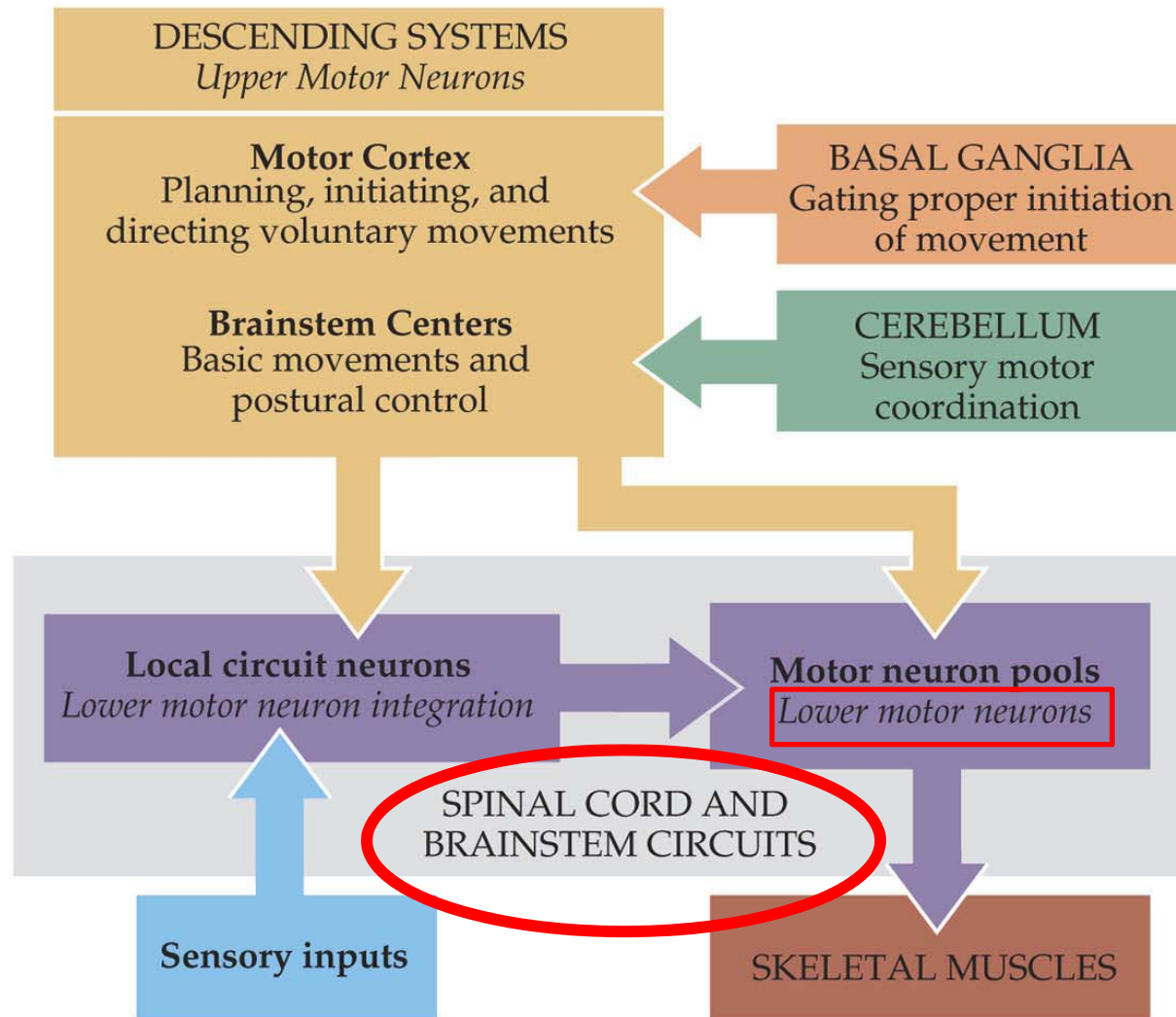




# *Τα Βασικά Γάγγλια*

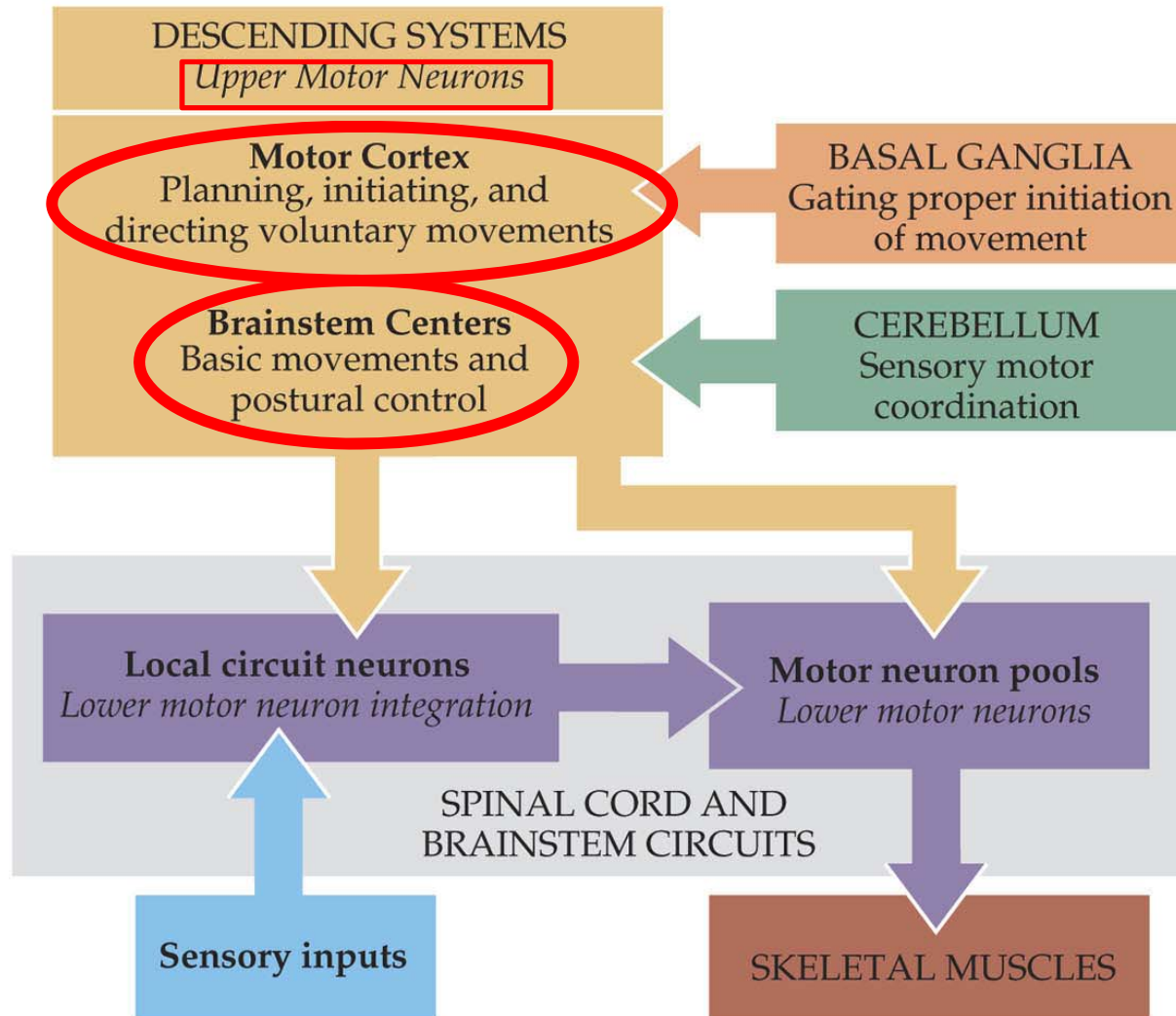
# Εγκέφαλος και Έλεγχος της Κίνησης

## 4 διακριτά υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν



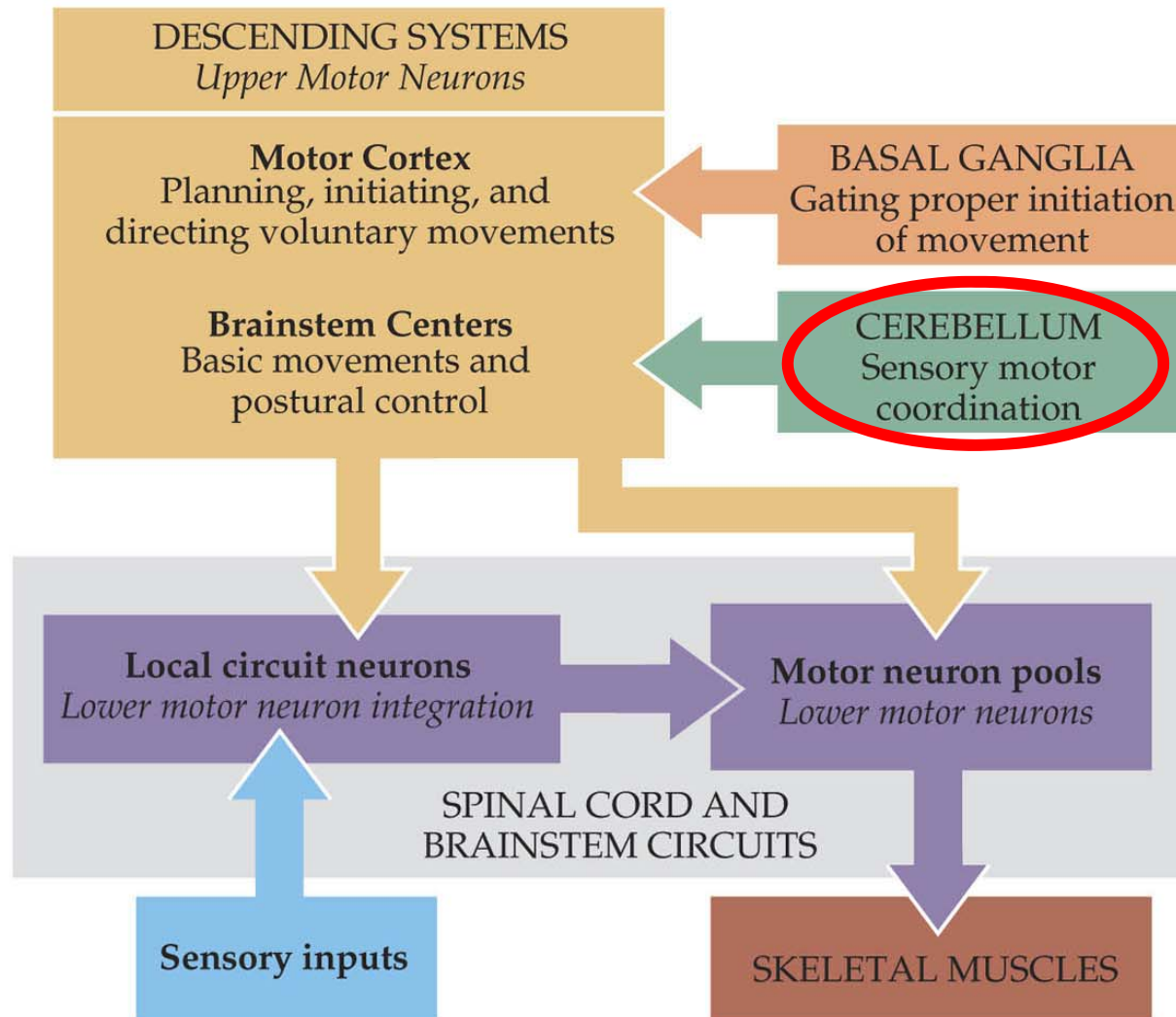
# Εγκέφαλος και Έλεγχος της Κίνησης

## 4 διακριτά υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν



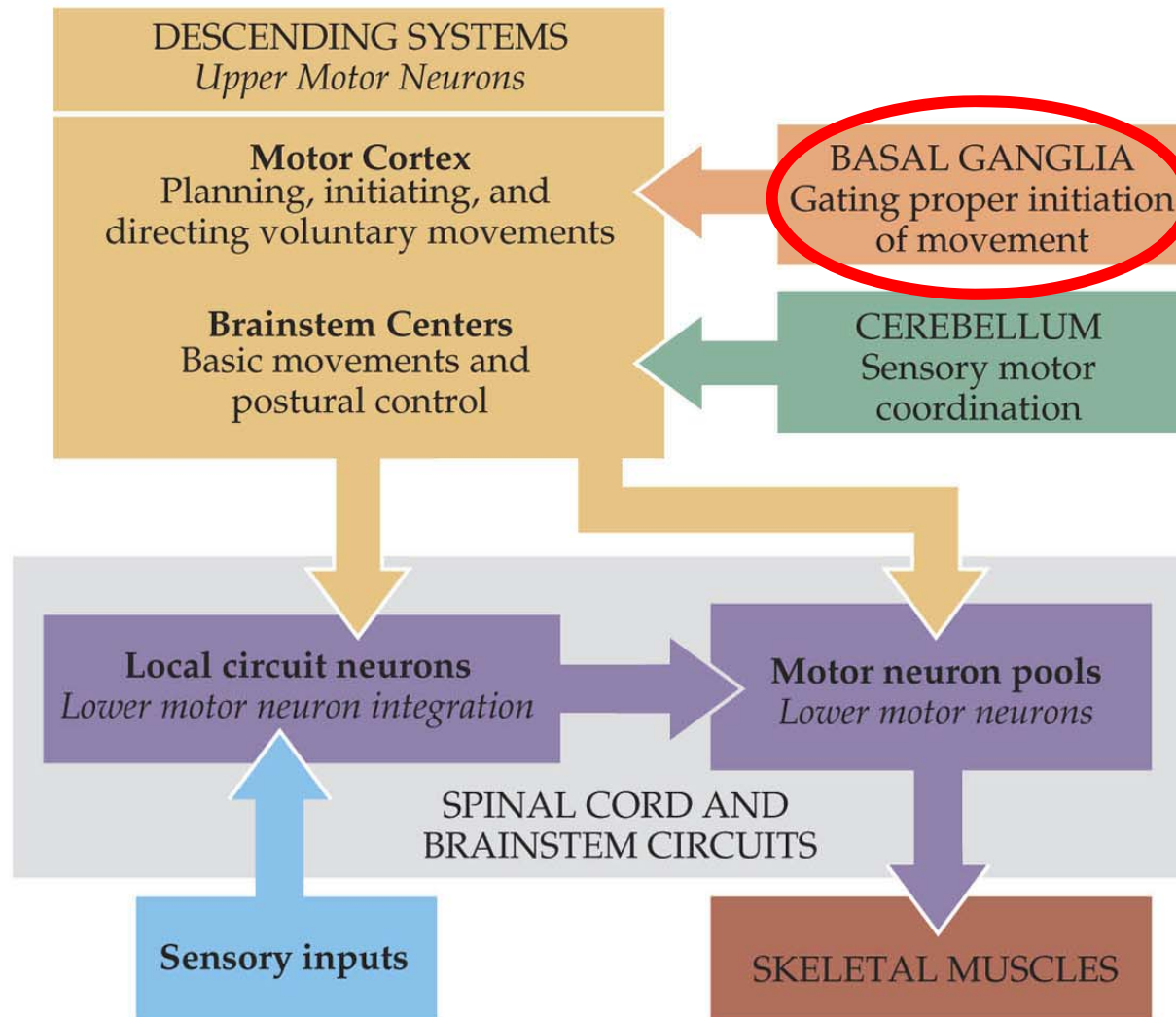
# Εγκέφαλος και Έλεγχος της Κίνησης

## 4 διακριτά υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν



# Εγκέφαλος και Έλεγχος της Κίνησης

## 4 διακριτά υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν



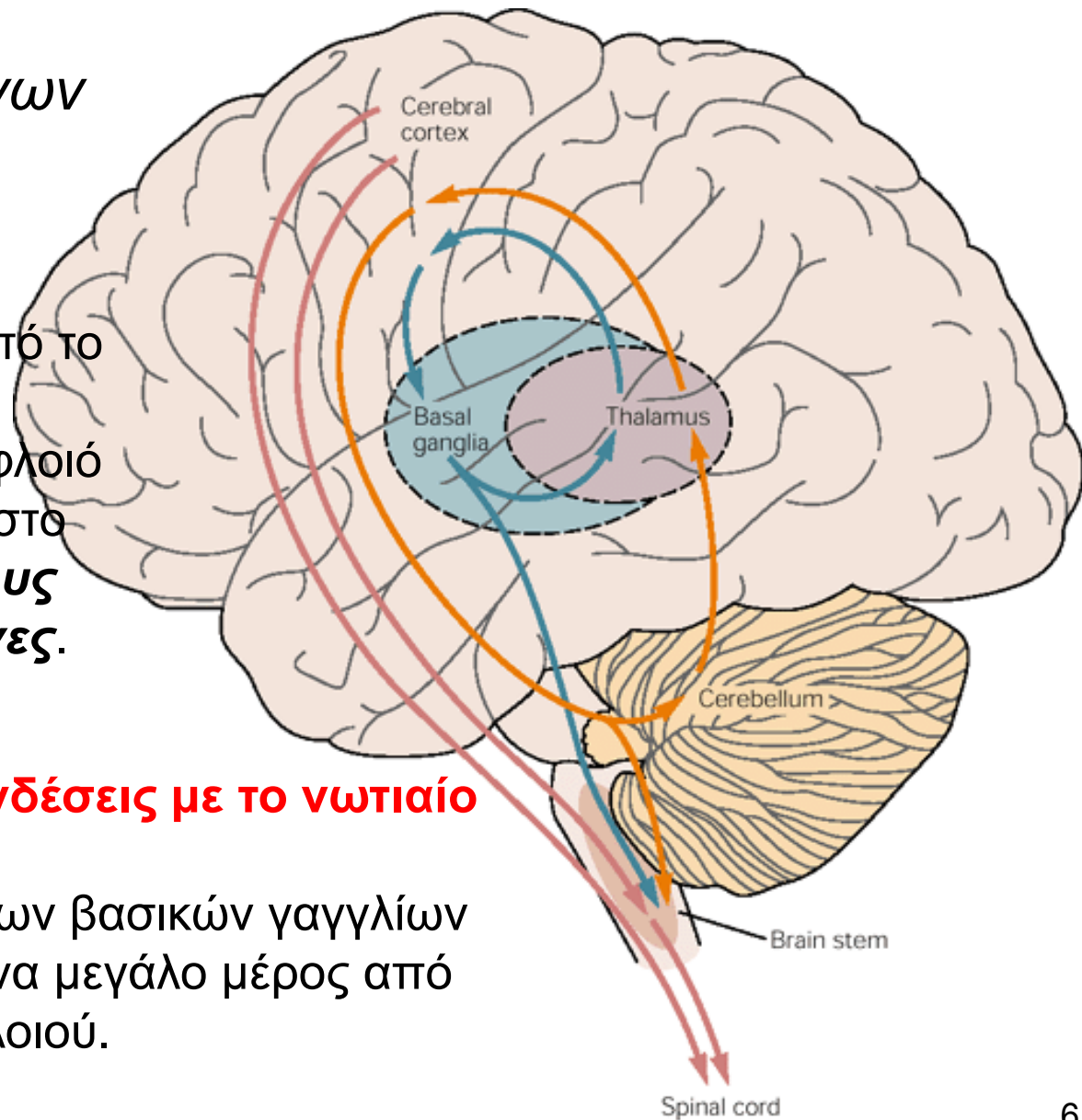
# Βασικά Γάγγλια

## Ομάδα διασυνδεόμενων πυρήνων

- Δέχονται ίνες κυρίως από το φλοιό και το θάλαμο και στέλνουν ίνες πίσω στο φλοιό (μέσω του θαλάμου) και στο εγκεφαλικό στέλεχος **στους άνω κινητικούς νευρώνες**.

- **Δεν έχουν άμεσες συνδέσεις με το νωτιαίο μυελό.**

Οι κινητικές λειτουργίες των βασικών γαγγλίων διεκπεραιώνονται κατά ένα μεγάλο μέρος από κινητικές περιοχές του φλοιού.



