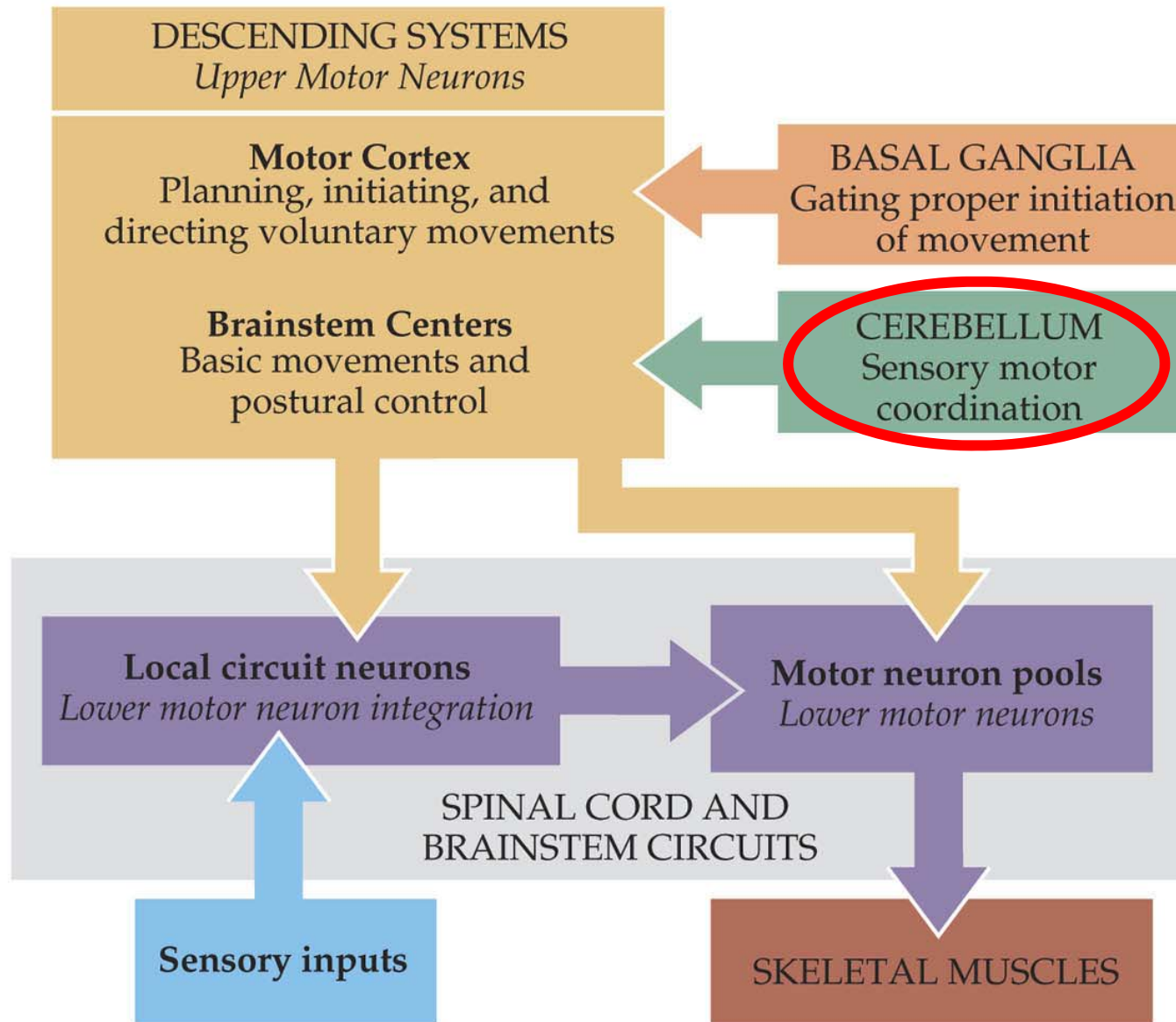




Παρεγκεφαλίδα

Εγκέφαλος και Έλεγχος της Κίνησης





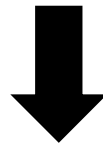
Γενικά

- Cerebellum = Little brain
- 10% όγκου εγκεφάλου, >50% του συνόλου των νευρώνων του εγκεφάλου
- Κανονικότητα στη διάταξη των νευρώνων και τις διασυνδέσεις τους → επαναλαμβανόμενο βασικό κύκλωμα
- Διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις με τον υπόλοιπο εγκέφαλο

Γενικά

- Cerebellum = Little brain
- 10% όγκου εγκεφάλου, >50% του συνόλου των νευρώνων του εγκεφάλου

- Κανονικότητα στη διάταξη των νευρώνων και τις διασυνδέσεις τους → επαναλαμβανόμενο βασικό κύκλωμα
- Διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις με τον υπόλοιπο εγκέφαλο



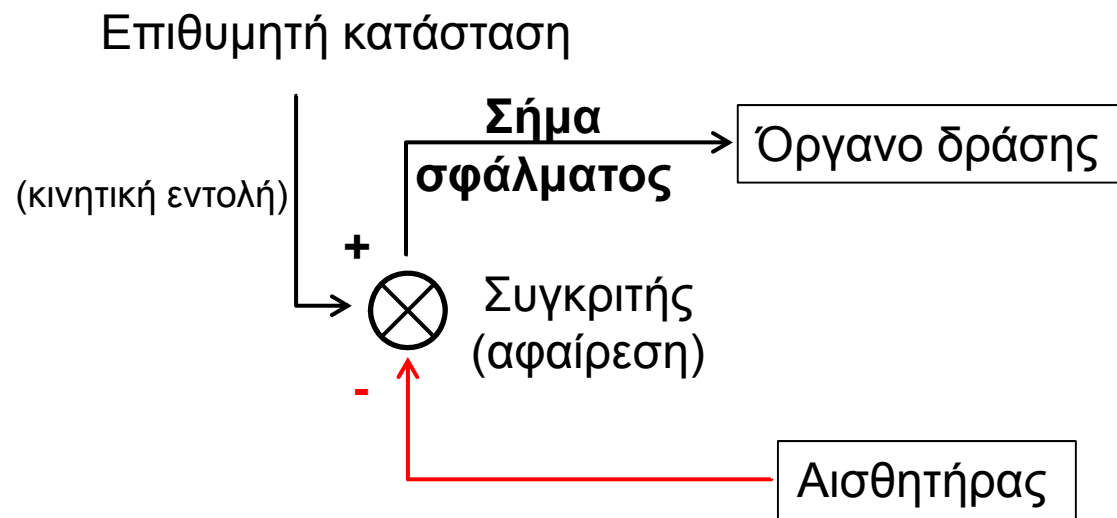
- Ίδια υπολογιστική λειτουργία σε όλες τις περιοχές αλλά σε διαφορετικές εισόδους

Ποιες λειτουργίες πραγματοποιούνται από την παρεγκεφαλίδα;

- Δεν είναι απαραίτητη για την αντίληψη ούτε για τη σύσπαση των μυών.
- Ρυθμίζει κίνηση και ισορροπία έμμεσα προσαρμόζοντας την έξοδο των κατιόντων κινητικών συστημάτων του εγκεφάλου (άνω κινητικούς νευρώνες).
- Βλάβες της παρεγκεφαλίδας διαταράσσουν την ισορροπία, την ακρίβεια των κινήσεων στο χώρο, το συντονισμό των κινήσεων των άκρων και των οφθαλμών, την κινητική μάθηση → *διαφορά από βλάβες στον κινητικό φλοιό*

Πώς ρυθμίζει η παρεγκεφαλίδα την έξοδο των κινητικών συστημάτων;

- Συγκρίνει την πρόθεση κίνησης με την εκτελούμενη κίνηση και διορθώνει το σφάλμα (**motor error**)



Πώς ρυθμίζει η παρεγκεφαλίδα την έξοδο των κινητικών συστημάτων;

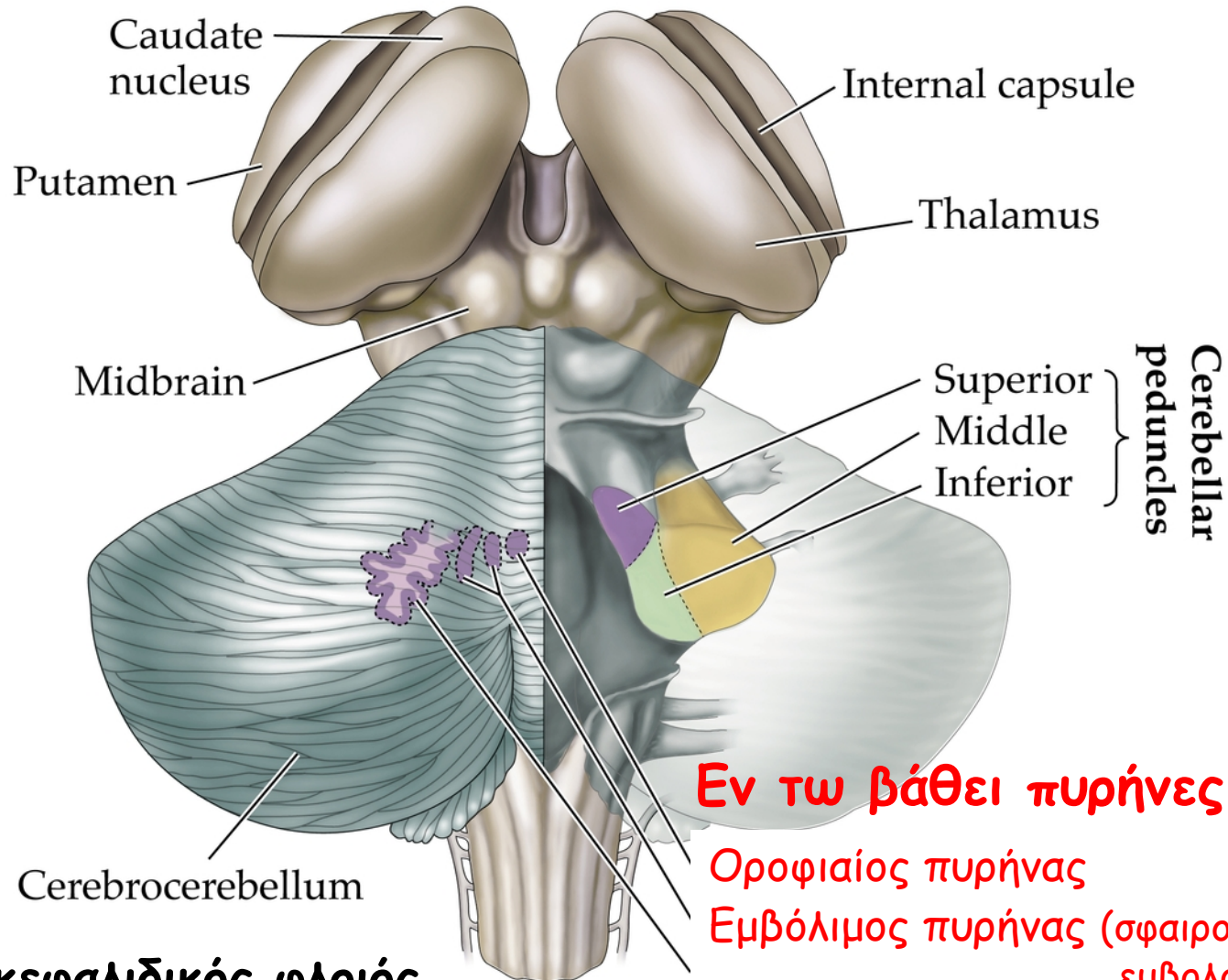
- Συγκρίνει την πρόθεση κίνησης με την εκτελούμενη κίνηση και διορθώνει το σφάλμα (**motor error**)

Τέσσερα στοιχεία οργάνωσης της παρεγκεφαλίδας:

- 1) Δέχεται πληροφορία σχετικά με την προγραμματισμένη κίνηση από εγκεφαλικές περιοχές που ευθύνονται για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση της κίνησης: φλοιϊκές κινητικές και προκινητικές περιοχές .
- 2) Δέχεται πληροφορία για την εκτελούμενη κίνηση από την περιφέρεια (sensory feedback - αισθητική ανάδραση) .
- 3) Προβάλλει στα κατερχόμενα κινητικά συστήματα του εγκεφάλου (π.χ. κινητικές και προκινητικές φλοιϊκές περιοχές, ερυθρός πυρήνας).
- 4) Συναπτική διαβίβαση τροποποιείται (πλαστικότητα) → κινητική προσαρμογή, μάθηση

Ανατομία της παρεγκεφαλίδας

(A)



Caudate nucleus

Internal capsule

Putamen

Thalamus

Midbrain

Superior

Middle

Inferior

Cerebellar peduncles

Cerebrotocerebellum

Εν τω βάθει πυρήνες

Οροφιαίος πυρήνας

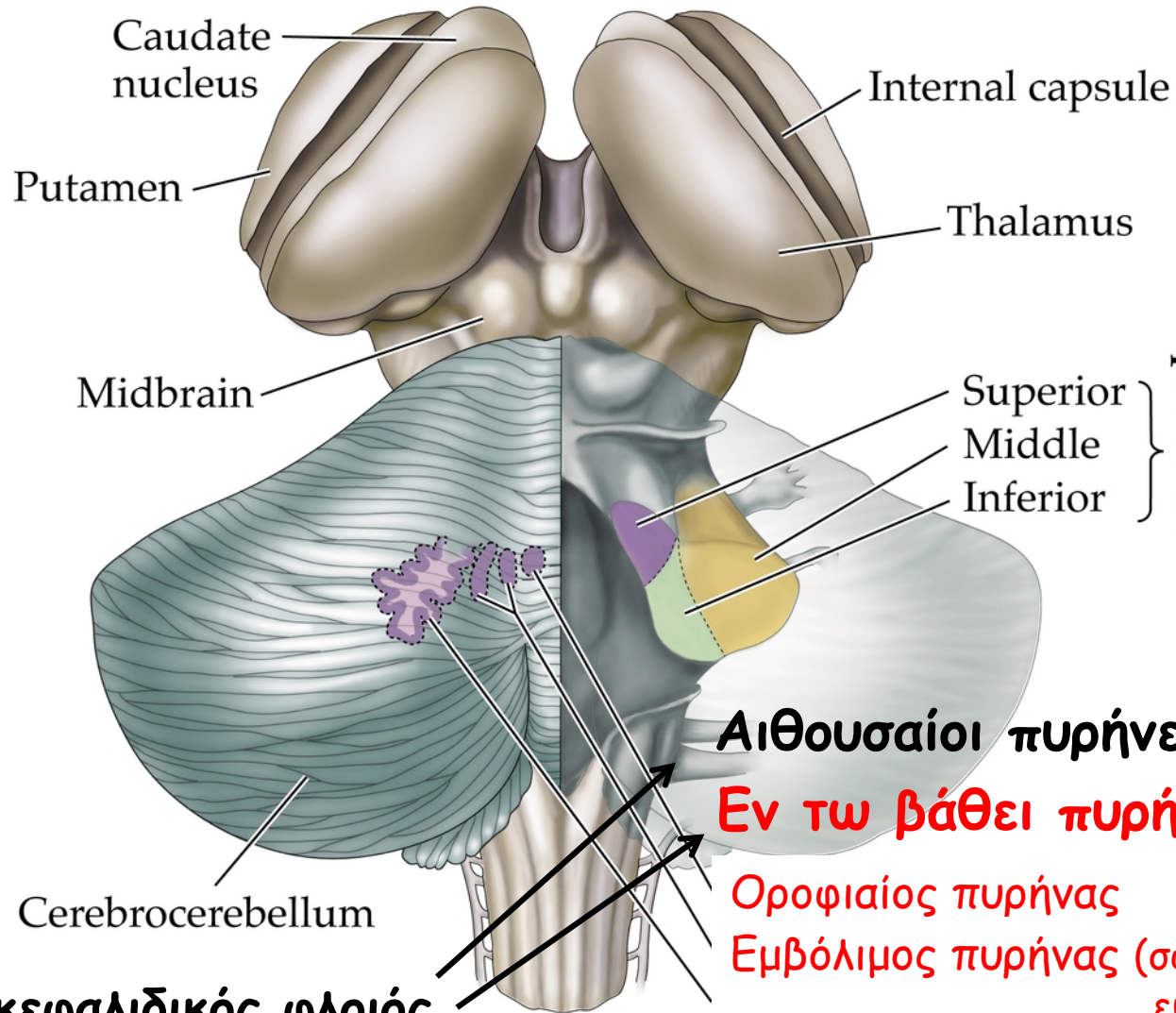
Εμβόλιμος πυρήνας (σφαιροειδής, εμβολοειδής)

Οδοντωτός πυρήνας

Παρεγκεφαλιδικός φλοιός

Ανατομία της παρεγκεφαλίδας

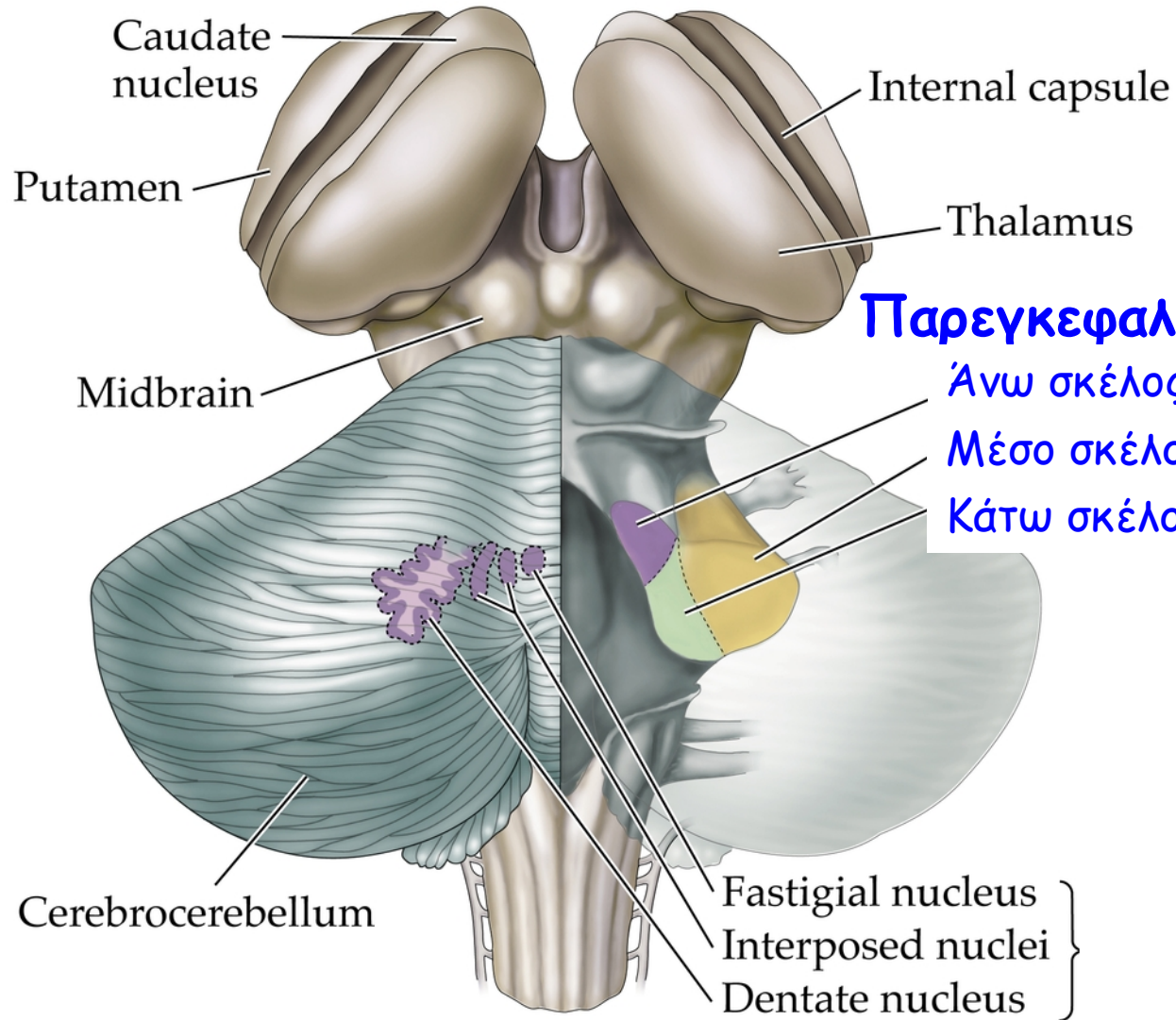
(A)



Παρεγκεφαλιδικός φλοιός

Ανατομία της παρεγκεφαλίδας

(A)



