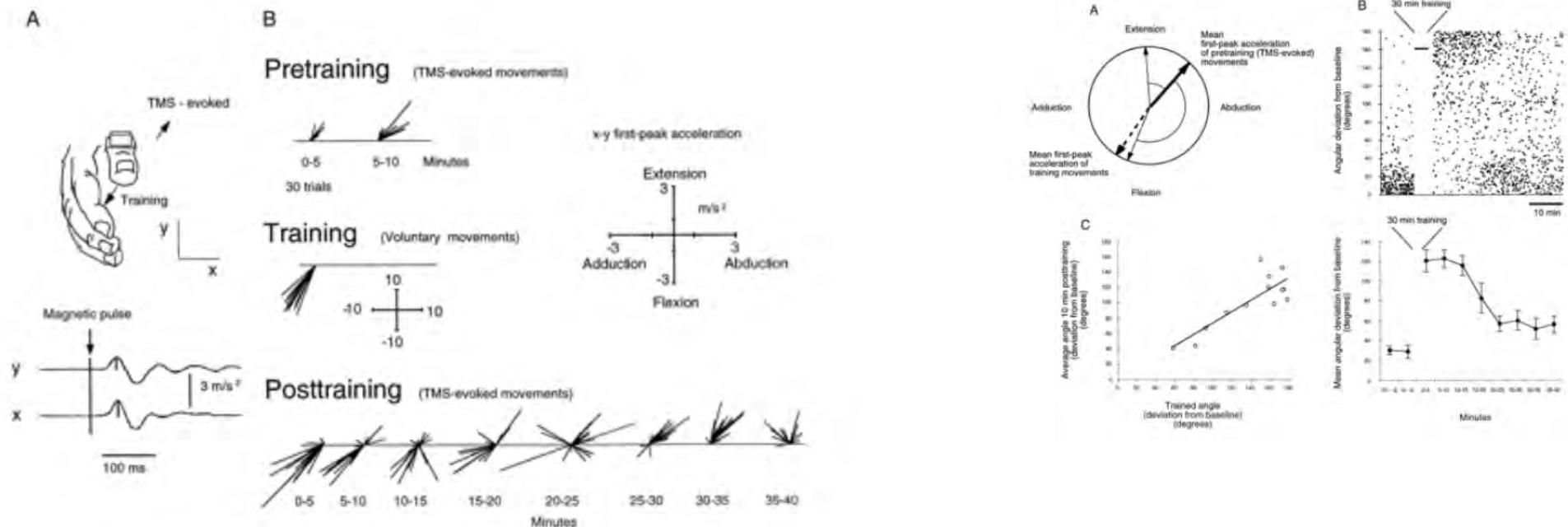
Group A = training with repetitive, transitive, object-related and goal-directed motor sequences of the right hand; group B = training with intransitive non purposeful motor actions of the right hand.  
 doi:10.1371/journal.pone.0010198.t002



# Plasticita' della corteccia motoria primaria

## Esperimento: stimolazione magnetica transcranica

Classen et al. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice;  
J. Neurophysiology 1998



**Movimento di estensione del pollice della mano controlaterale alla stimolazione**

**Risposta motoria stereotipata alla stimolazione dell'area corticale**

**Se il soggetto esegue movimenti ripetuti di FLESSIONE durante la stimolazione, a una successiva stimolazione il movimento eseguito sarà una flessione.**

**Anche in presenza di SOLA OSSERVAZIONE**

## **modifica della direzione di movimento: APPRENDIMENTO**

**Flessione ed estensione sono espressioni della prevalenza della forza sinaptica, non dell'area specifica attivata. (PLT)**

**La ripetizione o l'osservazione induce (sotto attivazione magnetica transcranica) attivazione sinaptica legata al movimento eseguito **od osservato.****

**DLT delle sinapsi non più sollecitate**

## **FISIOLOGIA DELLE EMOZIONI**

I NEURONI SPECCHIO SONO UN GRUPPO DI NEURONI CHE SI ATTIVA ALLO STESSO MODO SIA QUANDO COMPIAMO UN GESTO CON UNA INTENZIONE REALE SIA QUANDO VEDIAMO UN NOSTRO SIMILE COMPIERE LA STESSA AZIONE

**IL SISTEMA UNIFICA LA PERCEZIONE E  
L'AZIONE IN MODO CHE UNA  
RAPPRESENTAZIONE SENSORIALE DEL  
COMPORAMENTO ALTRUI DIVENTI LA  
RAPPRESENTAZIONE MOTORIA DELLO STESSO  
COMPORAMENTO NEL CERVELLO  
DELL'OSSERVATORE**