# *Βασικά Γάγγλια*

## Τι πρέπει να γνωρίζετε:

- Τμήματα (πυρήνες) των βασικών γαγγλίων
- Λειτουργία βασικών γαγγλίων
- Λειτουργικά κυκλώματα των βασικών γαγγλίων  
π.χ. άμεση, έμμεση οδός, νευροδιαβιβαστές
- Κυκλώματα που ενέχονται σε κινητικές διαταραχές  
(Parkinson, Huntington, ημιβαλλισμός)

# Πυρήνες των Βασικών Γαγγλίων

## 1. Ραβδωτό σώμα (striatum)

Κερκοφόρος πυρήνας (caudate)

Κέλυφος (putamen)

Κοιλιακό ραβδωτό (επικλινής πυρήνας/accumbens)

## 2. Ωχρή σφαίρα (Globus Pallidus)

Έξω μοίρα (GPe)

Έσω μοίρα (GPi)

## - Μέλαινα ουσία (substantia nigra)\*

Συμπαγής μοίρα (SNc)

Δικτυωτή μοίρα (SNr)

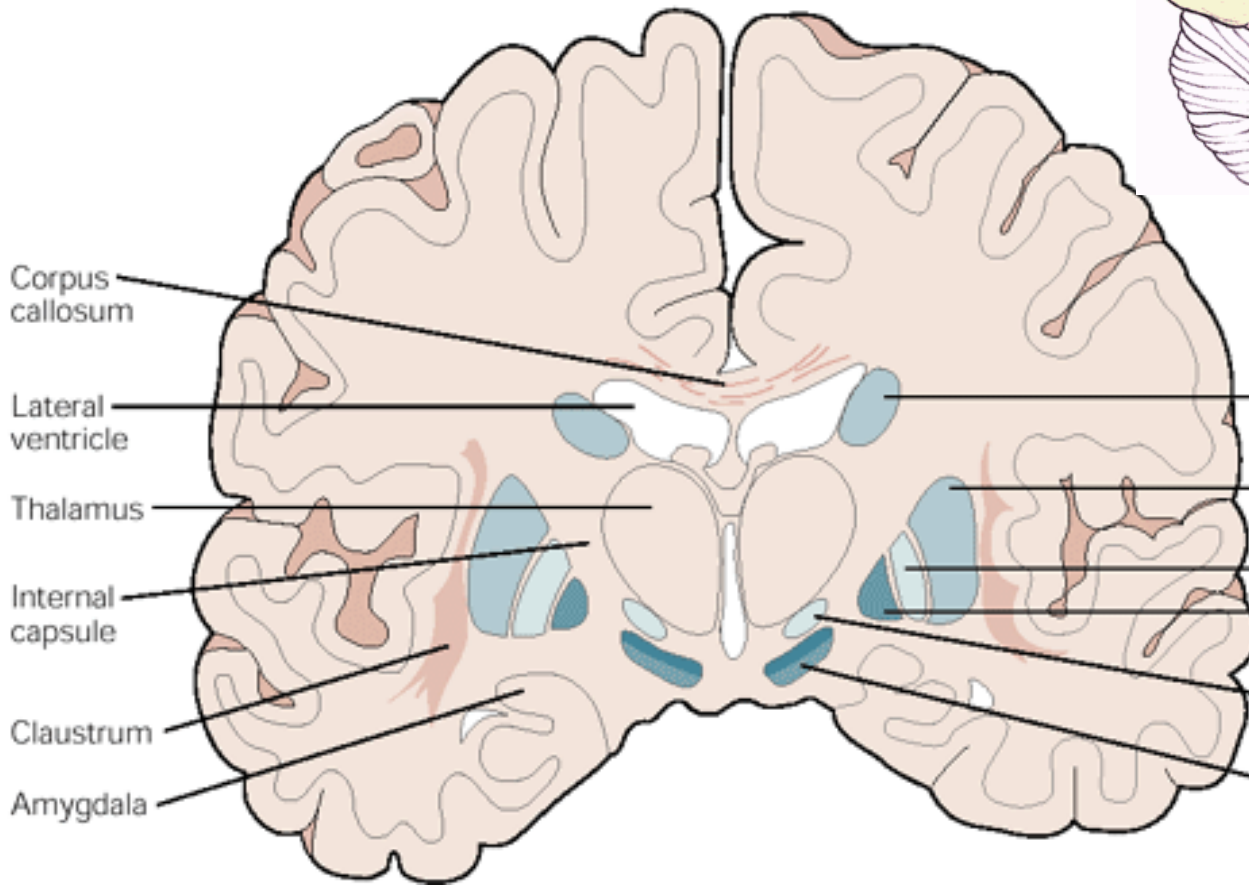
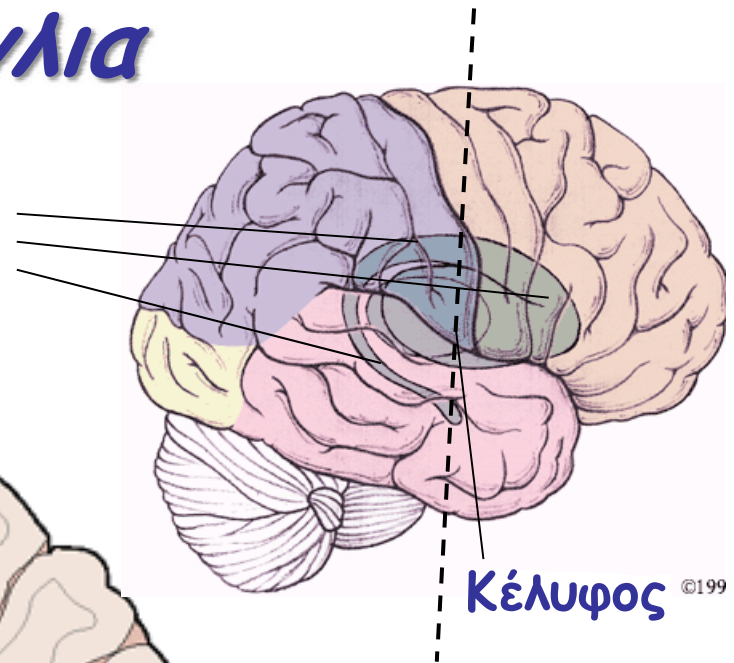
## - Υποθαλαμικός πυρήνας (subthalamic nucleus -STN)\*

\* Ανατομικά δεν θεωρούνται τμήμα των βασικών γαγγλίων



# Βασικά Γάγγλια

Κερκοφόρος πυρήνας { Σώμα  
Κεφαλή  
Ουρά



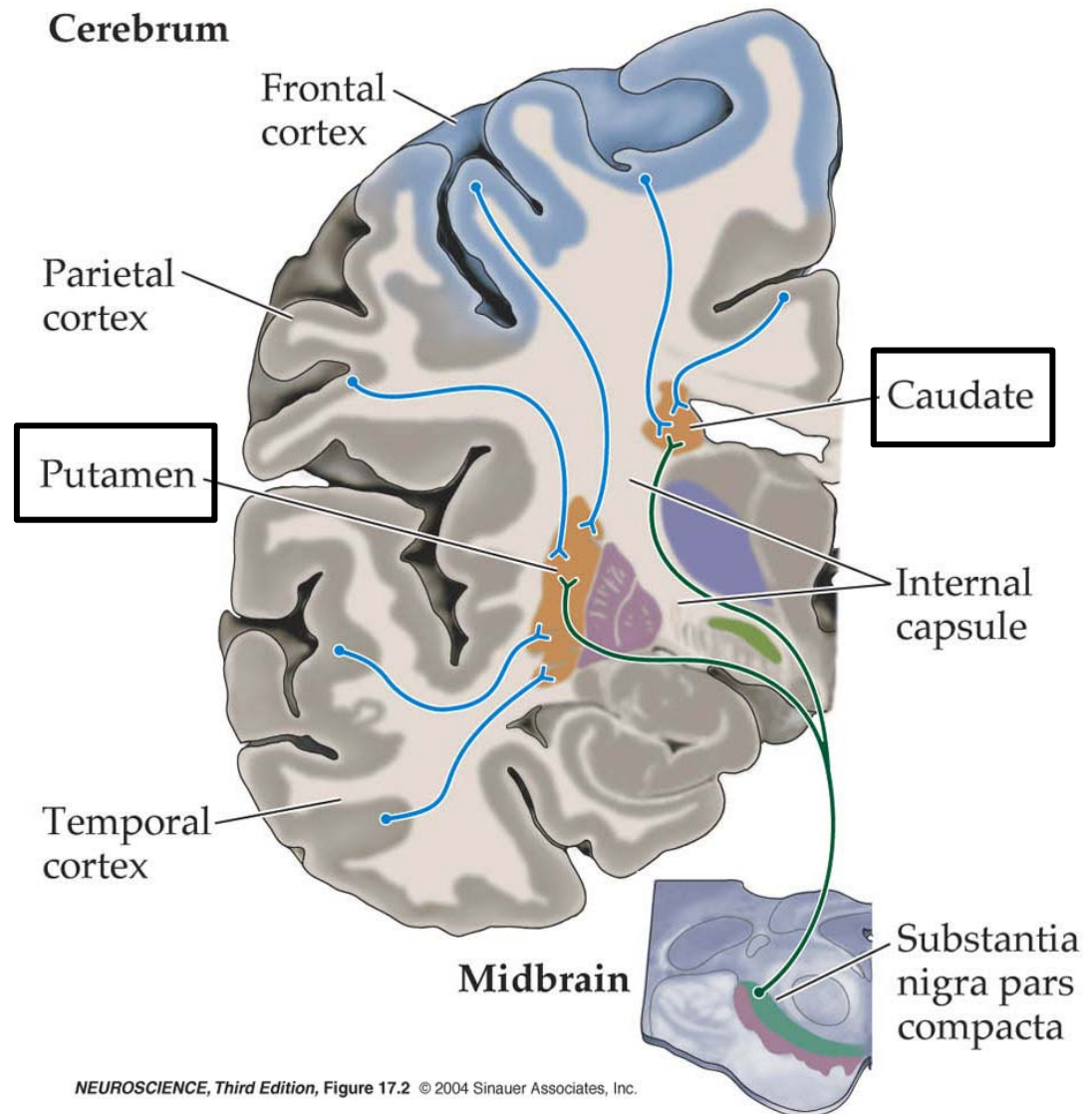
- Κερκοφόρος
- Κέλυφος
- Ωχρά σφαίρα
- Έξω μοίρα
- Έσω υοία
- Υποθαλαμικός πυρήνας
- Μέλαινα ουσία

# Οργάνωση συνδέσεων στα Βασικά Γάγγλια

- Πυρήνες εισόδου
  - Ραβδωτό Σώμα
    - Κερκοφόρος
    - Κέλυφος
- Πυρήνες εξόδου  $\xrightarrow{\text{X}}$  Νωτιαίος μυελός
  - Έσω μοίρα ωχράς σφαίρας
  - Δικτυωτή μοίρα τη μέλαινας ουσίας\*
- Ενδιάμεσοι πυρήνες
  - Έξω μοίρα της ωχράς σφαίρας
  - Υποθαλαμικός πυρήνας\*
  - Συμπαγής μοίρα της μέλαινας ουσίας\*

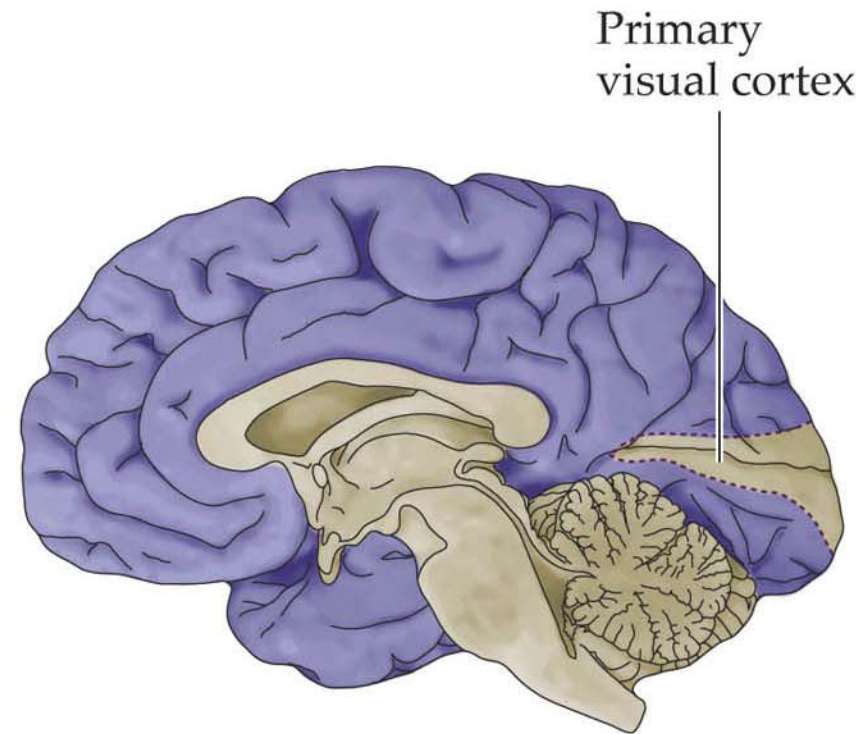
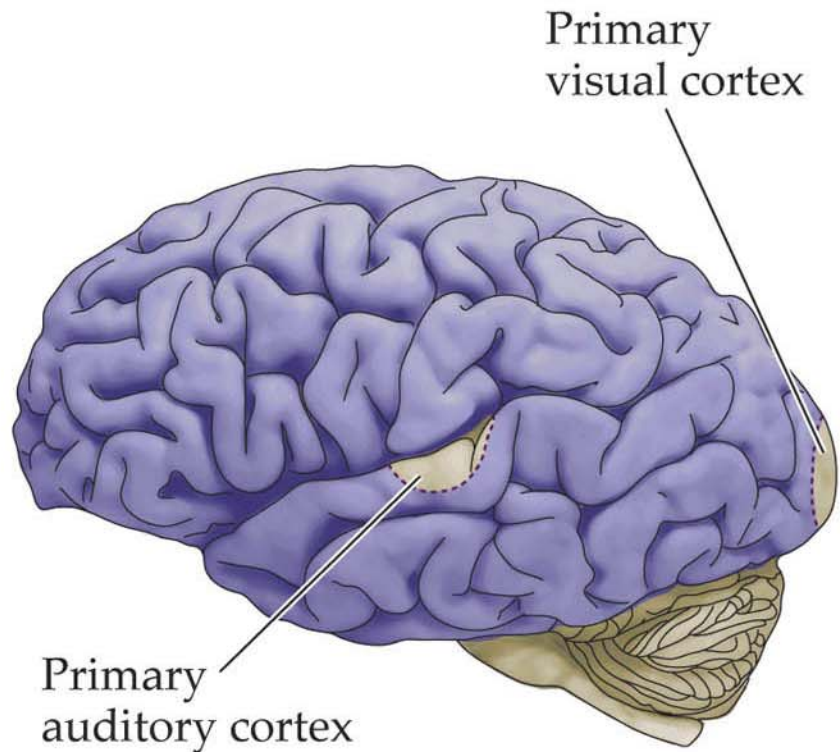
# Είσοδοι στα Βασικά Γάγγλια

- Πυρήνες εισόδου
  - Ραβδωτό Σώμα
    - Κερκοφόρος πυρήνας
    - Κέλυφος



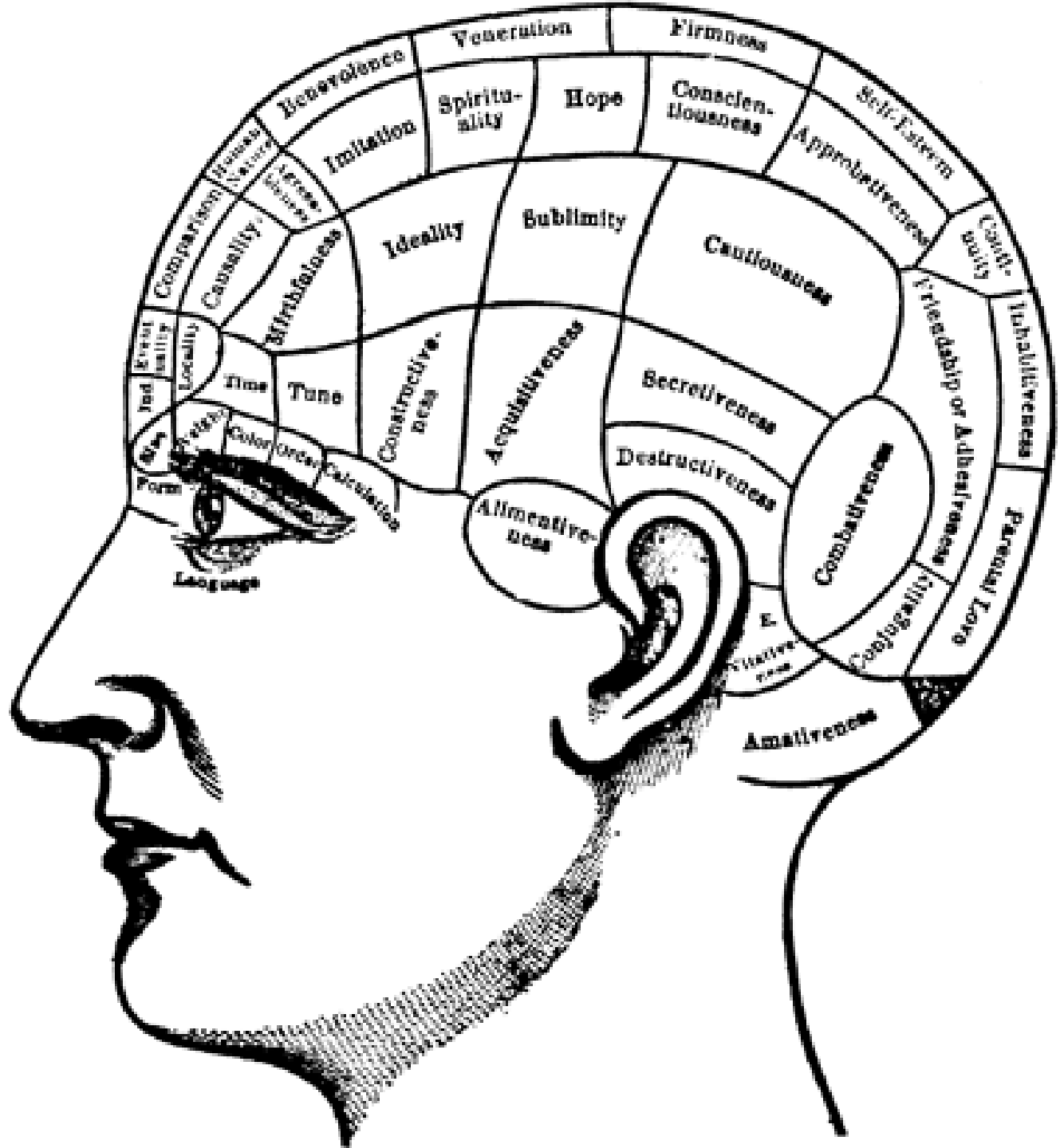
# Είσοδοι στα Βασικά Γάγγλια

- Το ραβδωτό δέχεται πληροφορία σχεδόν από όλες τις περιοχές του φλοιού εκτός από τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό και τον πρωτοταγή ακουστικό φλοιό.

