

2

Ιωάννης Λογοθέτης

Ο εκτελεστικός κινητικός μηχανισμός – Ανατομικά και φυσιολογικά στοιχεία

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	76
ΤΟ ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ Ή ΑΝΩΤΕΡΟΥ ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ)	76
ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ (Ή ΚΑΤΩΤΕΡΟΥ) ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ	79
ΤΟ ΕΞΩΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	84
ΒΑΣΙΚΑ ΓΑΓΓΛΙΑ - ΕΞΩΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Σεβαστή Μποσταντσοπούλου)	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Για τις κινήσεις με τους γραμμωτούς μυς συνεργάζονται πολλές ανατομικές περιοχές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται φλοιώδη και υποφλοιώδη κέντρα των ημισφαιρίων, η παρεγκεφαλίδα, φυγόκεντρες κινητικές οδοί και χαμηλότερα κινητικά κέντρα στο εγκεφαλικό στέλεχος και στον νωτιαίο μυελό. Με τους κινητικούς αυτούς σχηματισμούς συνεργάζονται κεντρομόλοι αισθητικές οδοί και αισθητικά κέντρα του εγκεφάλου, τα οποία συνεχώς μεταφέρουν ερεθίσματα που επηρεάζουν τις λειτουργίες του κινητικού μηχανισμού. Ο κινητικός μηχανισμός αναλύεται σε τρεις επιμέρους μηχανισμούς: α) τον κινητικό μηχανισμό στο συμβολικό (ιδεατό) επίπεδο, β) τον εκτελεστικό κινητικό μηχανισμό και γ) τον ρυθμιστικό κινητικό μηχανισμό. Θα περιγραφεί εδώ ο εκτελεστικός κινητικός μηχανισμός. Ο κινητικός μηχανισμός στο ιδεατό επίπεδο και ο ρυθμιστικός κινητικός μηχανισμός θα περιγραφούν σε κεφάλαια που ακολουθούν.

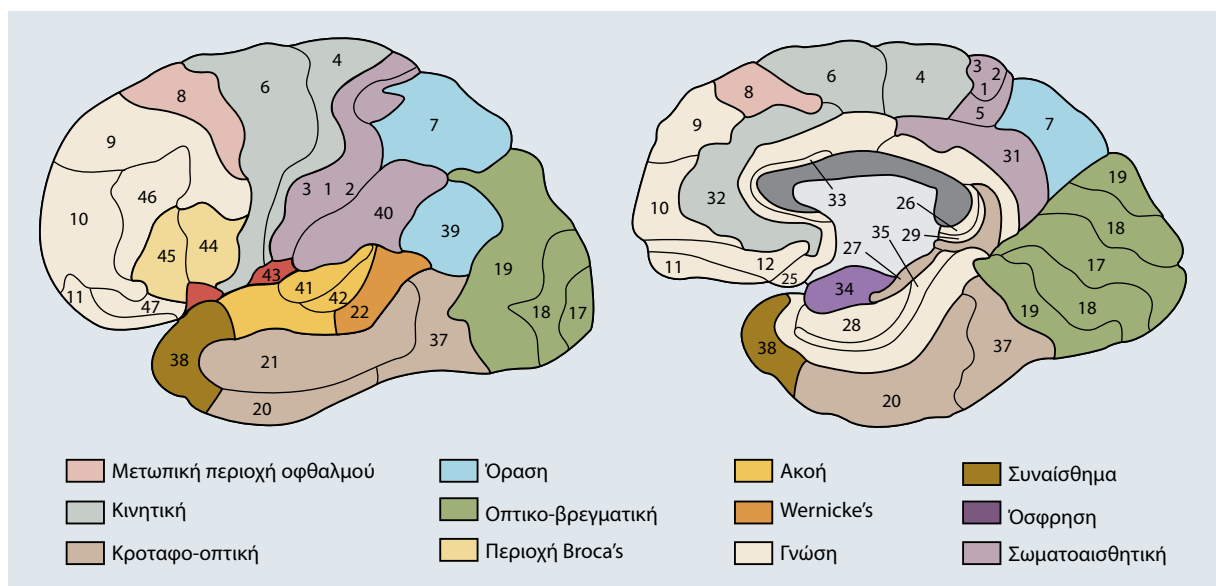
Στον εκτελεστικό κινητικό μηχανισμό, που περιγράφεται εδώ, συμπεριλαμβάνονται το πυραμιδικό σύστημα ή σύστημα του κεντρικού (άνωτερου) κινη-

τικού νευρώνα, το σύστημα του περιφερικού (κατώτερου) κινητικού νευρώνα και το εξωπυραμιδικό σύστημα. Οι παραπάνω μηχανισμοί σε συνεργασία με τον ρυθμιστικό κινητικό μηχανισμό, με κύρια ενέργεια της παρεγκεφαλίδας, είναι υπεύθυνοι για τις εκούσιες κινήσεις, αφού προηγηθεί η κατάλληλη προετοιμασία στο ιδεατό επίπεδο. Το εξωπυραμιδικό σύστημα, εκτός από τη συμβολή του στις εκούσιες κινήσεις, ελέγχει και την ακούσια αυτόματη κινητικότητα.

ΤΟ ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ Ή ΑΝΩΤΕΡΟΥ ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ)

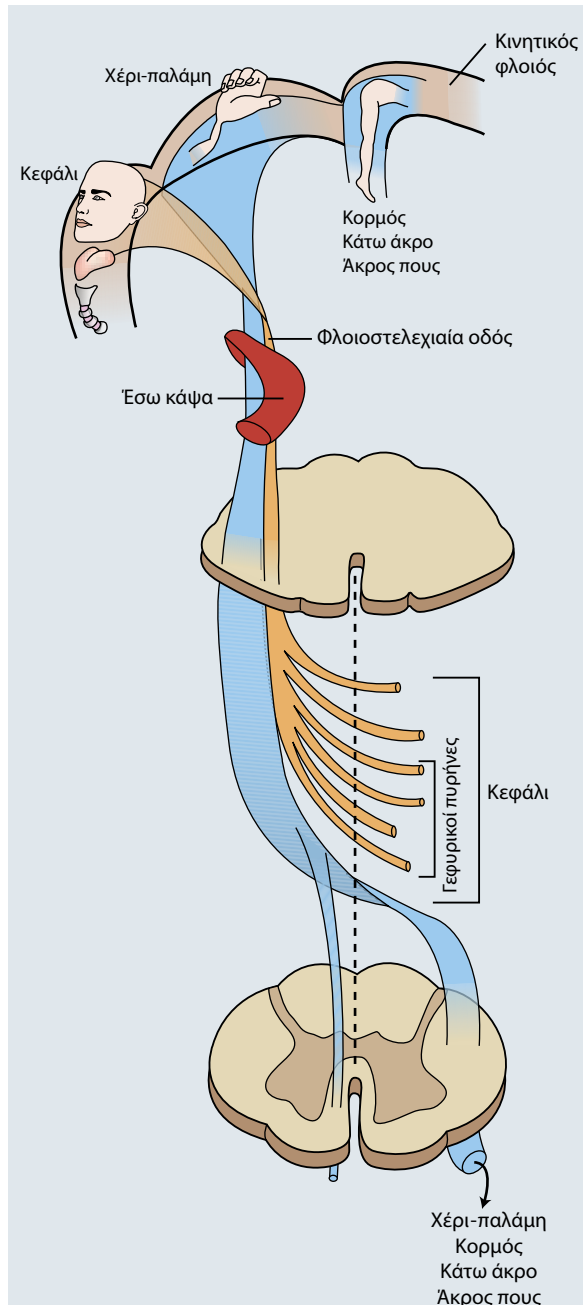
ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το πυραμιδικό είναι σύστημα νευρώνων με κυτταρικά σώματα (πυραμιδικά κύτταρα) που βρίσκονται, κατά κύριο λόγο, στον κινητικό φλοιό (περιοχή 4 κατά Brodmann, Εικ. 2.1) στο πίσω μέρος του μετωπιαίου λοβού, αντίστοιχα με την πρόσθια κεντρική έλικα και με το βάθος και το εμπρόσθιο τοίχωμα της κεντρικής (ρολάνδεια) αύλακος. Στην εσωτερική επιφάνεια του



Εικόνα 2.1. Ο κυτταροαρχιτεκτονικός χάρτης του ανθρώπινου εγκεφαλικού φλοιού. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στις φλοιϊκές περιοχές κατά Brodmann (1909).