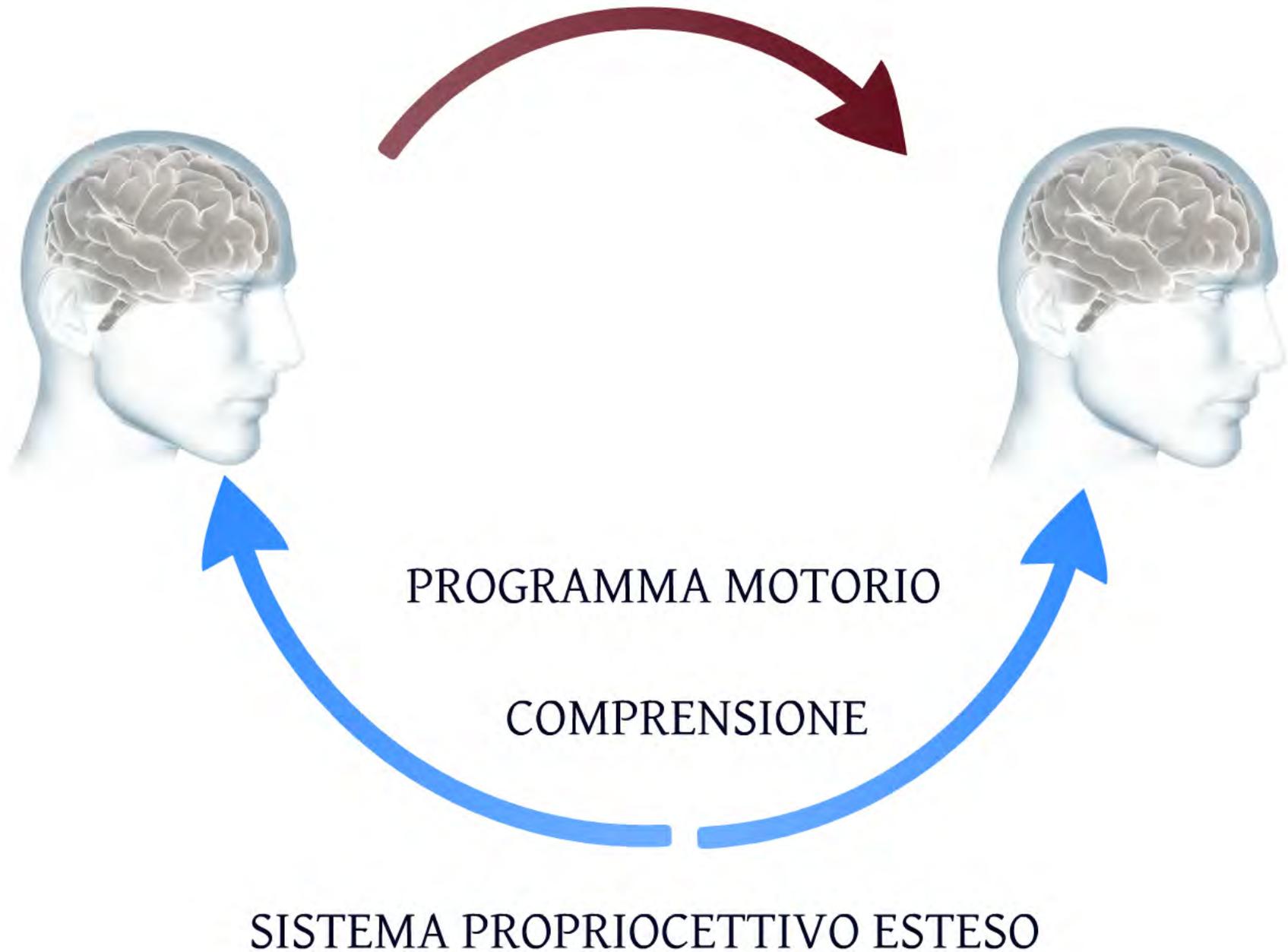
GLI SPAZI:

SPAZIO PERSONALE, EPIDERMICO, SENSORIO

SPAZIO PERIPERSONALE

INTERPERSONALE, DI RELAZIONE

SPAZIO DI AZIONE CONDIVISO



IL CERVELLO USA IL CORPO COME STRUMENTO IN  
GRADO DI RIPRODURRE L'AZIONE VISTA



IMPRESSIONE EMOTIVA

LA PERCEZIONE A LIVELLO NEURONALE E' IDENTICA  
AL PROCESSO CREATIVO DELL'IMMAGINAZIONE

ESPERIENZA MOTORIA

QUELLO CHE HO VISTO FARE



QUELLO CHE HO FATTO

IMMAGINARE UNA POSTURA SIGNIFICA CHIEDERE AL  
CORPO DI FORNIRE INFORMAZIONI MIOTONICHE,  
BAROCETTIVE, VESTIBOLARI E SPAZIALI



RAPPRESENTAZIONE A LIVELLO CORTICALE  
DELL'AZIONE MOTORIA

AZIONE MUSCOLARE EFFETTIVA



CONTROLLO DELLE AFFERENZE

## DIFFERENZA TRA AZIONE E IMITAZIONE

L'AZIONE SI BASA SULL'IMPULSO E SULL'INTENZIONE  
L'IMITAZIONE SUL RISULTATO