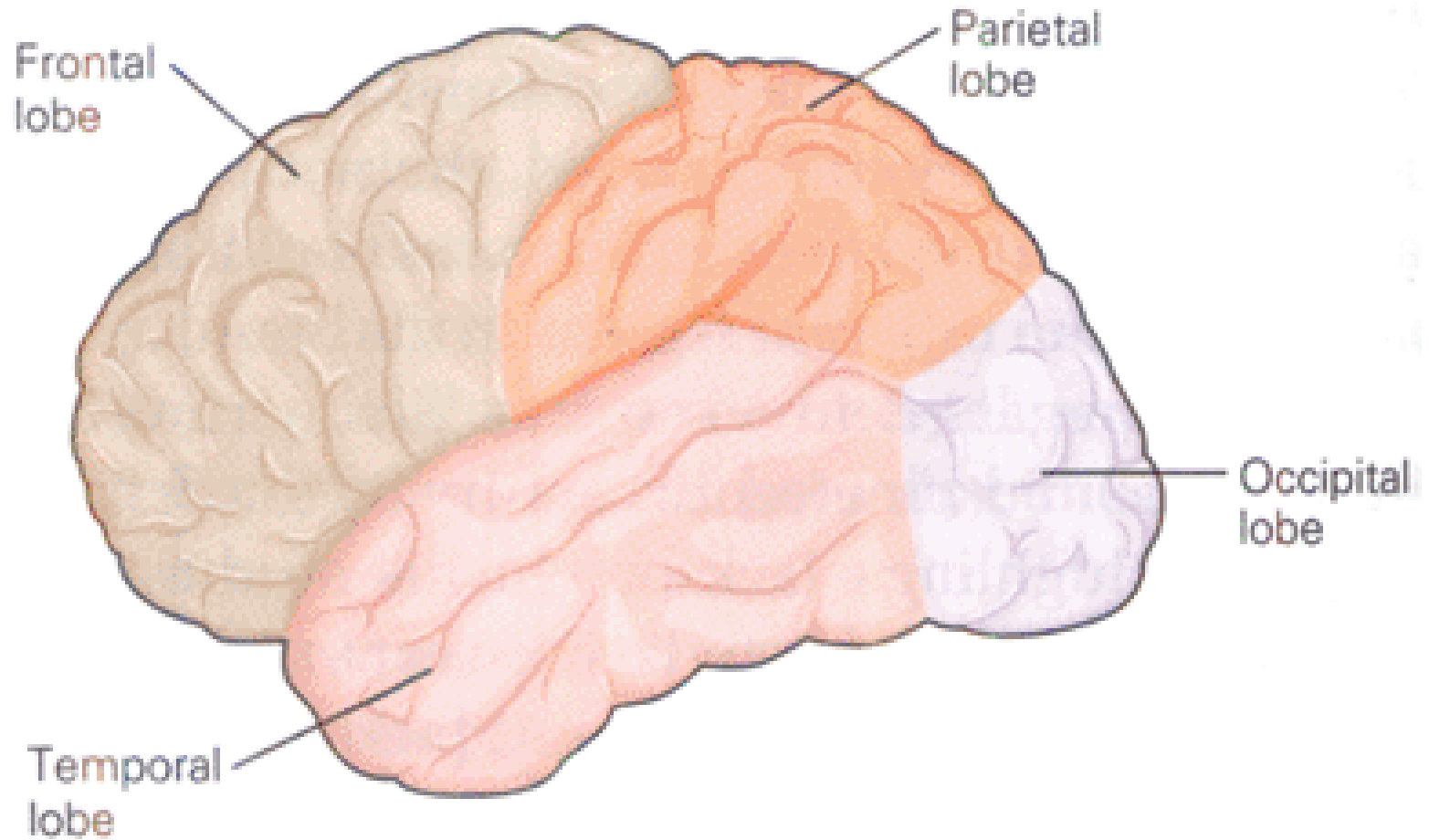


# Phrenology

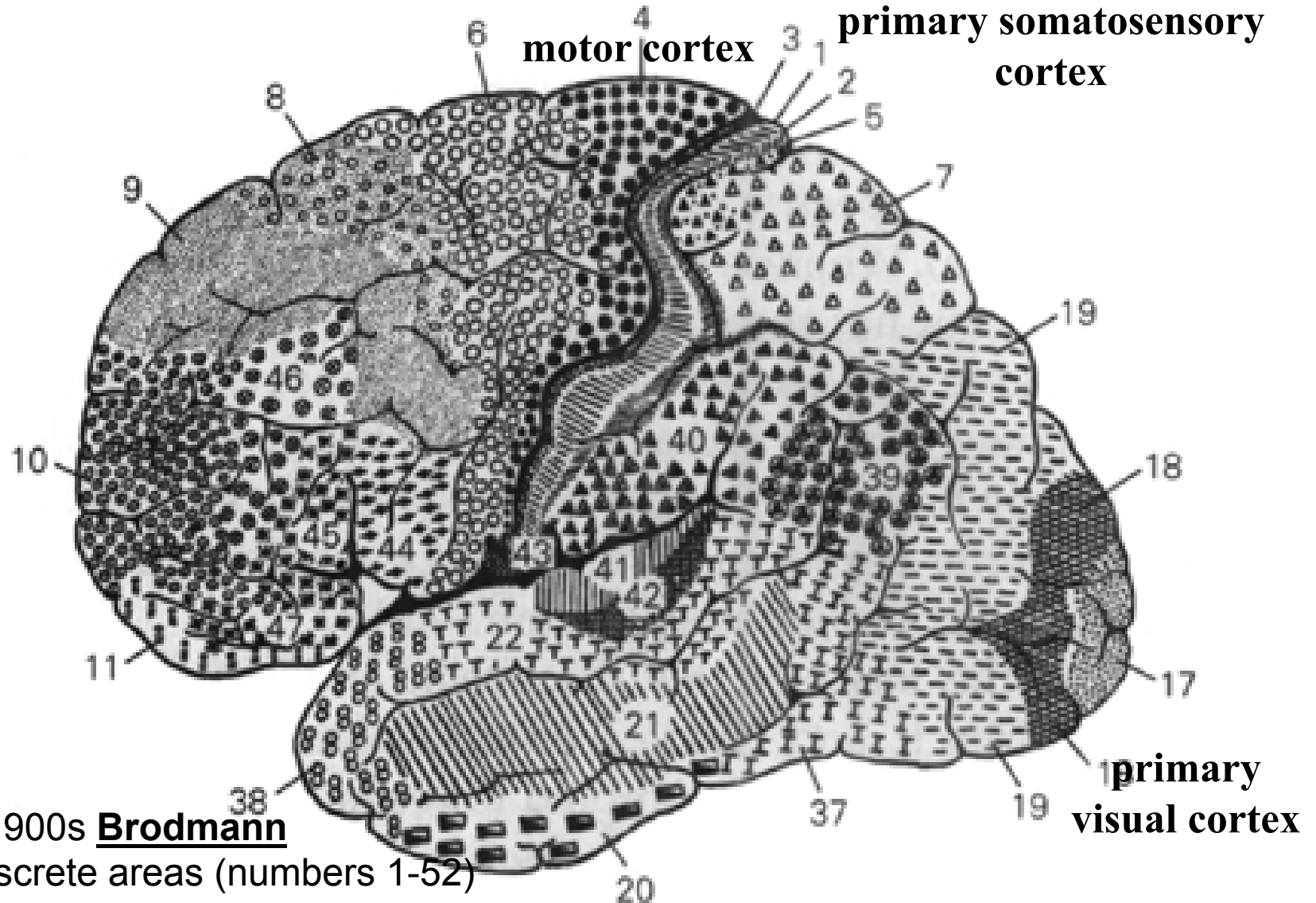
early 1800s



# Λοβοί του εγκεφαλικού φλοιού



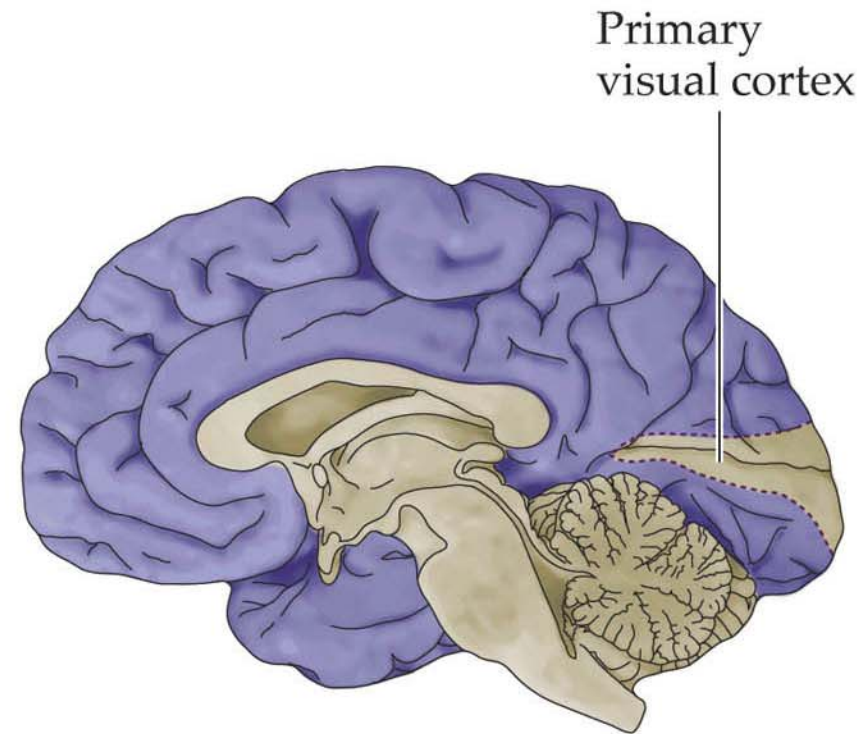
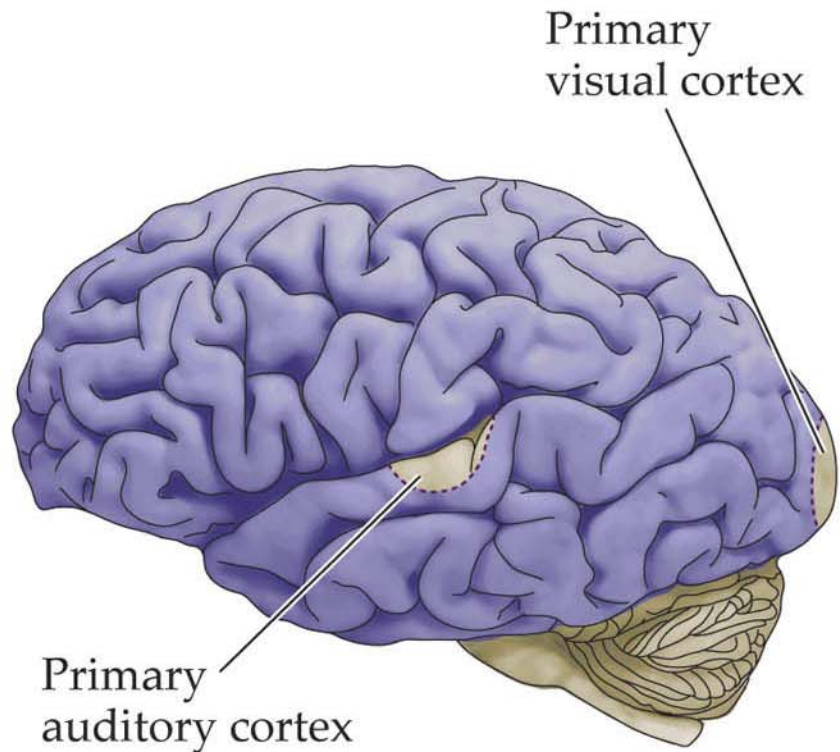
# Διαμερισματοποίηση Εγκεφαλικού Φλοιού



early 1900s **Brodmann**  
~47 discrete areas (numbers 1-52)  
on the basis of distinctive **nerve**

# Είσοδοι στα Βασικά Γάγγλια

- Το ραβδωτό δέχεται πληροφορία σχεδόν από όλες τις περιοχές του φλοιού εκτός από τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό και τον πρωτοταγή ακουστικό φλοιό.

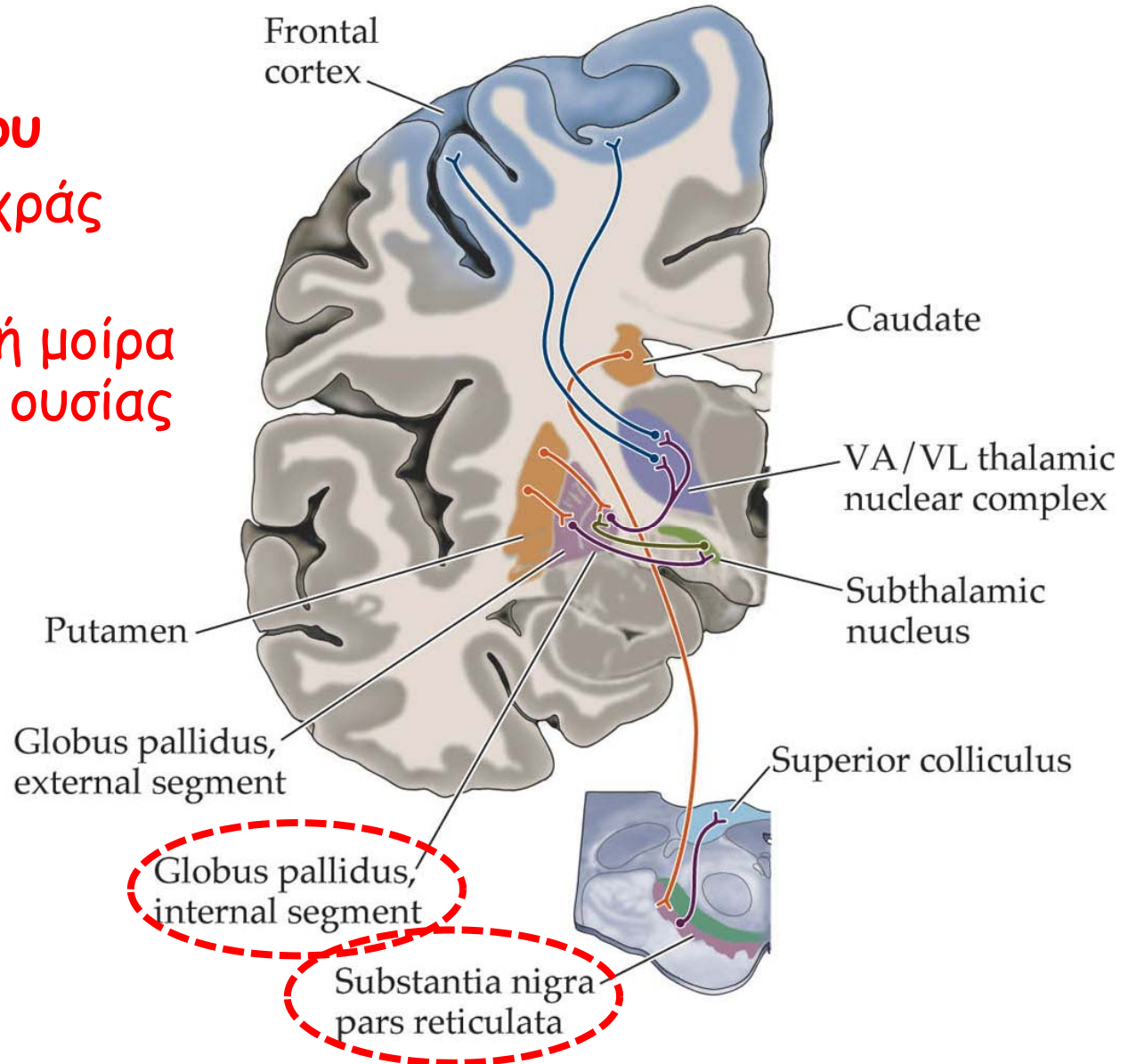
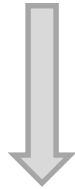
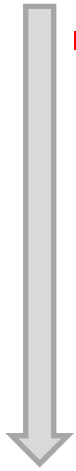




# Έξοδοι Βασικών Γαγγλίων

## ➤ Πυρήνες εξόδου

- Έσω μοίρα ωχράς σφαίρας
- Δικτυωτή μοίρα μέλαινας ουσίας

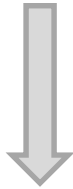
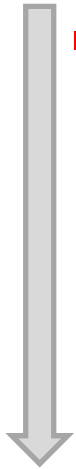


# Έξοδοι Βασικών Γαγγλίων

## ➤ Πυρήνες εξόδου

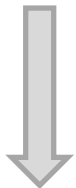
- Έσω μοίρα ωχράς σφαίρας

- Δικτυωτή μοίρα μέλαινας ουσίας

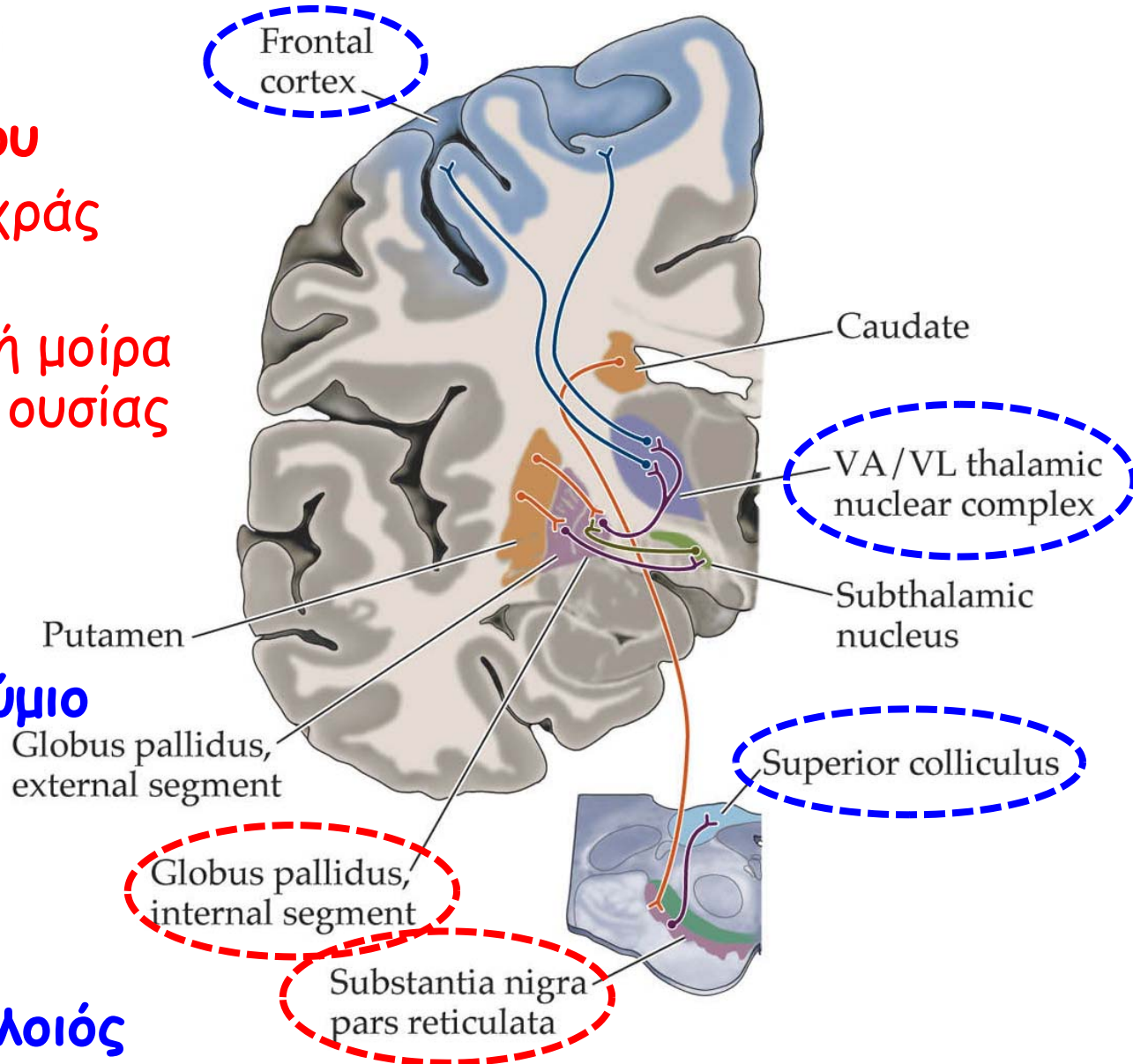


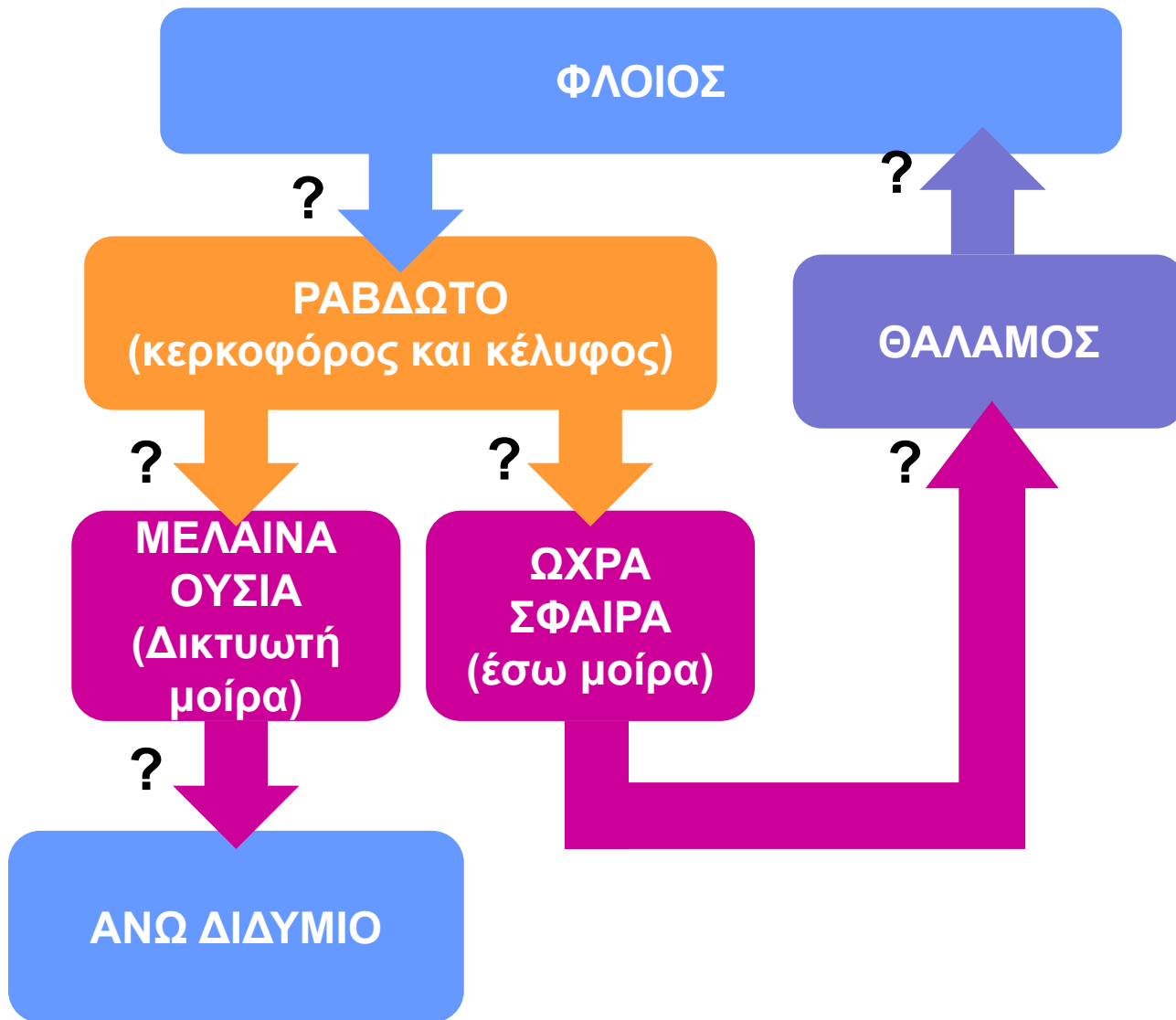
Άνω διδύμιο

Θάλαμος



Εγκεφαλικός Φλοιός

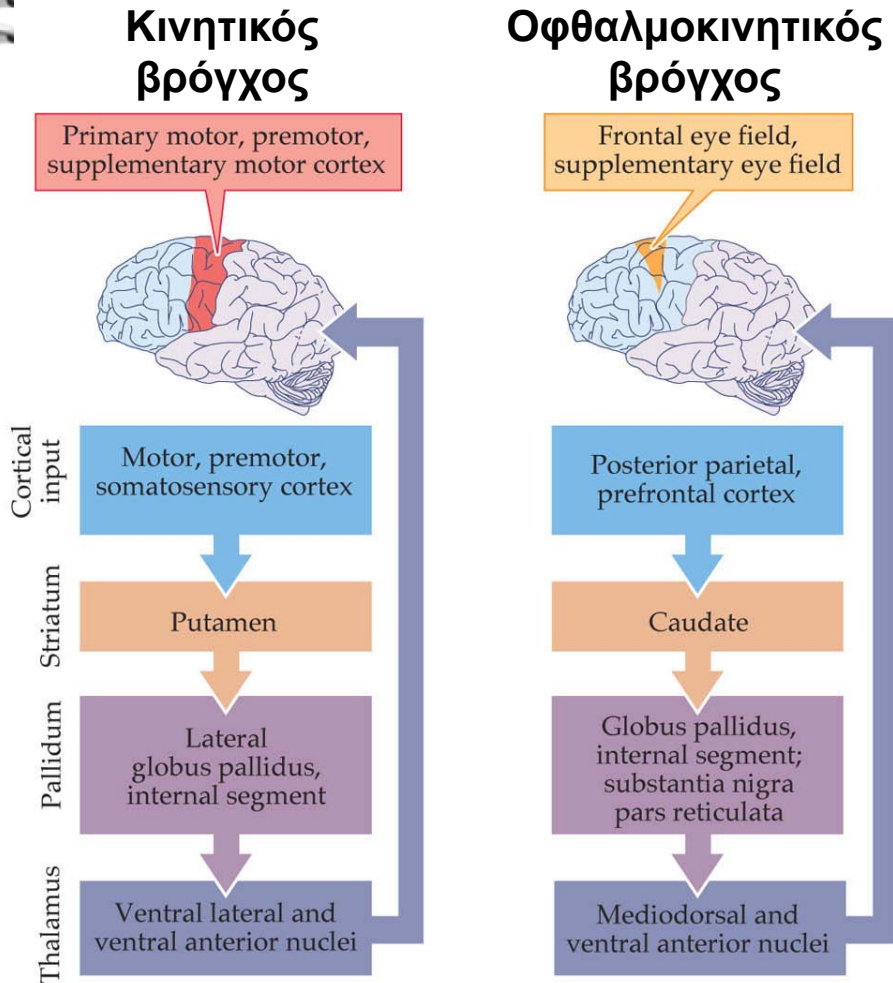




# *Λειτουργίες των βασικών γαγγλίων*

- **Κινητικός βρόγχος**
  - Ρύθμιση άνω κινητικών νευρώνων
  - Απαραίτητος για ομαλή έναρξη κίνησης
  - Οφθαλμοκινητικός βρόγχος
- **Μη κινητικοί βρόγχοι**
  - Προμετωπιαίος βρόγχος
  - Μετ αιχμιακός βρόγχος