ημισφαιρίου ο κινητικός φλοιός επεκτείνεται στο εμπρόσθιο μέρος του παράκεντρου λοβίου. Οι νευράξονες των πυραμιδικών κυττάρων απ' όλη την έκταση του κινητικού φλοιού, καθώς συγκλίνουν στο βάθος του ημισφαιρίου, σχηματίζουν τον ακτινωτό στέφανο, περνούν από το πίσω σκέλος της έσω κάψας,

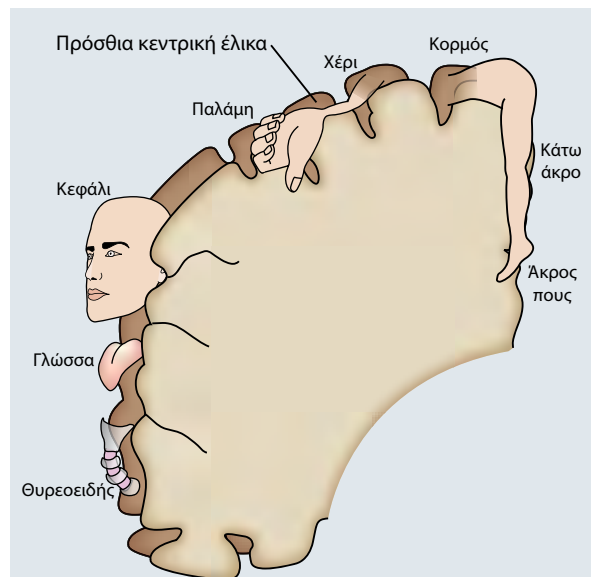


Εικόνα 2.2. Σχηματική παράσταση του πυραμιδικού δεματίου από τον κινητικό φλοιό προς τους κινητικούς πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους και προς τα κινητικά κύτταρα των πρόσθιων κεράτων του νωτιαίου μυελού (DeMyer, 1969).

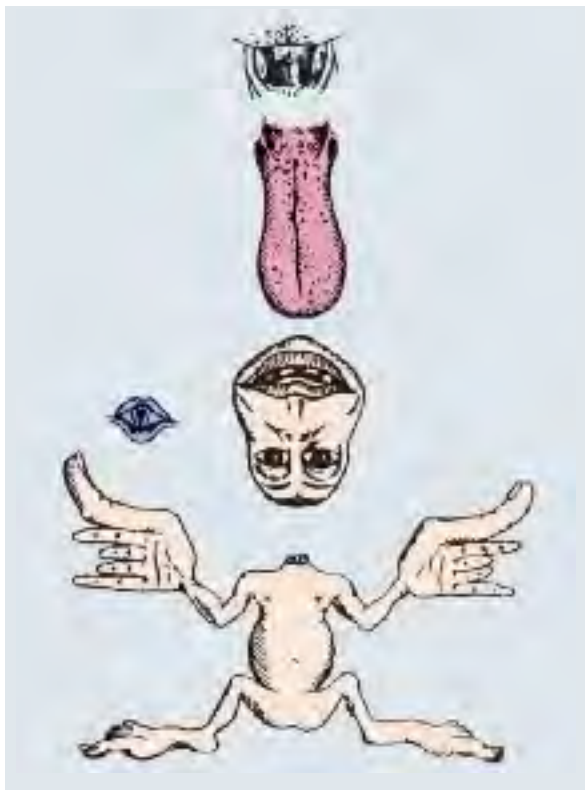
μεταξύ του θαλάμου και των βασικών γαγγλίων, και συνεχίζουν ως πυραμιδικό δεμάτιο σε όλο το μήκος του εγκεφαλονωτιαίου άξονα (Εικ. 2.2). Το δεμάτιο αυτό, όπως θα περιγραφεί, χιάζεται αργότερα στον προμήκη και οι ίνες του καταλήγουν στα κινητικά κύτταρα των πρόσθιων κεράτων του νωτιαίου μυελού, αφού προηγουμένως δώσει ίνες στους κινητικούς πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους.

Στο πυραμιδικό δεμάτιο περίπου 30% των ινών ξεκινούν από πυραμιδικά κύτταρα της περιοχής 4 και μόνο 3-4% ξεκινούν από τα μεγάλα πυραμιδικά κύτταρα της V στιβάδας της περιοχής αυτής. Οι υπόλοιπες ίνες προέρχονται κυρίως από μικρά πυραμιδικά κύτταρα του κινητικού φλοιού, του προκινητικού φλοιού (περιοχή 6) και του βρεγματικού φλοιού (περιοχές 3, 1, 2, 5 και 7), όπως απεικονίζονται στην εικόνα 2.1. Οι φλοιικές αυτές περιοχές, εκτός από την περιοχή 4, ανήκουν ουσιαστικά στον εξωπυραμιδικό φλοιό (φλοιικής προέλευσης εξωπυραμιδικό σύστημα), από όπου ξεκινά σύστημα ινών για την πολυσυναπτική εξωπυραμιδική οδό.

Στον κινητικό φλοιό σε κάθε πλάγιο αντιπροσωπεύεται το αντίθετο πλάγιο του σώματος με σαφή τοπογραφική κατανομή (Εικ. 2.3). Η αντιπροσώπευση αυτή απεικονίζεται παραστατικά με το "ανθρωπάριο του Penfield" (Εικ. 2.4), όπου το κεφάλι είναι στο κατώτερο και τα πόδια στο ανώτερο μέρος του κινητικού φλοιού (που συνεχίζει στην εσωτερική επιφά-



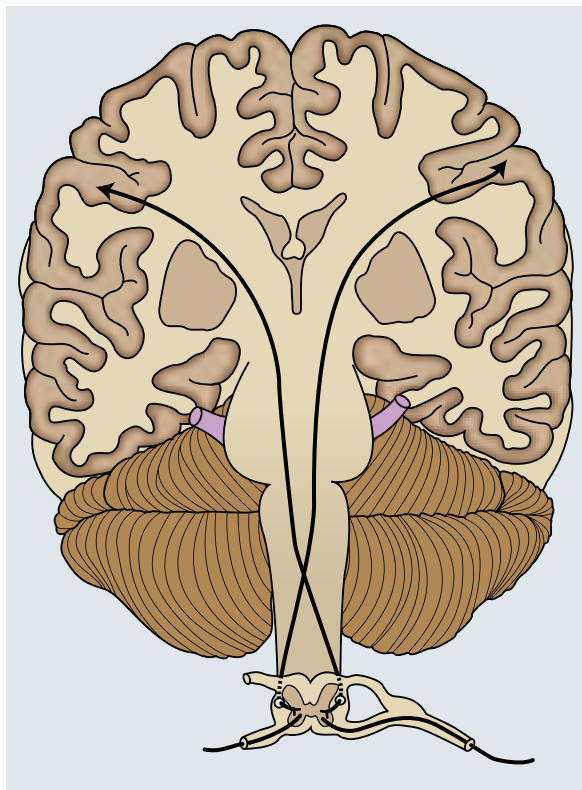
Εικόνα 2.3. Η αντιπροσώπευση της κινητικής νευρώσης στον κινητικό φλοιό. Φανερή είναι η μεγάλη έκταση για το χέρι και τη στοματοπροσωπική περιοχή (Penfield και Rasmussen, 1950).



Εικόνα 2.4. Το ανθρωπάριο του Penfield. Το σχετικό μέγεθος των διαφόρων τμημάτων απεικονίζεται σύμφωνα με την έκταση των περιοχών που αντιστοιχούν στον κινητικό φλοιό (Penfield και Boldrey, 1937).

νεια του ημισφαιρίου), και είναι ανάλογη σε έκταση με τη λειτουργική σπουδαιότητα του αντίστοιχου τμήματος του σώματος. Η περιοχή του χεριού και ιδιαίτερα του αντίχειρα είναι η μεγαλύτερη.