Παρεγκεφαλιδικά σκέλη

Άνω σκέλος: απαγωγές

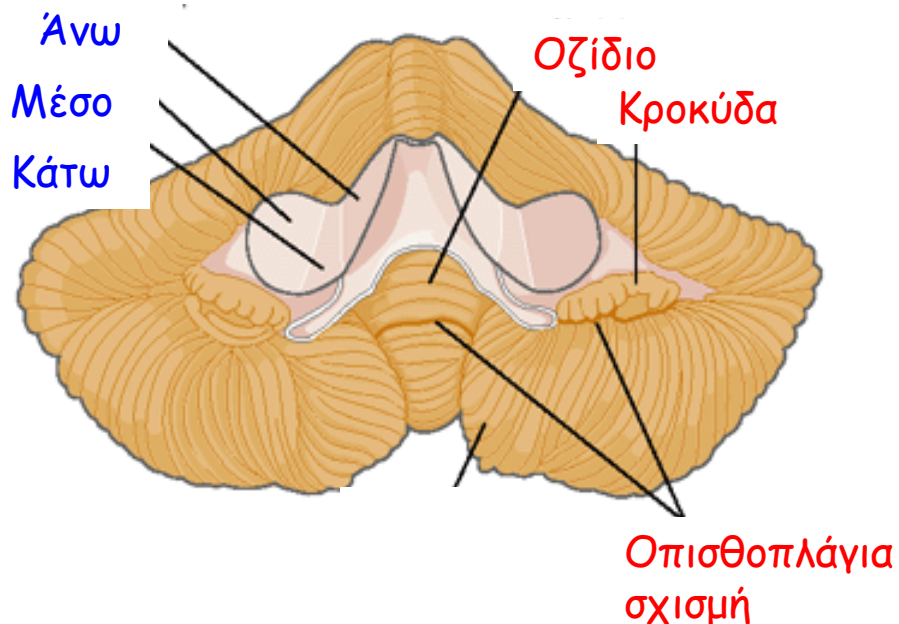
Μέσο σκέλος: προσαγωγές

Κάτω σκέλος: αμφοτέρες

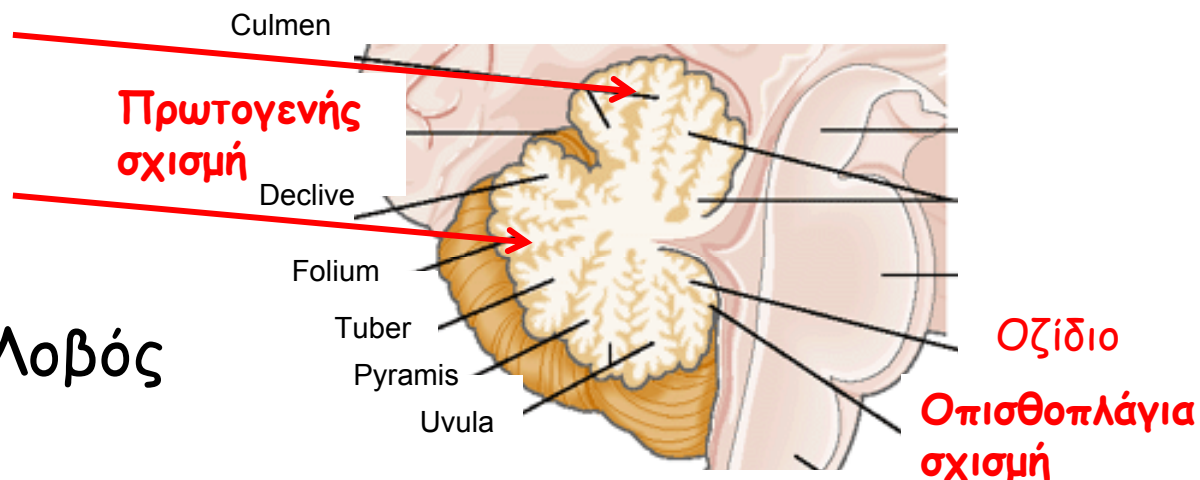
Παρεγκεφαλιδικά σκέλη

Κροκυδοζιδιακός Λοβός

**Η παρεγκεφαλίδα
διαίρεείται σε τρεις
λοβούς**

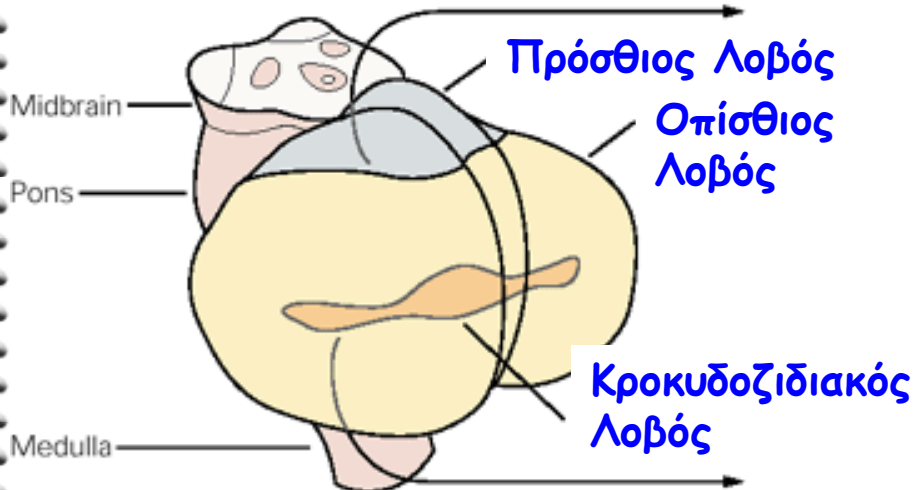


- Πρόσθιος Λοβός
- Οπίσθιος Λοβός
- Κροκυδοζιδιακός Λοβός

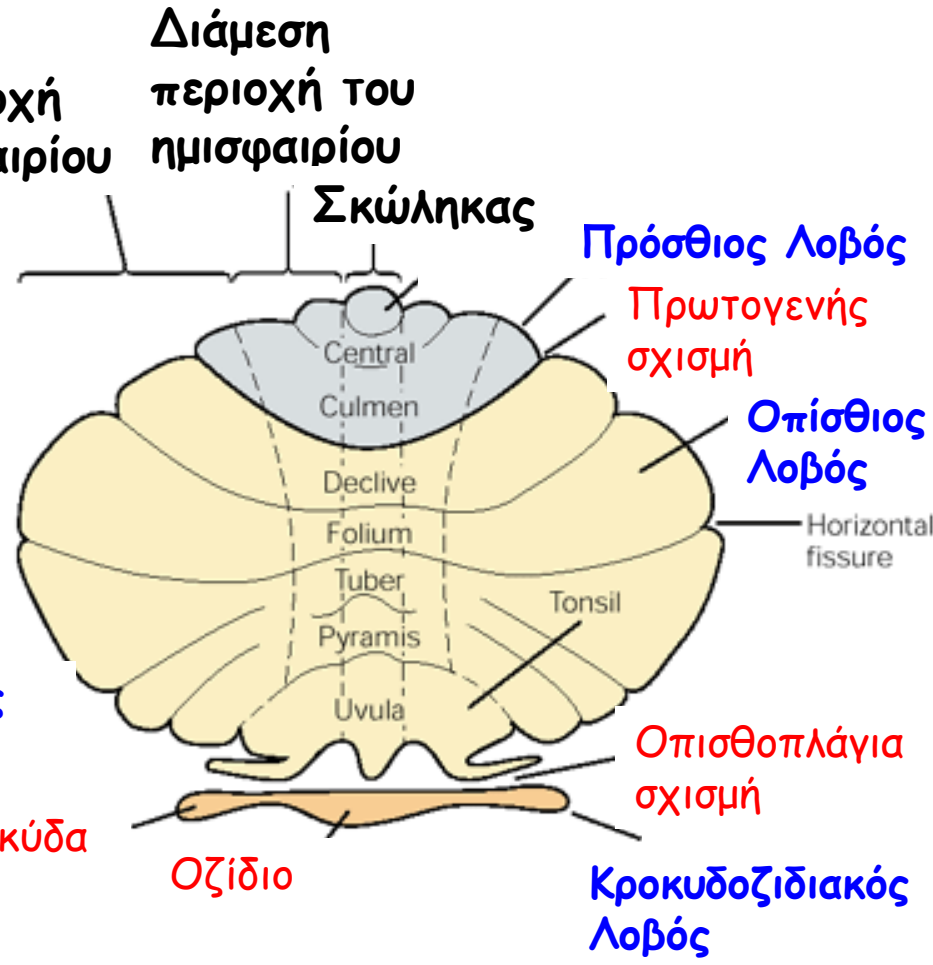


Η παρεγκεφαλίδα διαιρείται σε τρεις λοβούς και τρεις ζώνες

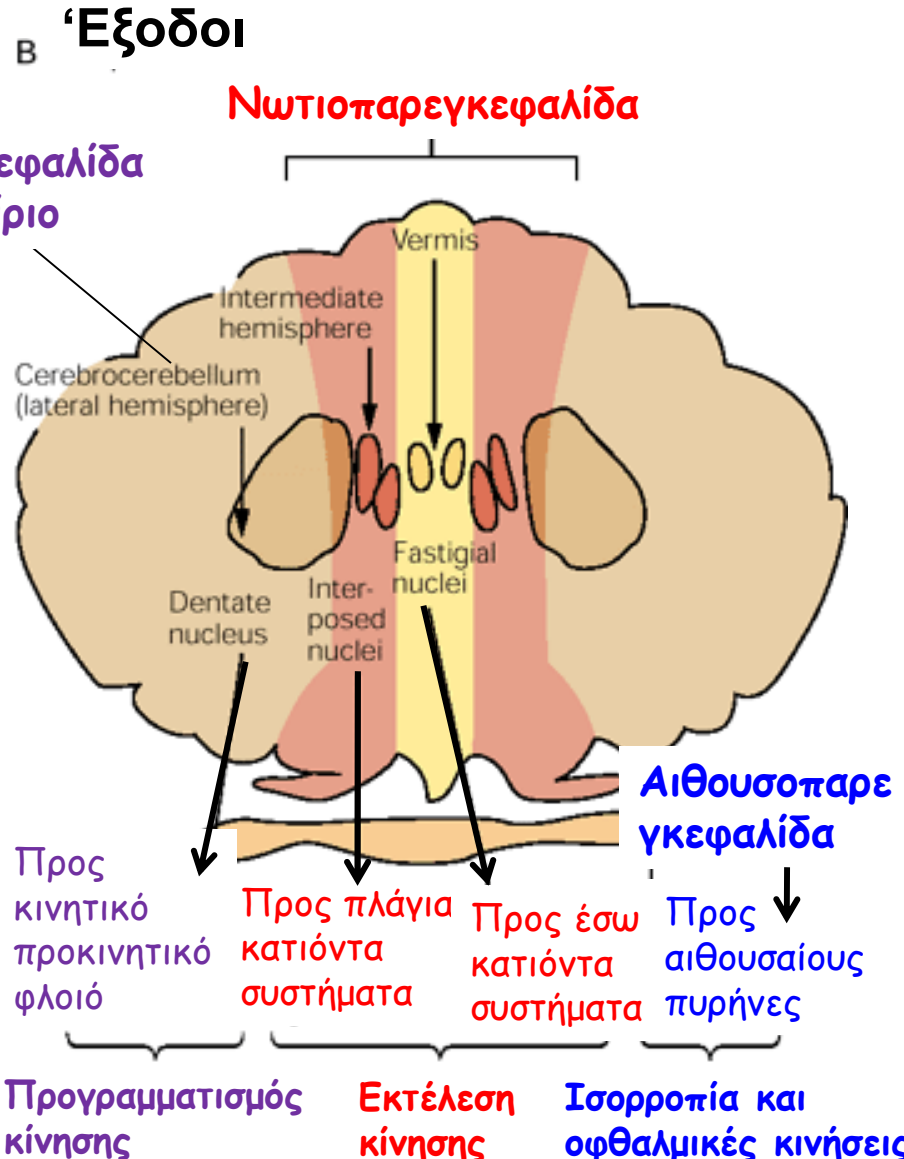
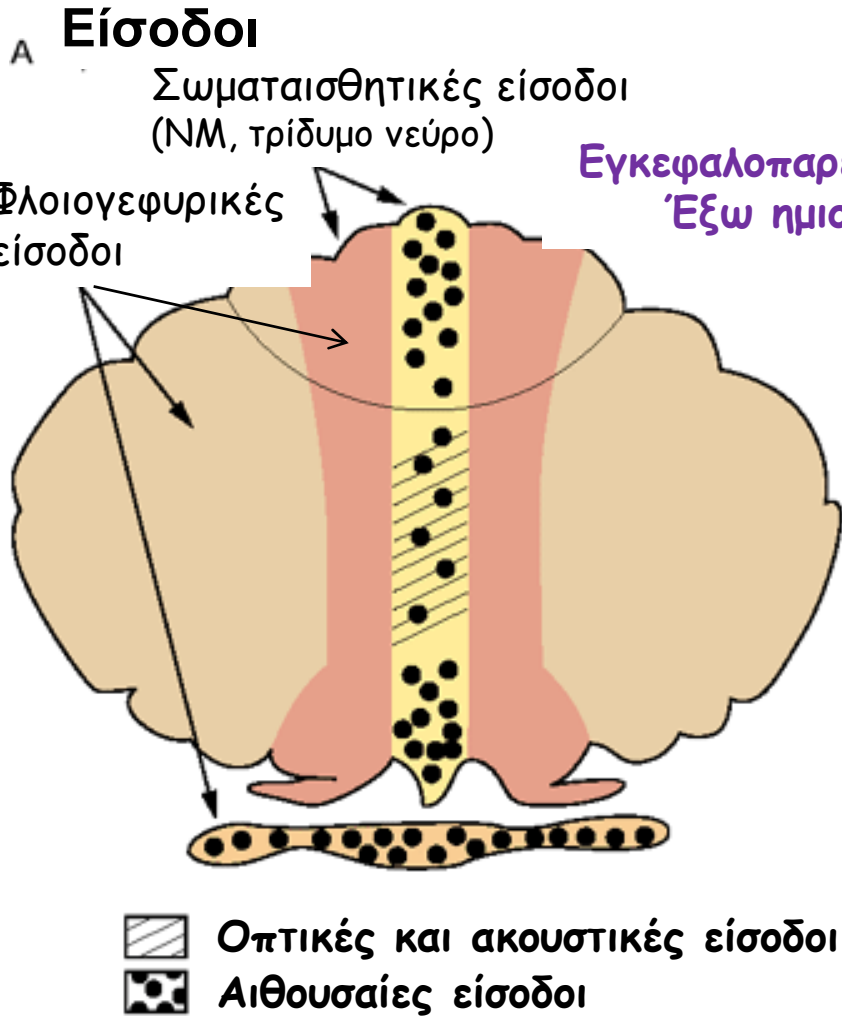
A



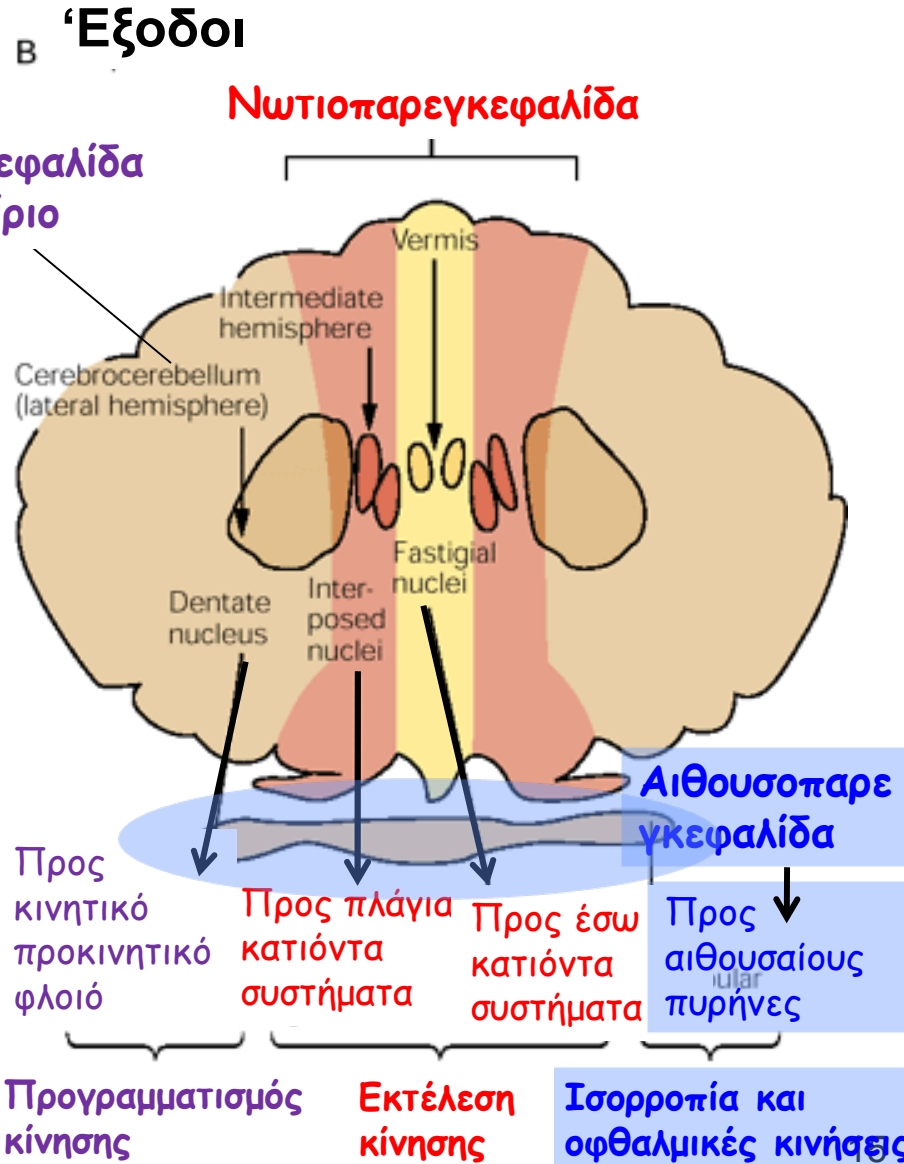
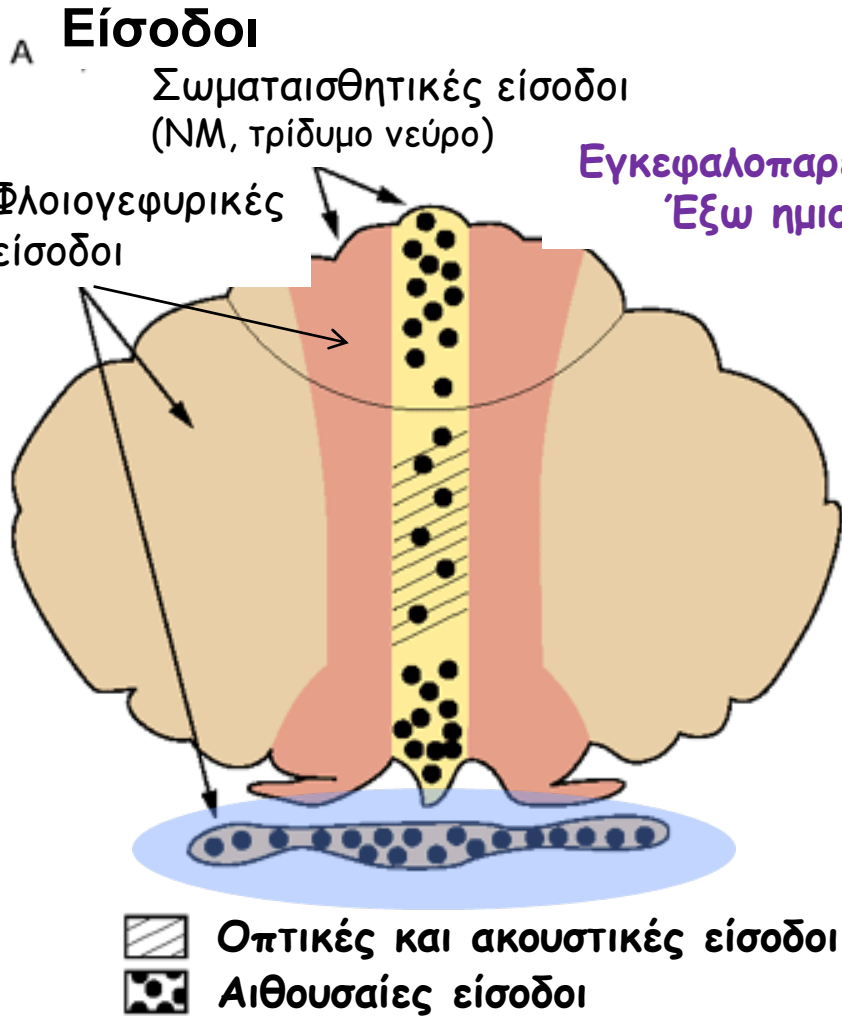
Έξω περιοχή του ημισφαιρίου
Διάμεση περιοχή του ημισφαιρίου



Τέσσερις λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις



Τέσσερις λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις



Λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις

ΑΙΘΟΥΣΑΙΟΠΑΡΕΓΚΕΦΑΛΙΔΑ

Αιθουσαίες ώσεις



Κροκυδοζιδιακός λοβός

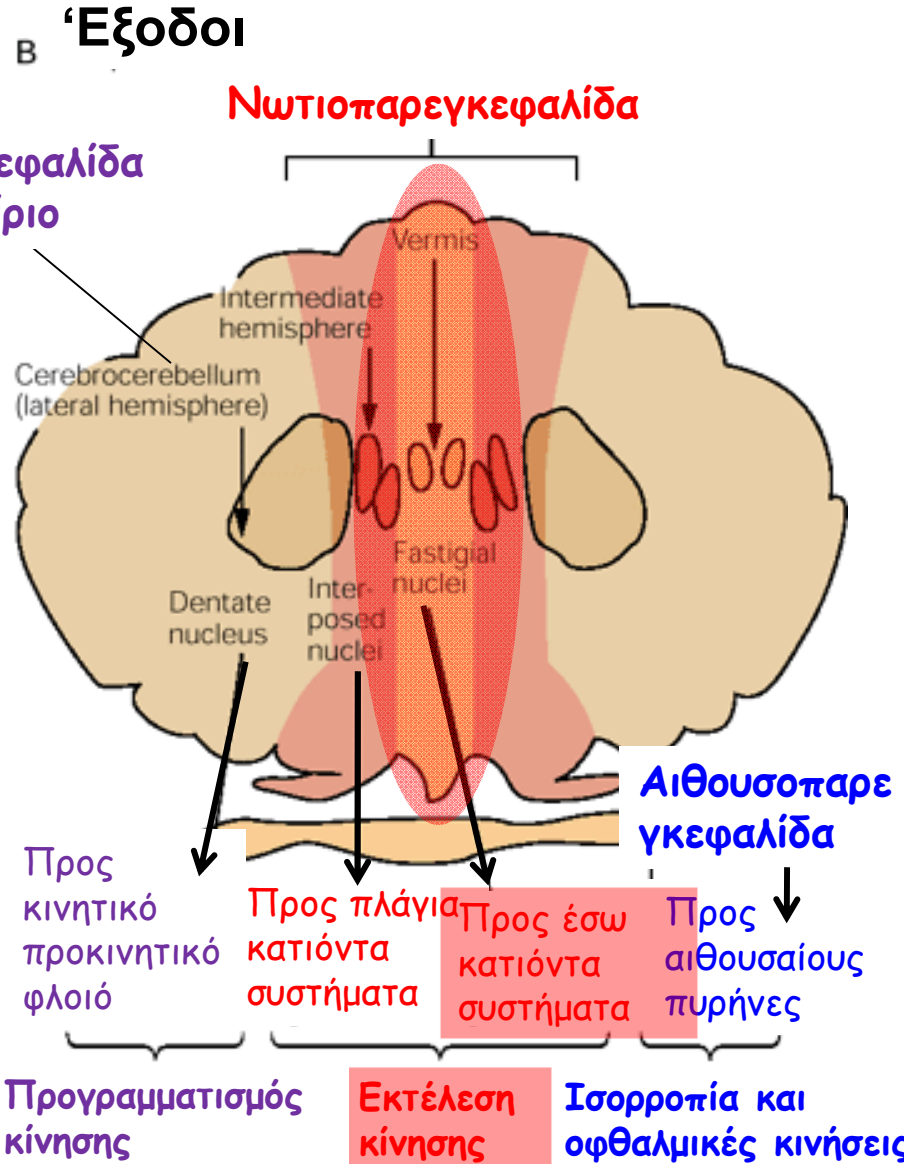
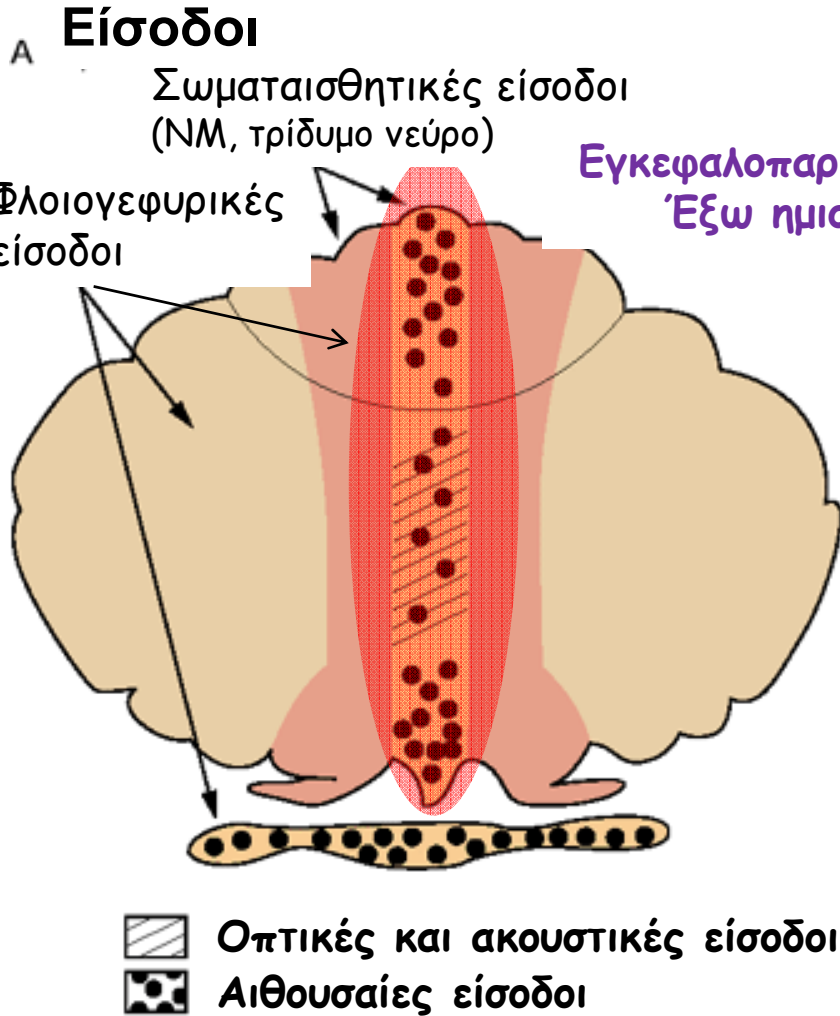


Έξω αιθουσαίοι πυρήνες



Ισορροπία
και οφθαλμικές κινήσεις

Τέσσερις λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις



Λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις

Οπτικές, Ακουστικές,
Αιθουσαίες, Σωματαιοθητικές
ώσεις (κεφαλή
και εγγύς τμήματα σώματος)