# Αδρή τοπογραφική οργάνωση φλοιοραβδωτών προβολών (παράλληλα κυκλώματα)



Διαφορετικές περιοχές του φλοιού προβάλλουν σε διαφορετικά τμήματα του ραβδωτού

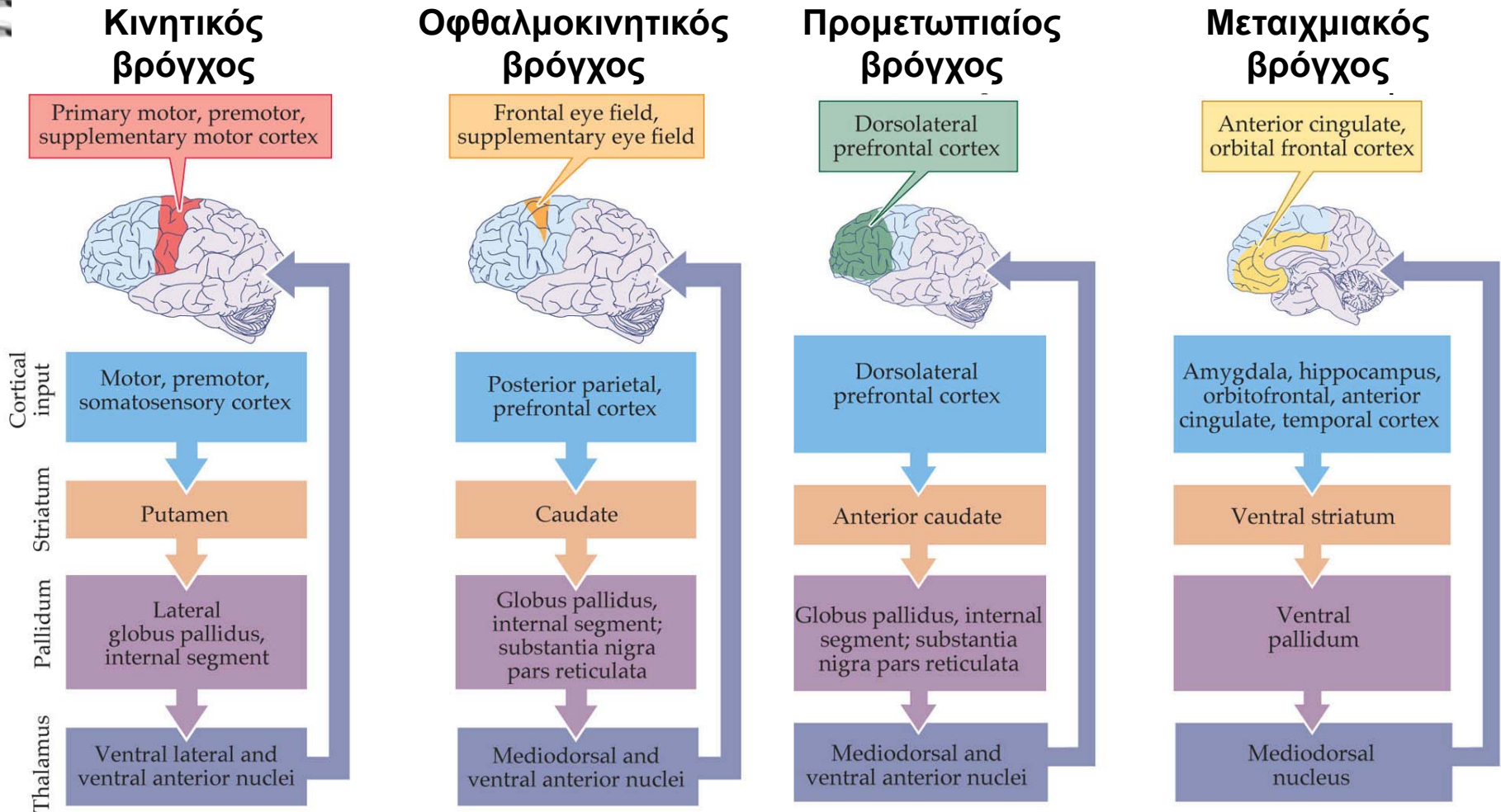


Παράλληλες οδοί που εξυπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες

Κερκοφόρος  
→ οφθαλμικές κινήσεις

Κέλυφος  
→ κινήσεις άκρων και σώματος

# Αδρή τοπογραφική οργάνωση φλοιοραβδωτών προβολών (παράλληλα κυκλώματα)

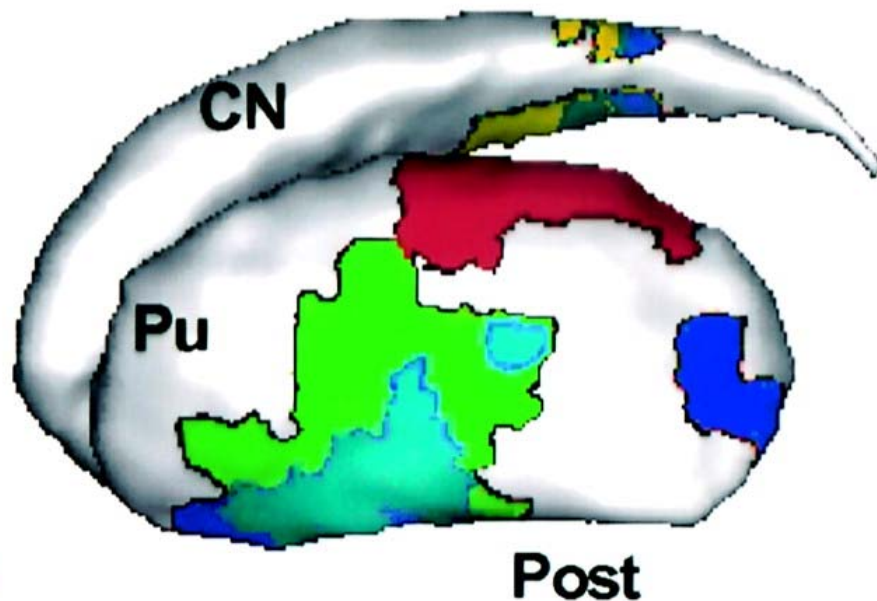
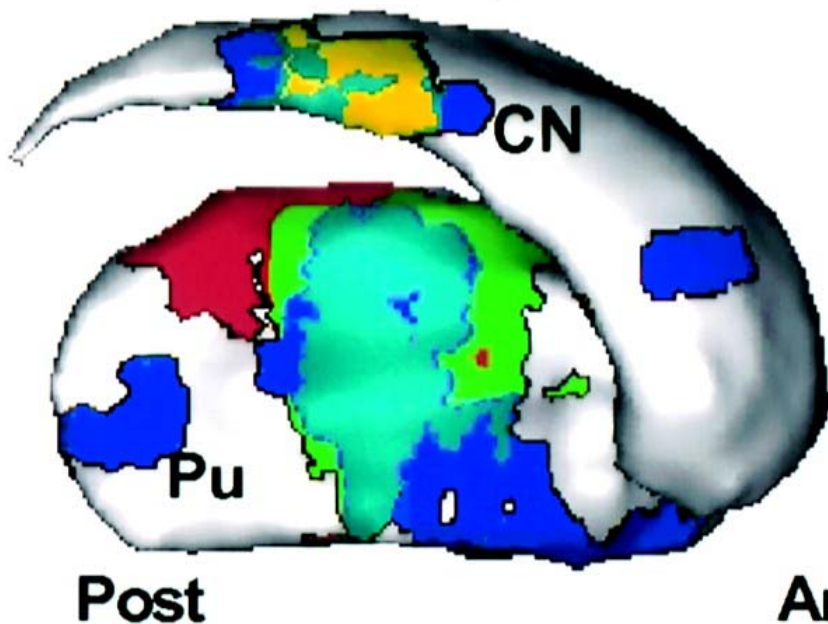


Κερκοφόρος → οφθαλμικές κινήσεις  
 Κέλυφος → κινήσεις άκρων και σώματος

# Νευρώνες σχετιζόμενοι με κίνηση διατάσσονται **σωματοτοπικά** στο Ραβδωτό

Medial view

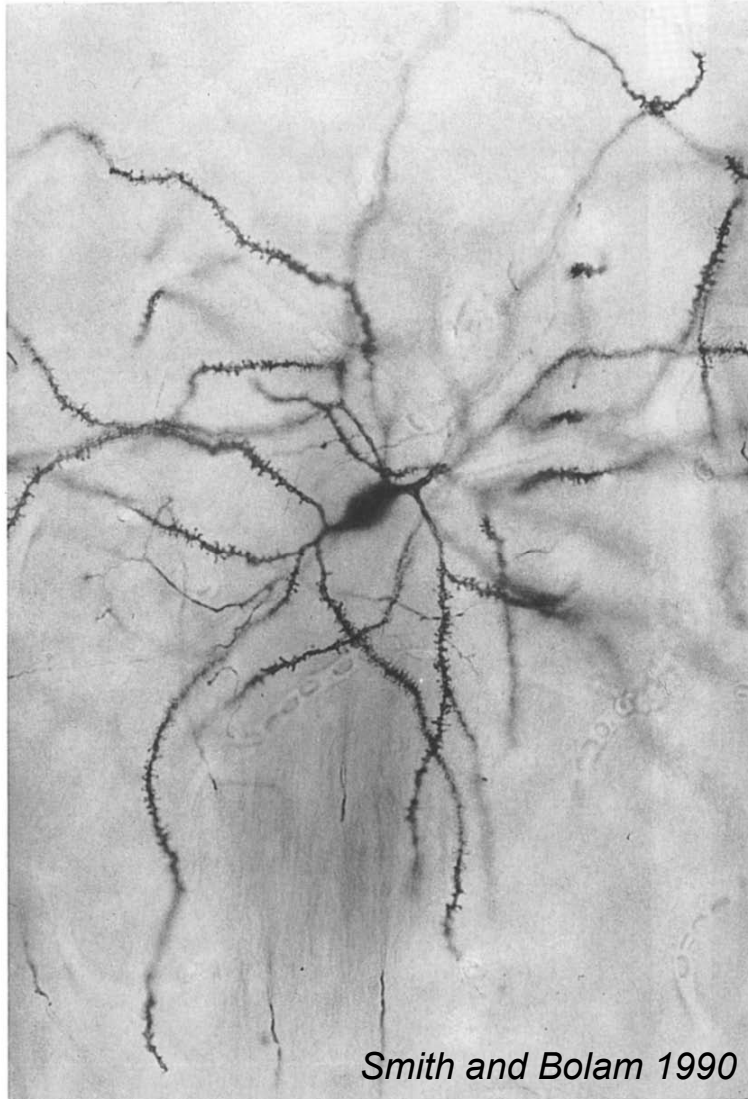
Lateral view



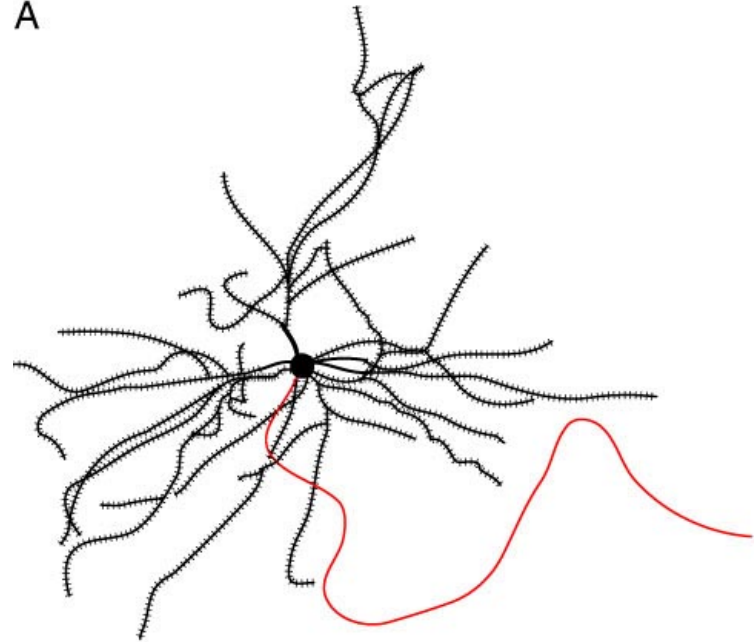
Toes   Fingers   Lips   Eyes   Overlap

# Ραβδωτό Σώμα

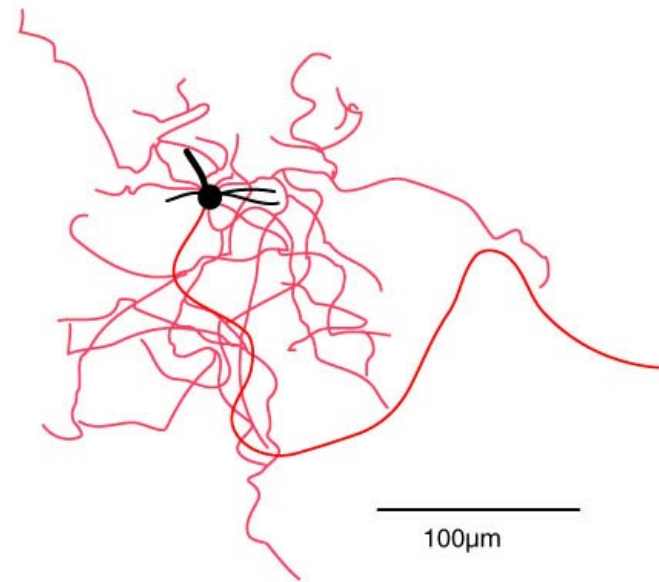
Ακανθωτοί νευρώνες



A



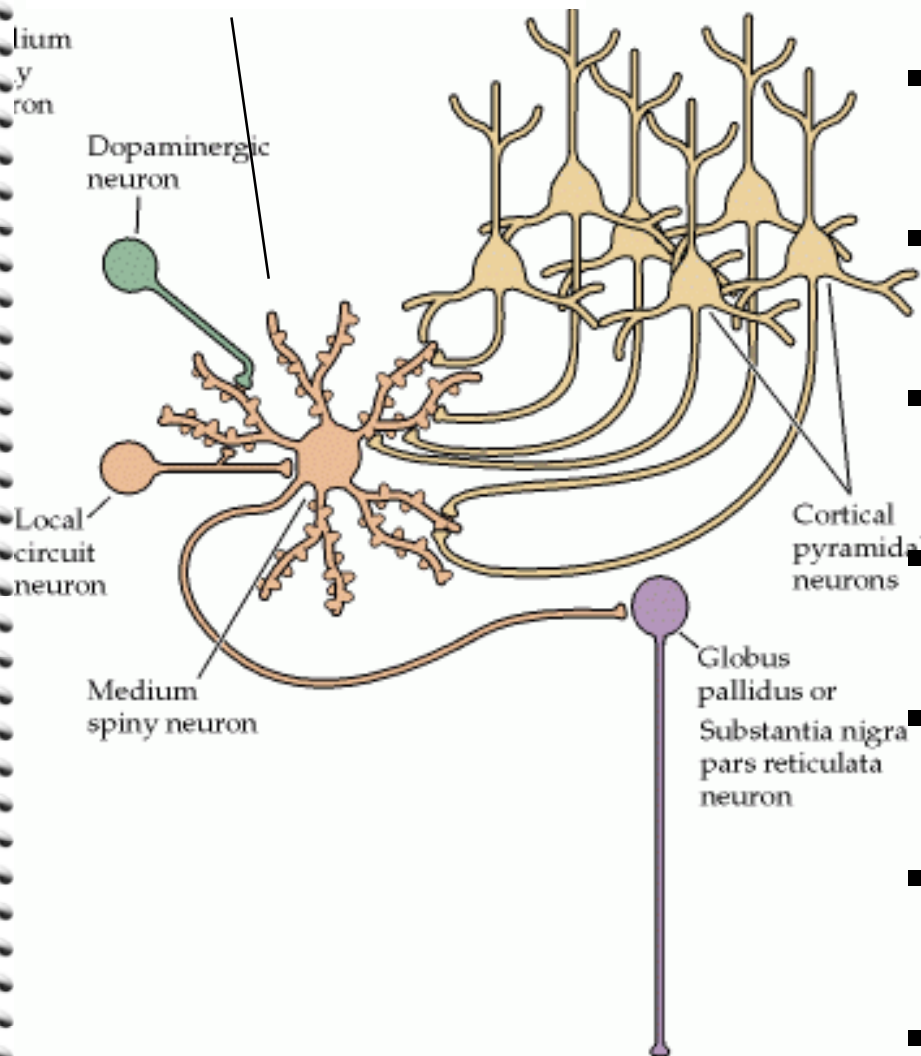
B





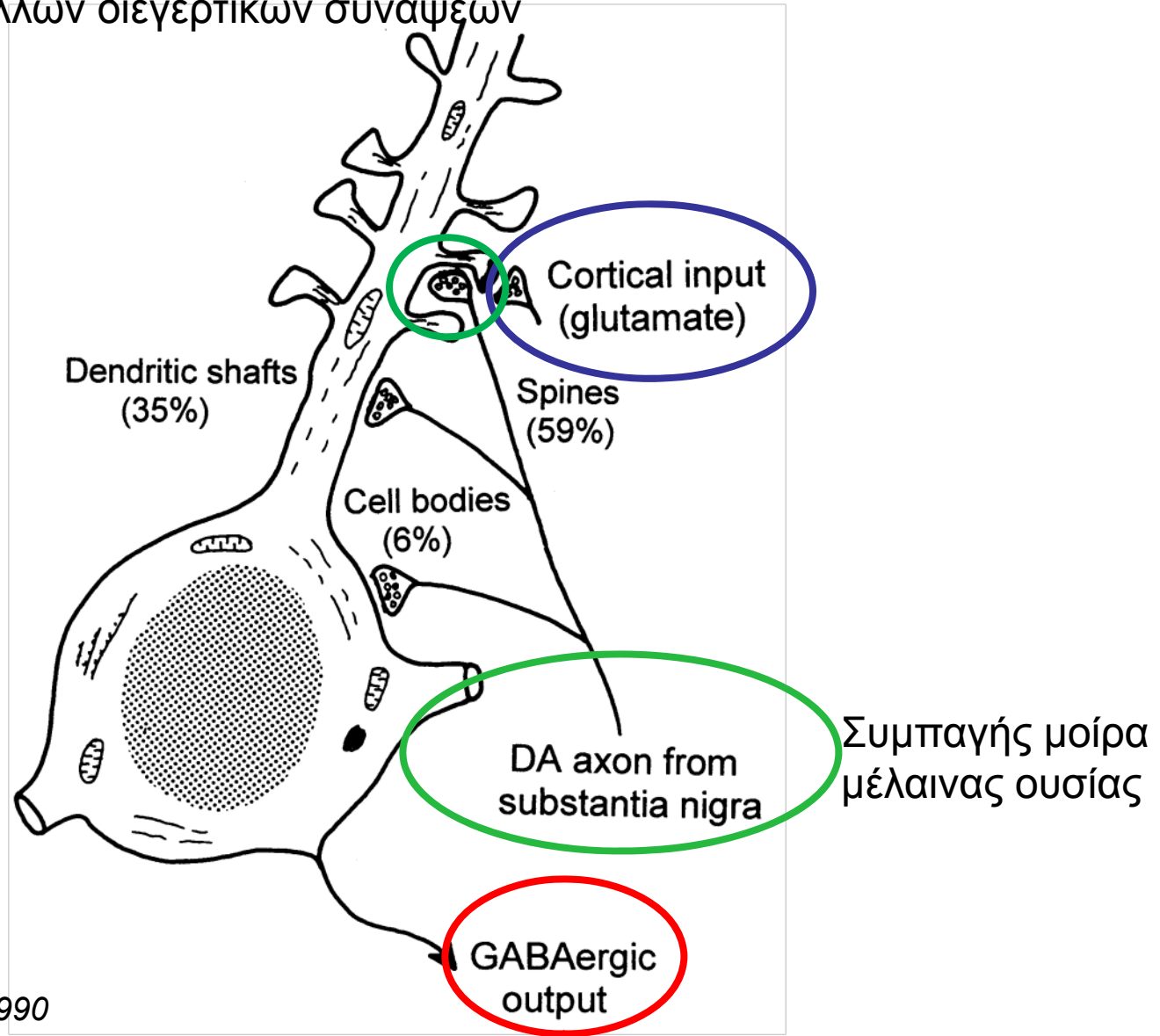
# Ραβδωτό Σώμα

## Ακανθωτοί νευρώνες



- Δέχονται διεγερτική είσοδο από φλοιό (γλουταμινεργική)
- Προβλητικοί νευρώνες (προς μέλαινα ουσία, ωχρά σφαίρα)
- Νευροδιαβιβαστής: **GABA** (ανασταλτικοί νευρώνες)
- Εκτεταμένο δενδριτικό πεδίο => άθροιση/ολοκλήρωση εισόδων
- Σύγκλιση από διαφορετικούς φλοιικούς νευρώνες
- Δέχονται είσοδο και από DA νευρώνες της μέλαινας ουσίας
- Σιωπηροί νευρώνες σε ηρεμία

➤ Η πλειοψηφία των προβολών από τον εγκεφαλικό φλοιό και τη συμπαγή μοίρα της μέλαινας ουσίας καταλήγουν στις δενδριτικές άκανθες, **μακριά από το αρχικό τμήμα του νευράξονα** όπου γεννάται το δυναμικό ενέργειας => οι ακανθωτοί νευρώνες δραστηριοποιούνται μόνο μετά από ταυτόχρονη ενεργοποίηση πολλών διεγερτικών συνάψεων



# Λειτουργικά κυκλώματα - Οδοί

(A)