Στην έσω κάψα (πίσω σκέλος) υπάρχει επίσης καθορισμένη κατανομή των ινών. Από το γόναυ της κάψας περνούν οι ίνες για την περιοχή κατανομής των κρανιακών νεύρων και κατόπιν στο πίσω σκέλος ακολουθούν οι ίνες για τον αυχένα, το άνω άκρο, τον κορμό και το κάτω άκρο. Από την κάψα το πυραμιδικό δεμάτιο φέρεται στο εγκεφαλικό σκέλος του μεσεγκεφάλου (εσωτερικά 3/5) και από εκεί περνά στη γέφυρα, όπου οι ίνες του διαχωρίζονται σε μικρές δέσμες, για να σχηματίσουν πάλι συμπαγή δεμάτια στον προμήκη. Στο εγκεφαλικό στέλεχος διαδοχικά αποχωρίζονται οι πυραμιδικές ίνες που προορίζονται για τους κινητικούς πυρήνες των κρανιακών νεύρων (Εικ. 2.2). Οι πυρήνες αυτοί δέχονται αμφοτερόπλευρη νεύρωση με χιασμένες ίνες, εκτός από το κοιλιακό μέρος του πυρήνα του προσωπικού (για το κάτω μέρος του προσώπου) και τον πυρήνα του υπογλώσσου (για τον γενειογλωσσικό μυ), που δέχο-



Εικόνα 2.5. Η πυραμιδική οδός με απεικόνιση του χιασμού των ινών στον προμήκη και της σύναψης των ινών στα πρόσθια κινητικά κύτταρα. Η σύναψη γίνεται στο μεγαλύτερο μέρος με την παρεμβολή ενδιάμεσων νευρώνων της παρακείμενης φαιάς ουσίας μεταξύ πρόσθιων και οπίσθιων κεράτων. Από τα πρόσθια κέρατα ξεκινά η περιφερική κινητική οδός.

νται σχεδόν αποκλειστικά χιασμένες ίνες από το αντίθετο πλάγιο. Οι ίνες που προορίζονται για τον νωτιαίο μυελό (φλοιονωτιαίο μέρος του πυραμιδικού δεματίου ή φλοιονωτιαίο δεμάτιο) χιάζονται, με μικρή εξαίρεση, στο κάτω μέρος του προμήκους (χιασμός των πυραμίδων) και σχηματίζουν τα πλάγια πυραμιδικά δεμάτια του νωτιαίου μυελού (Εικ. 2.5). Οι ίνες για τα άνω άκρα βρίσκονται στο μέσα μέρος των δεματίων, ενώ για τα κάτω άκρα στο περιφερικό μέρος. Οι ίνες του πυραμιδικού δεματίου που δεν χιάζονται σχηματίζουν το αχίαστο πυραμιδικό δεμάτιο στα πλάγια της πρόσθιας μέσης αύλακος του νωτιαίου μυελού.

Καθώς τα πλάγια πυραμιδικά δεμάτια κατεβαίνουν στον νωτιαίο μυελό, οι ίνες τους μεταχωρούν ομόπλευρα και συνάπτονται διαδοχικά με κινητικά κύτταρα των πρόσθιων κεράτων και σε σωματοτοπική αντιστοιχία (σύναψη με παρεμβολή ενδιάμεσων νευρώνων). Από τις ίνες των αχίαστων πυραμιδικών δεματίων οι περισσότερες περνούν τη μέση γραμμή

και καταλήγουν και αυτές σε κινητικά κύτταρα των πρόσθιων κεράτων του αντίθετου πλαγίου.

Τα κινητικά κύτταρα των πρόσθιων κεράτων, όπου καταλήγουν οι πυραμιδικές ίνες, αποτελούν τα κυτταρικά σώματα των περιφερικών κινητικών νευρώνων (α-κινητικοί νευρώνες) για τη νεύρωση των γραμμωτών μυών. Εκτός από τους α-κινητικούς νευρώνες, οι πυραμιδικές ίνες επηρεάζουν και τους γ-κινητικούς νευρώνες των πρόσθιων κεράτων, τόσο με συνάψεις στον νωτιαίο μυελό, όσο και έμμεσα με συνάψεις που σχηματίζουν με τη δικτυονωτιαία οδό στο εγκεφαλικό στέλεχος. Για τους γ-νευρώνες θα γίνει λόγος αργότερα.

Ο ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο φυσιολογικός ρόλος του πυραμιδικού συστήματος αφορά στην επιτέλεση των εκούσιων κινήσεων. Μια κίνηση αρχίζει, αφού έχει προηγουμένως σχηματισθεί η ιδέα της σε συνειρμικές περιοχές του βρεγματικού φλοιού (βλ. Κεφ. 10, για τον μηχανισμό ευπραξίας). Από εκεί ανάλογες νευρικές ώσεις ενεργοποιούν κύτταρα του προκινητικού και, στη συνέχεια, του κινητικού (πυραμιδικού) φλοιού, από όπου φυγόκεντρες ώσεις με την πυραμιδική οδό φθάνουν και ενεργοποιούν κύτταρα των πρόσθιων κεράτων (α-κύτταρα). Από το σημείο αυτό οι κινητικές ώσεις μεταφέρονται με τα περιφερικά νεύρα στους γραμμωτούς μυς. Πρέπει να τονίσουμε ότι ο πυραμιδικός φλοιός είναι ιδιαίτερα υπεύθυνος για την επιτέλεση των λεπτών εκούσιων κινήσεων και εκείνων για την επιτέλεση των οποίων χρειάζεται επιδεξιότητα. Η ιδιαιτερότητα αυτή δικαιολογεί και τη μεγάλη έκταση που καταλαμβάνει η περιοχή του χεριού στον κινητικό φλοιό. Εξίσου μεγάλη είναι και η περιοχή της κεφαλής, εφόσον και εδώ αντιπροσωπεύονται μυϊκοί σχηματισμοί για την επιτέλεση λεπτών εκούσιων κινήσεων που αφορούν σε μάτια, χείλη, γλώσσα και γενικά στους μυς του φωνητικού μηχανισμού και της κατάποσης.

Πειραματικά δεδομένα με ερεθισμό του κινητικού φλοιού δείχνουν ότι από την περιοχή αυτή ξεκινούν νευρικές ώσεις για οργανωμένες κινήσεις και όχι για συσπάσεις μεμονωμένων μυών ή απλώς για ομάδες μυών. Η οργάνωση αυτή, που για τον προγραμματισμό της ενεργούν προκινητικές περιοχές (βλ. Κεφ. 10, περί ευπραξίας), αφορά πολλούς μυς που δουλεύουν σε συνεργασία μεταξύ τους για την επιτέλεση μιας ορισμένης κίνησης. Άλλοι από αυτούς ενεργούν ως αγωνιστές, άλλοι ως υποστηρικτές της κίνησης σε πιο κεντρικά τμήματα, άλλοι ως συναγωνιστές για τη βελτίωση της δράσης των αγωνιστών

και, τέλος, άλλοι ως ανταγωνιστές, δρώντας με χαλάρωση, καθώς οι αγωνιστές βρίσκονται σε σύσπαση. Για τη διεκπεραίωση μιας τέτοιας οργανωμένης κίνησης ιδιαίτερη σημασία έχουν οι πολυάριθμοι διάμεσοι νευρώνες του νωτιαίου μυελού, που συνάπτονται με πολλούς από τους κατερχόμενους πυραμιδικούς νευράξονες και διοχετεύουν ταυτόχρονα τις νευρικές ώσεις σε πολλά κινητικά κύτταρα των πρόσθιων κεράτων. Μεγάλη σημασία έχουν επίσης, όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια, διάφοροι ρυθμιστικοί μηχανισμοί της εκούσιας κίνησης που βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία με αισθητικούς υποδοχείς (εν τω βάθει μυϊκοί και περιαρθρικοί υποδοχείς, απτικοί υποδοχείς, λαβύρινθοι και μάτια).

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ (Ή ΚΑΤΩΤΕΡΟΥ) ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η φυσική συνέχεια του κεντρικού κινητικού νευρώνα, που αντιπροσωπεύεται από το πυραμιδικό σύστημα, είναι ο περιφερικός κινητικός νευρώνας. Αποτελείται από τους α-κινητικούς νευρώνες με κυτταρικά σώματα στα πρόσθια κέρατα του νωτιαίου μυελού (και σε αντίστοιχους νευρώνες με κυτταρικά σώματα στους κινητικούς πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους), που φέρνουν σε επικοινωνία το κεντρικό νευρικό σύστημα με τους μυς. Για την επικοινωνία αυτή τα κυτταρικά σώματα του περιφερικού κινητικού νευρώνα δέχονται, όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια, εκτός από τις επιδράσεις του πυραμιδικού και επιδράσεις του εξωπυραμιδικού συστήματος, της παρεγκεφαλίδας και του νωτιαίου ρυθμιστικού μηχανισμού. Μ' αυτόν τον τρόπο οι α-κινητικοί νευρώνες αποτελούν τον κοινό τελικό σταθμό για την επιτέλεση των κινήσεων και τη διατήρηση του τόνου και της τροφικότητας των μυών.