Σκώληκας



Οροφιαίος πυρήνας

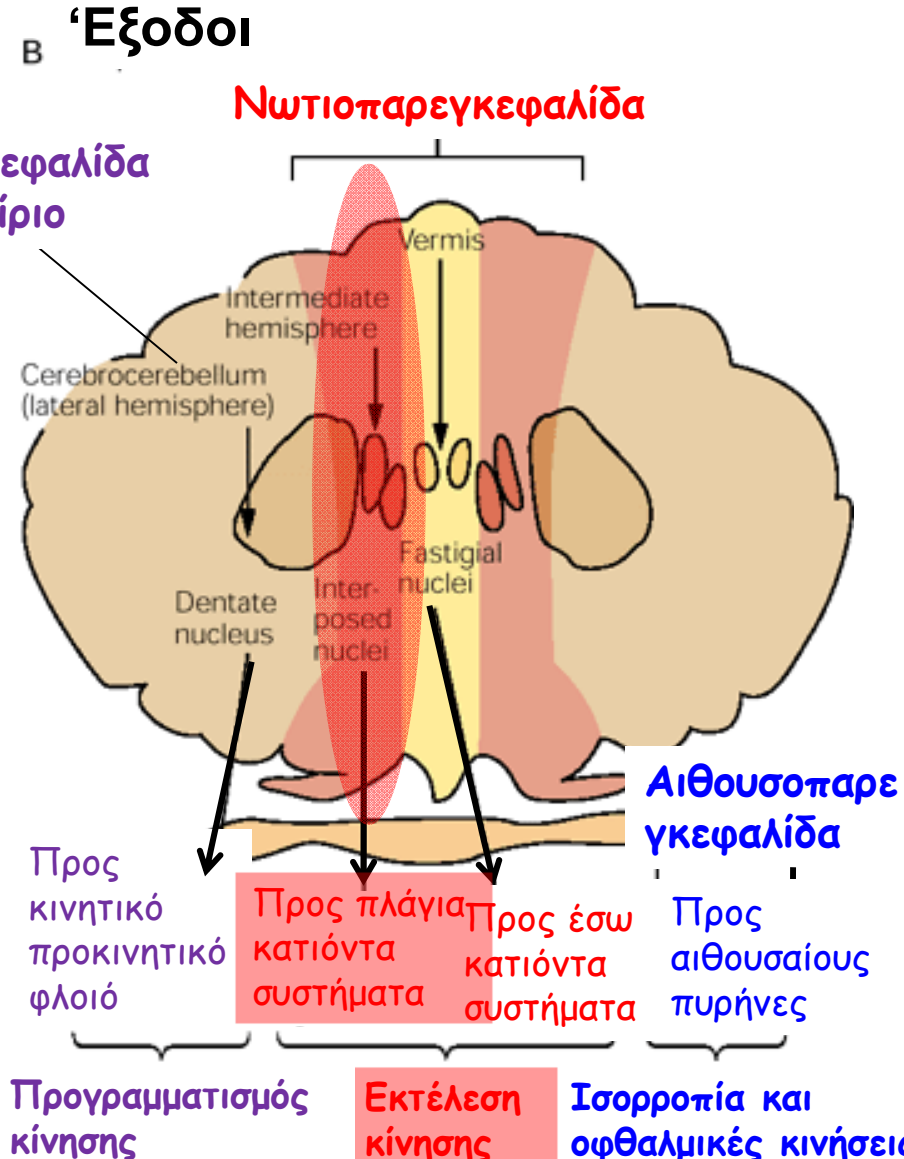
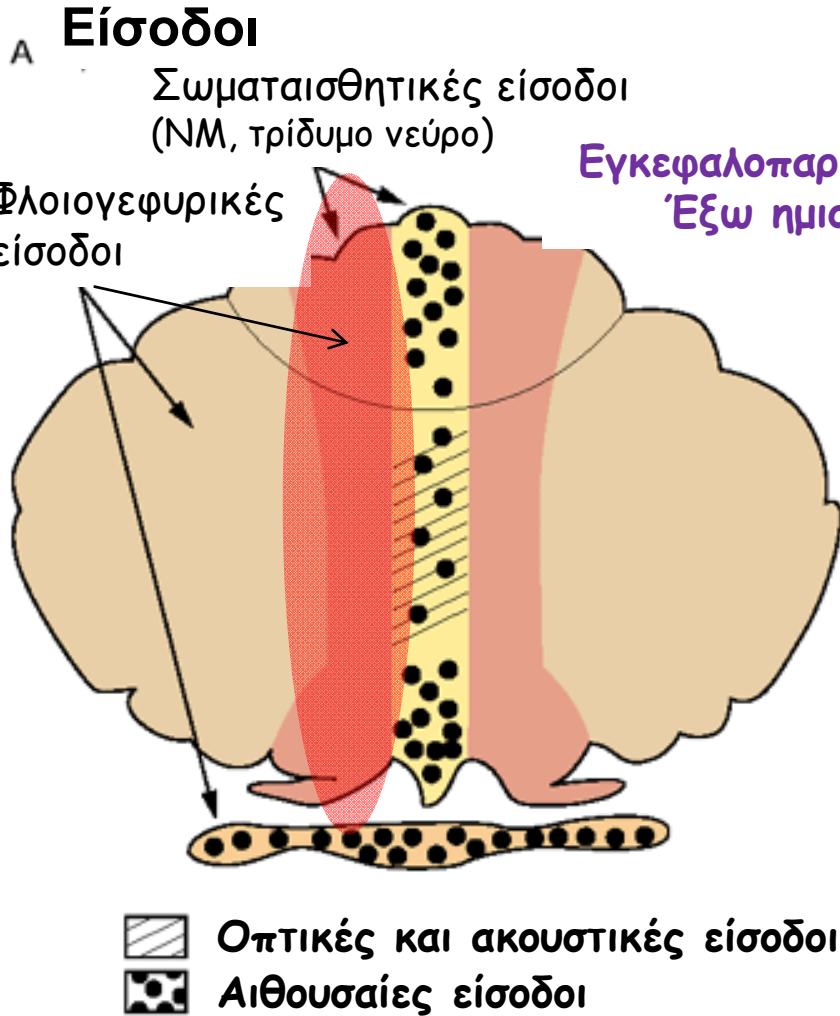


Εγκεφαλικό στέλεχος (έσω
κατιόντα συστήματα)



Στάση, βλεμματική κίνηση

Τέσσερις λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις



Λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις

ΝΩΤΙΑΙΟΠΑΡΕΓΚΕΦΑΛΙΔΑ

Οπτικές, Ακουστικές,
Αιθουσαίες, Σωματαιοσθητικές
ώσεις (κεφαλή
και εγγύς τμήματα σώματος)

Σκώληκας

Οροφιαίος πυρήνας

Εγκεφαλικό στέλεχος (έσω
κατιόντα συστήματα)

Στάση, βλεμματική κίνηση

Σωματαιοσθητικές ώσεις
(άκρα)

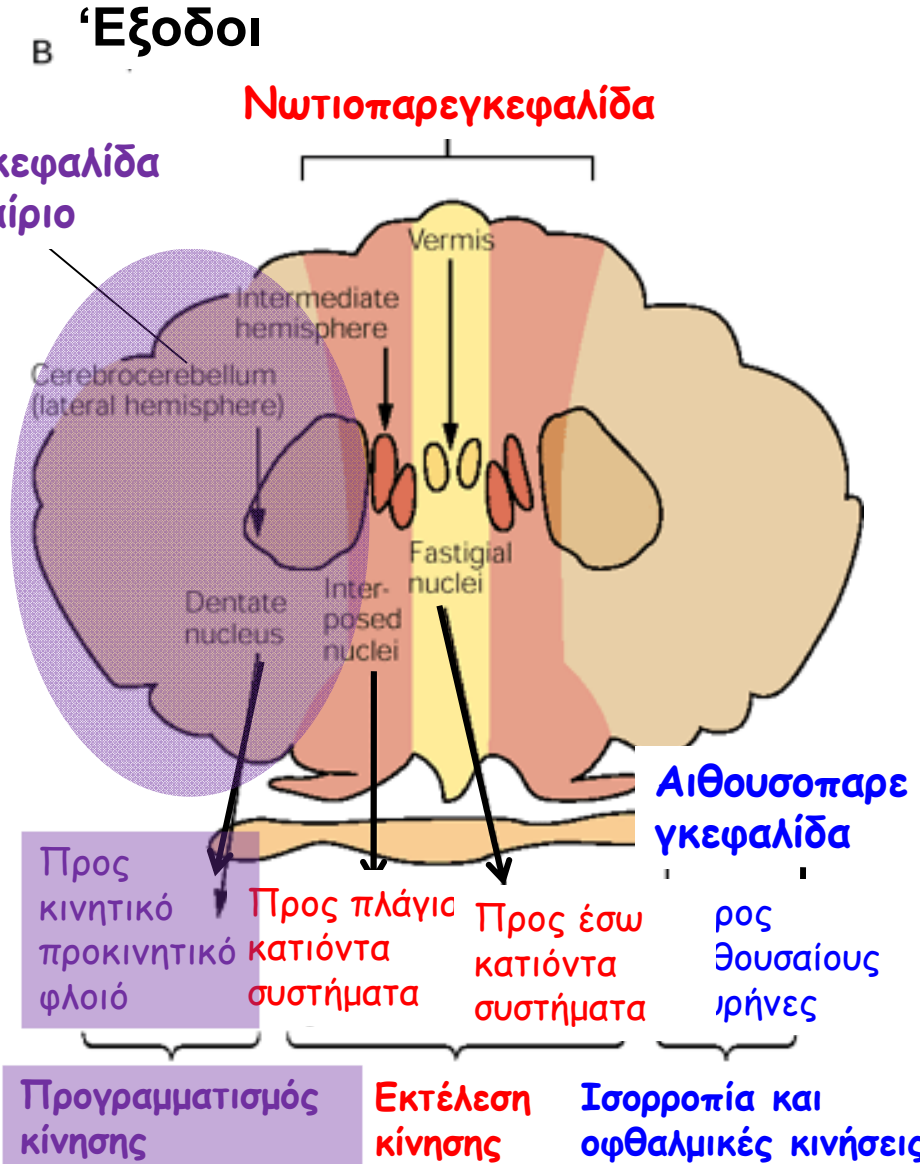
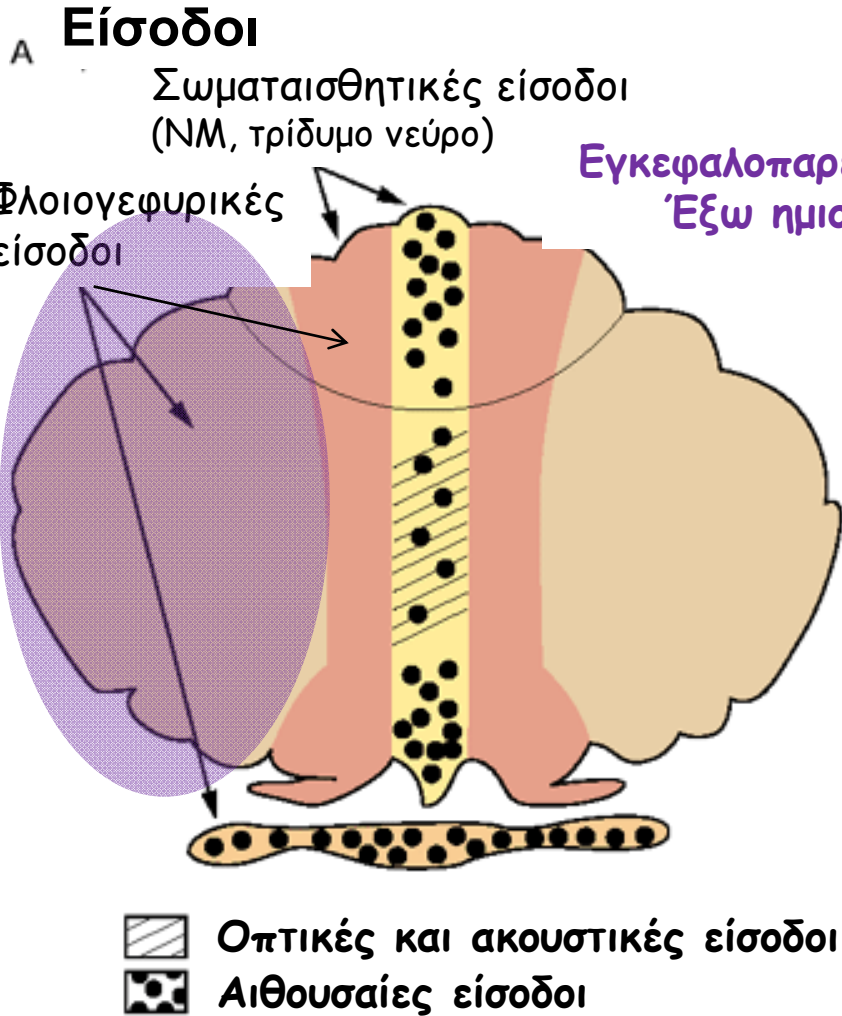
Διάμεσες περιοχές ημισφαιρίων

Εμβόλιμος πυρήνας

Φλοιονωτιαίο, ερυθρονωτιαίο
σύστημα (πλάγιο κατιόν
σύστημα)

Κίνηση άκρων και δακτύλων

Τέσσερις λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις



Λειτουργικά διακριτές περιοχές με διαφορετικές συνδέσεις

ΕΓΚΕΦΑΛΟΠΑΡΕΓΚΕΦΑΛΙΔΑ

Εγκεφαλικός φλοιός (μέσω γέφυρας)



Έξω περιοχές ημισφαιρίων



Οδοντωτός πυρήνας



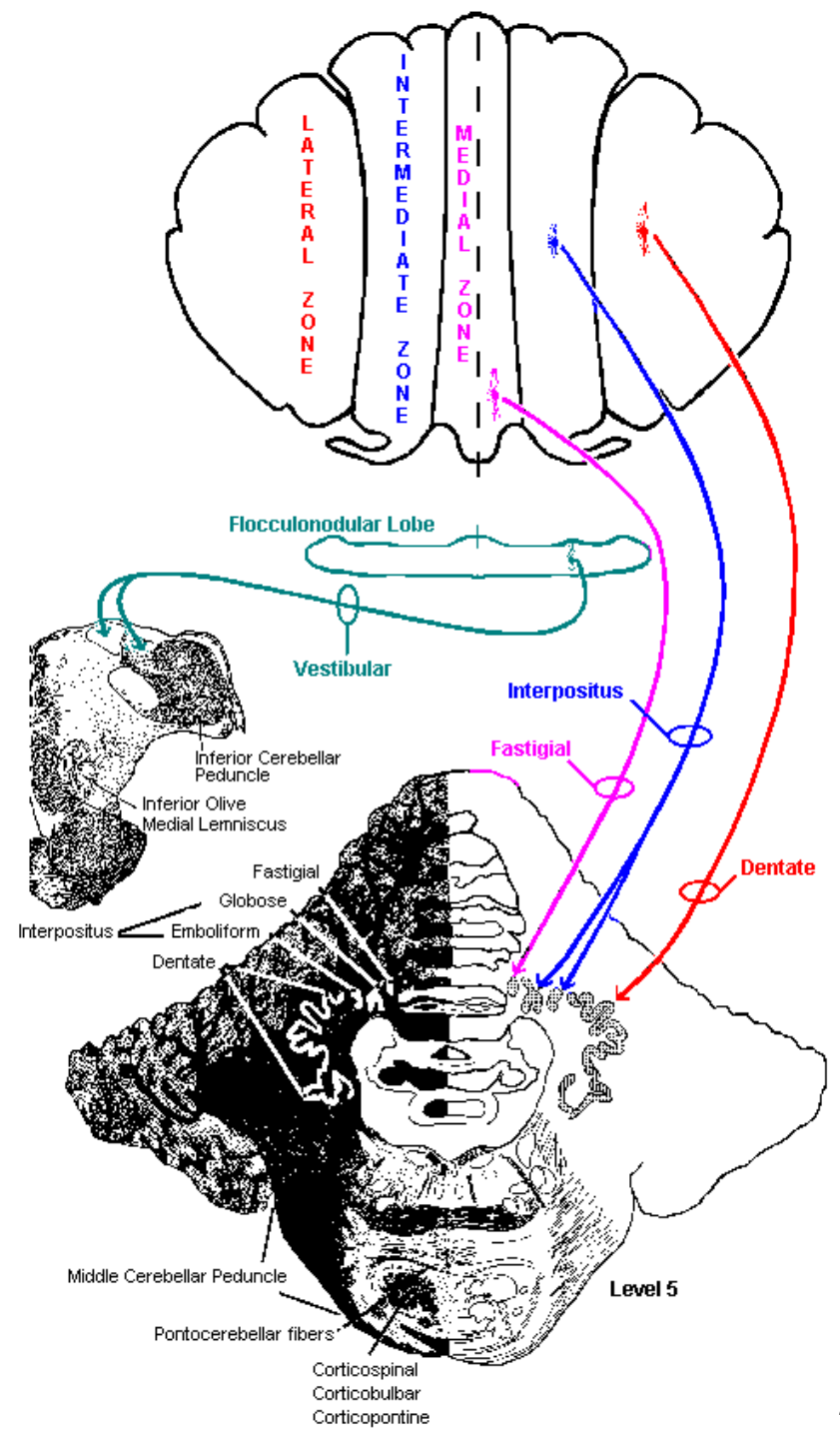
Θάλαμος

Κινητικός, προκινητικός και προμετωπιαίος φλοιός



Προγραμματισμός και νοητική αναπαράσταση πολύπλοκων κινήσεων

<http://www.neuroanatomy.wisc.edu/>



Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας

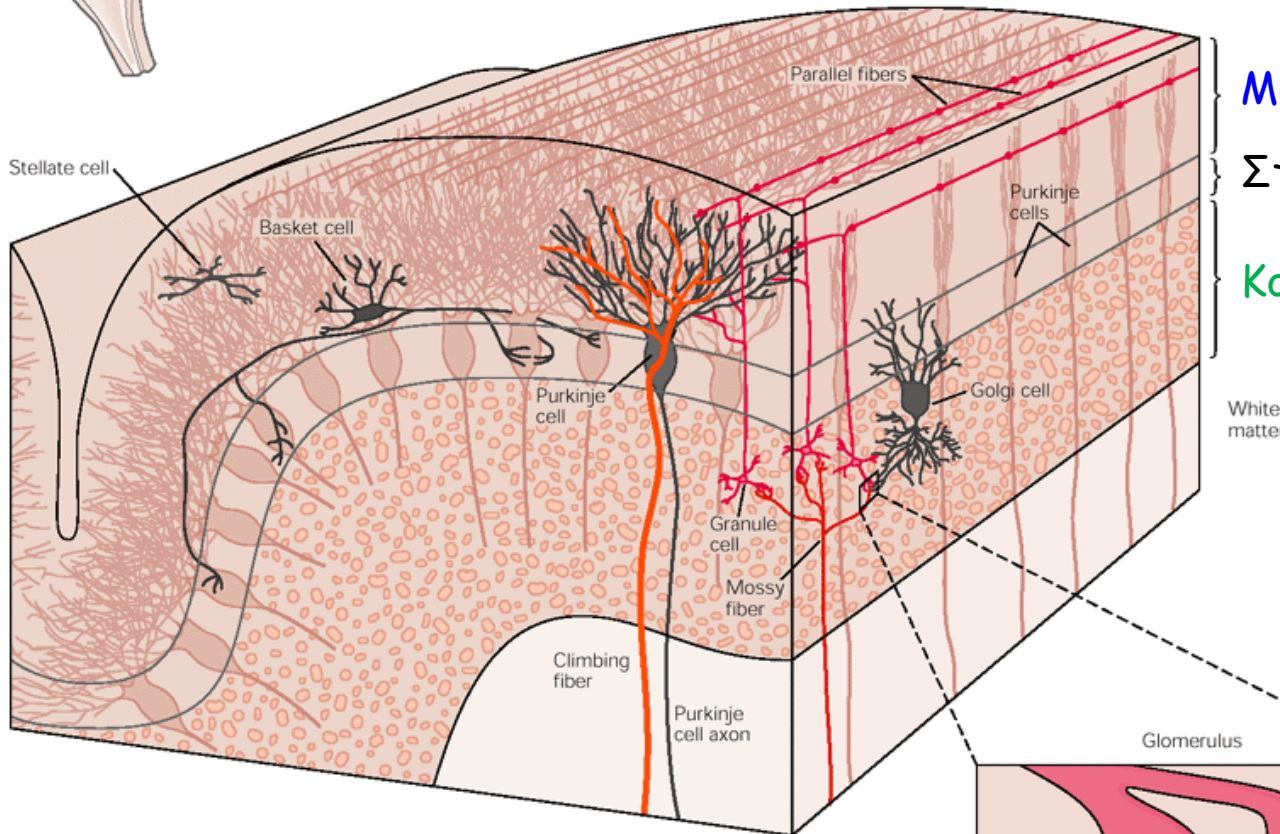
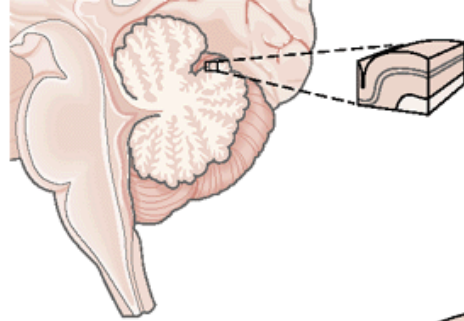
Τρεις Στιβάδες

- Μοριώδης στιβάδα
- Στιβάδα κυττάρων Purkinje
- Κοκκιώδης στιβάδα

5 Τύποι κυττάρων

- Αστεροειδή κύτταρα
 - Καλαθοειδή κύτταρα
 - Κύτταρα Purkinje
 - Κύτταρα Golgi
 - Διεγερτικά κοκκιοκύτταρα
- } ανασταλτικά

Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας

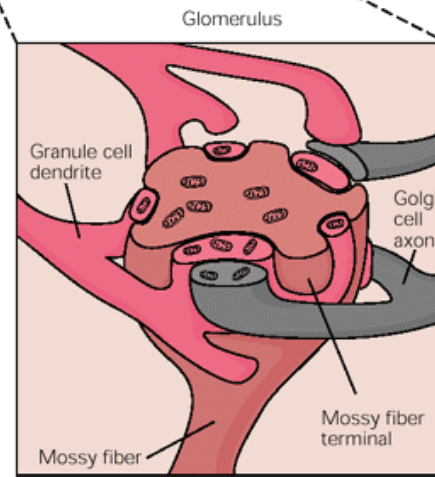


Μοριώδης στιβάδα

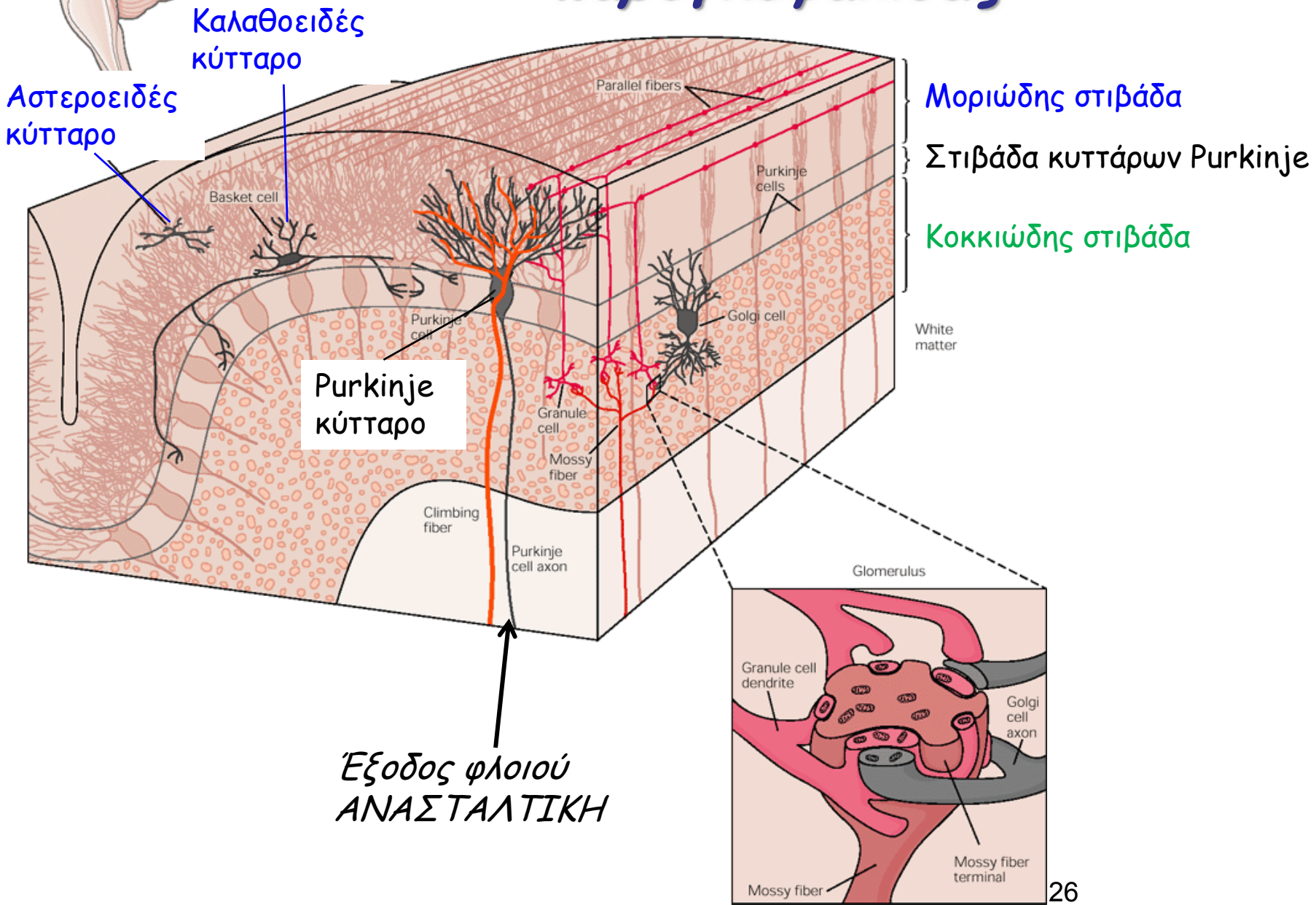
Στιβάδα κυττάρων Purkinje

Κοκκιώδης στιβάδα

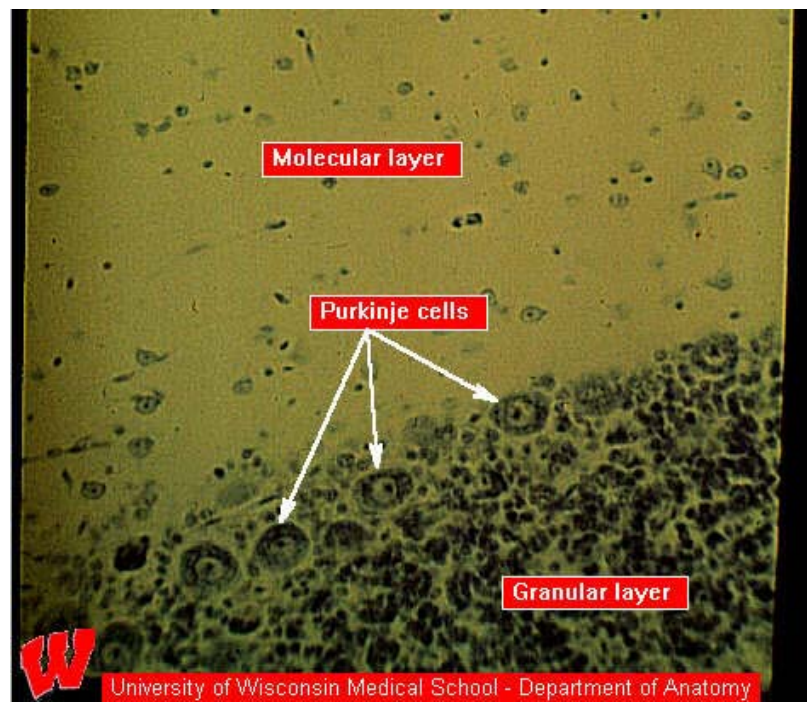
White matter

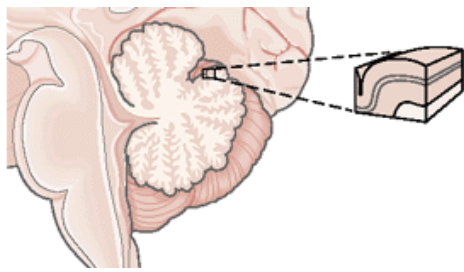


Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας

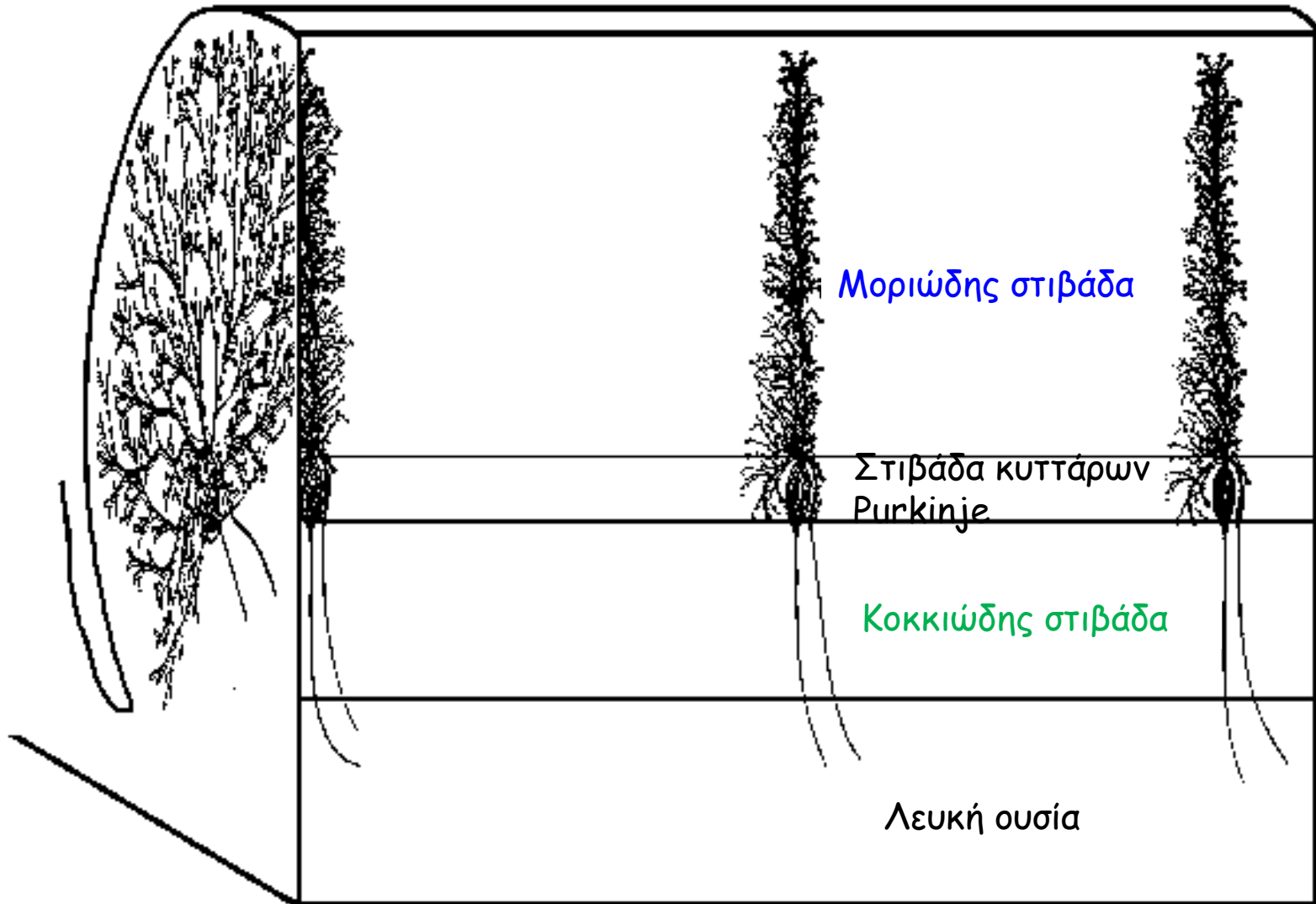


Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας

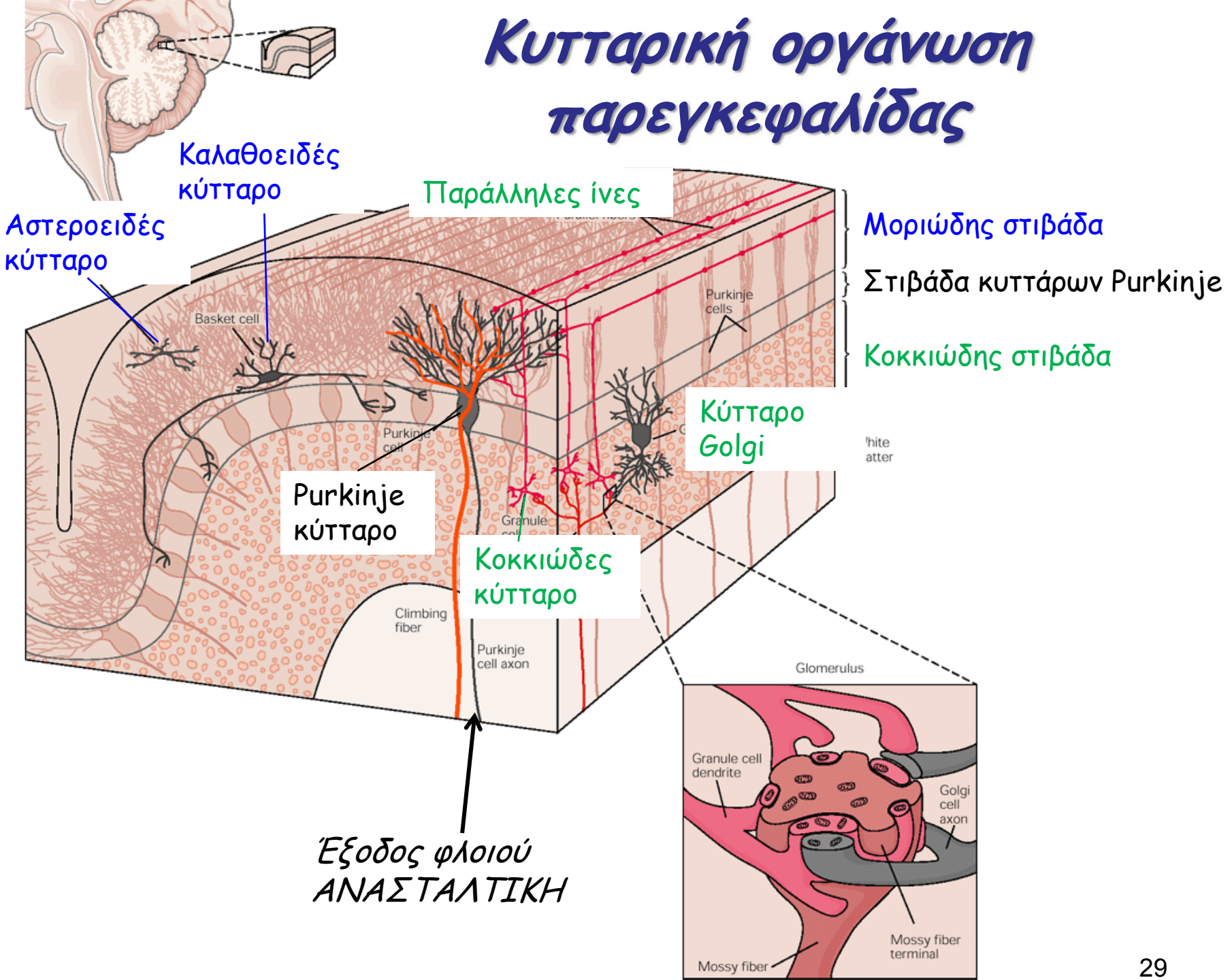




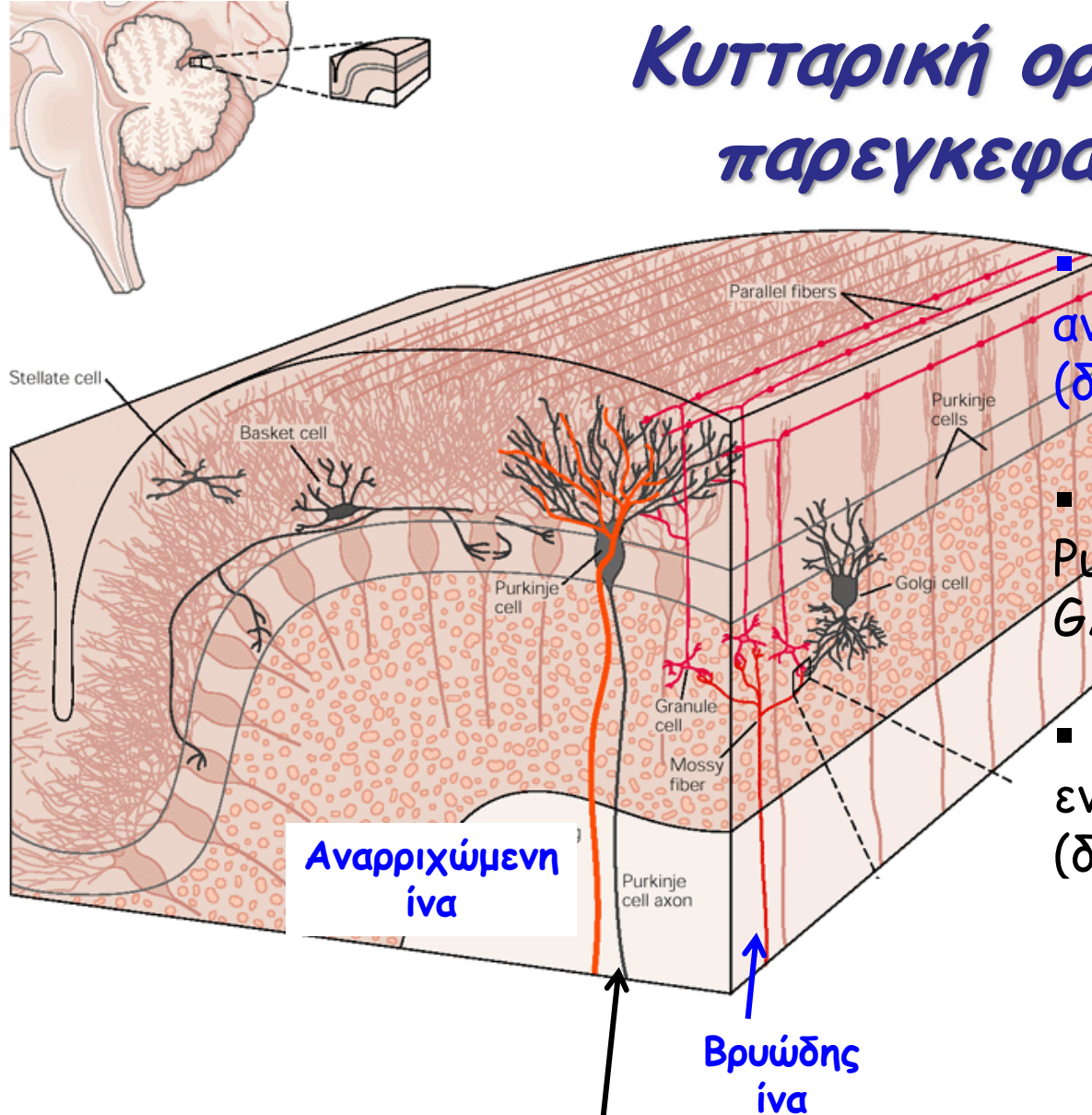
Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας



Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας



Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας



▪ **Είσοδοι:** Βρυώδεις και αναρριχώμενες ίνες (διεγερτικές, γλουταμικό)

▪ **Έξοδος φλοιού:** άξονας Purkinje (ανασταλτική, GABA)

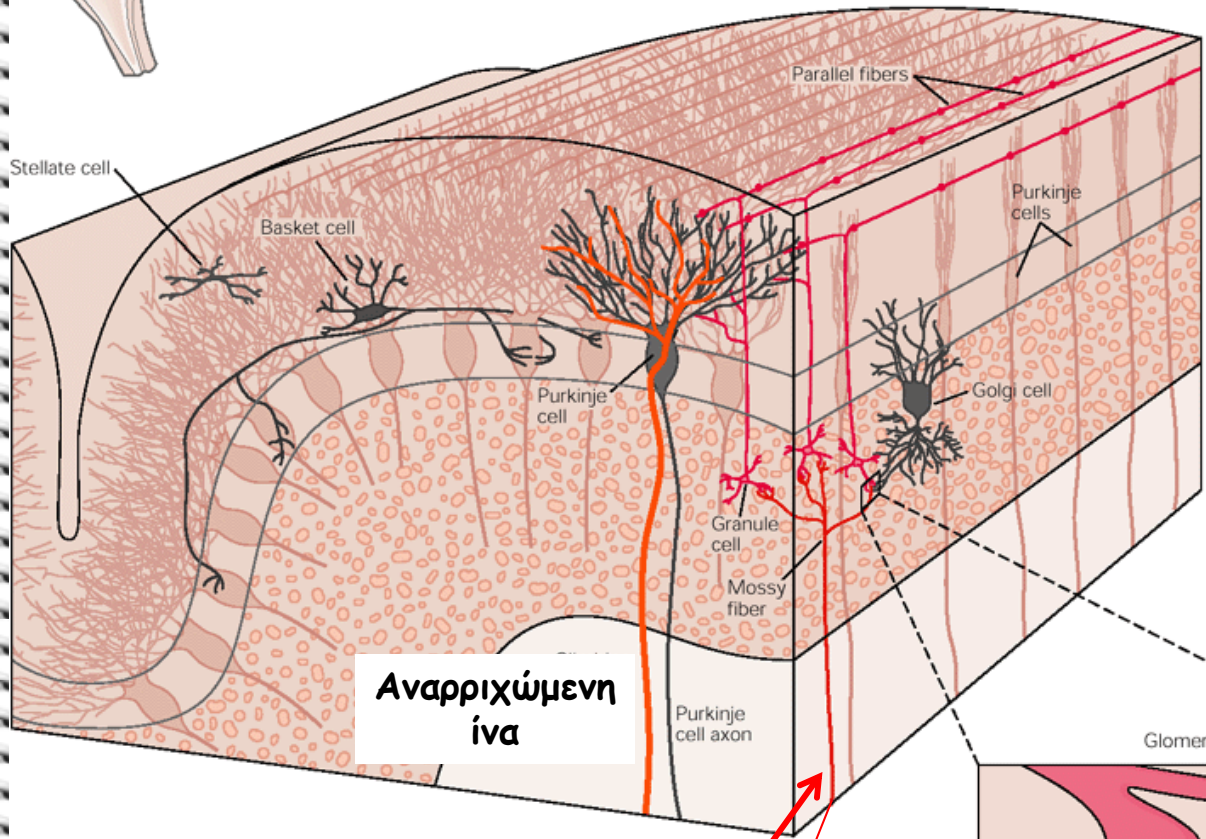
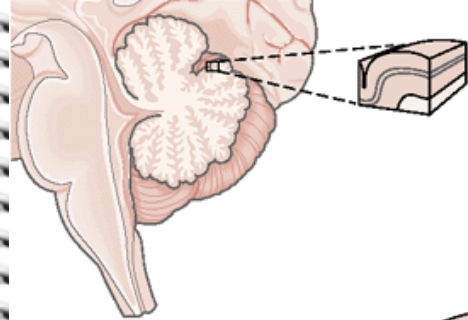
▪ **Έξοδος παρεγκεφαλίδας:** εν τω βάθει πυρήνες (διεγερτική)

Αναρριχώμενη
ίνα

Βρυώδης
ίνα

Έξοδος φλοιού
ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΗ

Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας



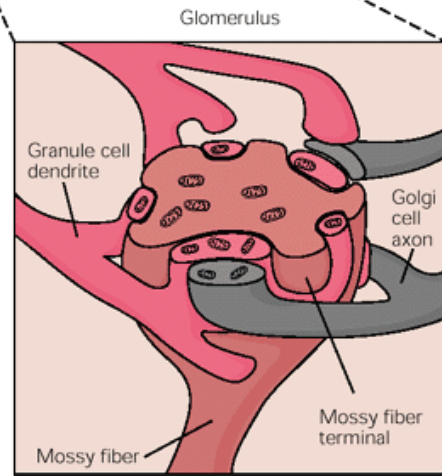
Μοριώδης στιβάδα
 Στιβάδα κυττάρων Purkinje
 Κοκκιώδης στιβάδα
 White matter

Αναρριχώμενη ίνα

Βρυώδης ίνα (mossy fiber)

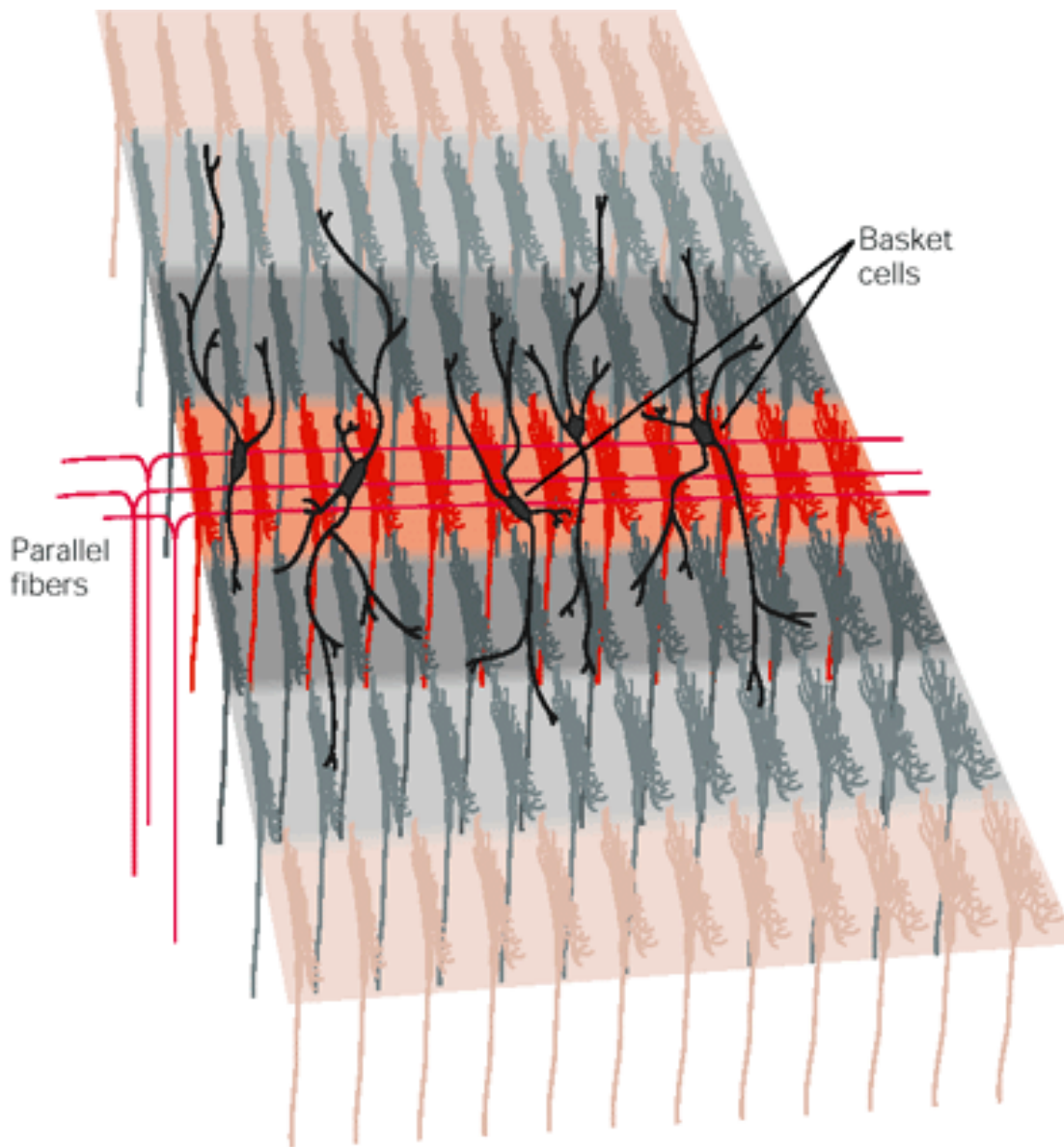
NM, Εγκεφαλικό στέλεχος, Γέφυρα ← Εγκεφαλικός φλοιός