## ▪ Άμεση οδός

Ραβδωτό →

Έσω Ωχρά σφαίρα/Δικτυωτή Μέλαινα

→ Θάλαμος, Άνω διδύμιο

→ Φλοιός

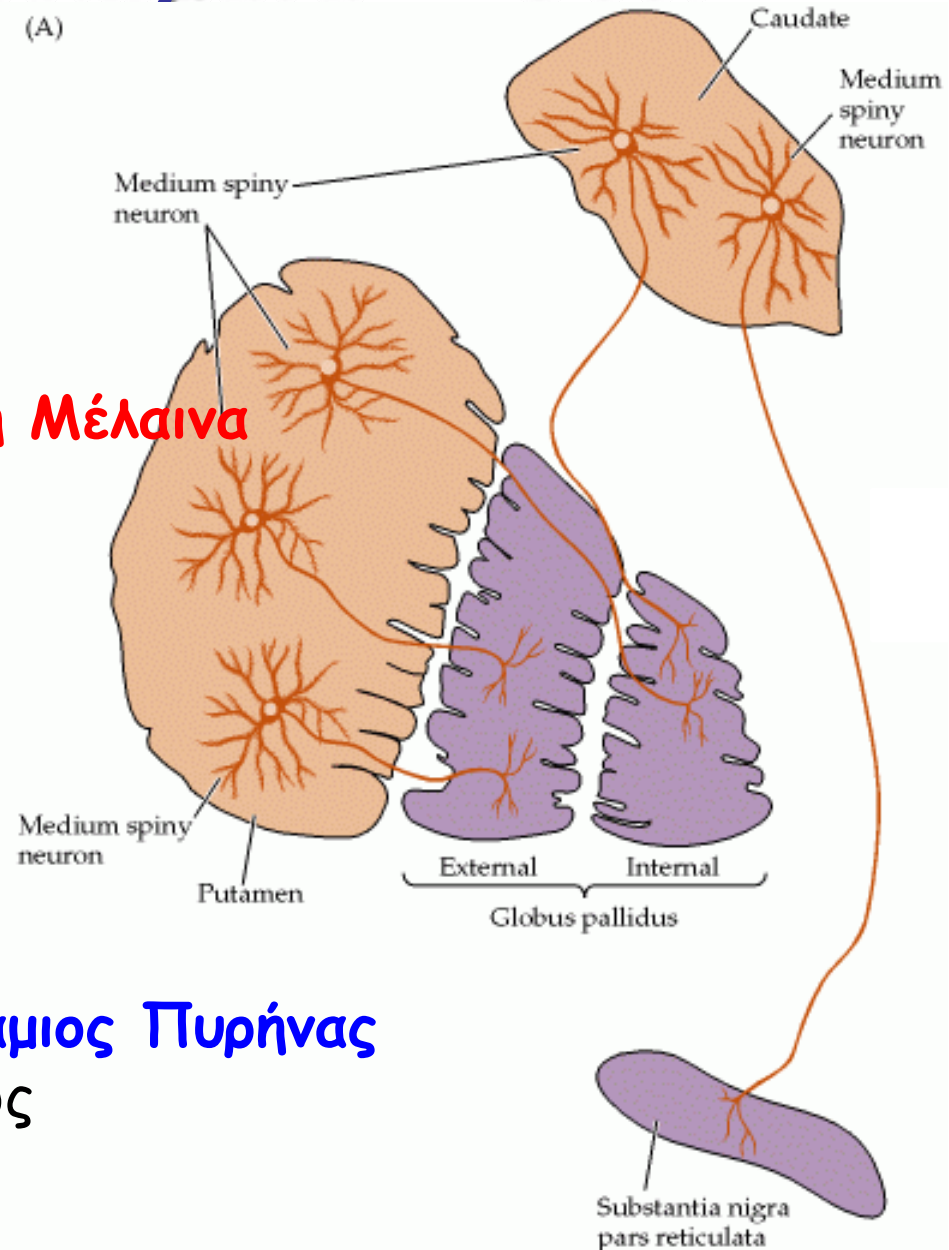
## ▪ Έμμεση οδός

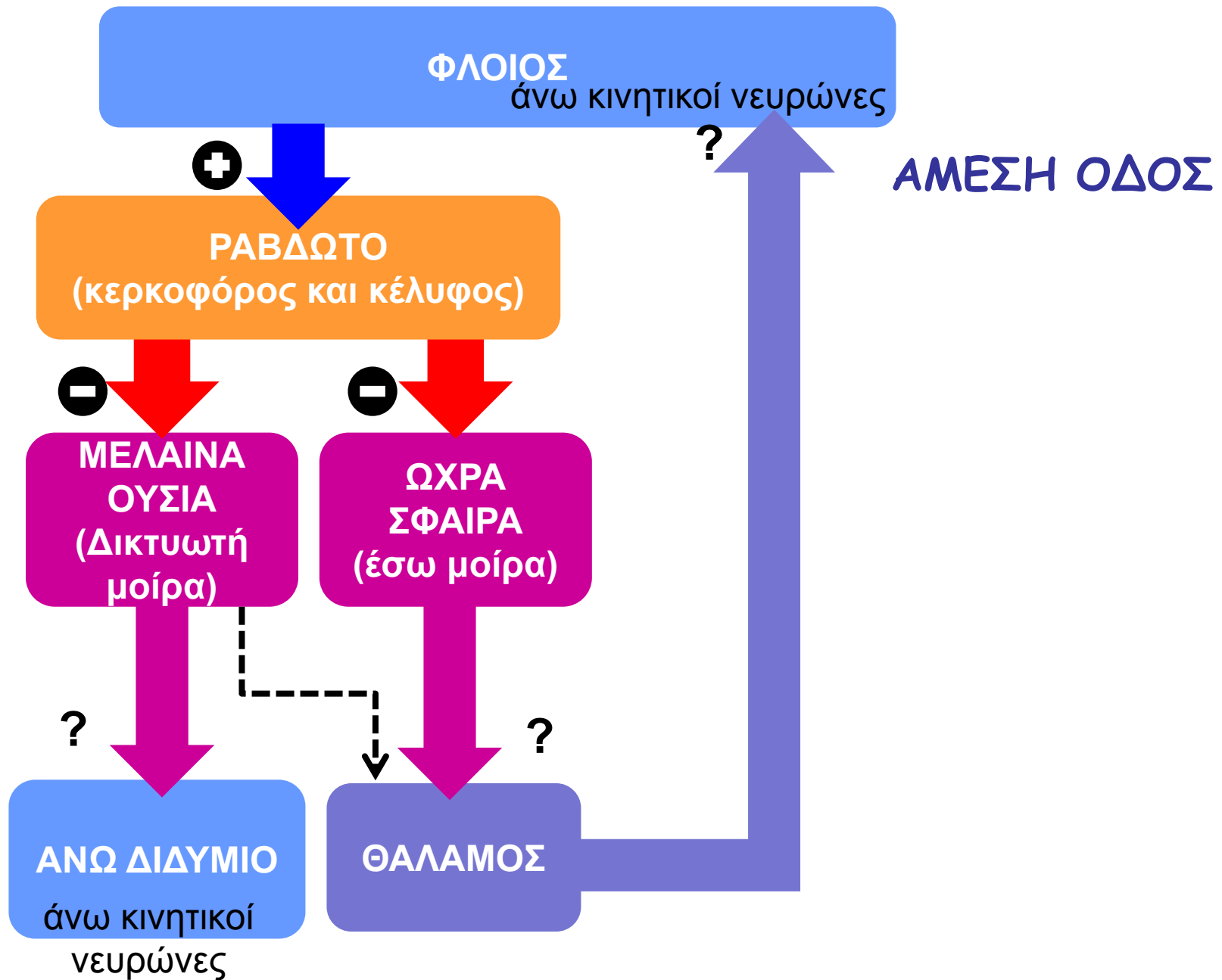
Ραβδωτό →

Έξω Ωχρά σφαίρα → Υποθαλάμιος Πυρήνας

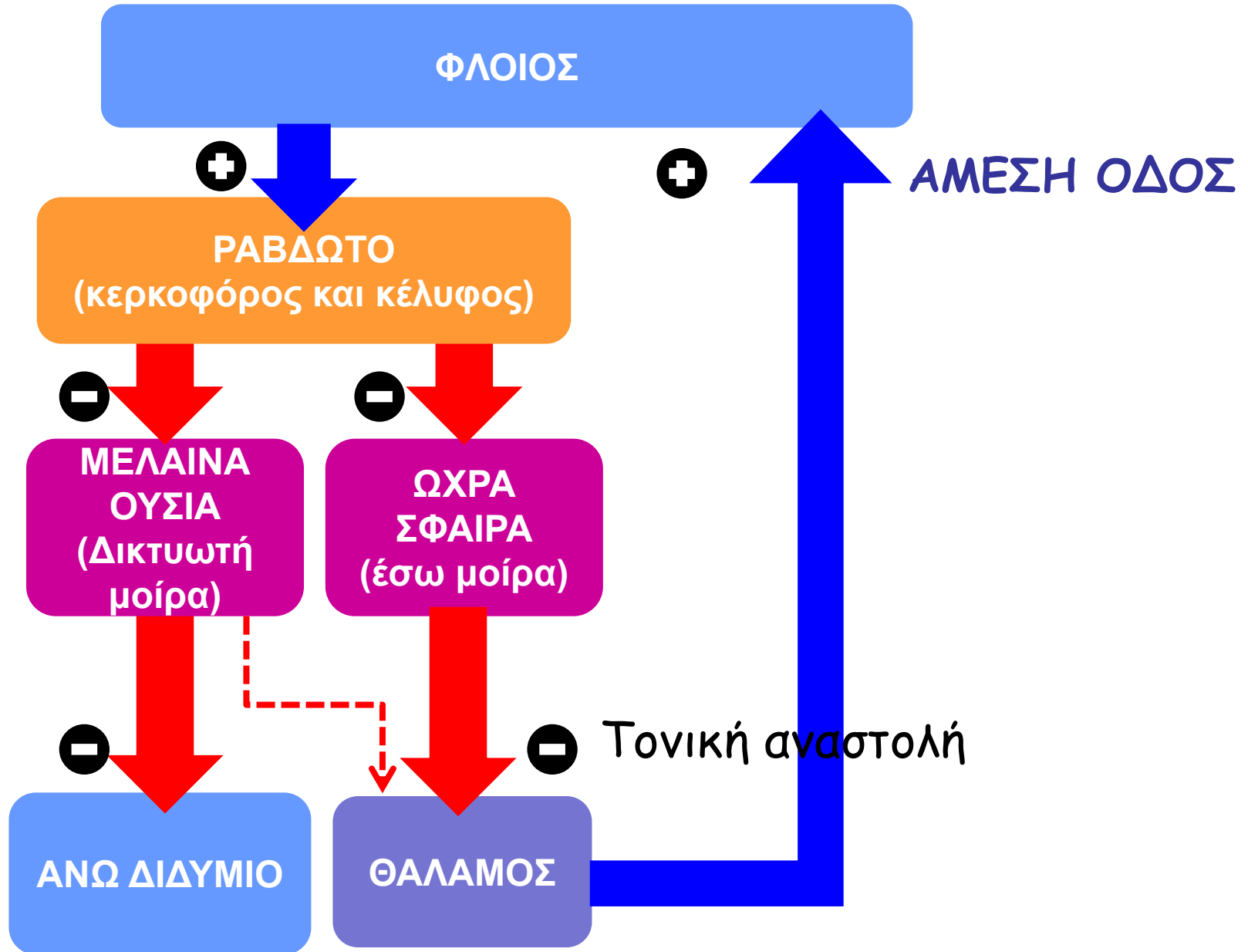
→ Έσω Ωχρά σφαίρα → Θάλαμος

→ Φλοιός

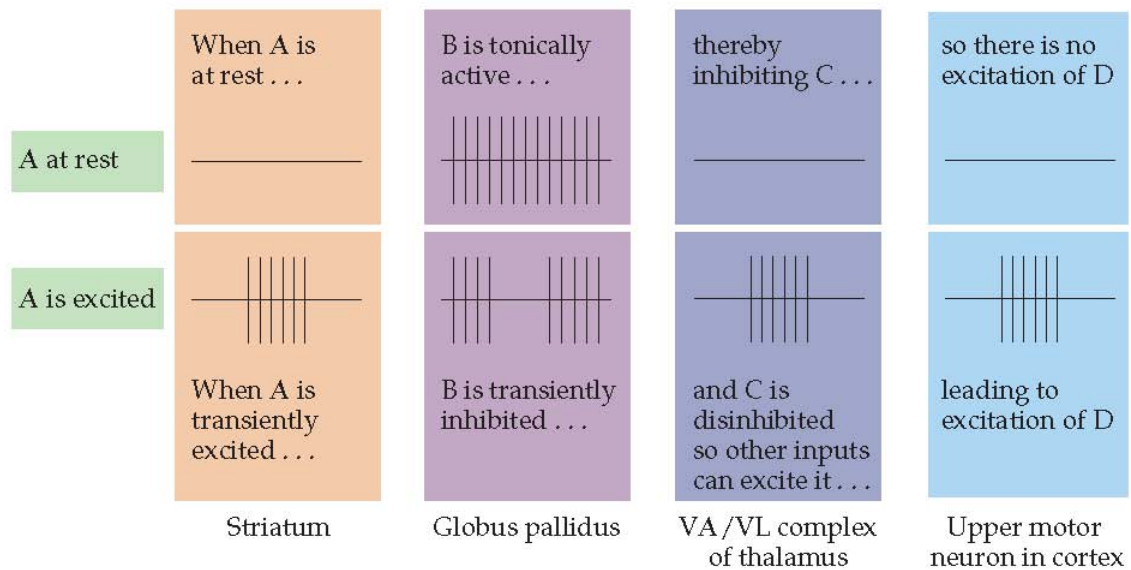
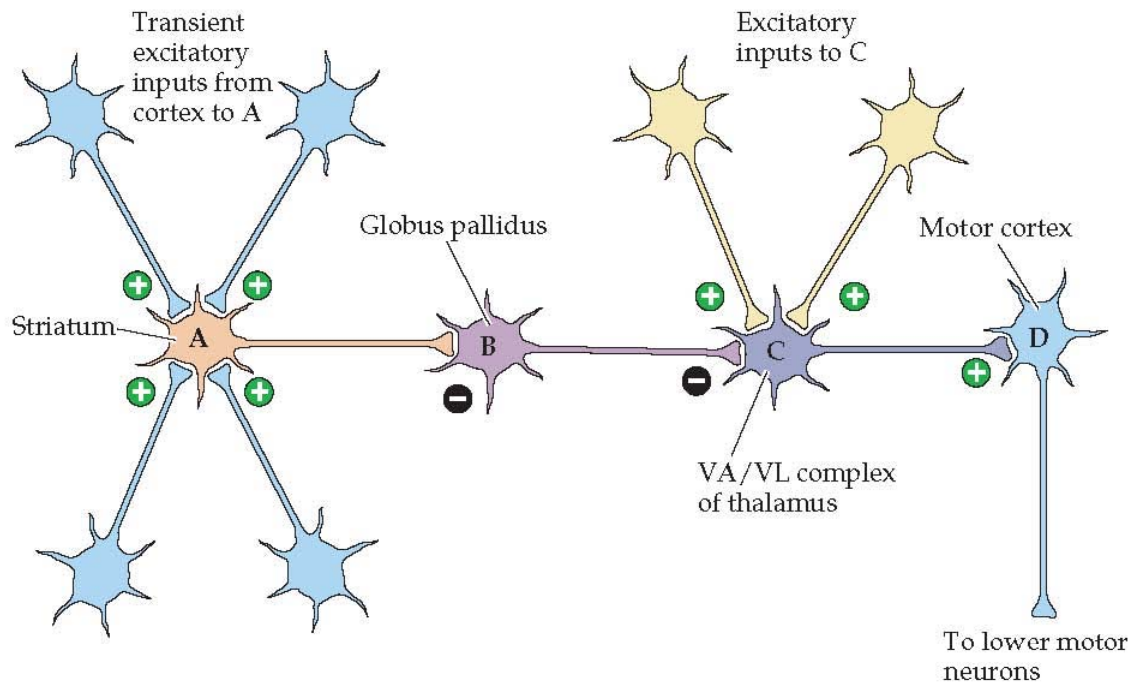




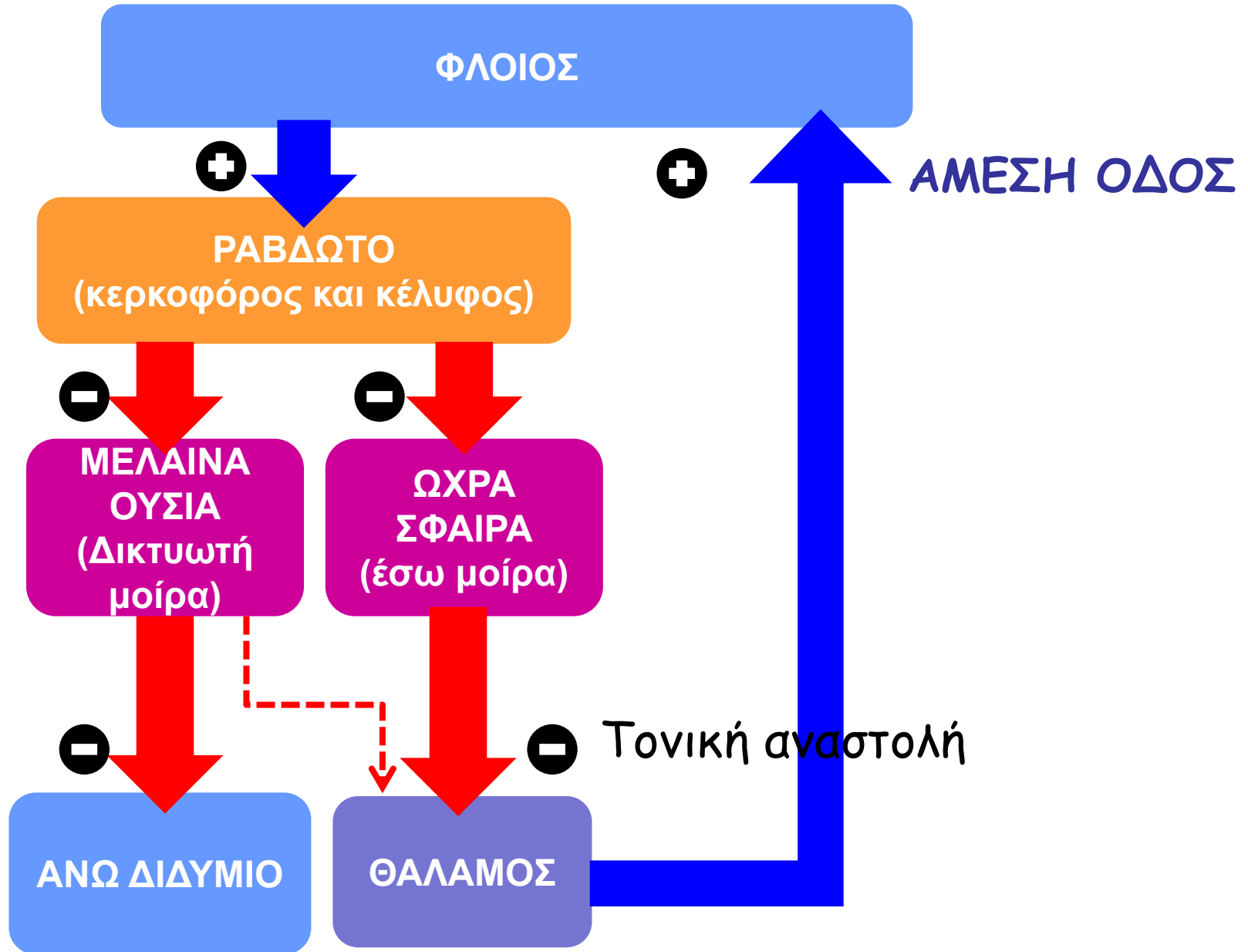
# Η έξοδος των βασικών γαγγλίων είναι ανασταλτική