Στα πρόσθια κέρατα υπάρχει για κάθε μυ αντιπροσωπευτική ομάδα α-κινητικών κυττάρων που αποτελεί τον "μυϊκό πυρήνα" του μυός αυτού (Εικ. 2.6). Οι νευράξονες από κύτταρα γειτονικών τέτοιων πυρήνων σχηματίζουν τις πρόσθιες (κινητικές) ρίζες. Στο σύνολο υπάρχουν 30 ζεύγη ριζών που διαχωρίζουν τον νωτιαίο μυελό σε 30 μυελοτόμια (8 αυχενικά, 12 θωρακικά, 5 οσφυϊκά και 5 ιερά). Συχνά ο μυϊκός πυρήνας που αντιστοιχεί σε έναν μυ επεκτείνεται σε ένα ή περισσότερα γειτονικά μυελοτόμια. Έτσι ένας μυς μπορεί να δέχεται νεύρωση από περισσότερα από ένα μυελοτόμια και από περισσότερες από μία ρίζες (αφού κάθε μυελοτόμιο αντιστοιχεί σε μία ρίζα). Μετά την έξοδο της από τον νωτιαίο μυελό

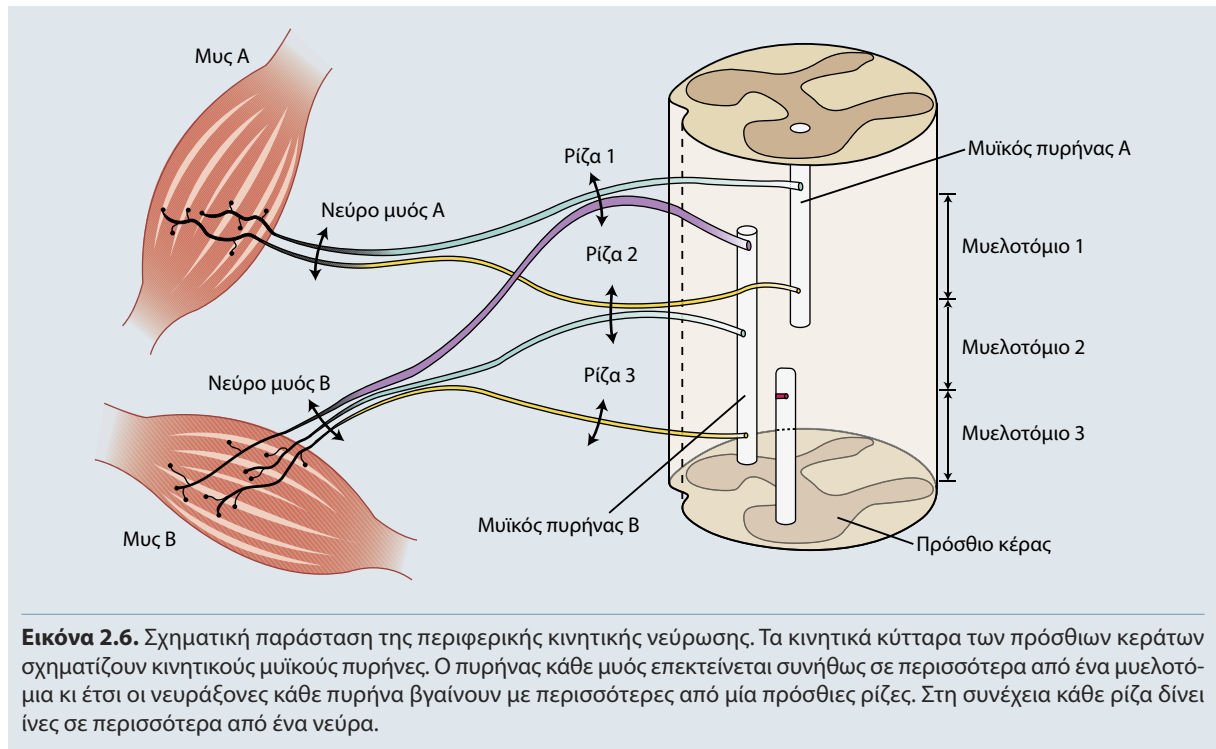
Πίνακας 2.1. Αντιστοιχία της ριζιτικής και νευριτικής νευρώσεως των μυών				
Μύες	Ριζιτική νευρώση*	Περιφερικό νεύρο (ή νεύρα)	Κίνηση	
ΑΥΧΕΝΑΣ Ίδιοι εκτεινόντες Ίδιοι καμπήρες Στερονοκλειδομαστοειδής Τραπεζοειδής Διάφραγμα	A ₁ -A ₈ A ₁ -A ₈ A ₁ -A ₂ -A ₃ A ₂ -A ₃ -A ₄ A ₃ -A ₄ -A ₅	Οπίσθιοι κλάδοι νωπιαίων νευρών Κλάδοι αυχενικού πλέγματος Παραπλ. και κλάδοι αυχεν. πλέγμ. Παραπλ. και κλάδοι αυχεν. πλέγμ. Φρενικό	Έκταση αυχένα Κάμψη αυχένα Κάμψη αυχένα, στροφή αυχένα Έκταση και πλάγια κάμψη αυχένα, ανύψωση ώμου και άνω άκρων Αναπνευστικές κινήσεις	
ΩΜΙΚΗ ΖΩΝΗ Ανεκλήρας της ωμοπλάτης Ρομβοειδής Δελτοειδής Υπακάνθιος Υπερακάνθιος Μειζων στρογγύλος Υποπλάτιος Πρόσθιος οδοντωτός Μειζων θωρακικός Πλατύς ραχιαίος	A ₃ -A ₄ -A ₅ A ₄ -A ₅ A ₅ -A ₆ A ₅ -A ₆ A ₅ -A ₆ A ₅ -A ₆ -A ₇ A ₅ -A ₆ -A ₇ A ₅ -A ₇ A ₅ -A ₈ -Θ ₁ A ₆ -A ₇ -A ₈	Ραχιαίο ωμοπλάτης και κλάδοι αυχεν. πλέγμ. Ραχιαίο ωμοπλάτης Μασχαλιαίο Υπερπλάτιο Υπερπλάτιο Υποπλάτιο Υποπλάτιο Μακρό θωρακικό Πρόσθια θωρακικά (έξω και έσω) Θωρακοραχιαίο	Ανύψωση ώμων Προσαγωγή ωμοπλάτης Απαγωγή άνω άκρου οριζόντια Έξω στροφή ώμου Έναρξη απαγωγής άνω άκρου Έσω στροφή άνω άκρου στον ώμο Έσω στροφή ώμου Προσπέλαση ωμοπλάτης Προσαγωγή άνω άκρου Προσαγωγή άνω άκρου	
ΑΝΩ ΑΚΡΟ Δικέφαλος βραχιόνιος Πρόσθιος βραχιόνιος Βραχιονοκερκιδικός Υπτιαστής Κερκιδικός εκτεινών τον καρπό (μακρός - βραχύς) Τρικέφαλος Ωλένιος εκτεινών τον καρπό Μακρός απαγωγός αντίχειρα Μακρός εκτεινών τον αντίχειρα Βραχύς εκτεινών τον αντίχειρα Ίδιος εκτεινών τον δείκτη Κοινός εκτεινών δακτύλου Ίδιος εκτεινών τον μικρό δάκτυλο Στρογγύλος πρηνιστής Τετραγώνος πρηνιστής Κερκιδικός καμπήρας καρπού Μακρός καμπήρας αντίχειρα	A ₅ -A ₆ A ₅ -A ₆ A ₅ -A ₆ A ₅ -A ₆ -A ₇ A ₆ -A ₇ A ₆ -A ₇ -A ₈ A ₆ -A ₇ -A ₈ A ₇ -A ₈ A ₇ -A ₈ A ₇ -A ₈ A ₇ -A ₈ A ₆ -A ₇ -A ₈ A ₆ -A ₇ -A ₈ A ₆ -A ₇ A ₇ -A ₈ -Θ ₁ A ₆ -A ₇ -A ₈ A ₇ -A ₈ -Θ ₁	Μυοδερματικό Μυοδερματικό Κερκιδικό Κερκιδικό Κερκιδικό Κερκιδικό Κερκιδικό Κερκιδικό Κερκιδικό Κερκιδικό Μέσο Μέσο Μέσο Μέσο	Κάμψη αντιβραχίου σε υπτιασμό Κάμψη αντιβραχίου σε υπτιασμό Κάμψη αντιβραχίου σε πρηνισμό Υπτιασμός αντιβραχίου Έκταση καρπού (κερκιδική) Έκταση αντιβραχίου Έκταση καρπού (ωλένια) Απαγωγή αντίχειρα οριζόντια Έκταση αντίχειρα (τελική φάλαγγα) Έκταση αντίχειρα (πρώτη φάλαγγα) Έκταση δείκτη Έκταση δακτύλων (πρώτη φάλαγγα) Έκταση μικρού δακτύλου (πρώτη φάλαγγα) Πρηνισμός αντιβραχίου Πρηνισμός αντιβραχίου Κάμψη καρπού Κάμψη αντίχειρα (τελική φάλαγγα)	