Παρεγκεφαλιδικό σπείραμα

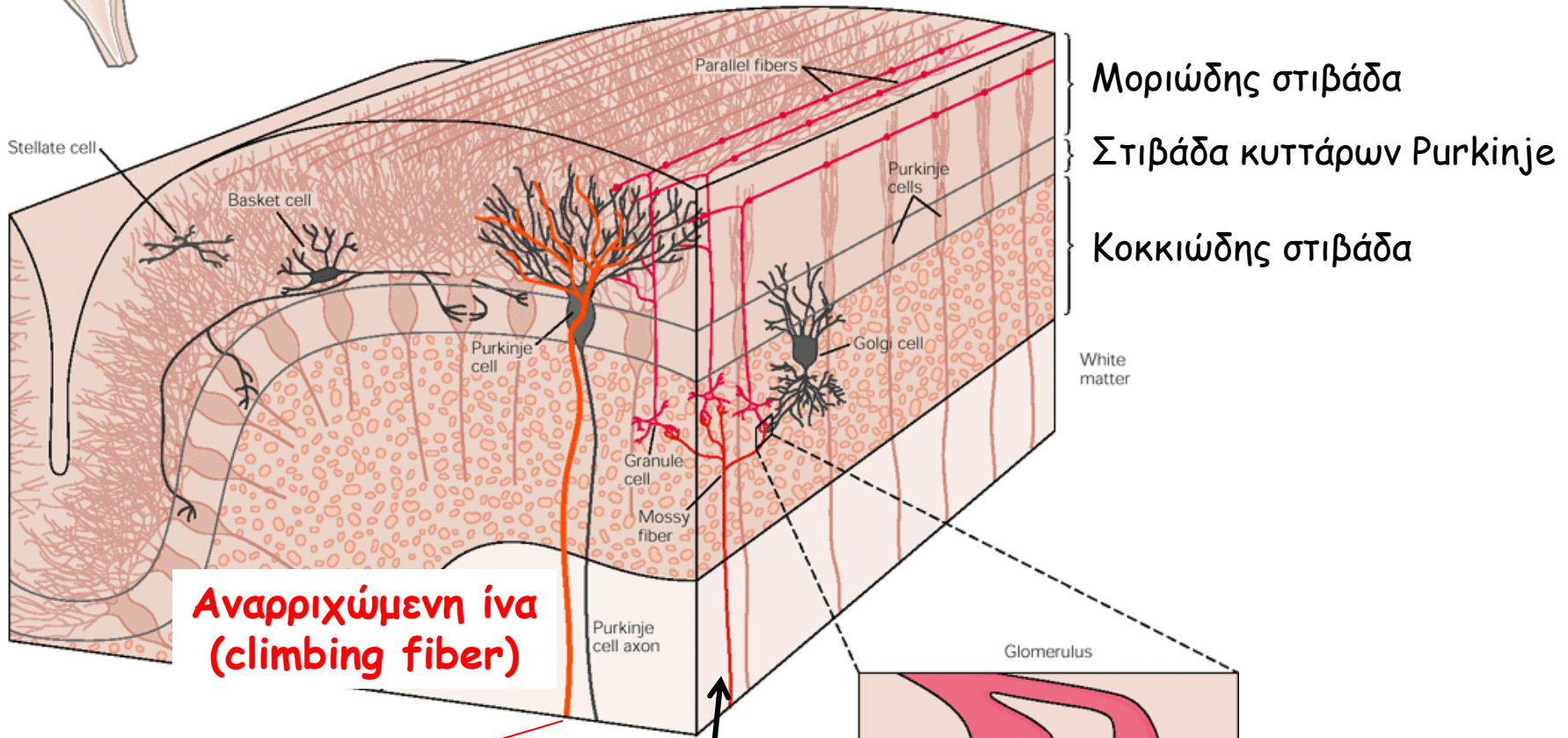
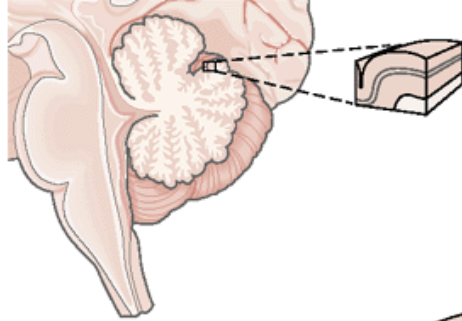


Σύναψη βρυώδους ίνας με δενδρίτες κοκκιωδών κυττάρων και άξονα Golgi κυττάρου

Διέγερση Purkinje από παράλληλες ίνες



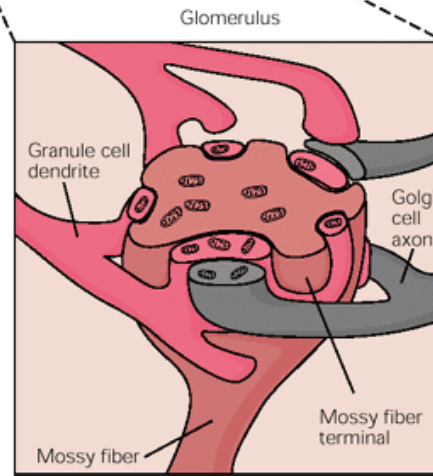
Κυτταρική οργάνωση παρεγκεφαλίδας



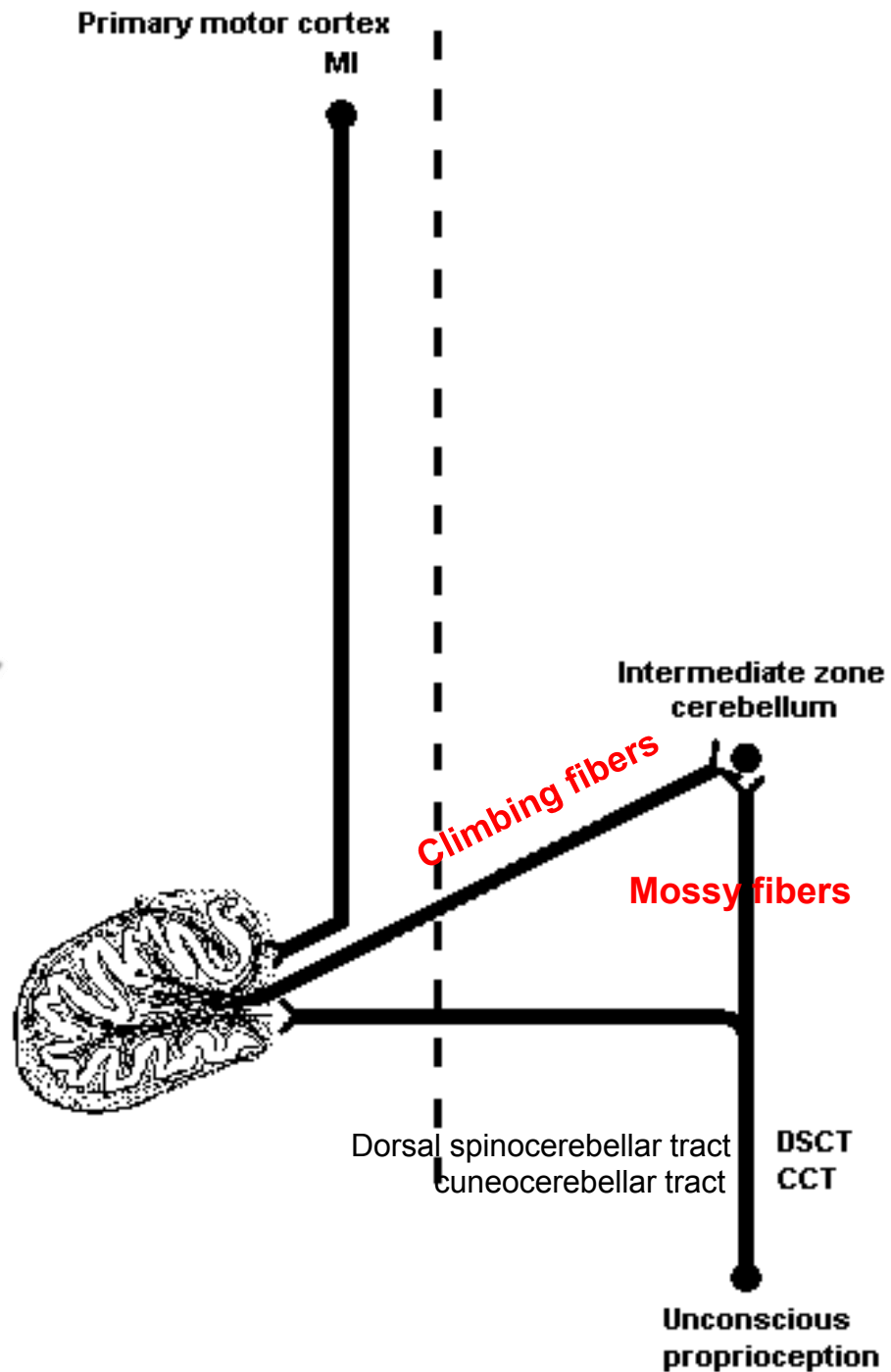
**Αναρριχώμενη ίνα
(climbing fiber)**

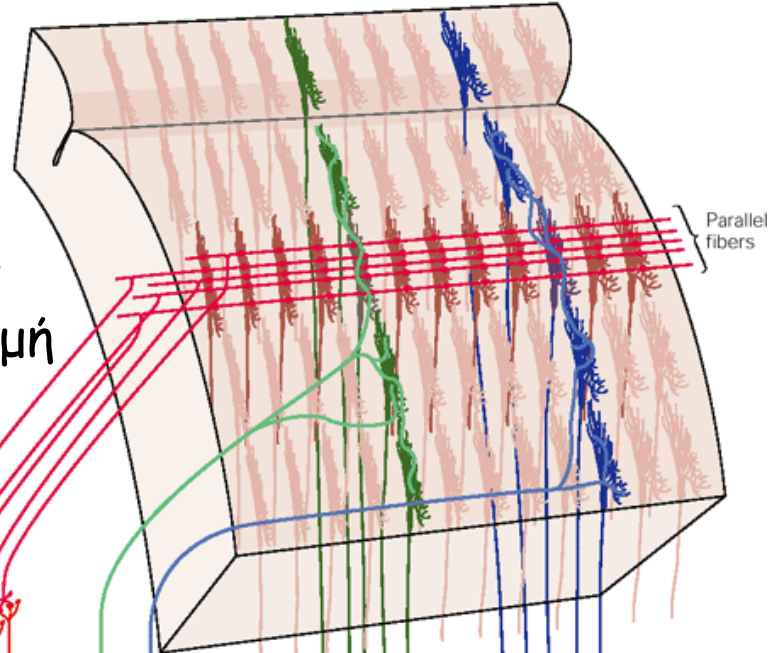
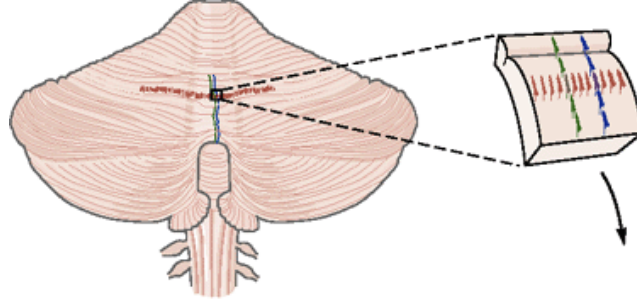
Κάτω ελαία

**Βρυώδης
ίνα**



*Κάτω ελαία -
προσαγωγά και
απαγωγά σήματα*





Οι συναπτικές συνδέσεις των βρυωδών και των αναρριχώμενων ινών σχηματίζουν μια ορθογώνια δομή

Βρυώδεις ίνες

Αναρριχώμενες ίνες

Granule cells

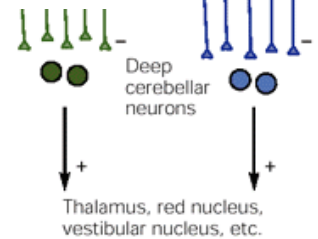
Parallel fibers

Purkinje cell axons



Spinocerebellar and other precerebellar neurons

Inferior olive



Deep cerebellar neurons

Thalamus, red nucleus, vestibular nucleus, etc.

Two types of inputs

Outputs


Οι δύο διεγερτικές είσοδοι στον παρεγκεφαλιδικό φλοιό

- Μία παράλληλη ίνα → χιλιάδες Purkinje κύτταρα
- Ένα κύτταρο Purkinje ← 200,000 παράλληλες ίνες
- Βρυώδεις ίνες προκαλούν **απλές αιχμές** στα κύτταρα Purkinje (σχετικά υψηλή συχνότητα εκφόρτισης)

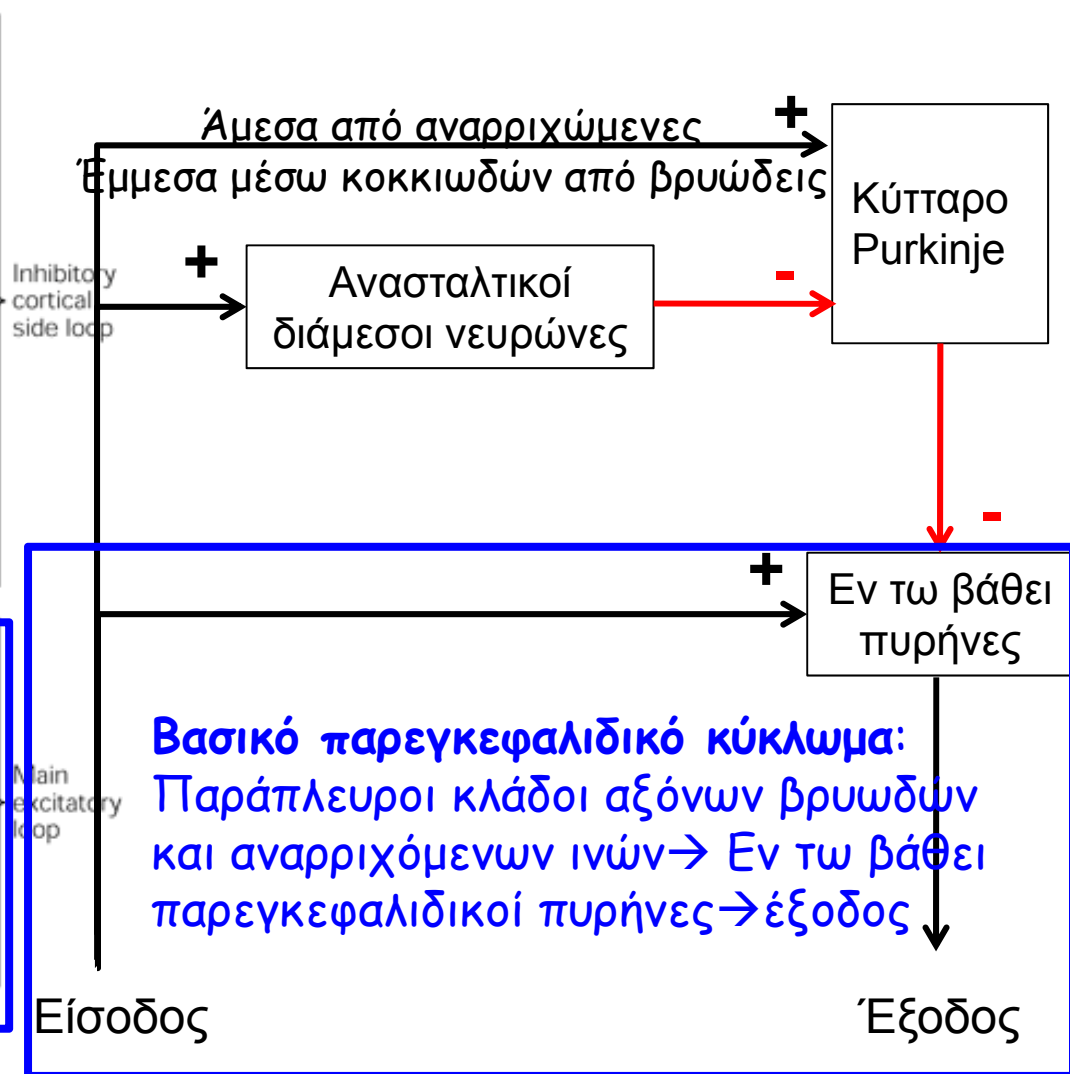
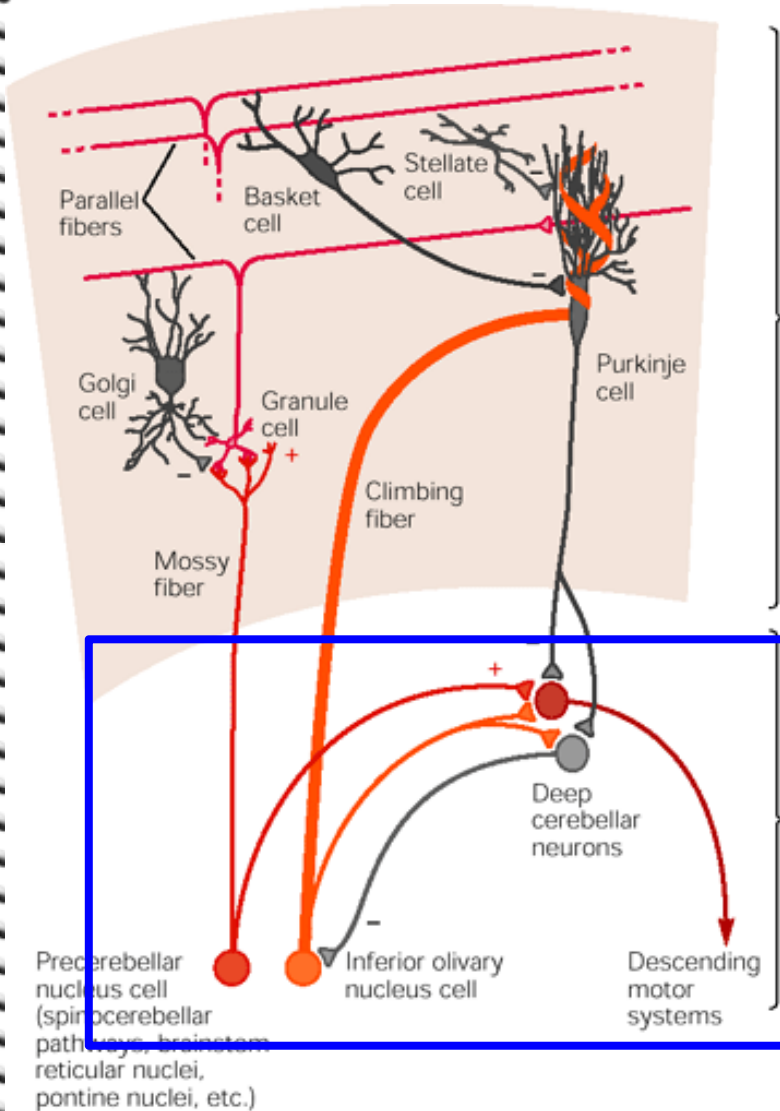


- Μία αναρριχώμενη ίνα → 1-10 κύτταρα Purkinje
- Ένα κύτταρο Purkinje ← μία αναρριχώμενη ίνα, πολλές συνάψεις
- Αναρριχώμενες ίνες προκαλούν **σύμπλοκες αιχμές** σε κύτταρα Purkinje (χαμηλή συχνότητα εκφόρτισης) → **lazy but strong**

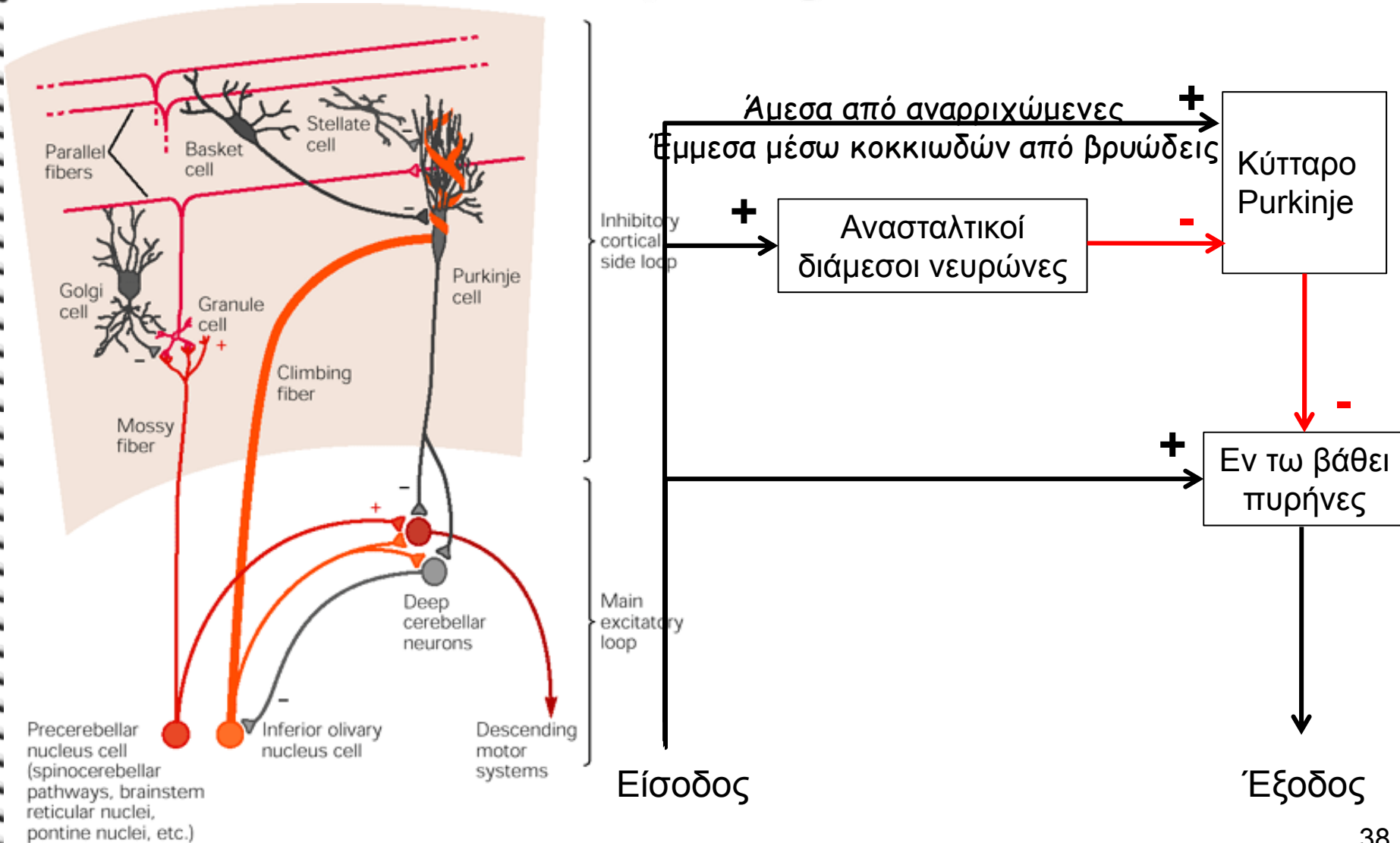


250 μ V 
2 ms

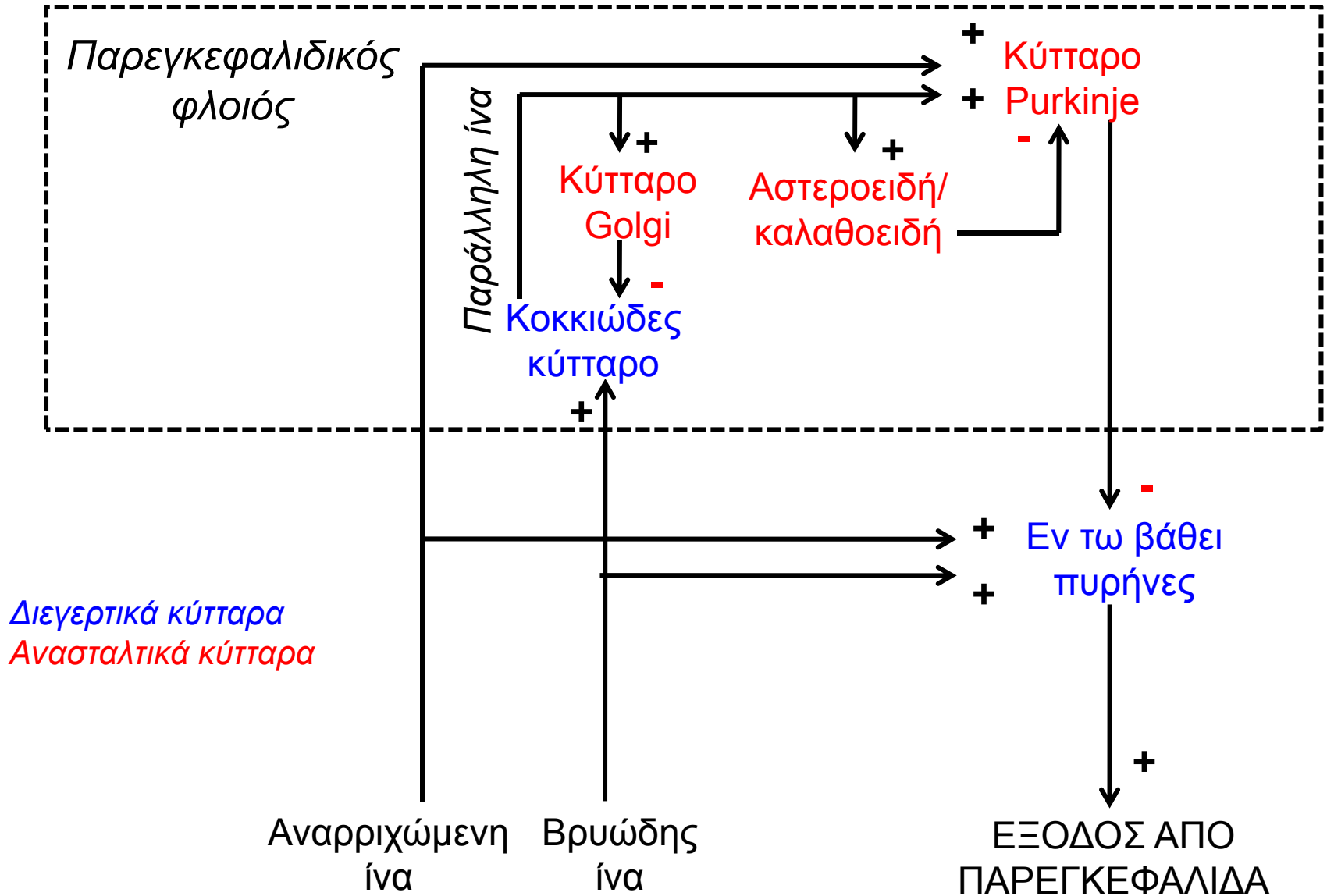
Η διεγερτική είσοδος στην παρεγκεφαλίδα τροποποιείται από ανασταλτικούς διάμεσους νευρώνες