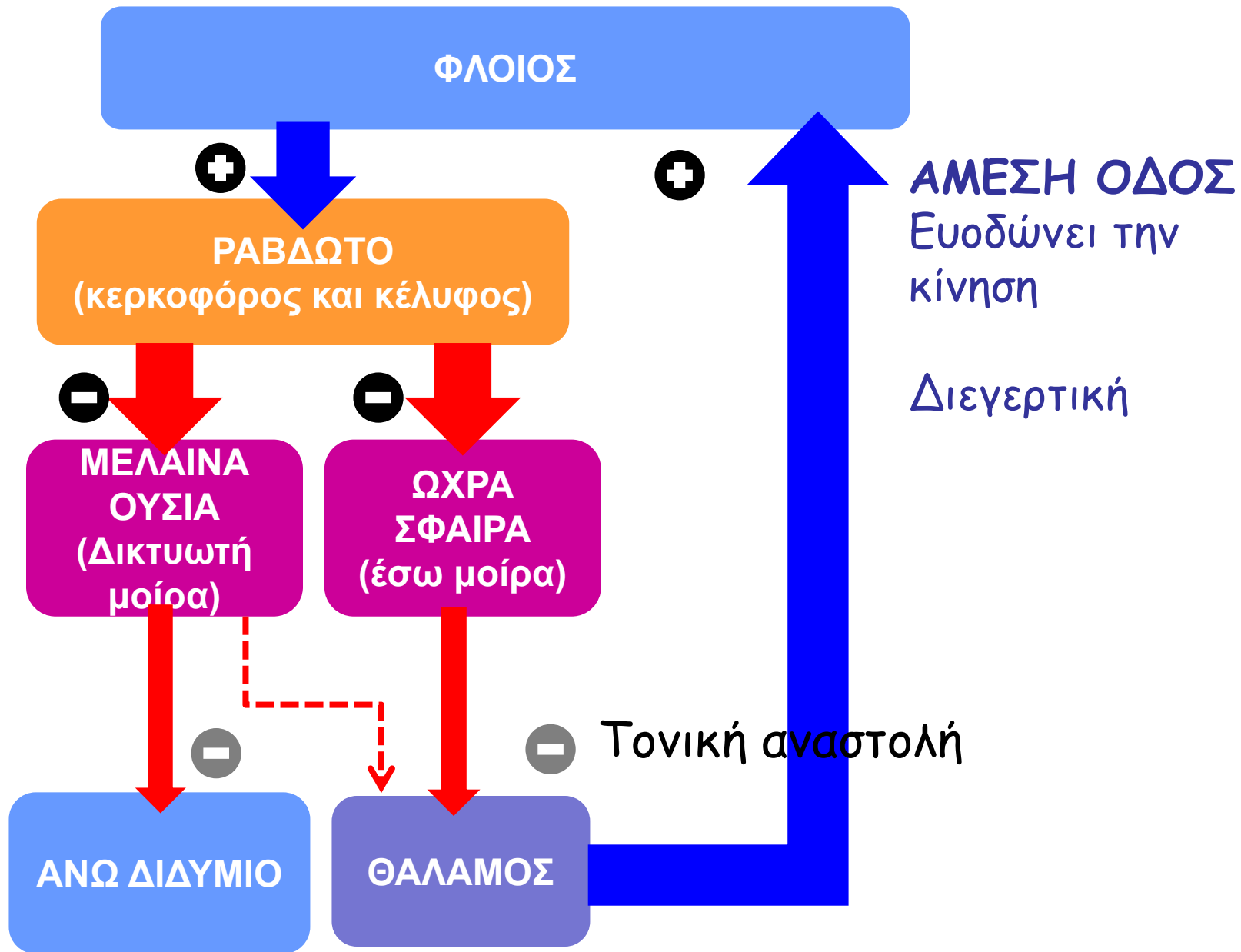


# Κύκλωμα άρσης αναστολής

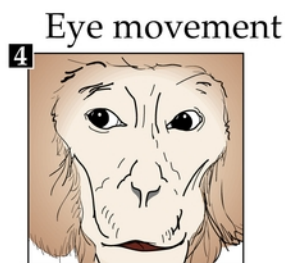
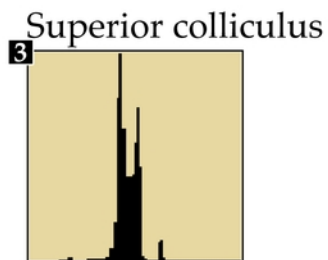
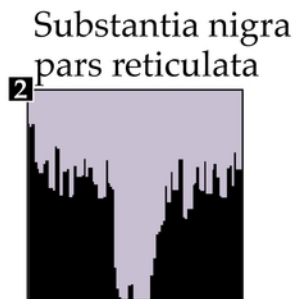
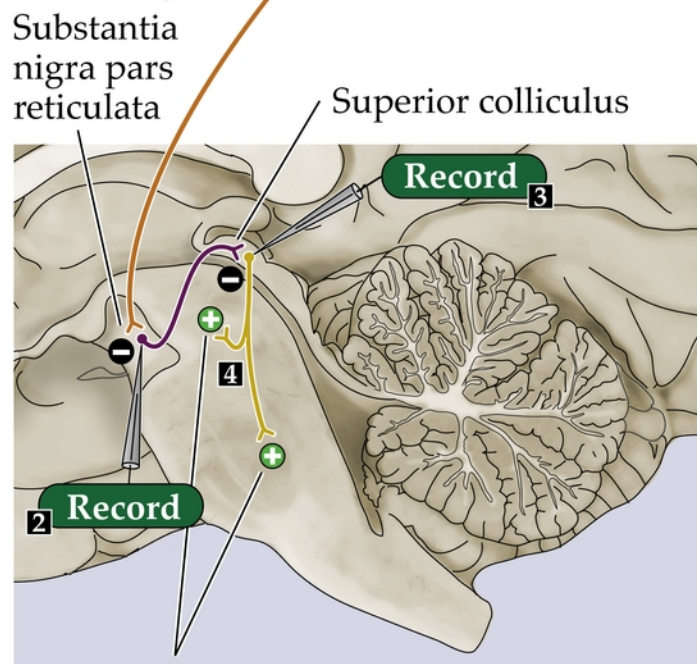
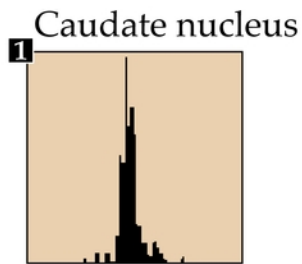
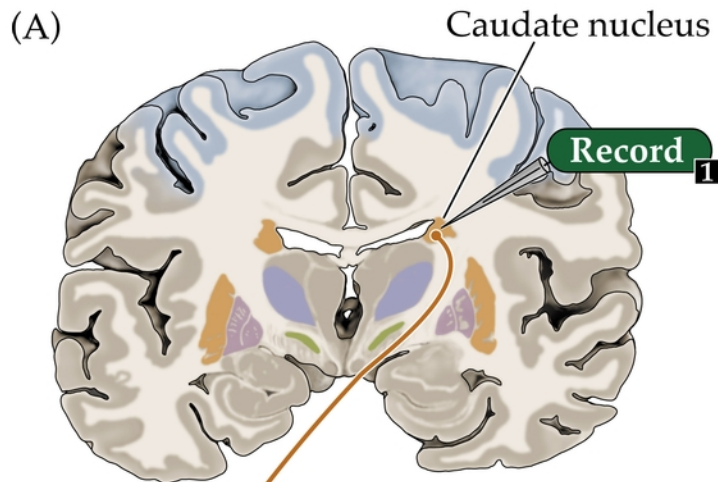


# Η έξοδος των βασικών γαγγλίων είναι ανασταλτική



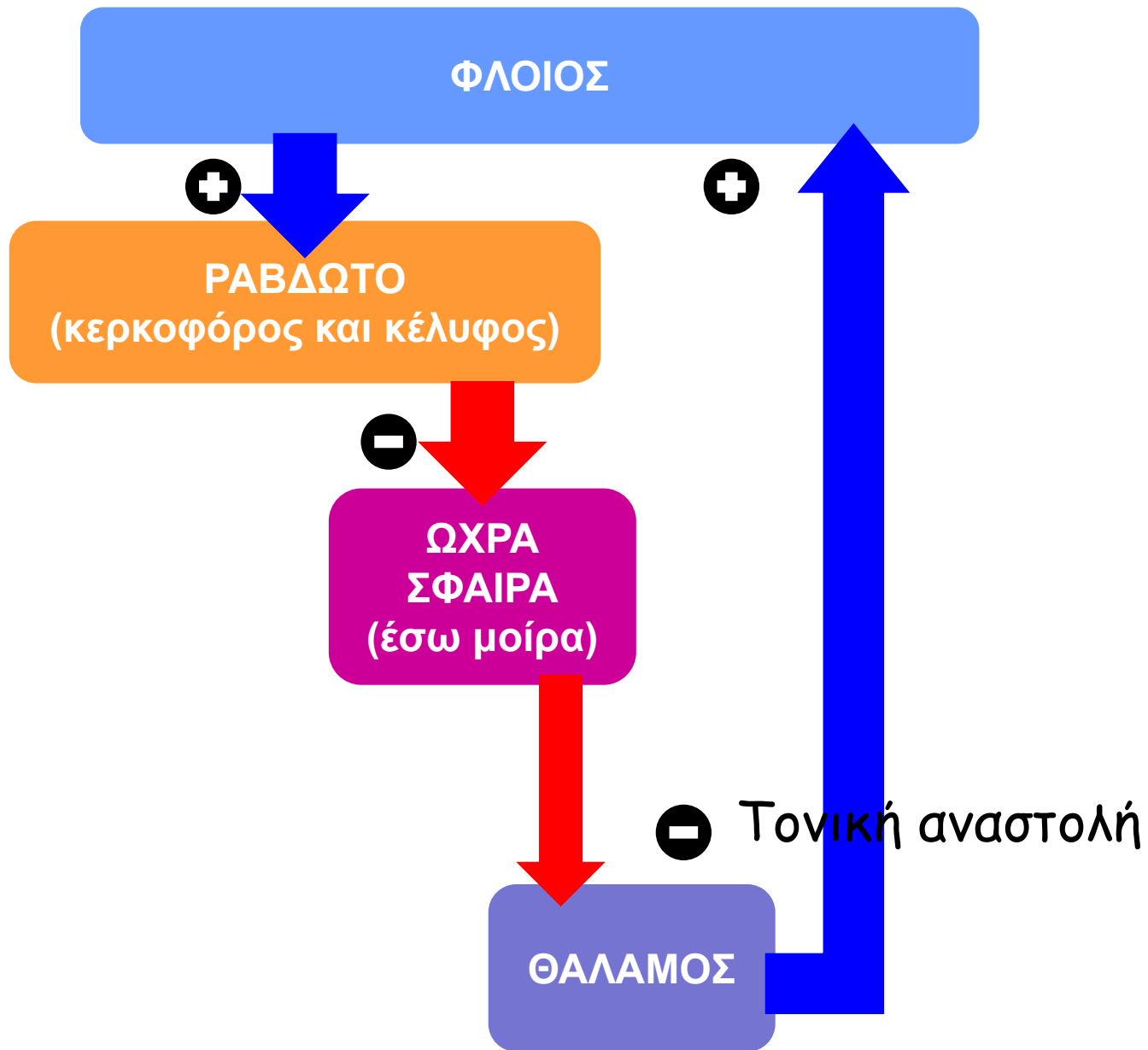


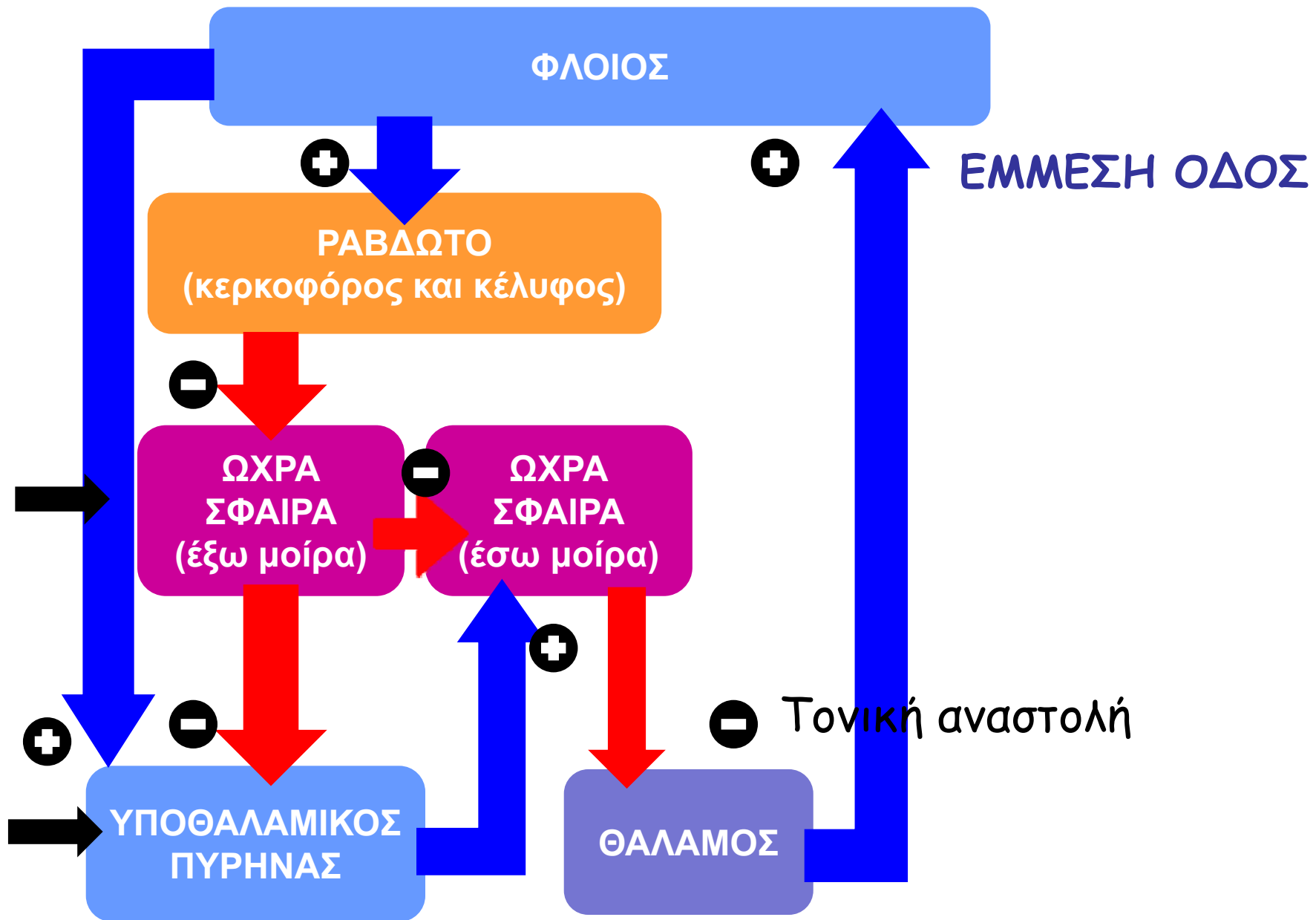


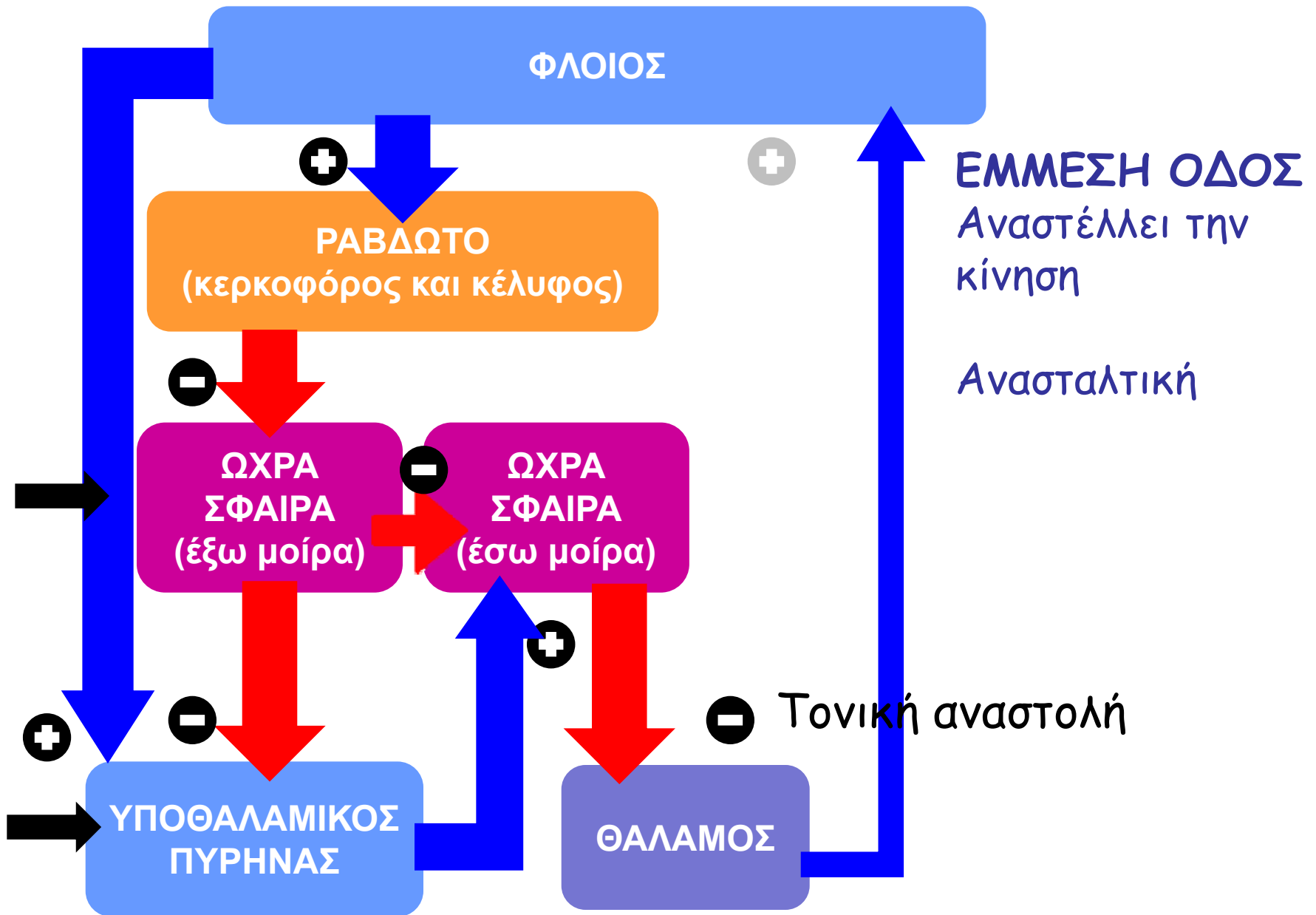


Άρση αναστολής

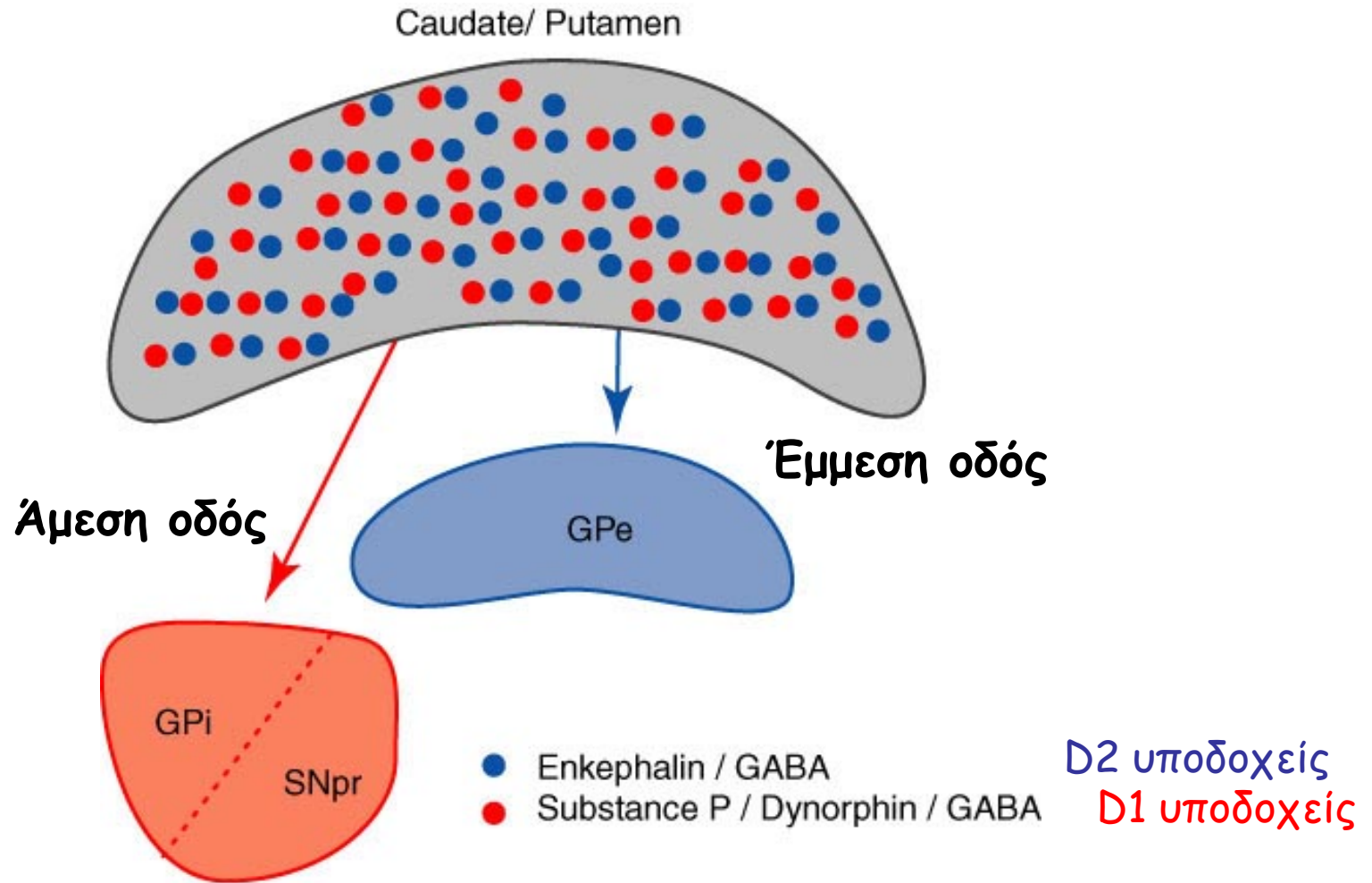
Ο επιτρεπτικός  
ρόλος των  
βασικών  
γαγγλίων στις  
σακκαδικές  
κινήσεις



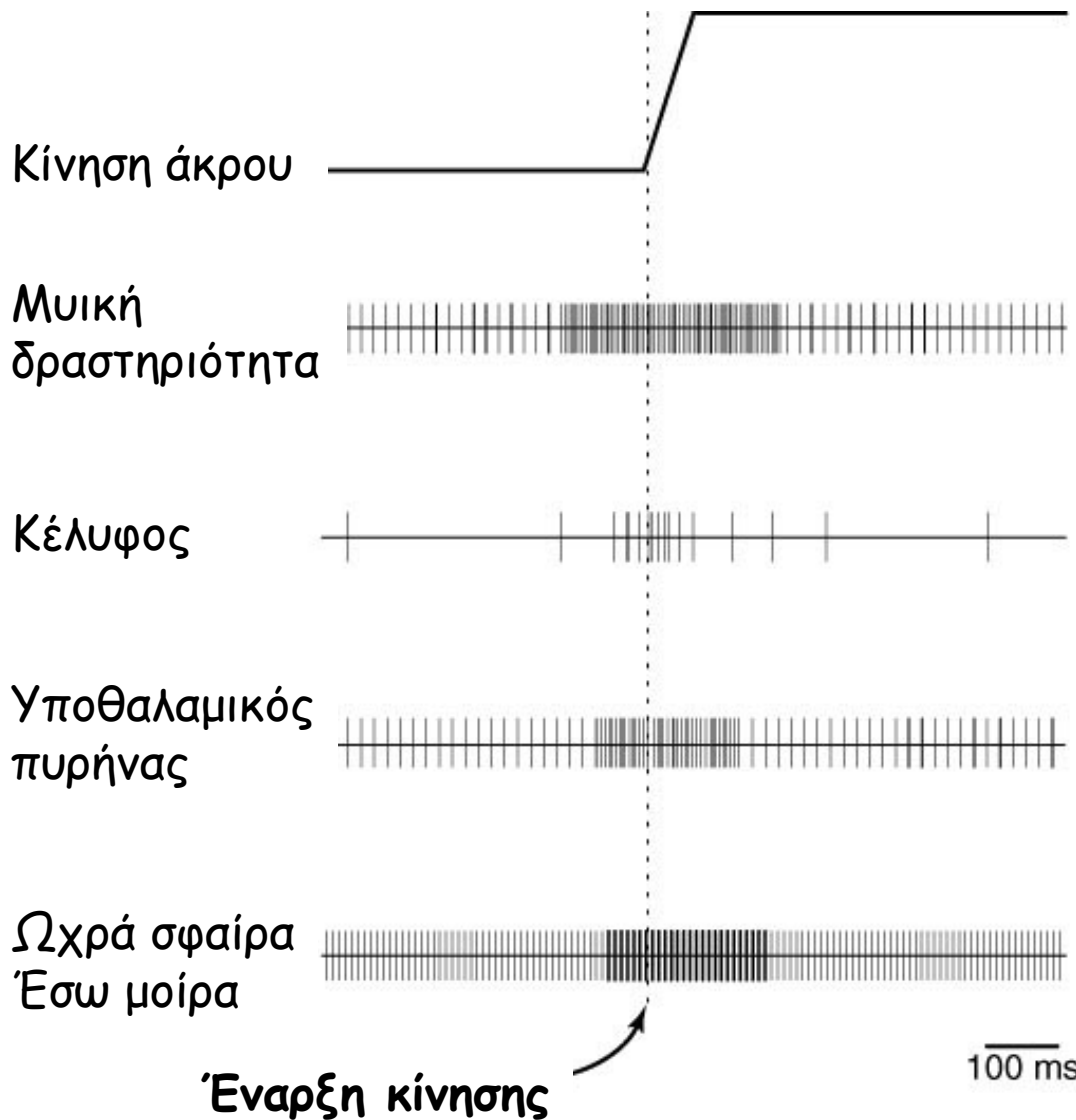




# Νευροχημικά διακριτοί νευρώνες του ραβδωτού συνιστούν τους προβλητικούς νευρώνες της άμεσης και της έμμεσης οδού



# Δραστηριότητα των νευρώνων των βασικών γαγγλίων κατά την κίνηση



Χαμηλή βασική δραστηριότητα 2-10Hz (σιωπηλοί)