Πίνακας 2.1 . συνέχεια

Μύες	Ριζική νεύρωση*	Περιφερικό νεύρο (ή νεύρα)	Κίνηση
Αντιβηκτικός του αντίχειρα Βραχύς απαγωγός του αντίχειρα Επιπολής καμπητήρας δακτύλων Εν τω βάθει καμπητήρας δακτύλων	A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁ A ₇ -A ₈ -Θ ₁ A ₇ -A ₈ -Θ ₁	Μέσο Μέσο Μέσο Μέσο (2ο, 3ο δάκτυλο) Ωλένιο (4ο, 5ο δάκτυλο)	Αντίθεση αντίχειρα Απαγωγή αντίχειρα (κάθετη) Κάμψη μέσης φάλαγγας Κάμψη τελικής φάλαγγας
Ωλένιος καμπητήρας καρπού Βραχύς καμπητήρας μικρού δακτύλου Αντιβηκτικός μικρού δακτύλου Απαγωγός μικρού δακτύλου Προσαγωγός αντίχειρα Μεσόσταιο	A ₇ -A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁	Ωλένιο Ωλένιο Ωλένιο Ωλένιο Ωλένιο Ωλένιο	Κάμψη καρπού Κάμψη μικρού δακτύλου (πρώτη φάλαγγα) Αντίθεση μικρού δακτύλου Απαγωγή μικρού δακτύλου Προσαγωγή αντίχειρα οριζόντια Έκταση μέσης, τελικής και κάμψη πρώτης φάλαγγας, προσαγωγή δακτύλων, απαγωγή δακτύλων Κάμψη αντίχειρα (πρώτης φάλαγγας) Έκταση τελικής, κάμψη πρώτης φάλαγγας
Βραχύς καμπητήρας αντίχειρα Ελμινθοειδείς	A ₇ -A ₈ -Θ ₁ A ₈ -Θ ₁	Μέσο και Ωλένιο Μέσο και Ωλένιο	
ΚΟΡΜΟΣ			
Ραχιαίοι εκτεινόντες (ιερονωτιαίοι) Μεσοπλευρία Κοιλιακοί	Θ ₁ -O ₅ Θ ₁ -Θ ₁₂ Θ ₅ -Θ ₁₂ -O ₁	Οπίσθιο κλάδοι νωτιαίων νεύρων Μεσοπλευρία νεύρα Μεσοπλευρία νεύρα	Έκταση κορμού Αναπνευστικές κινήσεις Κάμψη κορμού
ΚΑΤΩ ΑΚΡΟ			
Λαγονοψίτης Τετρακέφαλος Μακρός προσαγωγός Βραχύς προσαγωγός Μέγας προσαγωγός Μικρός γλουτιαίος Μέσος γλουτιαίος Μείζων γλουτιαίος Δικέφαλος μηριαίος Ημιμεμβρανώδης Ημιτενοντώδης Πρόσθιος κνημιαίος Μακρός εκτεινών δακτύλου Μακρός εκτεινών μεγάλο δάκτυλο Βραχύς εκτεινών δακτύλου	O ₁ -O ₂ -O ₃ O ₂ -O ₃ -O ₄ O ₂ -O ₃ -O ₄ O ₂ -O ₃ -O ₄ O ₂ -O ₃ -O ₄ O ₂ -O ₃ -O ₄ -O ₅ O ₄ -O ₅ -I ₁ O ₄ -O ₅ -I ₁ O ₅ -I ₁ -I ₂ O ₅ -I ₁ -I ₂ O ₅ -I ₁ -I ₂ O ₅ -I ₁ -I ₂ O ₄ -O ₅ O ₅ -I ₁ O ₅ -I ₁ O ₅ -I ₁	Μηριαίο (και κλάδοι οσφυϊκού πλέγματος) Μηριαίο Θυροειδείς Θυροειδείς Θυροειδείς και κλάδος ισχιακού Άνω γλουτιαίο Άνω γλουτιαίο Κάτω γλουτιαίο Ισχιακό Ισχιακό Ισχιακό Περωνιαίο (εν τω βάθει) Περωνιαίο (εν τω βάθει) Περωνιαίο (εν τω βάθει) Περωνιαίο (εν τω βάθει)	Κάμψη μηρού Έκταση κνήμης Προσαγωγή μηρού Προσαγωγή μηρού Προσαγωγή μηρού Έσω στροφή και απαγωγή μηρού Απαγωγή και έσω στροφή μηρού Έξω στροφή και έκταση μηρού Κάμψη κνήμης Κάμψη κνήμης Κάμψη κνήμης Ραχιαία κάμψη ποδιού Ραχιαία κάμψη δακτύλων Έκταση μεγάλων δακτύλων Έκταση μεγάλου δακτύλου

Πίνακας 2.1. συνέχεια			
Μύες	Ριζιτική νεύρωση*	Περιφερικό νεύρο (ή νεύρα)	Κίνηση
Βραχύς εκτείνων το μεγάλο δάκτυλο Μακρός περονιαίος Βραχύς περονιαίος Γαστροκνήμιος Πελματικός Υποκνημίδιος Οπίσθιος κνημιαίος Μακρός καμπτήρας δακτύλων Βραχύς καμπτήρας δακτύλων Μακρός καμπτήρας μεγάλου δακτύλου Βραχύς καμπτήρας μεγάλου δακτύλου Απαγωγός μεγάλου δακτύλου	O ₅ -I ₁ O ₅ -I ₁ O ₅ -I ₁ I ₁ -I ₂ I ₁ -I ₂ I ₁ -I ₂ I ₁ -I ₂ O ₄ -O ₅ O ₅ -I ₁ -I ₂ I ₁ -I ₂ O ₅ -I ₁ -I ₂ I ₁ -I ₂ I ₁ -I ₂	Περονιαίο (εν τω βάθει) Περονιαίο (επιπολής) Περονιαίο (επιπολής) Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο Κνημιαίο	Έκταση μεγάλου δακτύλου Ανάσπαση έξω χείλους ποδιού Ανάσπαση έξω χείλους ποδιού Πελματιαία κάμψη ποδιού Πελματιαία κάμψη ποδιού Πελματιαία κάμψη ποδιού Ανάσπαση έσω χείλους ποδιού Κάμψη δακτύλων Κάμψη δακτύλων Κάμψη μεγάλου δακτύλου Κάμψη μεγάλου δακτύλου Απαγωγή μεγάλου δακτύλου
ΣΦΙΓΚΤΗΡΕΣ, ΠΕΡΙΝΕΟ			
Σφιγκτήρας κύστης (έξω) Σφιγκτήρας πρωκτού (έξω) Μύες περινέου	I ₂ -I ₄ I ₃ -I ₅ I ₂ -I ₄	Έσω αιδοϊκό Έσω αιδοϊκό Έσω αιδοϊκό	Σύσπαση έξω σφιγκτήρα κύστης Σύσπαση έξω σφιγκτήρα κύστης Σύσπαση μυών περινέου

* Τα έντονα στοιχεία αντιστοιχούν στην κύρια ριζική νεύρωση. Το ίδιο σύστημα ισχύει σ' όλο το σύγγραμμα.