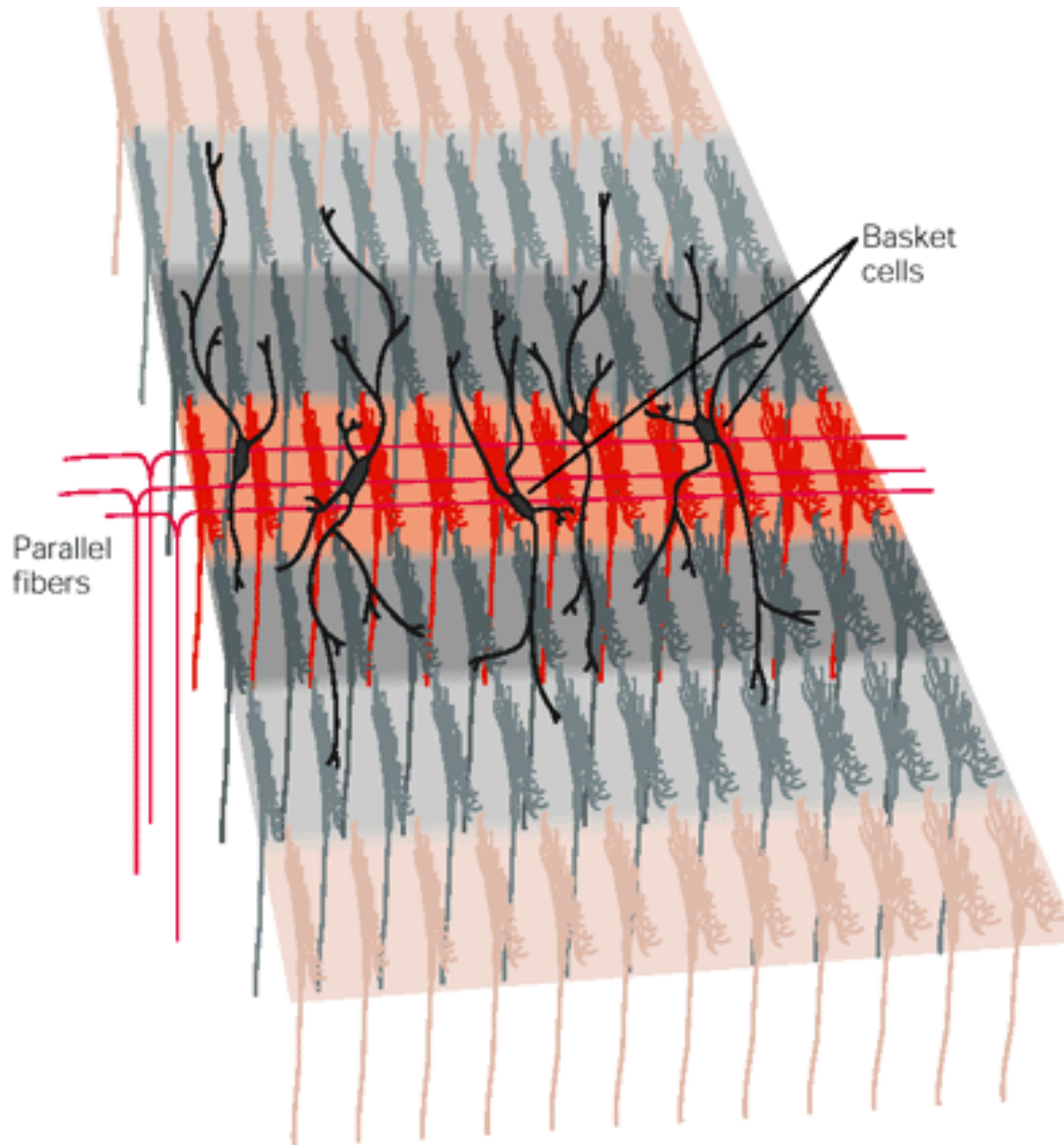
Η διεγερτική είσοδος στην παρεγκεφαλίδα τροποποιείται από ανασταλτικούς διάμεσους νευρώνες



Μικροκύκλωμα παρεγκεφαλίδας

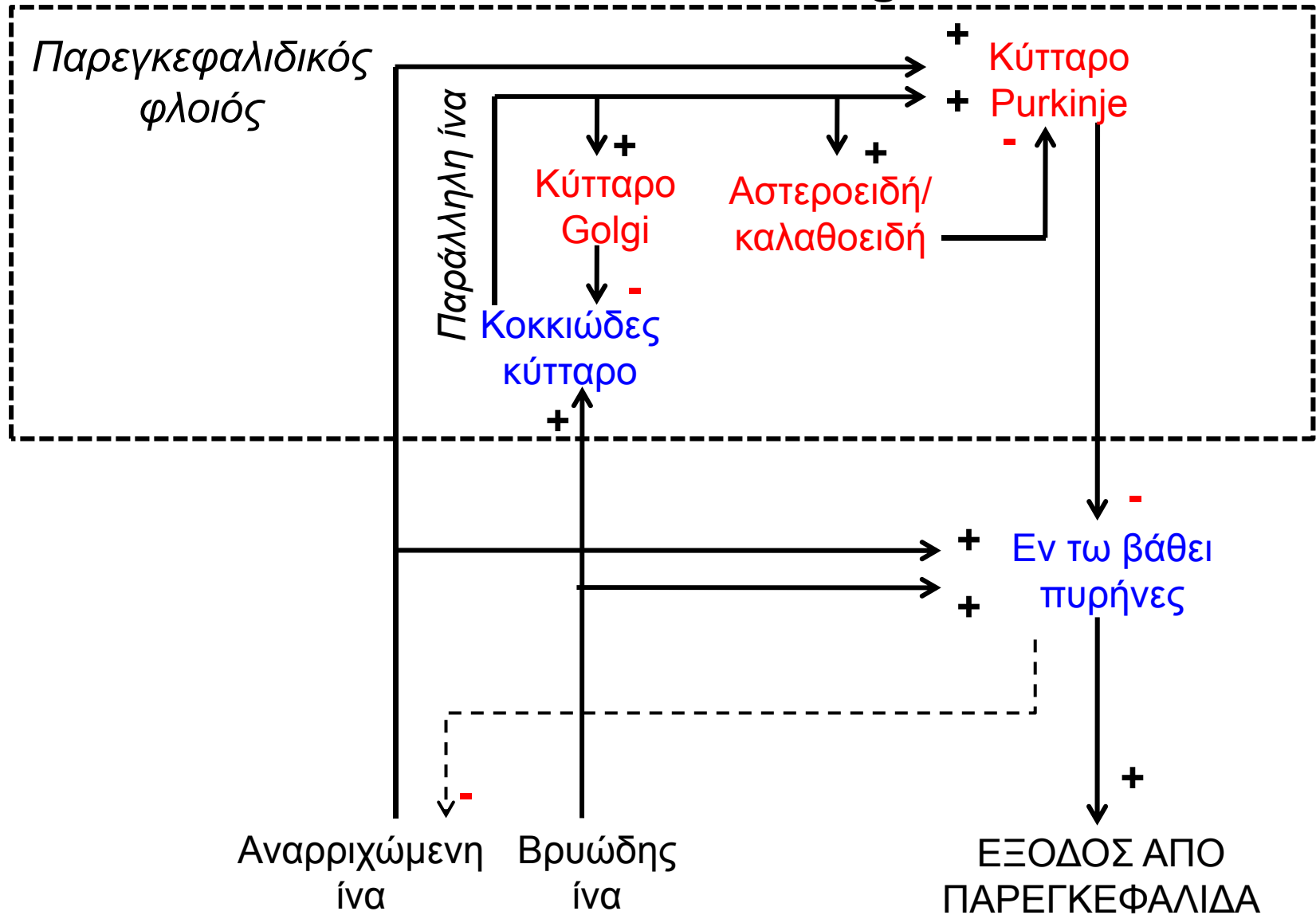


Παράπλευρη αναστολή από καλαθοειδή κύτταρα

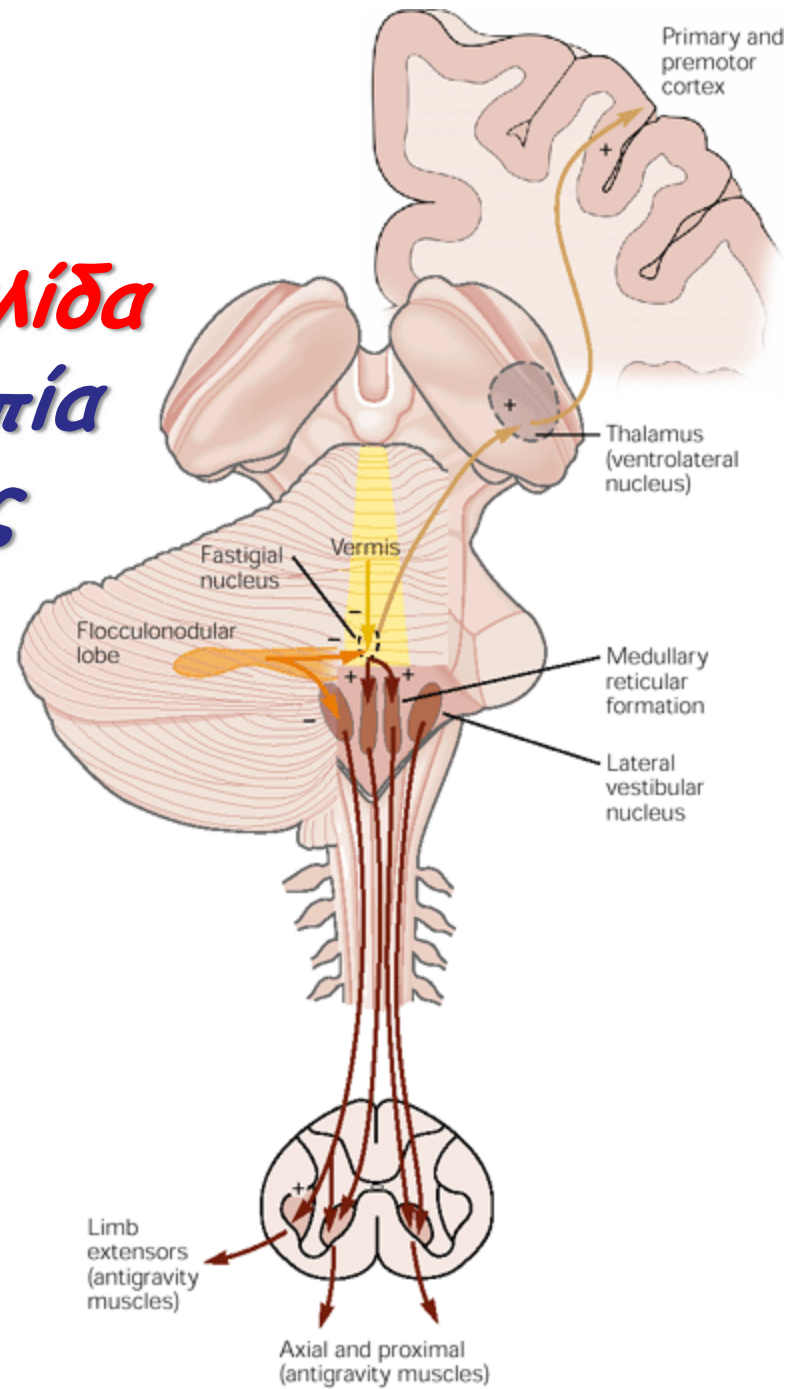


Μικροκύκλωμα παρεγκεφαλίδας

Turn-On / Turn-Off signal

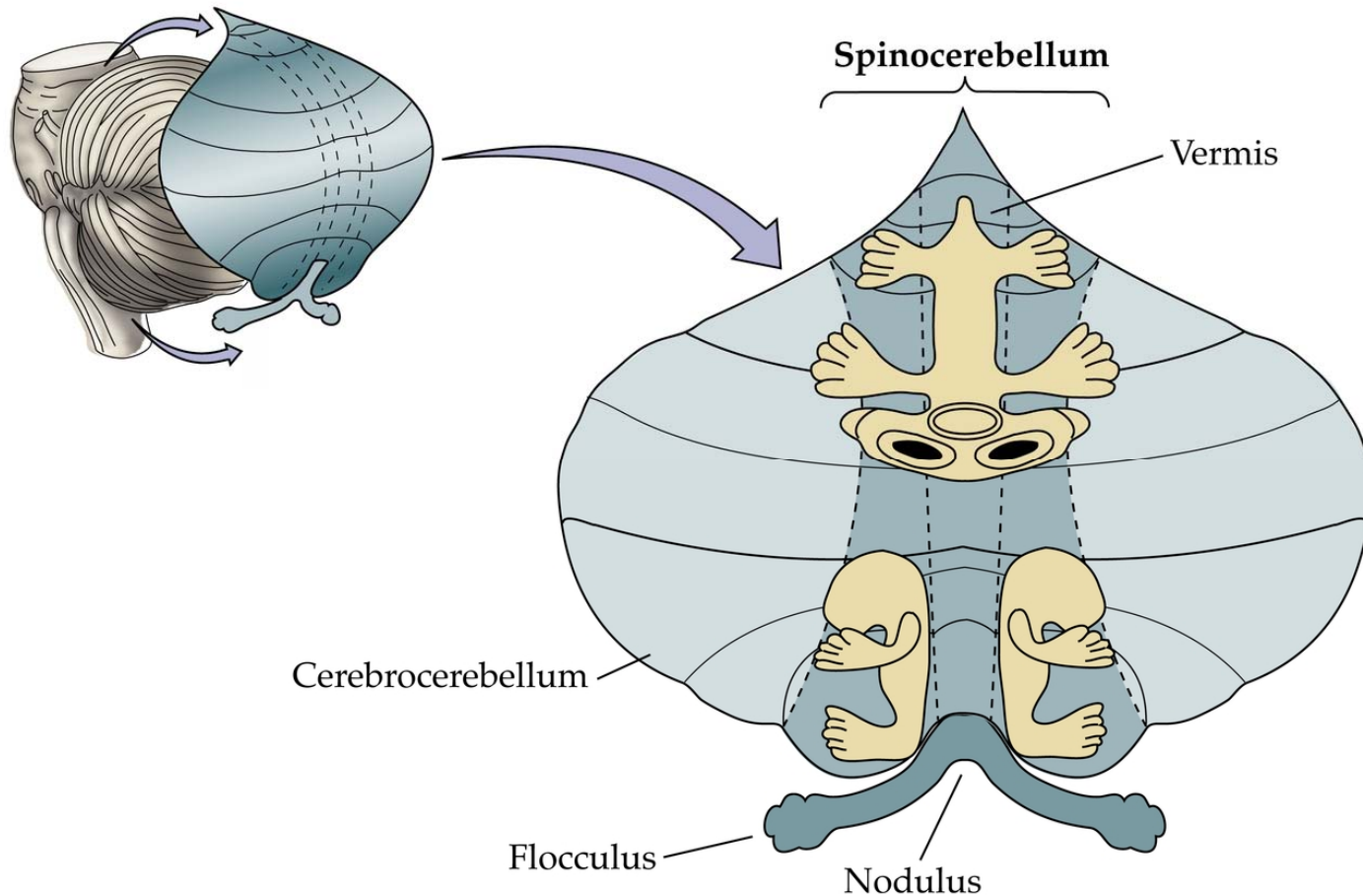


**Η αιθουσοπαρεγκεφαλίδα
ρυθμίζει την ισορροπία
και τις οφθαλμικές
κινήσεις**



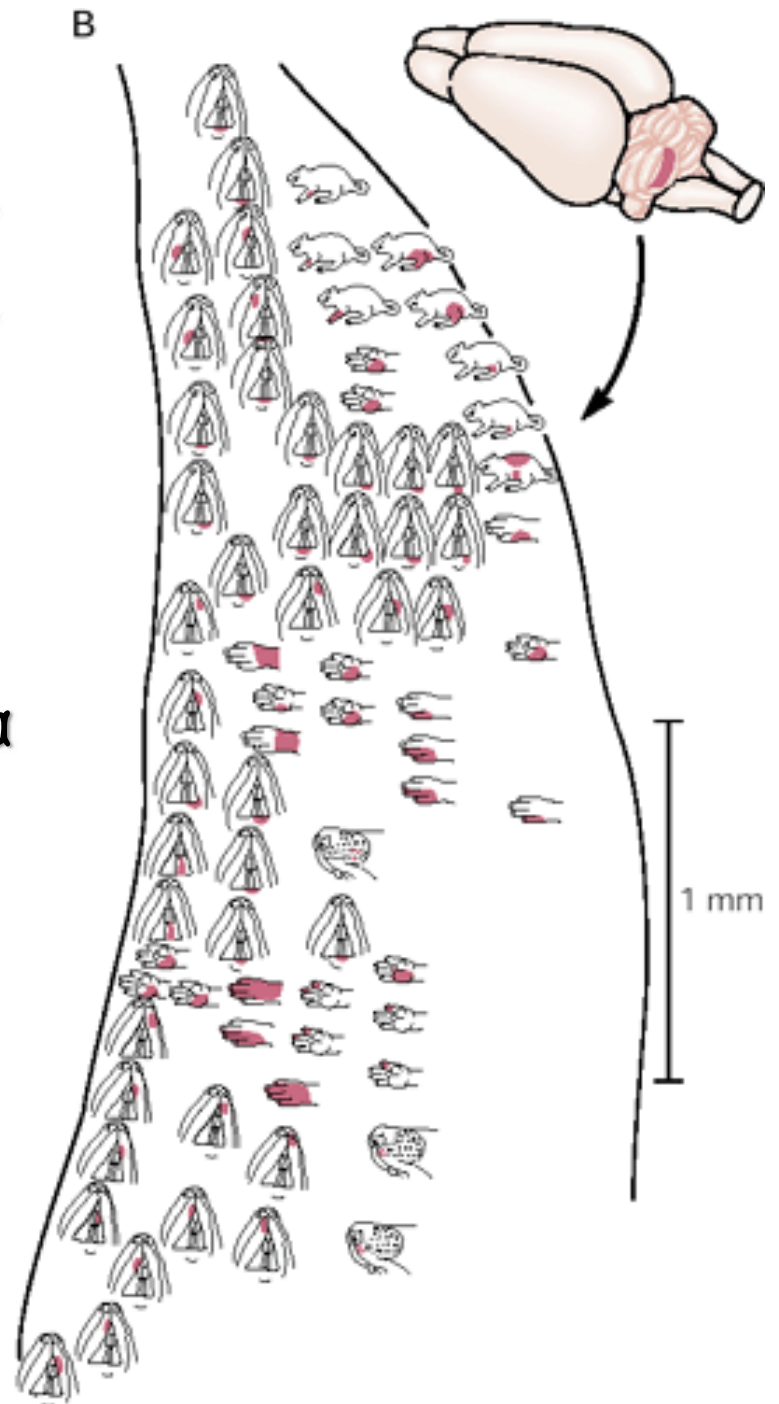
Η νωτιοπαρεγκεφαλίδα ρυθμίζει τις τρέχουσες κινήσεις