Αύξηση συχνότητας εκφόρτισης μετά την έναρξη της μυϊκής δραστηριότητας

Τονική δραστηριότητα ~20Hz  
Αύξηση συχνότητας εκφόρτισης

Τονική δραστηριότητα 60-80Hz  
Αύξηση συχνότητας εκφόρτισης

# Δραστηριότητα των νευρώνων των βασικών γαγγλίων κατά την κίνηση

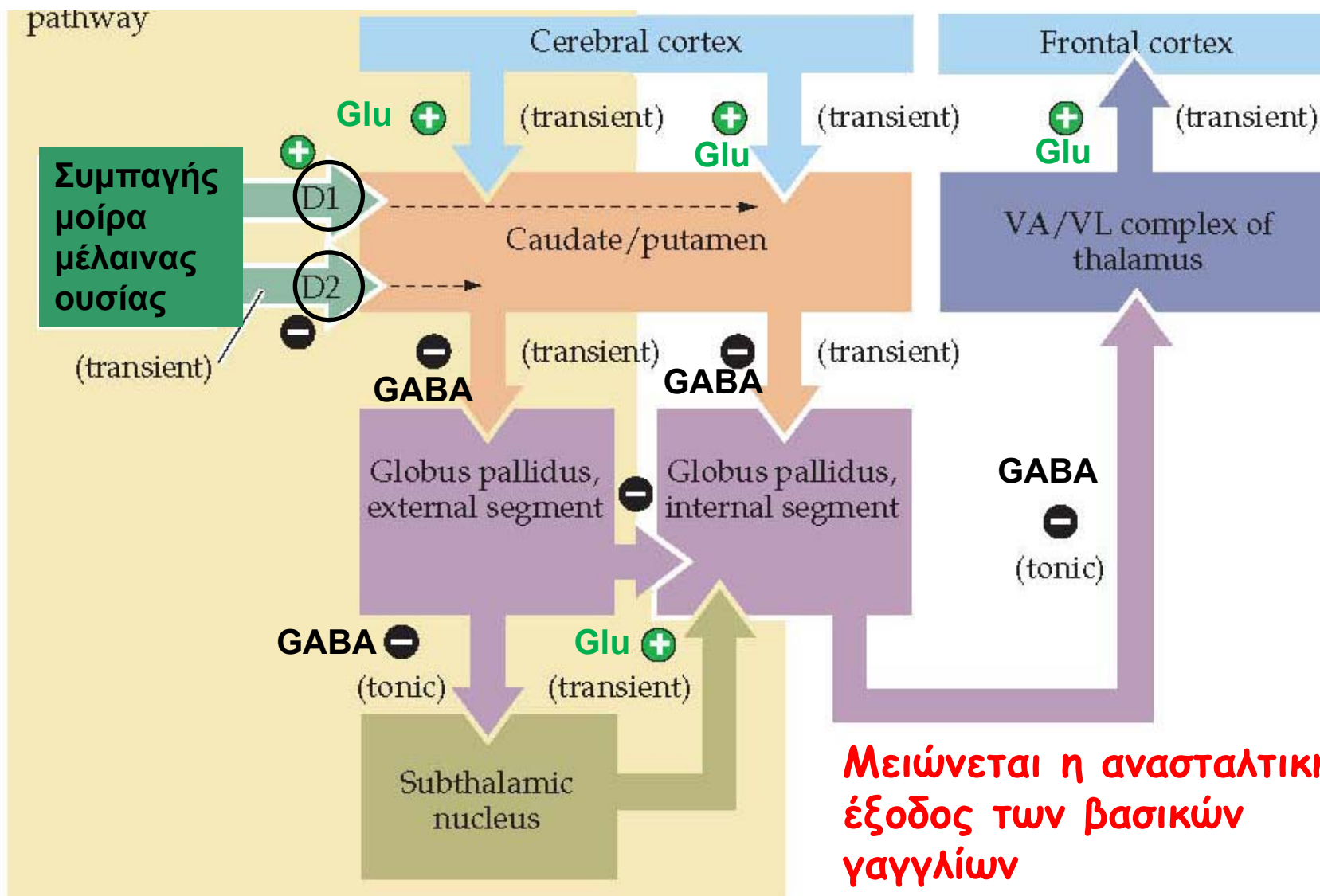
1. Νευρώνες σχετιζόμενοι με κίνηση διατάσσονται **σωματοτοπικά** στους πυρήνες των βασικών γαγγλίων.
2. Οι νευρώνες του ραβδωτού **πυροδοτούν** κατά την κίνηση (σε ηρεμία σιωπηλοί) ενώ του υποθλαμικού πυρήνα **αυξάνουν** την **τονική τους δραστηριότητα** κατά την κίνηση.
3. Οι νευρώνες της έσω ωχράς σφαίρας είναι **τονικοί**. Αυξάνουν δραστηριότητα κατά την κίνηση αλλά το 1/3 αυτών μειώνει τη δραστηριότητά τους σε κίνηση του άνω άκρου.
4. Οι νευρώνες της δικτυωτής μοίρας της μέλαινας ουσίας είναι **τονικοί**. Οι σχετιζόμενοι με σακκαδικές κινήσεις μειώνουν τη δραστηριότητά τους κατά την κίνηση.
5. Αλλαγές της δραστηριότητας των βασικών γαγγλίων συμβαίνουν **μετά την έναρξη της μυϊκής δραστηριότητας**.
6. Νευρώνες της ωχράς σφαίρας, του κελύφους και του υποθλαμικού πυρήνα μπορεί να μεταβάλλουν τη δραστηριότητά τους και κατά την **προετοιμασία** της κίνησης

# Τι λείπει?

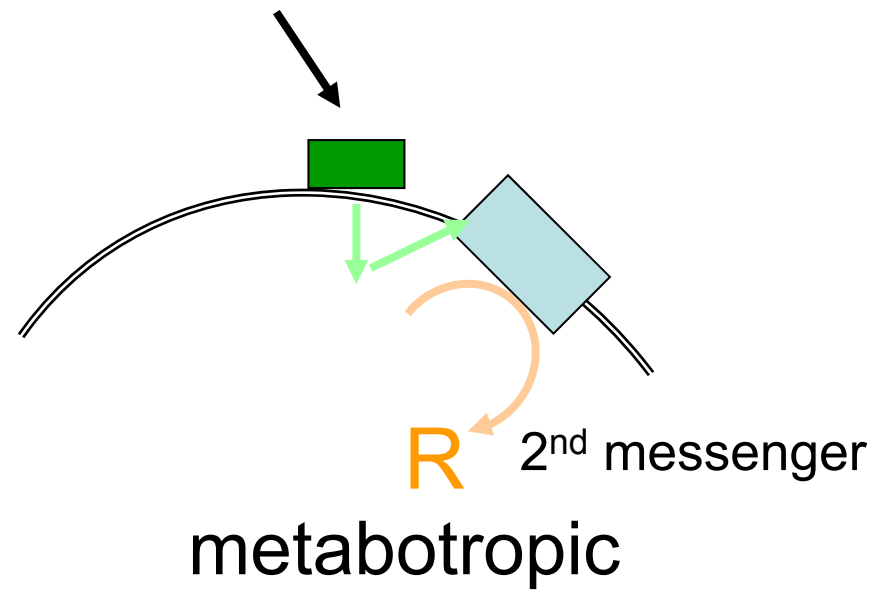
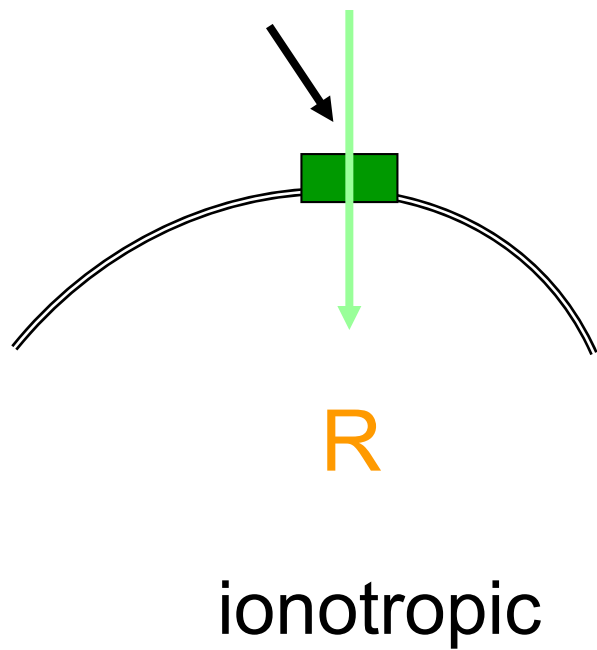
- Δράση ντοπαμίνης (DA)
  - Άμεση οδός: Διεγείρεται
  - Έμμεση οδός: Αναστέλλεται
- ➔ Συνολικά διεγερτική για την κίνηση



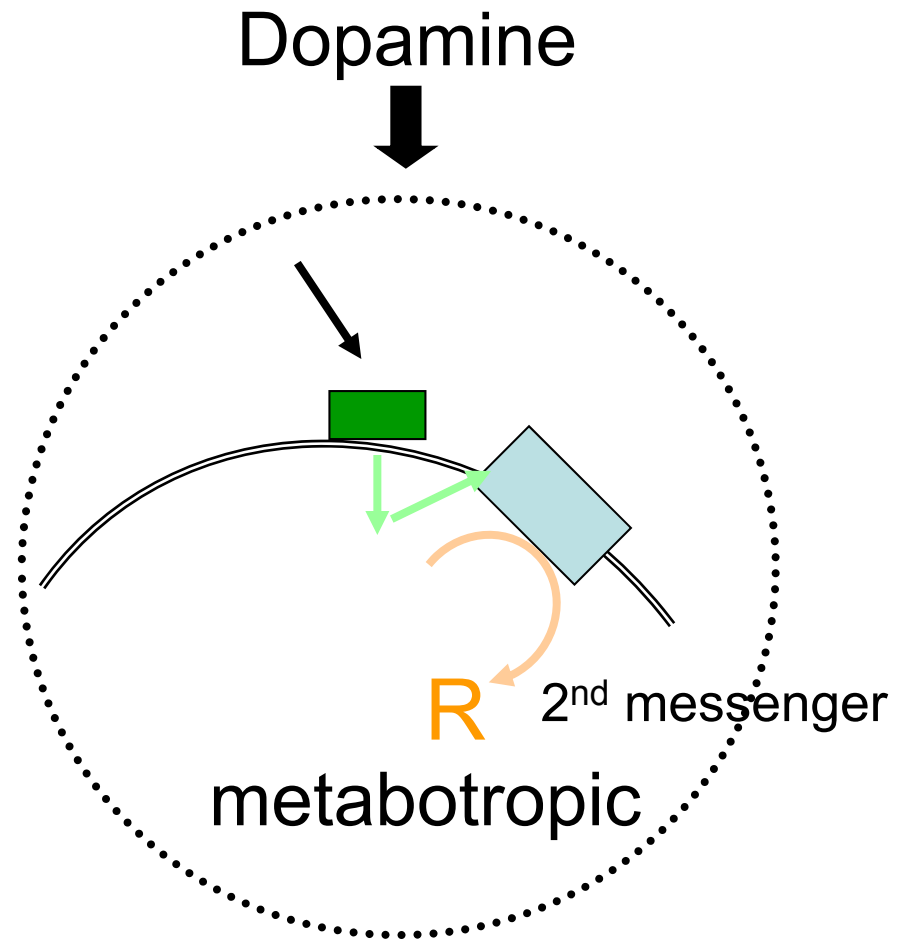
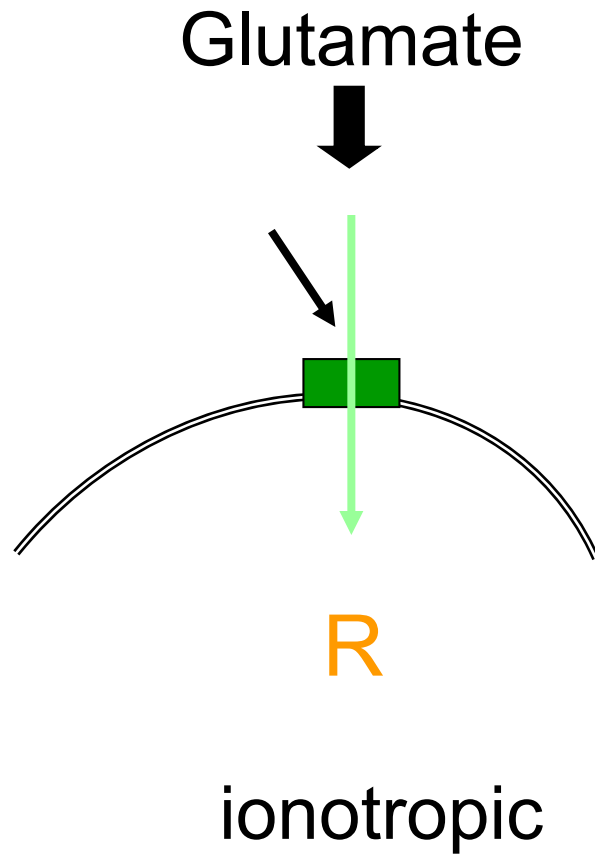
- Οι ίδιοι νευρώνες της μέλαινας ουσίας παρέχουν **διεγερτικές δράσεις που διαμεσολαβούνται από D1 υποδοχείς** στους ακανθωτούς νευρώνες που προβάλλουν στην έσω ωχρά (άμεση οδός), και «**ανασταλτικές**» δράσεις που διαμεσολαβούνται από **D2 υποδοχείς** στους ακανθωτούς νευρώνες που προβάλλουν στην έξω ωχρά (έμμεση οδός).