κάθε πρόσθια (κινητική) ρίζα συγκλίνει προς τη σύστοιχη οπίσθια (αισθητική) ρίζα και σχηματίζει ένα μικτό νωτιαίο νεύρο. Το νεύρο αυτό, αφού βγει από το αντίστοιχο μεσοσπονδύλιο τμήμα, χωρίζεται σε πρόσθιο και οπίσθιο κλάδο. Οι οπίσθιοι κλάδοι προορίζονται για τους μύς και το δέρμα της ραχιαίας επιφάνειας του σώματος, ενώ οι πρόσθιοι κλάδοι για τους μύς και το δέρμα της πρόσθιας επιφάνειας του σώματος και των άκρων. Ειδικότερα, οι πρόσθιοι κλάδοι των νωτιαίων νευρών της θωρακικής μοίρας συνεχίζουν ως μεσοπλευρία νεύρα, ενώ οι πρόσθιοι κλάδοι των αυχενικών και οσφυοϊερών νευρών, με αναστομώσεις μεταξύ τους, σχηματίζουν αντίστοιχα πλέγματα, από τα οποία σχηματίζονται τα περιφερικά νεύρα.

Με την παραπάνω διάταξη κάθε κινητική ρίζα (και κάθε μυελοτόμιο) δίνει ίνες σε περισσότερα από ένα νεύρα, που με τη σειρά τους καταλήγουν σε ορισμένη ομάδα μυών. Επίσης, είναι φανερό ότι κάθε νεύρο μπορεί να παίρνει ίνες από περισσότερες από μία ρίζες. Έτσι κάθε μύς, παρόλο που παίρνει νευρώση από ένα ορισμένο νεύρο, μπορεί να δέχεται ίνες που αντιστοιχούν σε περισσότερες από μία ρίζες. Γι' αυτό στην ερμηνεία των ευρημάτων της εξέτασης των μυών πρέπει ο εξεταστής να έχει κατά νου την τοπογραφική κατανομή των μυών σε σχέση με τις ρίζες (και κατ' ακολουθία με τα μυελοτόμια), δηλαδή τη ριζιτική-

μυελοτομική αντιπροσώπευσή τους, καθώς και την τοπογραφική κατανομή σε σχέση με τα νεύρα. Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται η ριζιτική-μυελοτομική και η νευριτική κατανομή των μυών.

Κάθε νευρική ίνα που περιέχεται σε ένα νεύρο και αντιστοιχεί σε έναν νευράξονα ενός α-κινητικού κυττάρου, μετά την άφιξή της σ' έναν μυ, διακλαδίζεται σε κλωνία που νευρώνουν μια ομάδα μυϊκών ινών (συνήθως 50-200). Κάθε κινητικός νευρώνας (κύτταρο και νευράξονας) και οι μυϊκές ίνες που νευρώνονται από τα τελικά του κλωνία αποτελούν μια *κινητική μονάδα*, που είναι ουσιαστικά η βασική λειτουργική μονάδα της μυϊκής δραστηριότητας. Τα σημεία επαφής των τελικών κλωνίων ενός νευράξονα στις μυϊκές ίνες αποτελούν τις *τελικές κινητικές πλάκες*, μέσω των οποίων με μεσολάβηση χημικού διαβιβαστή, της ακετυλοχολίνης, μεταβιβάζεται η κινητική ώση. Ως αποτέλεσμα ακολουθεί η συστολή της μυϊκής ίνας από τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλείται στη μυϊκή μεμβράνη. Η ακετυλοχολίνη που απελευθερώνεται στη νευρομυϊκή σύναψη γρήγορα υδρολύεται με το ένζυμο χολινεστεράση. Έτσι, η μυϊκή μεμβράνη στην τελική πλάκα γρήγορα επανέρχεται στην αρχική κατάσταση πόλωσης, μέχρι να έρθει καινούρια νευρική ώση. Σε μια αυξανόμενη εκούσια σύσπαση ενός μύος στην αρχή εκφορτίζουν μυϊκές ίνες που ανήκουν σε μια κινητική μονάδα με συχνό-

τητα που συνεχώς αυξάνει, και στη συνέχεια επιστρατεύονται όλο και περισσότερες μονάδες, καθώς η μυϊκή σύσπαση γίνεται πιο έντονη. Η αλληλουχία αυτή μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί στη διάρκεια της ηλεκτρομυογραφικής εξέτασης.

Ο ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΩΝΑ

Οι α-κινητικοί νευρώνες των πρόσθιων κεράτων του νωτιαίου μυελού, που διοχετεύουν ώσεις στους γραμμωτούς μυς για την επιτέλεση των κινήσεων, αποτελούν την τελική κοινή οδό για την κινητική δραστηριότητα. Τους νευρώνες αυτούς επηρεάζουν όχι μόνο επιδράσεις του κινητικού φλοιού, μέσω του πυραμιδικού δεματίου, αλλά και επιδράσεις του εξωπυραμιδικού φλοιού (βλ. πιο κάτω), καθώς και επιδράσεις άλλων νευρικών μηχανισμών που επηρεάζουν τη μυϊκή δραστηριότητα. Οι τελευταίοι μηχανισμοί, όπως θα αναφερθεί αργότερα (κατεξοχήν ρυθμιστικοί), επηρεάζουν τους α-κινητικούς νευρώνες, κυρίως έμμεσα, μέσω των γ-κινητικών νευρώνων των πρόσθιων κεράτων, που σχετίζονται με τον έλεγχο και τη διατήρηση του μυϊκού τόνου.

ΤΟ ΕΞΩΠΥΡΑΜΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το εξωπυραμιδικό σύστημα είναι ένα σύνθετο ανατομικό και λειτουργικό κινητικό σύστημα που βρίσκει εκδήλωση όχι μόνο σε πρόκληση, αλλά και σε ρύθμιση των κινήσεων και του μυϊκού τόνου. Οι ρυθμιστικές λειτουργίες γίνονται κύρια μέσω παλίνδρομων (feedback) κυκλωμάτων με ανασταλτική και ευοδωτική δράση σε διάφορα επίπεδα του κεντρικού νευρικού συστήματος.

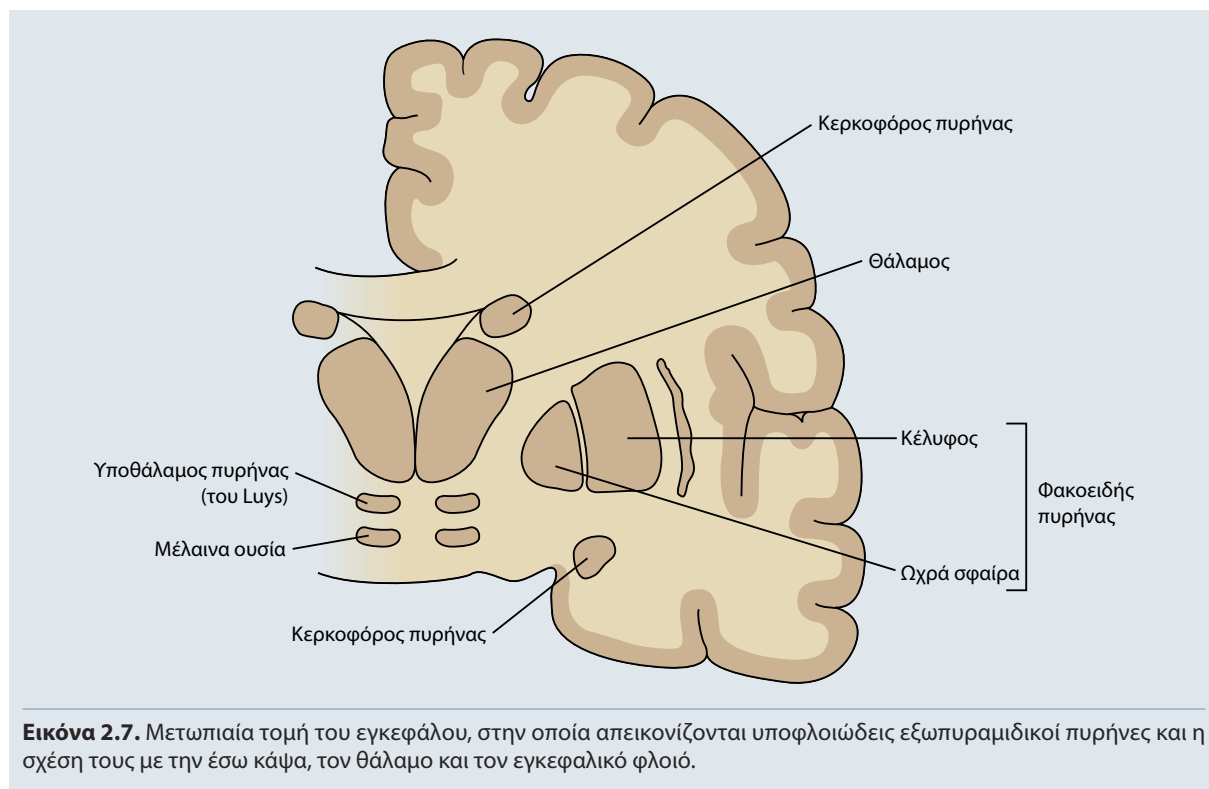
ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το εξωπυραμιδικό σύστημα επεκτείνεται από τον εγκεφαλικό φλοιό μέχρι τον νωτιαίο μυελό με ενδιαμέσους σχηματισμούς πυρήνων σε αλληλοεπικοινωνία και αλληλοεξάρτηση μεταξύ τους.