Σωματοτοπική αναπαράσταση σώματος

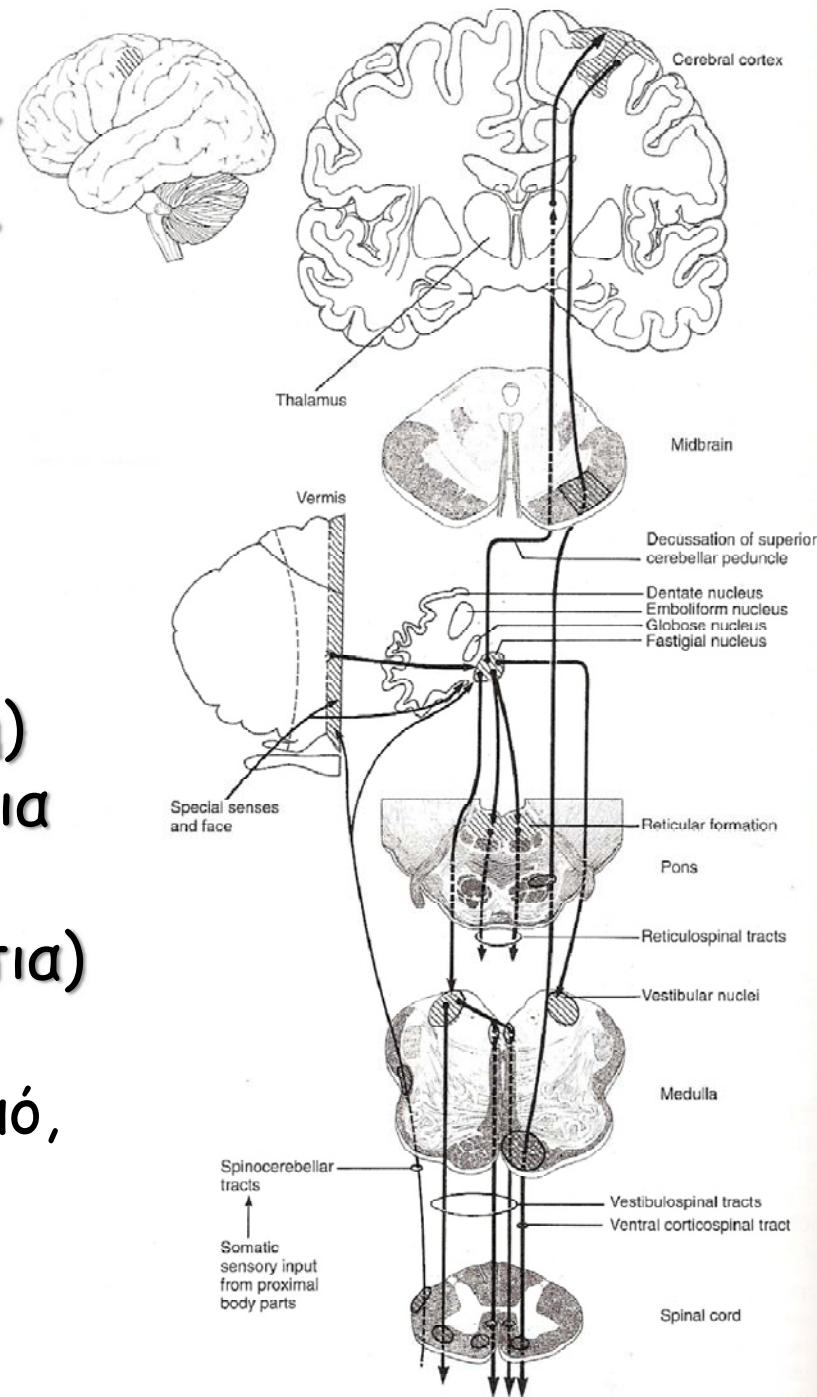


Η νωτιοπαρεγκεφαλίδα ρυθμίζει τις τρέχουσες κινήσεις

Κατακερματισμένη σωματοτοπία



Η νωτιοπαρεγκεφαλίδα ρυθμίζει τις τρέχουσες κινήσεις

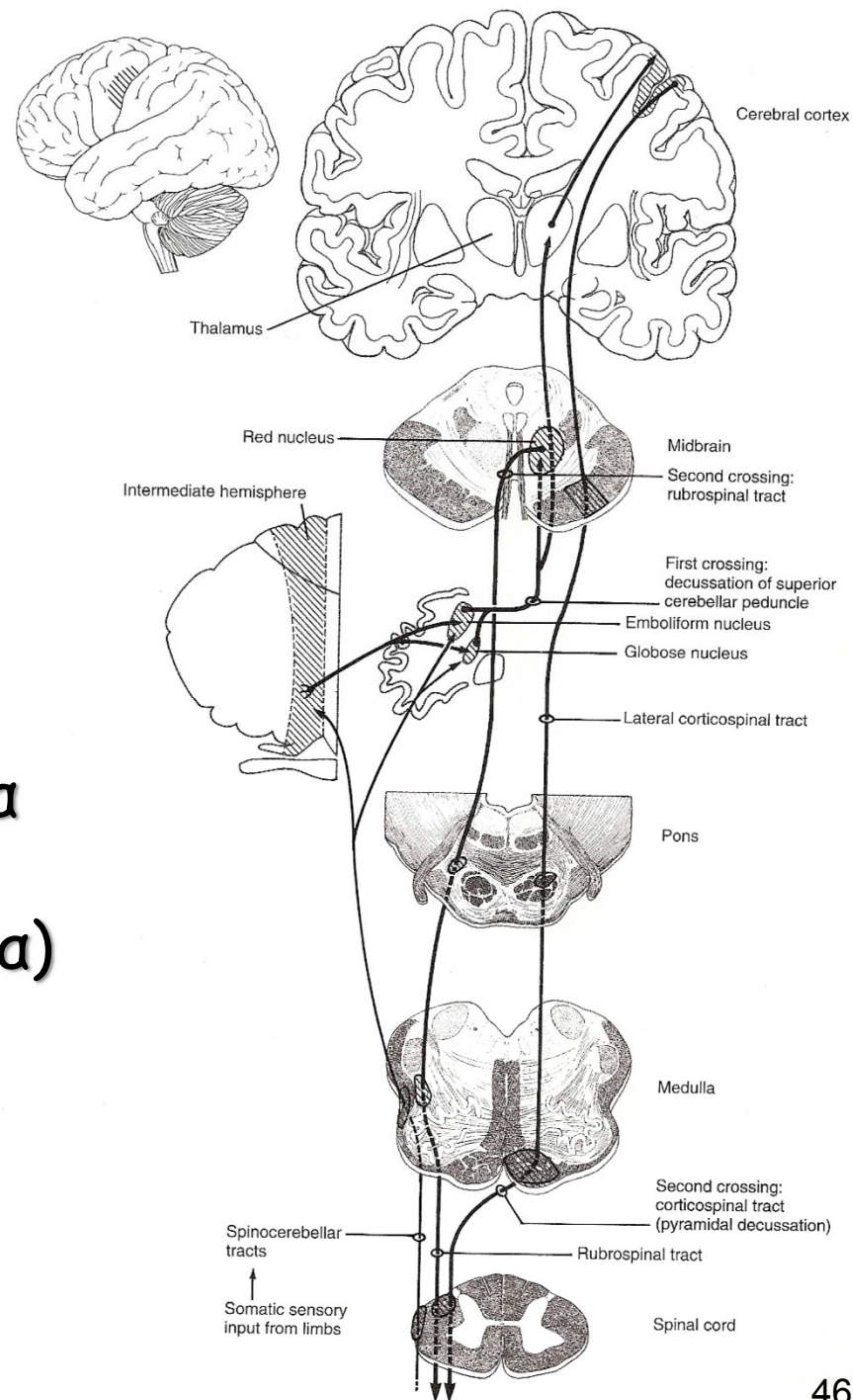


Σωματαιοσθητική (ιδιοδεκτική)
πληροφορία από την περιφέρεια
μέσω βρυωδών ινών
(νωτιαιοπαρεγκεφαλιδικά δεμάτια)

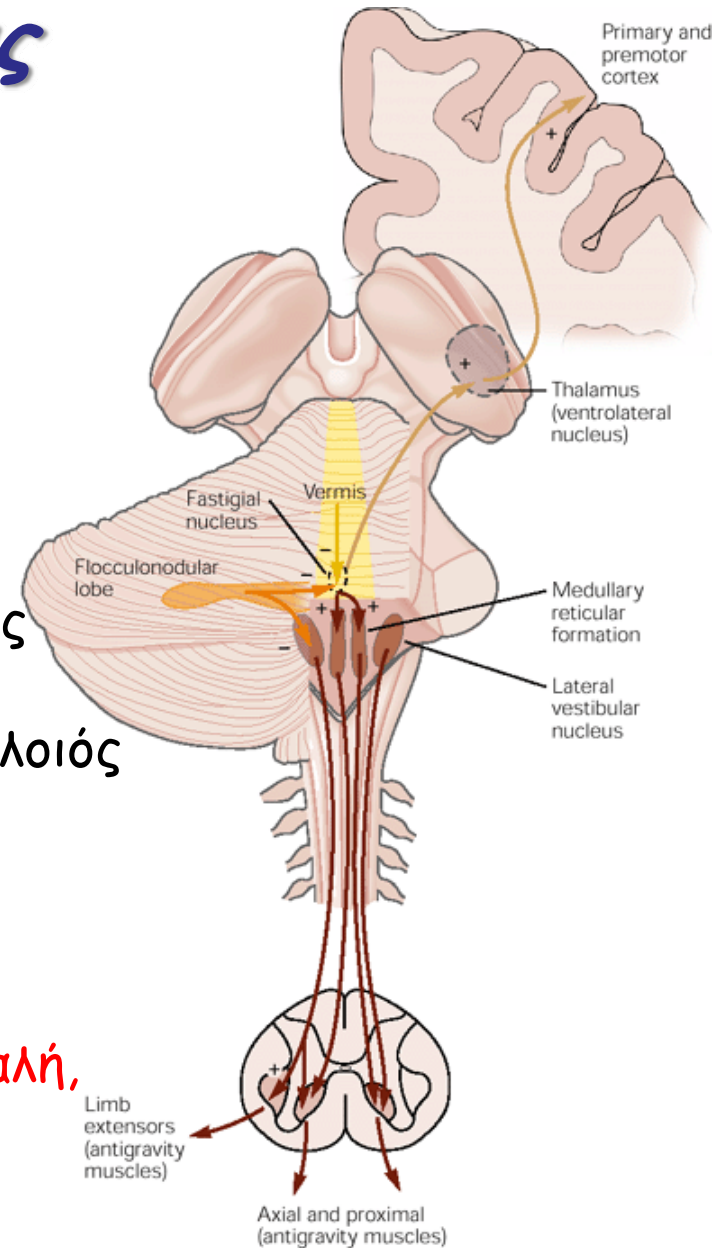
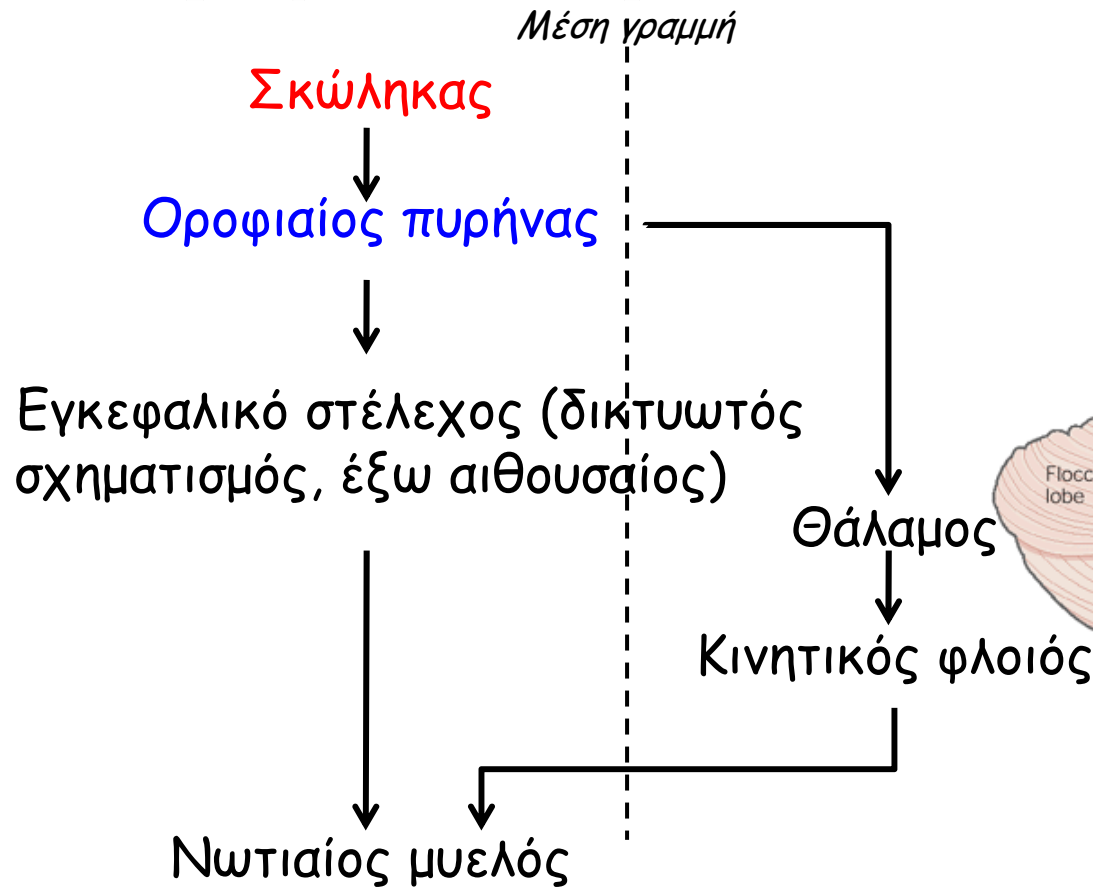
Σκώληκας: από λαιμό και κορμό,
λαβύρινθο και μάτια

Σωματαιοθητική (ιδιοδεκτική)
πληροφορία από την περιφέρεια
μέσω βρυωδών ινών
(νωτιαιοπαρεγκεφαλιδικά δεμάτια)

Διάμεση περιοχή: από άκρα

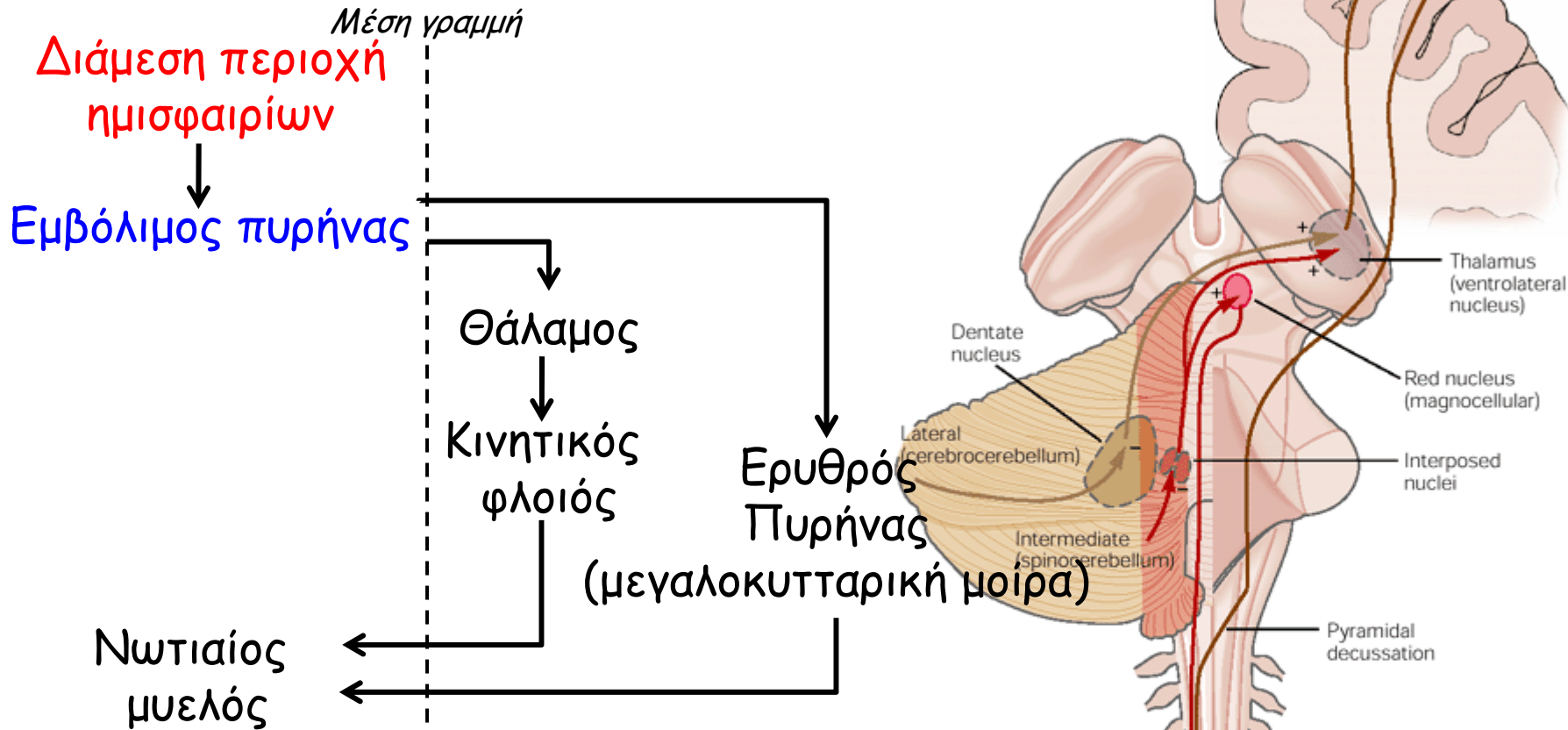


Η νωτιοπαρεγκεφαλίδα ρυθμίζει τις τρέχουσες κινήσεις



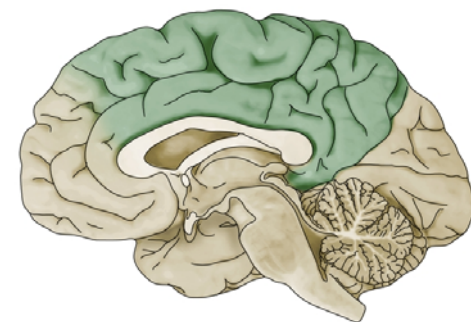
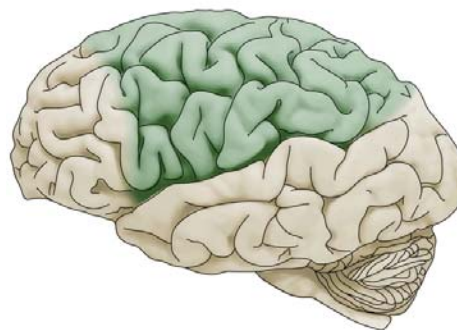
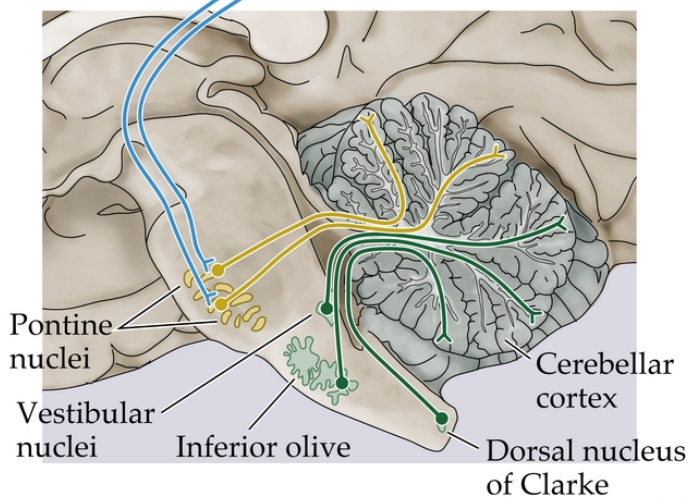
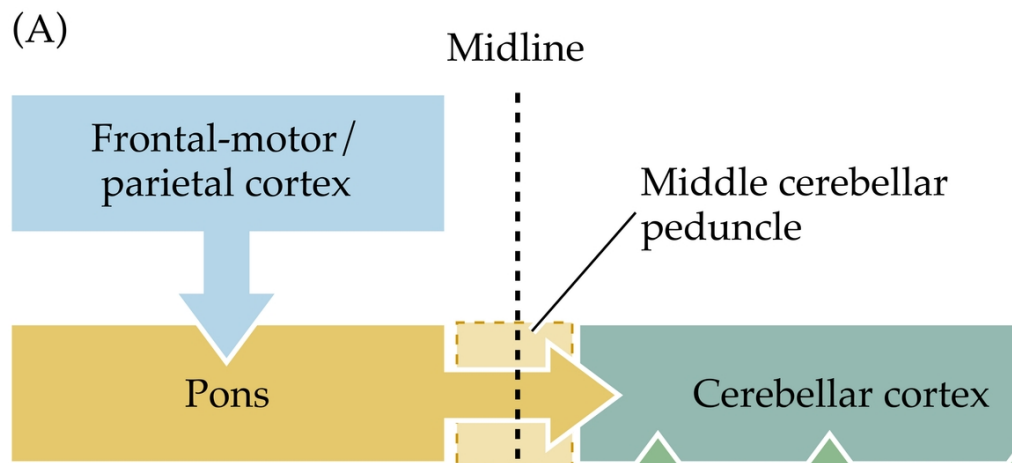
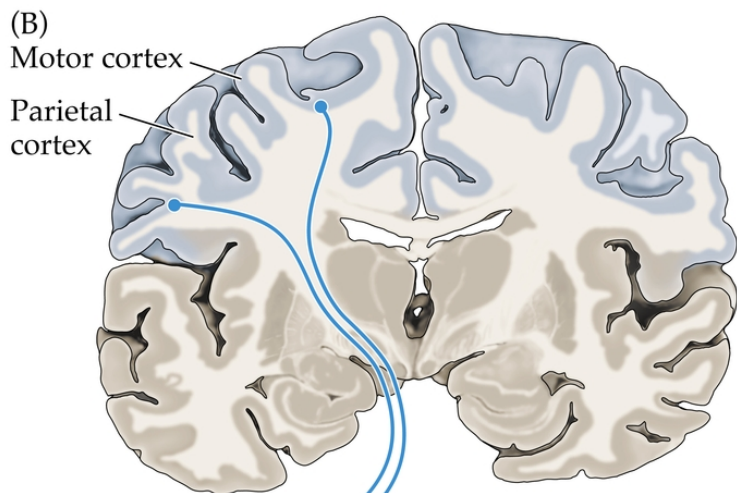
➤ Ελέγχει έσω κατιόντα συστήματα → κεφαλή, λαιμός, κορμός, εγγύς τμήματα των άκρων
ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣΩΠΟΥ, ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ, ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΣΗΣ

Η νωτιοπαρεγκεφαλίδα ρυθμίζει τις τρέχουσες κινήσεις

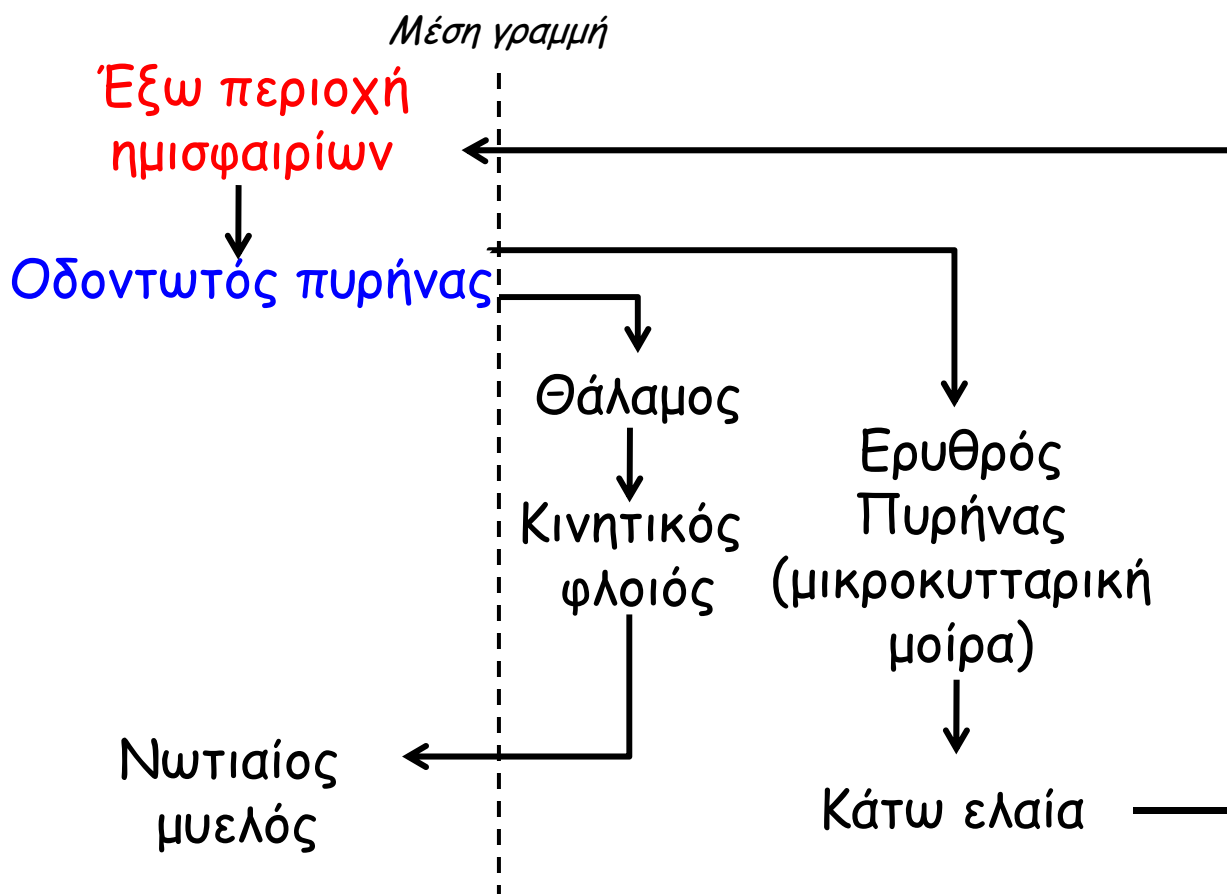


- Ελέγχει μύες των άκρων
- ΔΙΠΛΟΣ ΧΙΑΣΜΟΣ → Παρεγκεφαλιδικές βλάβες διαταράσσουν κινήσεις των ομόπλευρων άκρων

Η εγκεφαλοπαρεγκεφαλίδα δέχεται εισόδους από τον εγκεφαλικό φλοιό μέσω των γεφυρικών πυρήνων



Η εγκεφαλοπαρεγκεφαλίδα συντονίζει τον προγραμματισμό των κινήσεων των άκρων

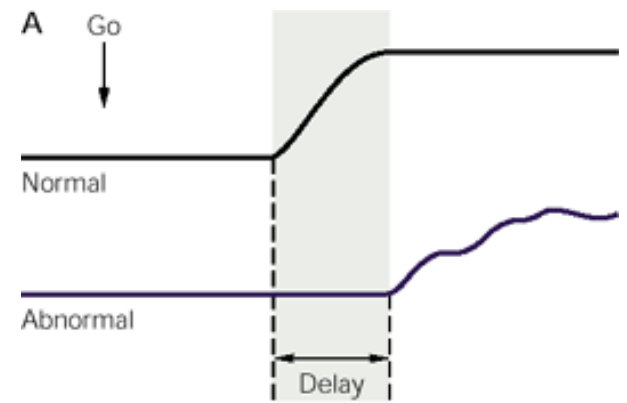


Κινητικά συμπτώματα που συνοδεύουν βλάβες της παρεγκεφαλίδας

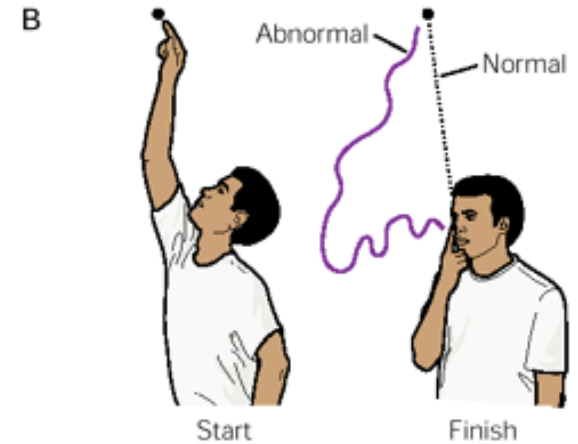
- Υποτονία - μειωμένη αντίσταση σε παθητική μετατόπιση των άκρων
- Δυσμετρία
- Αταξία - έλλειψη συντονισμού κινήσεων
- Τελικός τρόμος κατά την κίνηση