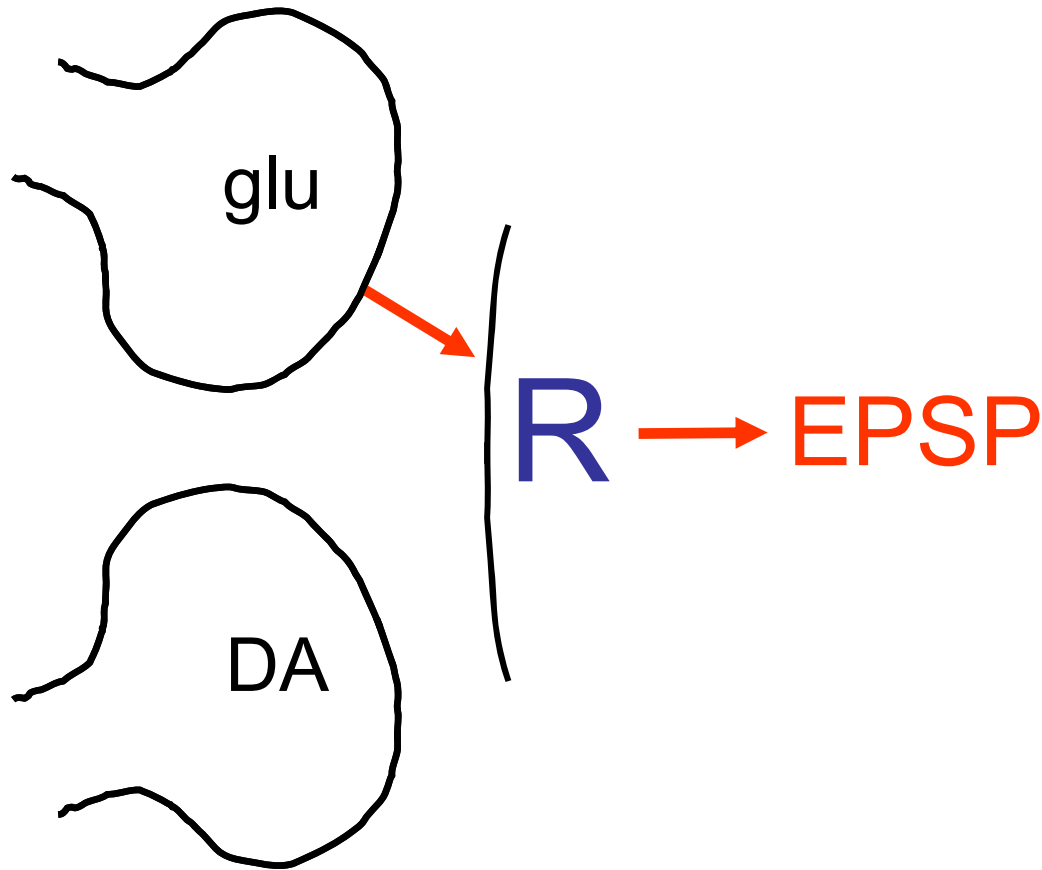
# Ionotropic *versus* metabotropic



# Ionotropic *versus* metabotropic

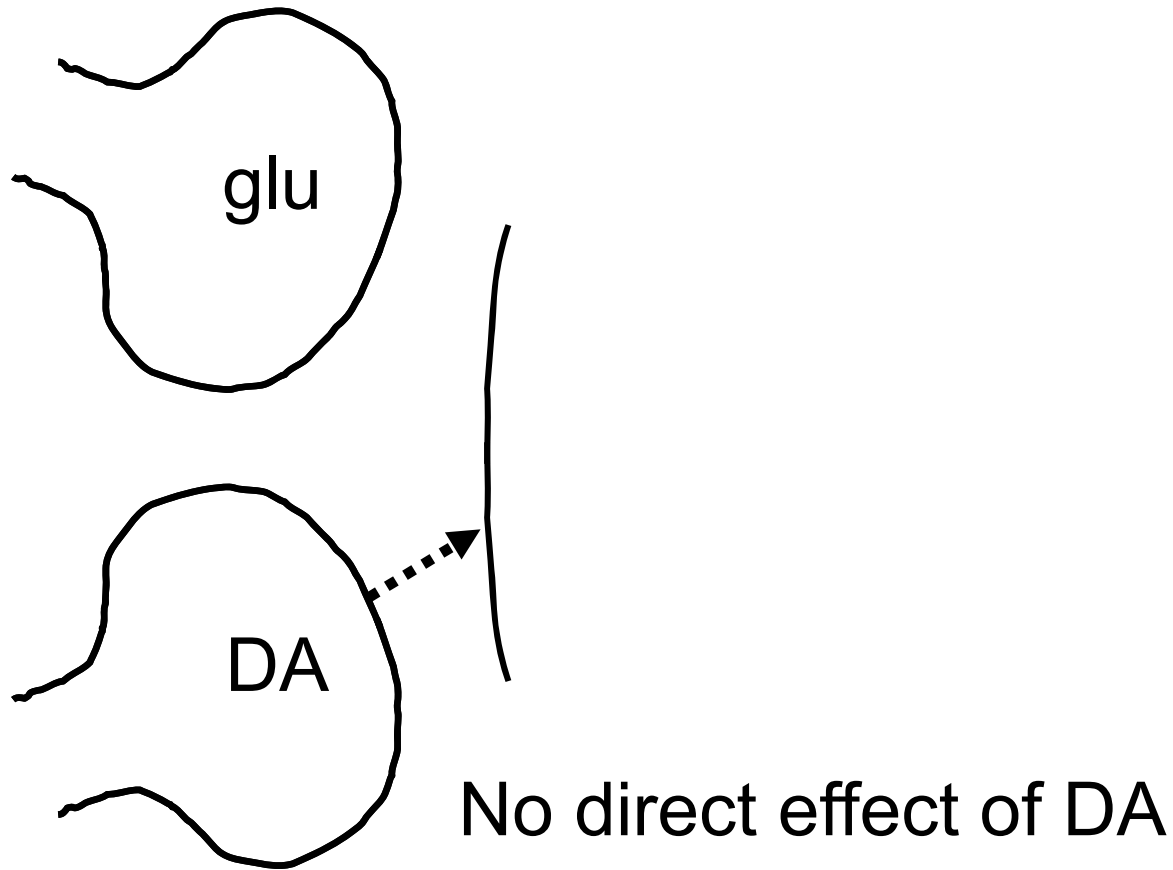


# Direct transmission vs. modulation

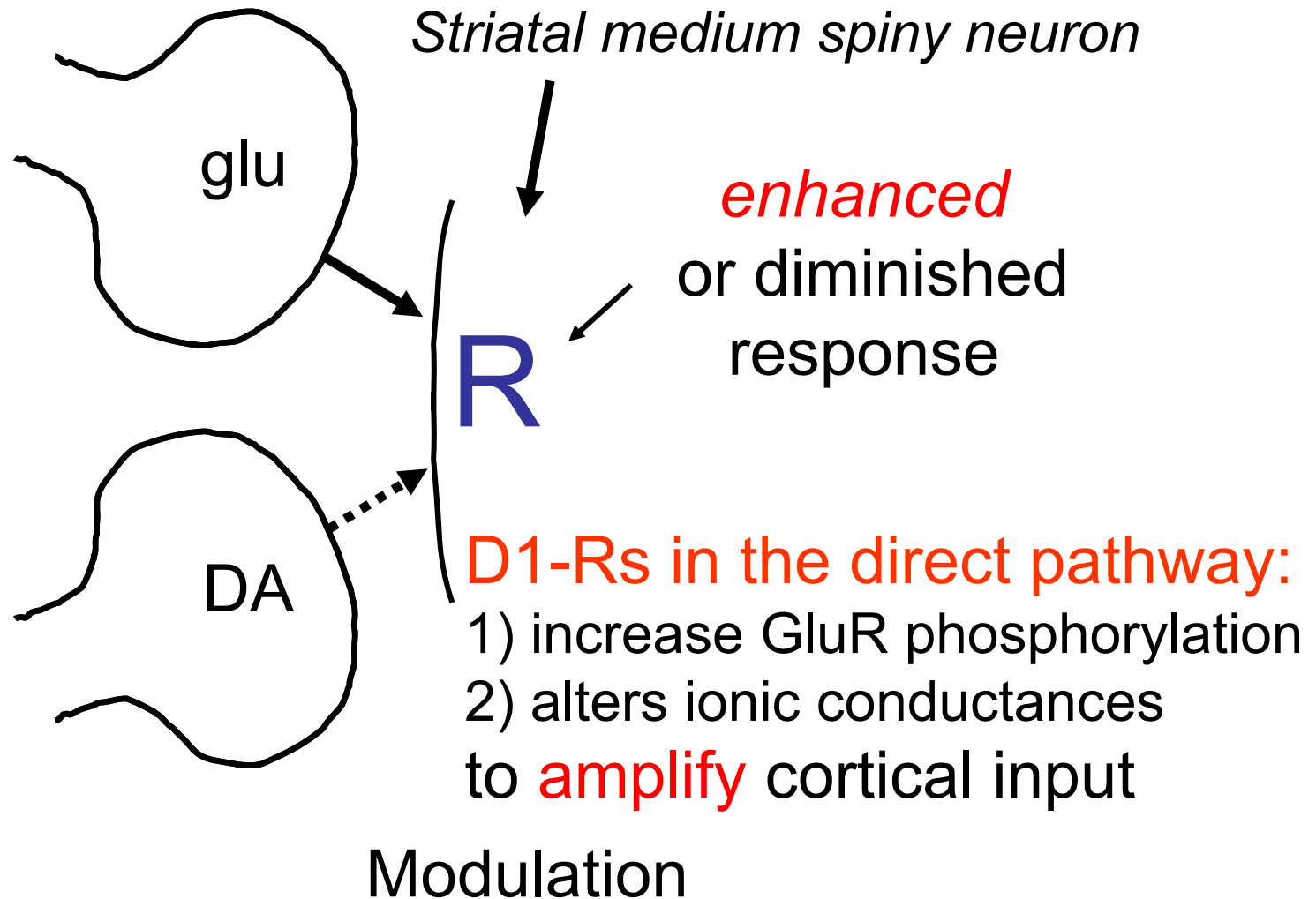


Direct transmission

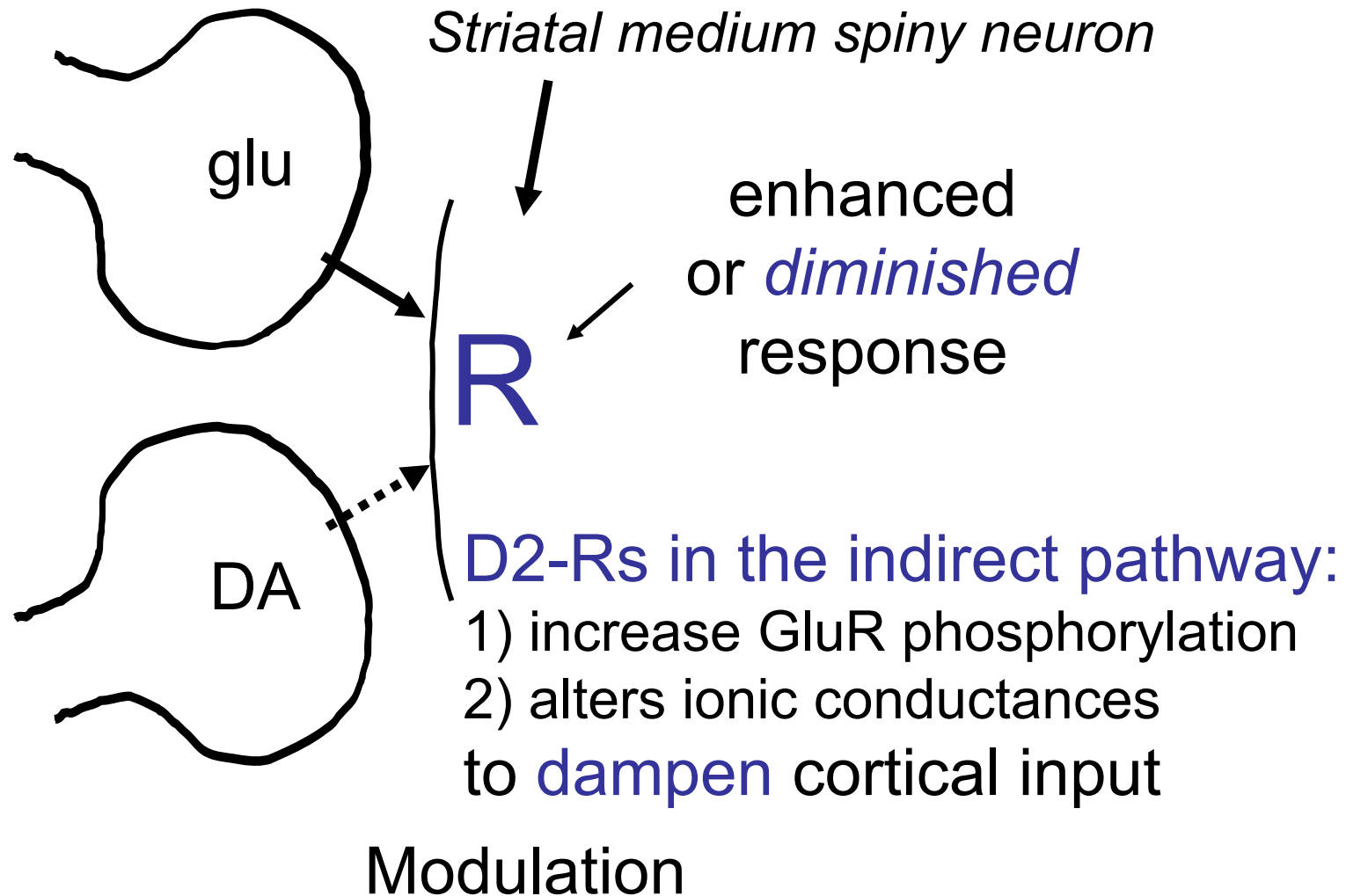
# Direct transmission vs. modulation



# Direct transmission vs. modulation



# Direct transmission vs. modulation



# *Η κινητική συμπεριφορά καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ των άμεσων και έμμεσων εξόδων του ραβδωτού*

- Υποκινητικές διαταραχές (Parkinson's)
  - Ανεπαρκής δραστηριότητα της άμεσης οδού
  - Υπερβολική δραστηριότητα έμμεσης οδού
- Υπερκινητικές διαταραχές (ημιβαλλισμός, Huntington's)
  - Υπερβολική δραστηριότητα άμεσης οδού
  - Ανεπαρκής δραστηριότητα της έμμεσης οδού

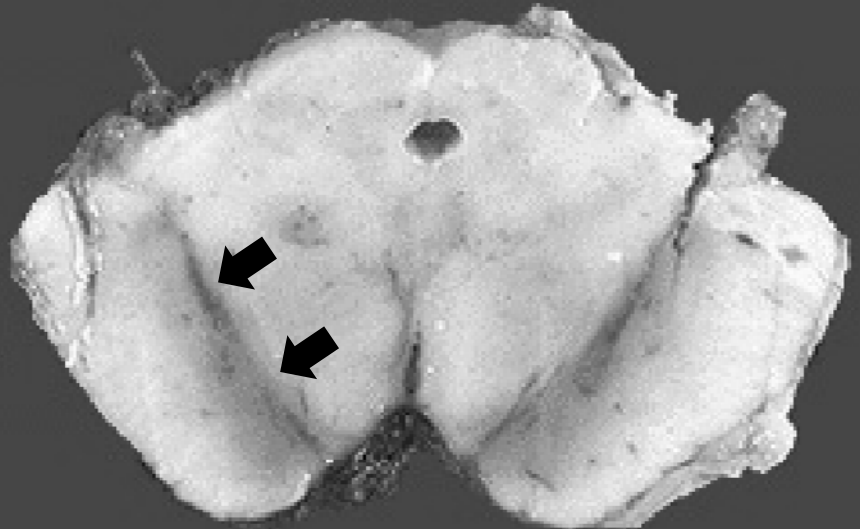


# *Parkinson's disease*

Human midbrain



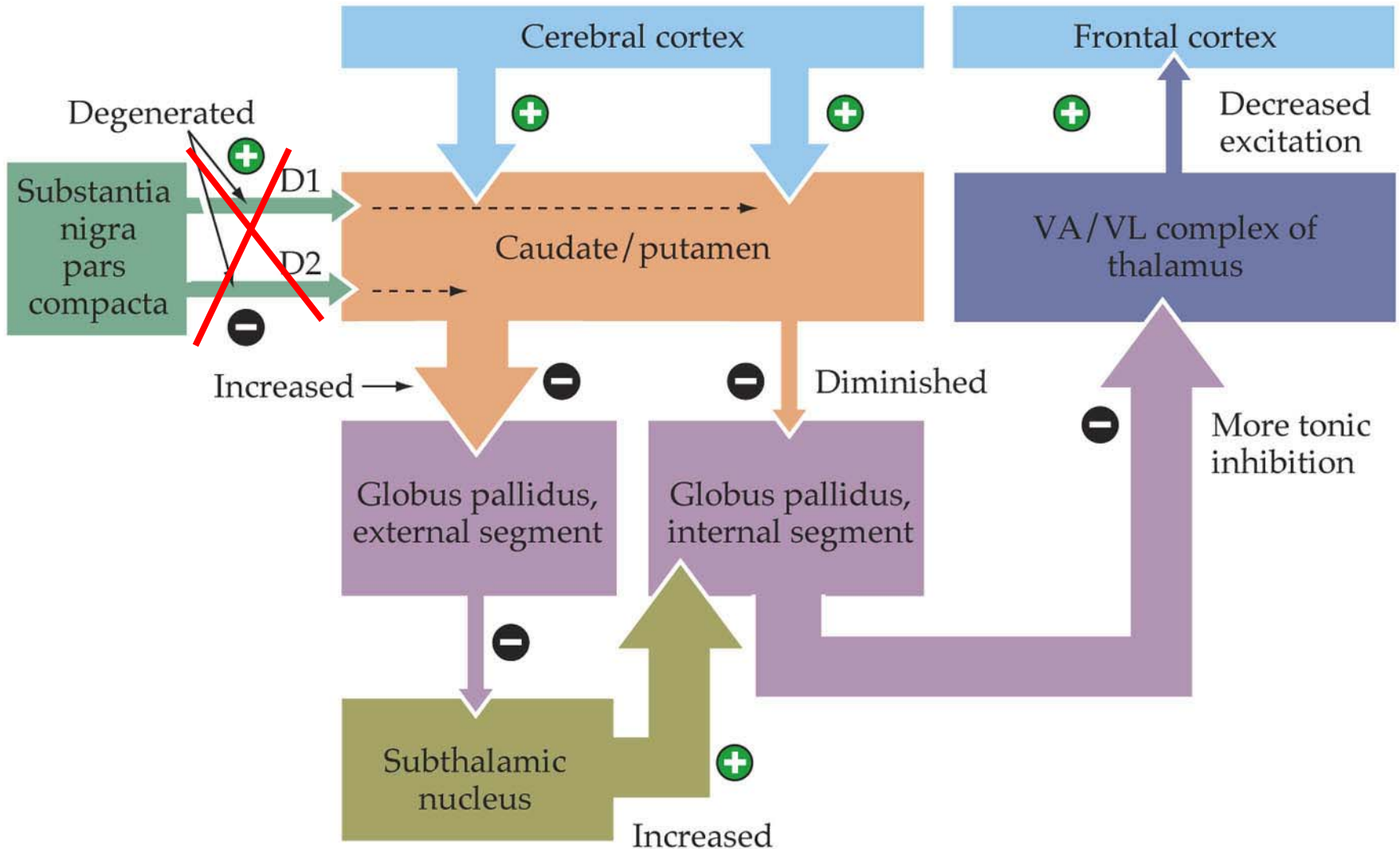
Parkinson's  
disease



Normal

# Parkinson's disease

## Απώλεια DAεργικών νευρώνων μέλαινας ουσίας



# *Parkinson's disease*

## Συμπτώματα

### Κινητικά

- Τρόμος (~4-5 Hz, resting)
- Βραδυκινησία
- Μυική ακαμψία
- Ακίνησία

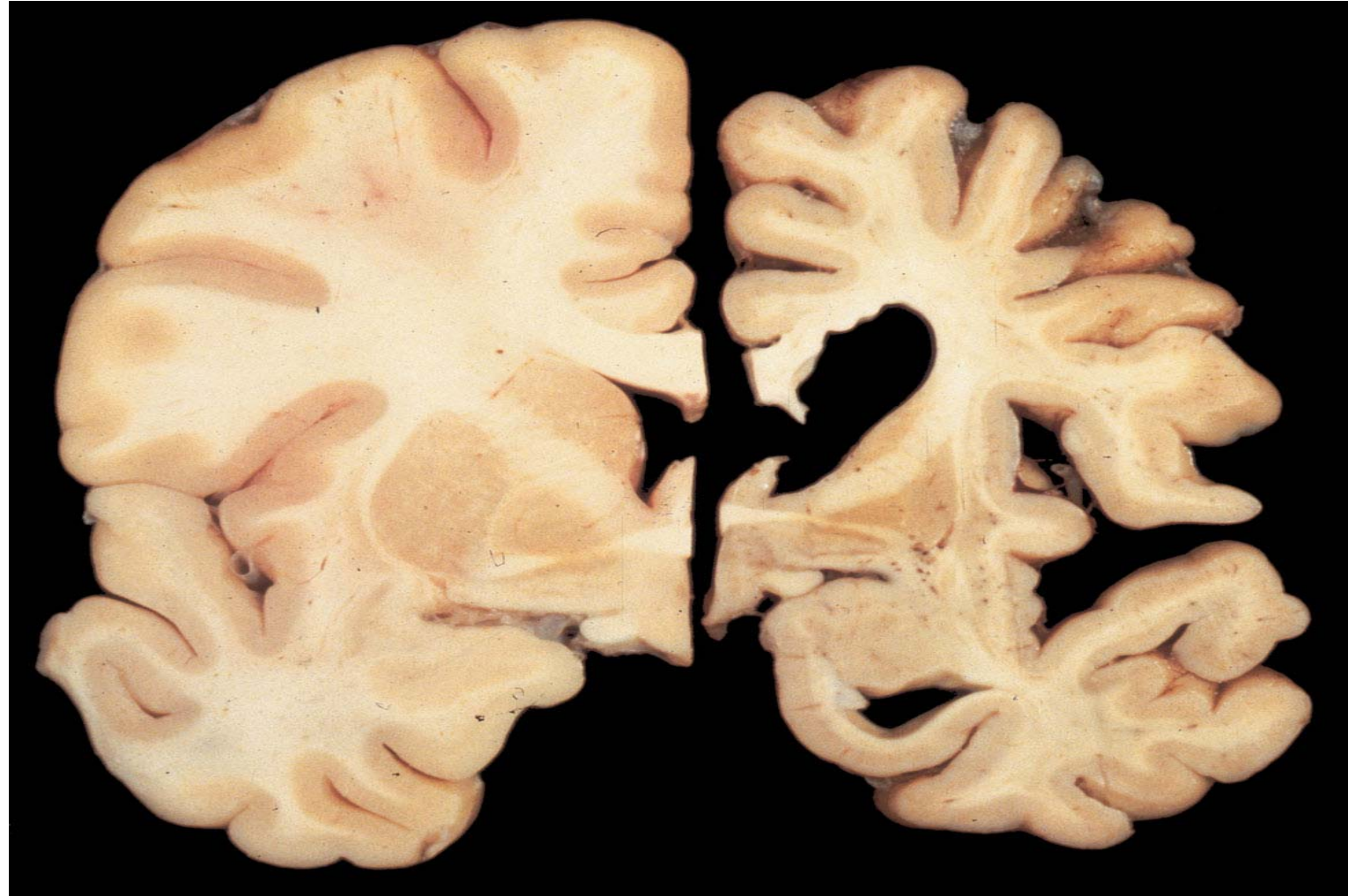
### Κατάθλιψη

### Άνοια

# ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

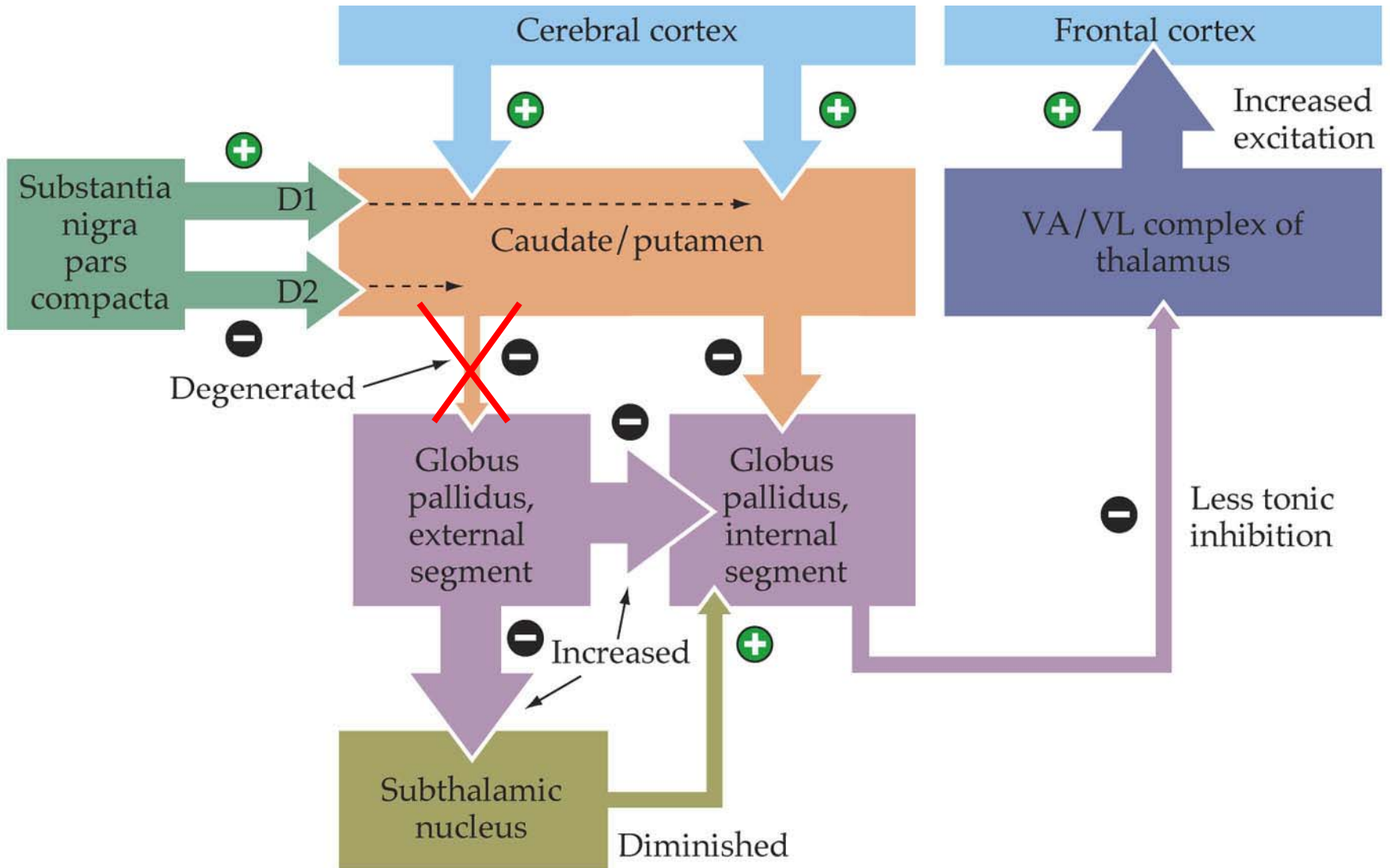
- L-dopa (πρόδρομος ουσία DA, αποτελεσματική αρχικά αλλά όχι μετά από 5-10 χρόνια)
- Χειρουργικές τεχνικές απενεργοποίησης STN ή GPi
  - Pallidotomy
  - Deep Brain Stimulation
- MPTP ζωικό μοντέλο
  - 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine
  - Επιλεκτικά τοξικό για DA νευρώνες σε SN

# *Huntington's Disease:* ατροφία ραβδωτού



# Huntington's disease

Αρχικά: Απώλεια νευρώνων ραβδωτού που προβάλλουν στην έξω μοίρα της ωχράς σφαίρας



# *Huntington's disease*

## Αρχικές κινητικές ενδείξεις

- Χορεία (σύντομες, ακούσιες κινήσεις)
- Δυστονία (ταυτόχρονη σύσπαση αγωνιστών ανταγωνιστών μυών)

## Γνωσιακές διαταραχές

- Ανάκληση μνήμης
- Εκτελεστικές λειτουργίες (πολύπλοκες δοκιμασίες)

## Ψυχικές Διαταραχές

- Κατάθλιψη
- Ψύχωση

## Μεταγενέστερη έκπτωση λειτουργιών

- Ακινησία
- Απώλεια βάρους
- Θάνατος εντός 10-25 ετών

# Ημιβαλλισμός