Υποφλοιώδεις εξωπυραμιδικοί πυρήνες

Οι κυριότεροι εξωπυραμιδικοί πυρήνες είναι τα βασικά γάγγλια (στα οποία με την ευρύτερη έννοια υπάγονται όλοι οι υποφλοιώδεις εξωπυραμιδικοί πυρήνες), οι πυρήνες της υποθαλάμιας περιοχής, ο ερυθρός πυρήνας, η μέλαινα ουσία, μέρος του θαλάμου, ο δικτυωτός σχηματισμός και η προμηκική ελαία.

Τα βασικά γάγγλια βρίσκονται στο βάθος του ημισφαιρίου μεταξύ της πλάγιας κοιλίας και της νήσου



Εικόνα 2.7. Μετωπιαία τομή του εγκεφάλου, στην οποία απεικονίζονται υποφλοιώδεις εξωπυραμιδικοί πυρήνες και η σχέση τους με την έσω κάψα, τον θάλαμο και τον εγκεφαλικό φλοιό.

του Reil (Εικ. 2.7). Σ' αυτά υπάγεται ο κερκοφόρος πυρήνας και ο φακοειδής πυρήνας. Ο τελευταίος έχει δύο τμήματα, το κέλυφος και την ωχρά σφαίρα. Ο κερκοφόρος πυρήνας και το κέλυφος του φακοειδούς πυρήνα αποτελούν το *νεοραβδωτό σώμα* και η ωχρά σφαίρα το *παλαιοραβδωτό σώμα*. Μαζί και τα δύο (το νέο- και παλαιοραβδωτό) αναφέρονται ως *ραβδωτό σώμα*. Από τους πυρήνες που βρίσκονται στην υποθαλάμια περιοχή σπουδαιότερος είναι το σώμα του Luys. Κοντά σ' αυτό, στην καλύπτρα του μεσεγκεφάλου, βρίσκεται ο *ερυθρός πυρήνας*. Στους *θαλαμικούς πυρήνες*, που σχετίζονται με το εξω-πυραμιδικό, υπάγονται κύρια ο πλάγιος κοιλιακός και οι θαλαμικοί πυρήνες της μέσης γραμμής. Η *μέλαινα ουσία* βρίσκεται μεταξύ καλύπτρας του μεσεγκεφάλου και εγκεφαλικού σκέλους, στο ύψος των πρόσθιων διδυμίων. Η *προμηκική ελαία* βρίσκεται στην κοιλιακή μοίρα του προμήκου. Ο *δικτυωτός σχηματισμός* του στελέχους αποτελεί σχηματισμό σ' όλο το μήκος της καλύπτρας του στελέχους με δύο ιδιαίτερους πυρηνικούς σχηματισμούς, τον ανασταλτικό δικτυωτό πυρήνα στον προμήκη και τον ευοδωτικό πυρήνα, που επεκτείνεται σε μεγάλη έκταση του στελέχους.

Ο εξωπυραμιδικός φλοιός

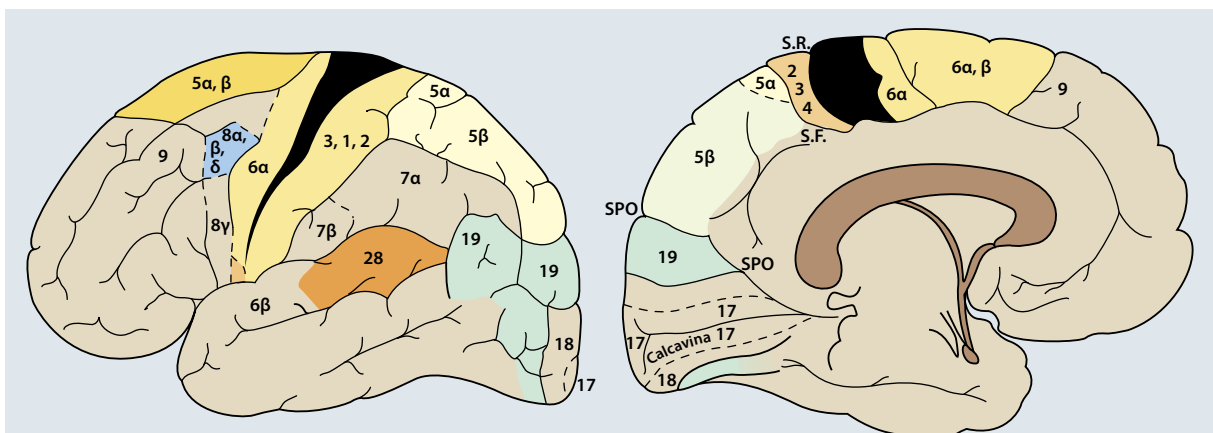
Η προκίνητική περιοχή 6 με τις επιμέρους περιοχές 6α και 6β, μπροστά από τον κινητικό ή πυραμιδικό φλοιό (περιοχή 4), αποτελεί τον κύριο κινητικό εξωπυραμιδικό φλοιό (Εικ. 2.8). Από την περιοχή 6α οι νευρικές ώσεις διοχετεύονται μέσω του πυραμιδικού φλοιού και, στη συνέχεια, μέσω της πυραμιδικής ο-

δού στον νωτιαίο μυελό. Οι ώσεις από την περιοχή 6β διοχετεύονται με την πολυσυναπτική εξωπυραμιδική οδό, με ενδιάμεσους σταθμούς, στους διάφορους εξωπυραμιδικούς πυρήνες. Άλλες φλοιώδεις εξωπυραμιδικές περιοχές απεικονίζονται στην εικόνα 2.8. Εκτός από τις παραπάνω περιοχές που είναι ευοδωτικές σε λειτουργία, υπάρχουν και φλοιώδεις εξωπυραμιδικές περιοχές με ανασταλτικές επιδράσεις στις κινήσεις. Η κυριότερη από αυτές είναι η περιοχή 4s στο πρόσθιο χείλος της πρόσθιας κεντρικής έλικος.