Τυπικά ελλείμματα σε παρεγκεφαλιδικά σύνδρομα

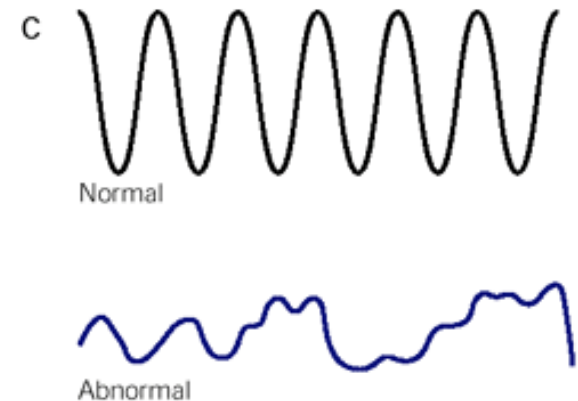
Καθυστέρηση στην έναρξη της κίνησης



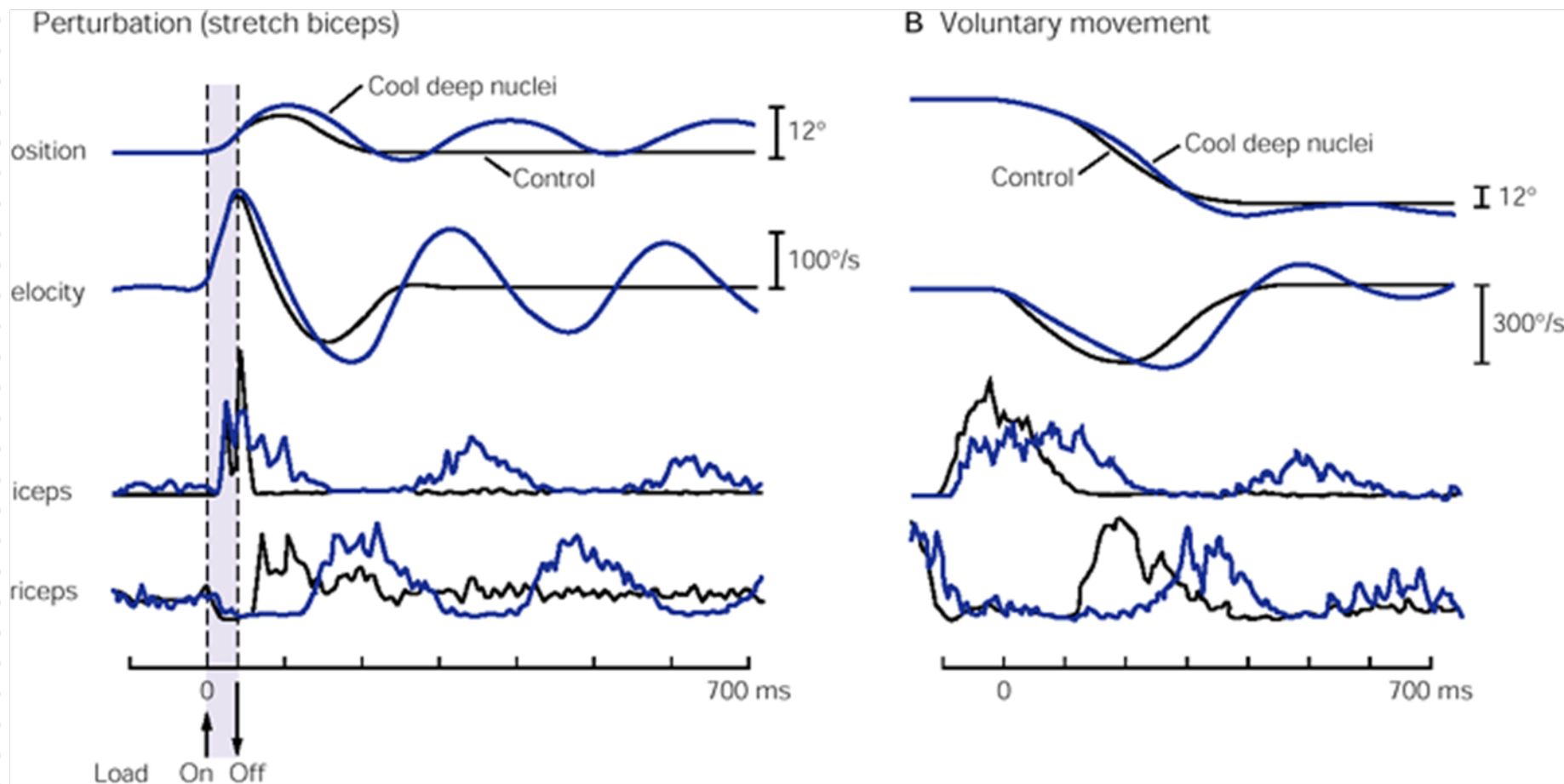
Δυσμετρία



Δυσδιαδοχοκινησία



Απενεργοποίηση εμφόλιμου και οδοντωτού πυρήνα



Διαταραχή της χρονικής αλληλουχίας ενεργοποίησης αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών

Παρεγκεφαλίδα και κινητική μάθηση

- Η είσοδος από τις αναρριχώμενες ίνες εξασθενεί τη σύναψη παράλληλης ίνας - κυττάρου Purkinje με μια διαδικασία που λέγεται **μακροχρόνια καταστολή (long-term depression - LTD)**.

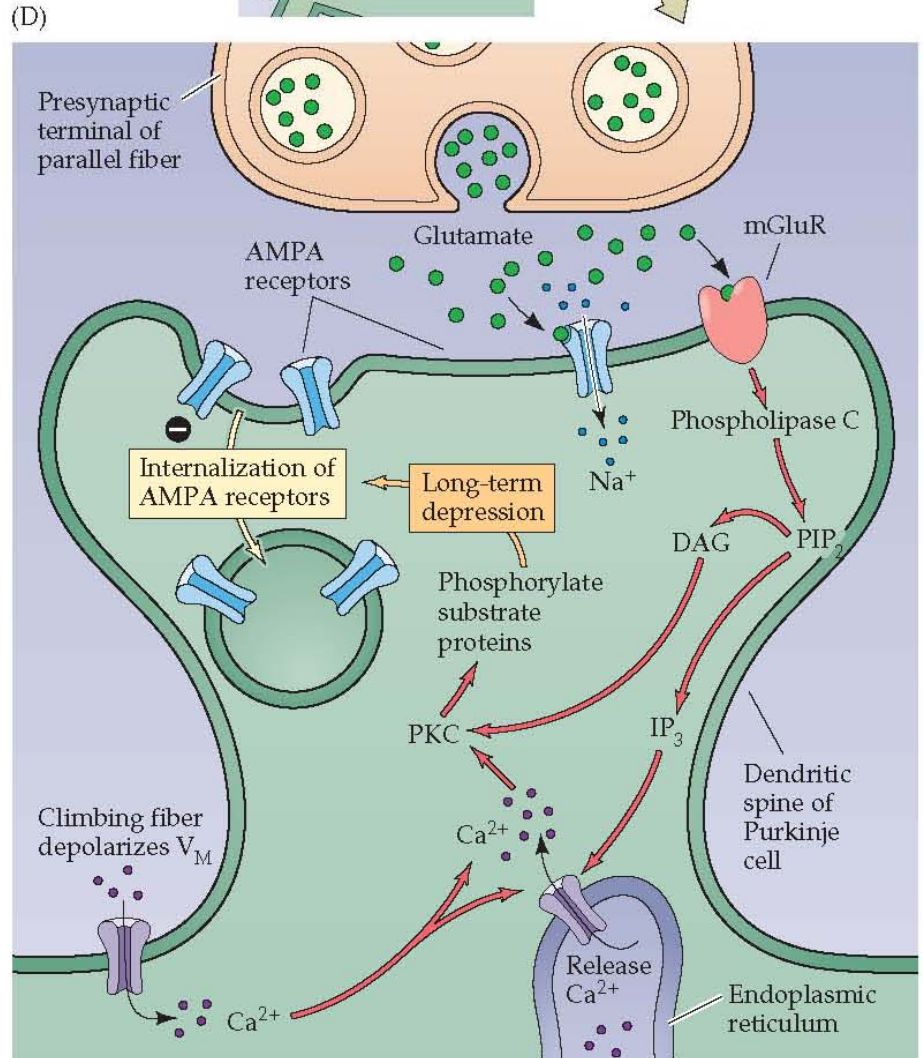
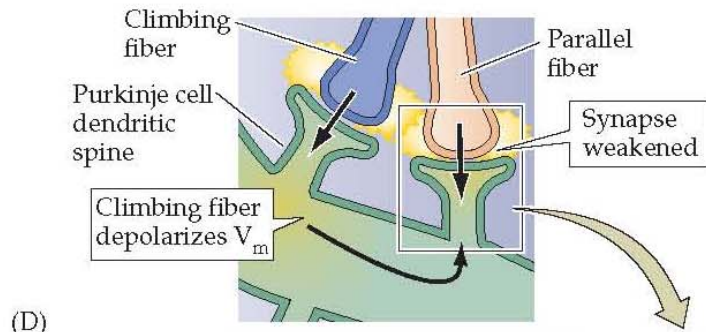
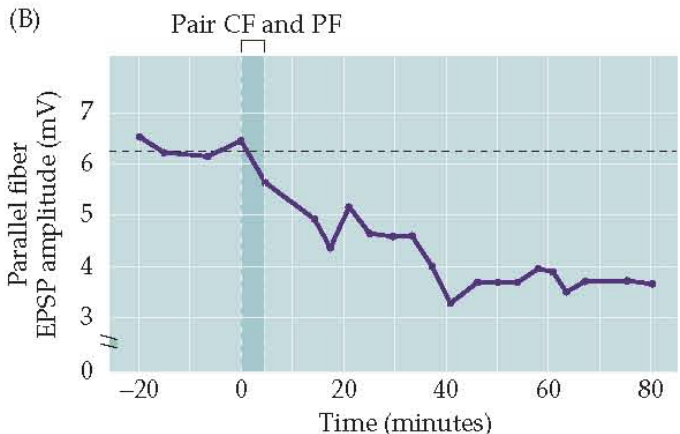
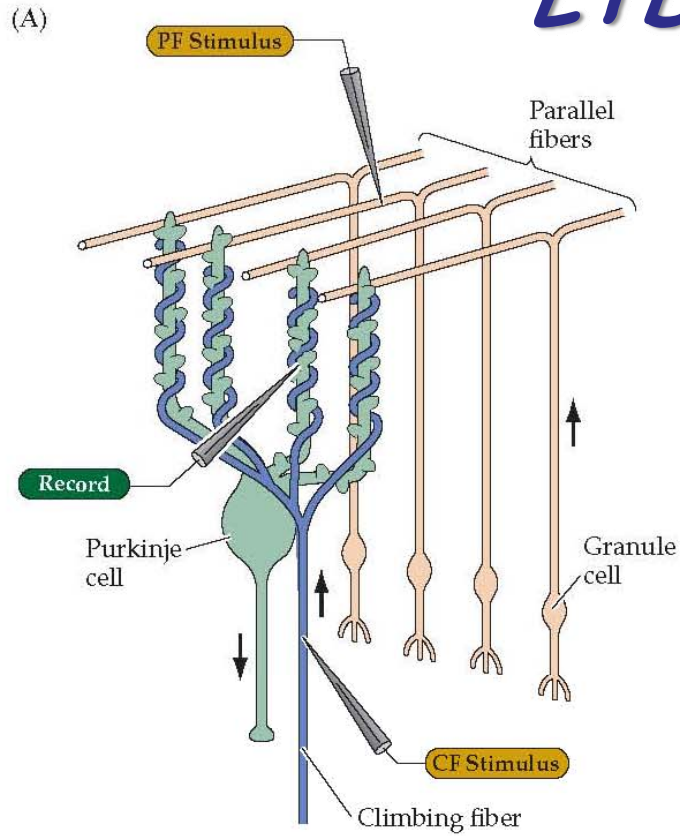
(Masao Ito, 1980s)

pf δραστήρια - no LTD

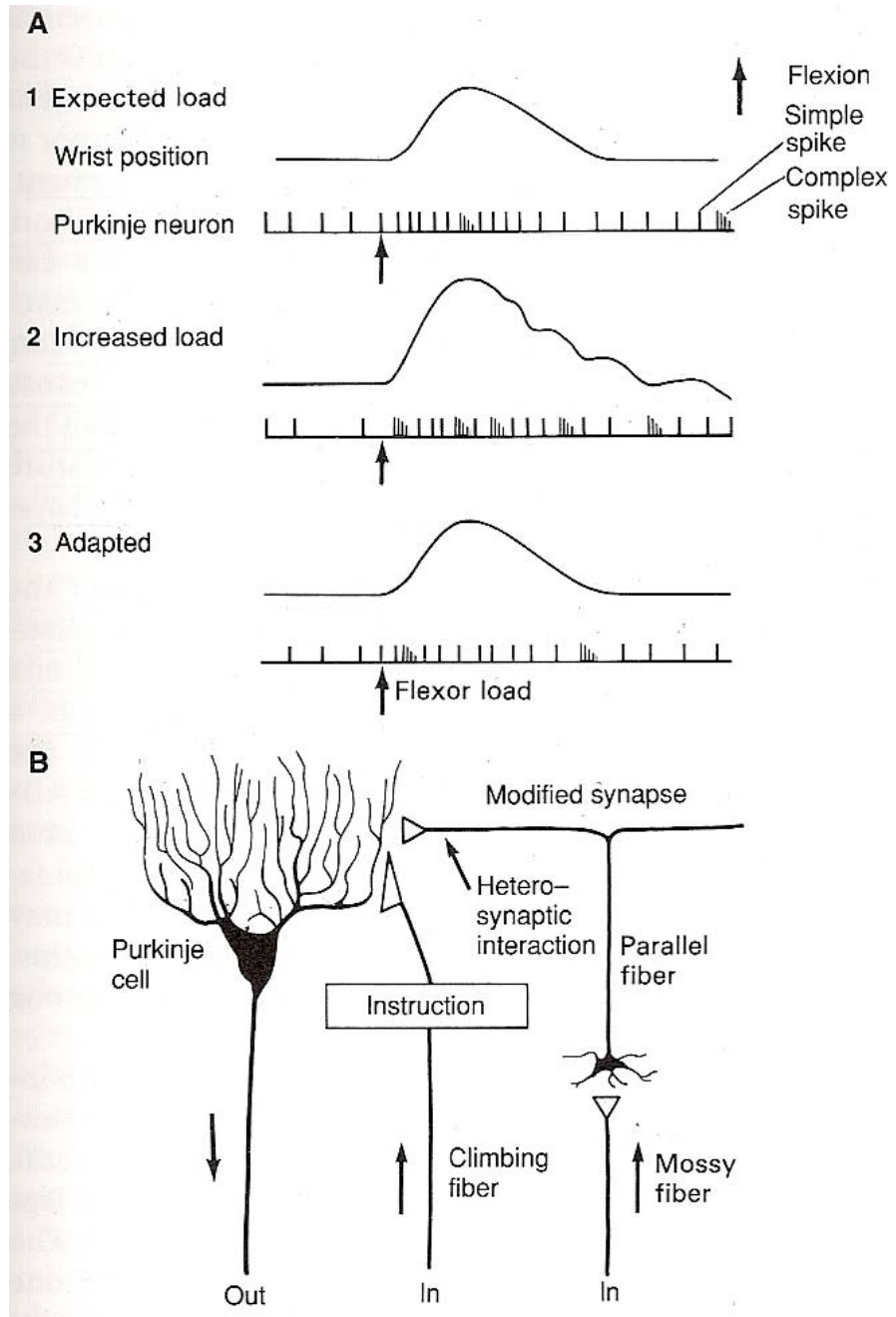
pf & cf δραστήριες ταυτόχρονα επαναλαμβανόμενα - LTD
(πλαστικότητα)

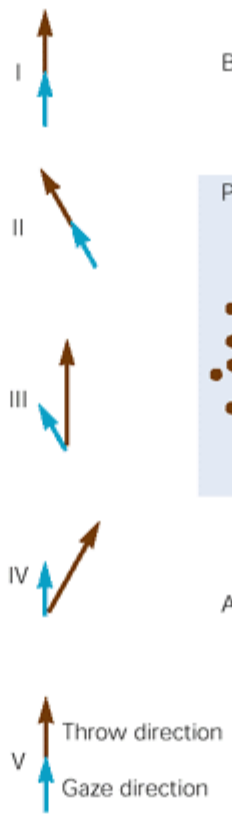
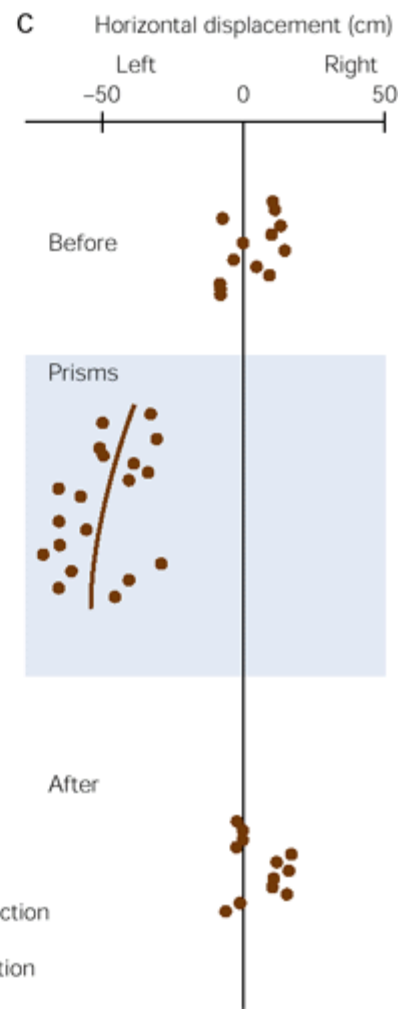
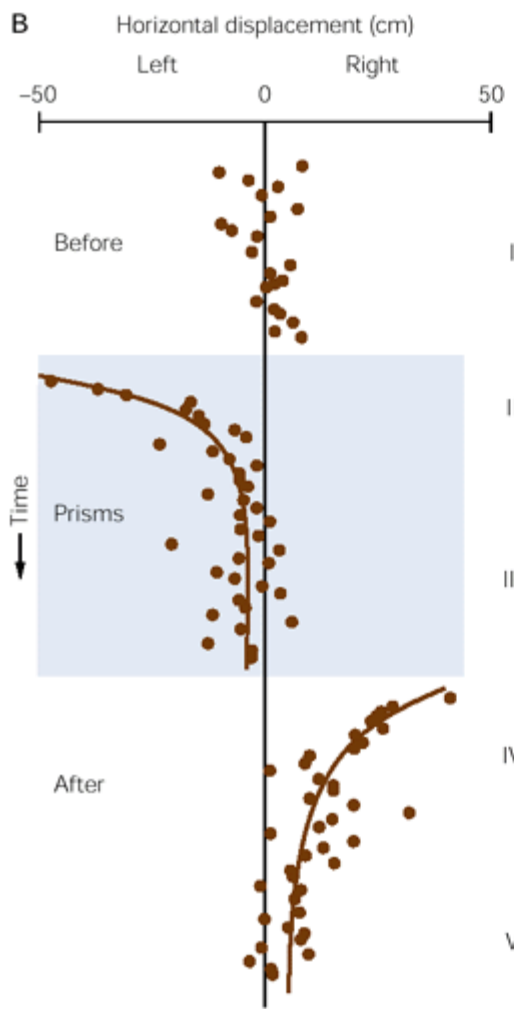
- Η αναρριχώμενη ίνα συγκρίνει **πρόθεση με εκτέλεση** και παρέχει **σήμα σφάλματος** το οποίο καταστέλλει τις παράλληλες ίνες που είναι ενεργές ταυτόχρονα και επιτρέπει να συμβεί η «σωστή» κίνηση.

LTD

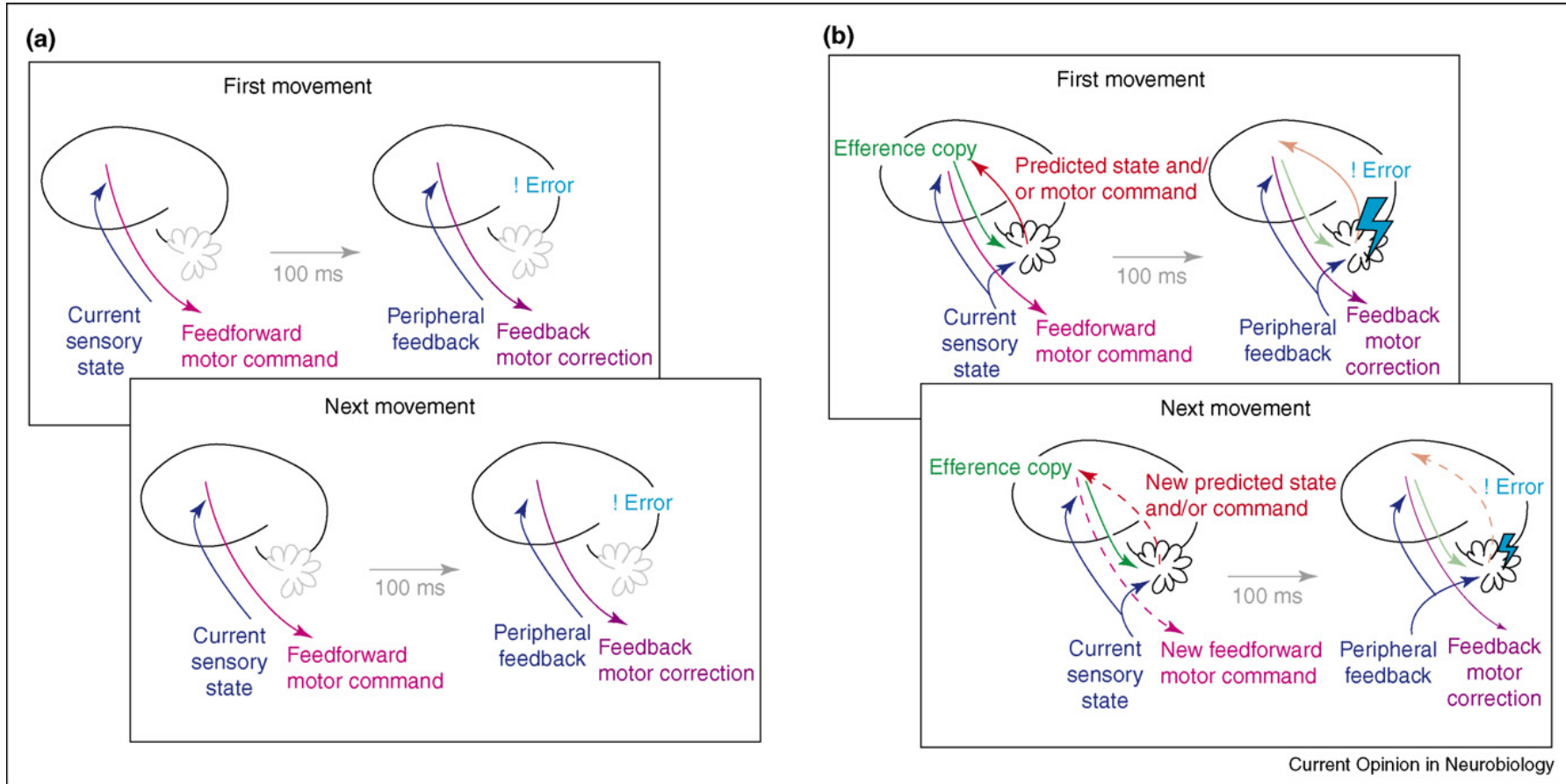


**Τα παρεγκεφαλιδικά
κυκλώματα
τροποποιούνται κατά
τη μάθηση**





The cerebellum learns predictive movement control



Current Opinion in Neurobiology