Η φυγόκεντρη πολυσυναπτική εξωπυραμιδική οδός και οι συνδέσεις της

Οι υποφλοιώδεις εξωπυραμιδικοί πυρήνες αποτελούν λειτουργικό σύστημα με μια μακριά πολυσυναπτική οδό που αρχίζει από τον φλοιό και φθάνει μέχρι τα πρόσθια κέρατα του νωτιαίου μυελού (Εικ. 2.8). Οι κυριότερες επιμέρους οδοί, που αποτελούν το σύστημα αυτό, είναι:

α) Η **φλοιοραβδωτή οδός**: προς το νεοραβδωτό σώμα φέρονται ίνες από τις κινητικές περιοχές 4, 4s, 6, 8, αλλά και από άλλες περιοχές μέσω της υπομεσολόβιας δεσμίδας και της έσω κάψας. Προς το παλαιοραβδωτό σώμα φέρονται ίνες κυρίως από το νεοραβδωτό σώμα, αλλά και από τις περιοχές 6 και 4 του φλοιού μέσω της έσω κάψας. Αντίστοιχες ραβδωτοφλοιώδεις συνδέσεις είναι: από το νεοραβδωτό σώμα προς το παλαιοραβδωτό σώμα και στη συνέχεια, μέσω του θαλάμου, πίσω προς τον κινητικό φλοιό και από το παλαιοραβδωτό σώμα, πάλι μέσω του θαλάμου, προς τον κινητικό φλοιό. Οι ίνες που συνδέουν



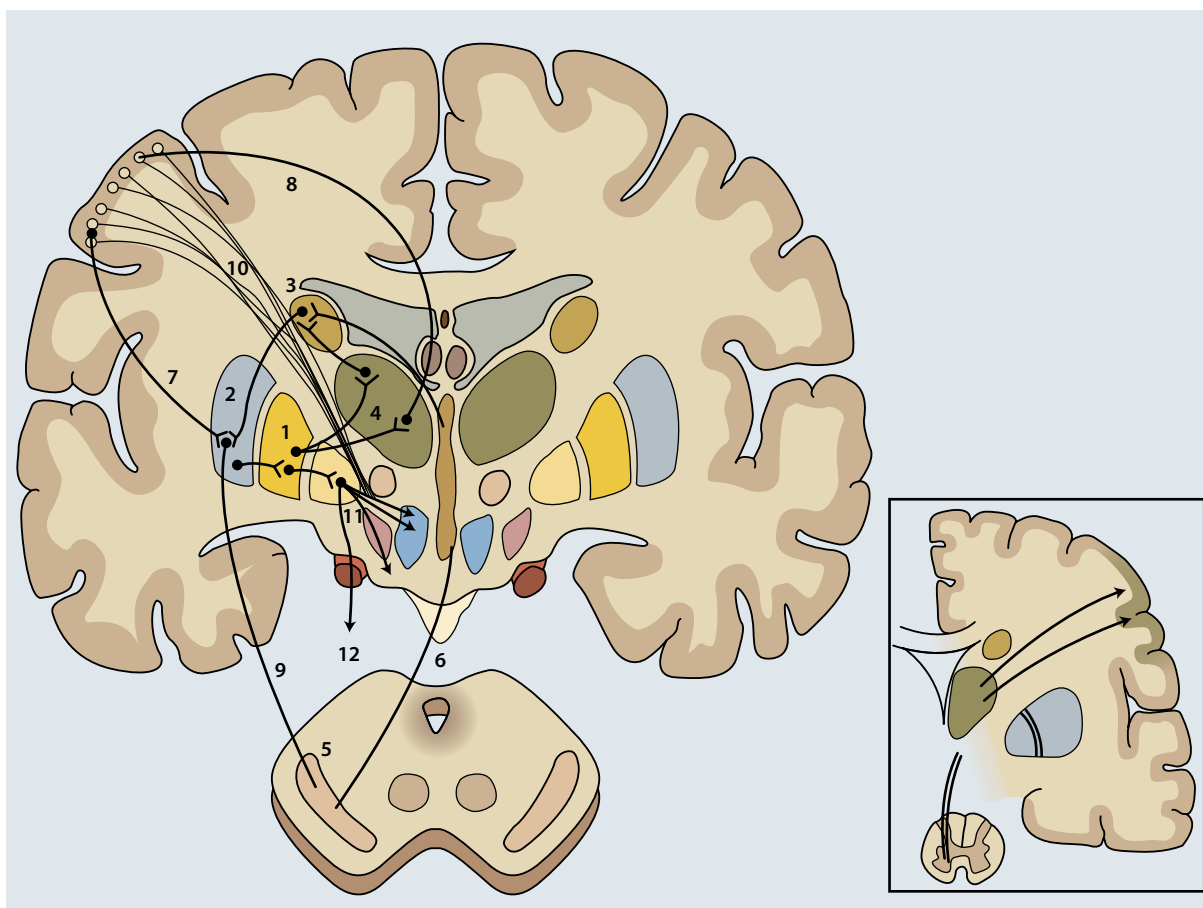
Εικόνα 2.8. Οι κινητικές πυραμιδικές και εξωπυραμιδικές φλοιικές περιοχές κατά Foerster. **Αριστερά:** η πλάγια επιφάνεια των ημισφαιρίων. **Δεξιά:** η μέσα επιφάνεια των ημισφαιρίων. Με μαύρο σημειώνεται ο πυραμιδικός φλοιός. Οι εξωπυραμιδικές περιοχές είναι γραμμωτές και στικτές (Bumke και Foerster, 1936).

τελικά το νεο- και παλαιοραβδωτό σώμα με τον κινητικό φλοιό αποτελούν τη θαλαμοφλοιώδη οδό, η οποία περιέχει και ίνες που προέρχονται από την παρεγκεφαλίδα καθ' οδόν προς τον κινητικό φλοιό μέσω του θαλάμου (βλ. πιο κάτω).

β) Οι **εξωπυραμιδικές συνδέσεις προς τον νωτιαίο μυελό**: ίνες από το νεοραβδωτό σώμα μέσω της ωχράς σφαίρας (η οποία αποτελεί και τον τελικό σταθμό των απαγωγών ώσεων του ραβδωτού σώματος) φέρονται προς την περιφέρεια μέσω της φακοειδούς αγκύλης και της φακοειδούς δεσμίδας. Οι φυγόκεντροι αυτοί σχηματισμοί (που περιέχουν και ίνες κατευθείαν από τον φλοιό) αποτελούν δρόμους με τους οποίους εξυπηρετείται η φυγόκεντρη επικοινωνία του νεοραβδωτού και παλαιοραβδωτού σώμα-

τος (μέσω αυτών και του εξωπυραμιδικού φλοιού) με τους άλλους υποφλοιώδεις εξωπυραμιδικούς πυρήνες, από τους οποίους διανοίγονται δρόμοι για τους κινητικούς νευρώνες των πρόσθιων κεράτων του νωτιαίου μυελού. Κύρια αντιπροσώπευση των τελευταίων είναι το δικτυονωτιαίο, το ερυθρονωτιαίο και το ελαιονωτιαίο δεμάτιο.

γ) **Άλλες φλοιοπυρηνικές και φλοιονωτιαίες συνδέσεις**: σ' αυτές ανήκουν η φλοιοερυθρά, η φλοιομέλαινα, η φλοιοθαλαμική και η φλοιοδικτυωτή οδός. Η τελευταία, ειδικά, κατευθύνεται από την περιοχή 4s και από άλλες ανασταλτικές φλοιώδεις περιοχές προς τον ανασταλτικό δικτυωτό πυρήνα του προμήκου. Η τελική συνέχεια των οδών αυτών προς τον νωτιαίο μυελό ακολουθεί τα ίδια δεμάτια που αναφέρθηκαν



Εικόνα 2.9. Το σύστημα της εξωπυραμιδικής οδού. Η φλοιοραβδωτή οδός (7) συνδέει τον κινητικό φλοιό με το ραβδωτό σώμα (1, 2, 3). Από εκεί ίνες φέρονται προς τον θάλαμο για παλίνδρομη σύνδεση με τον κινητικό φλοιό και με άλλους εξωπυραμιδικούς πυρήνες. Η παλίνδρομη σύνδεση μέσω του θαλάμου και η τελική κατάληξη απεικονίζονται σχηματικά στο ένθετο σχήμα. Τελικά, ίνες κατευθύνονται στον νωτιαίο μυελό με το ερυθρονωτιαίο, το καλυπτρονωτιαίο, το αιθουσονωτιαίο, το δικτυονωτιαίο και το ελαιονωτιαίο δεμάτιο. 1. Ωχρά σφαίρα. 2. Κέλυφος του φακοειδούς πυρήνα. 3. Κερκοφόρος πυρήνας. 4. Θαλαμική δεσμίδα και θάλαμος. 5. Μέλαινα ουσία. 6. Μελαινοραβδωτή οδός. 7. Φλοιοραβδωτή οδός. 8. Θαλαμοφλοιική οδός. 9. Μελαινοραβδωτή οδός. 10. Πυραμιδική οδός. 11. Ίνες φακοειδούς αγκύλης και δεσμίδας. 12. Τελική κατεύθυνση των δεματίων προς τον νωτιαίο μυελό (βλ. και στο ένθετο σχήμα της εικόνας).