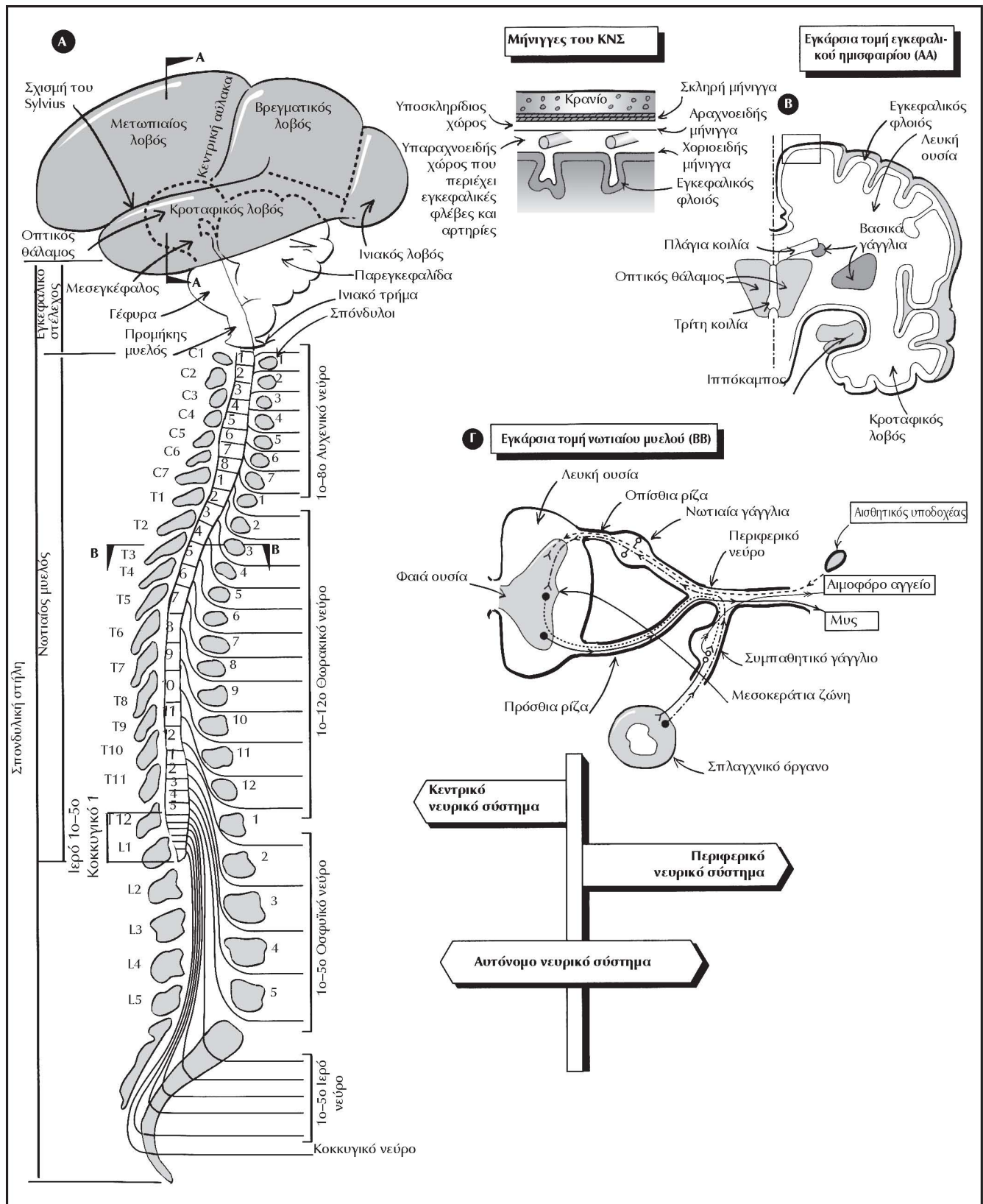


1 Η οργάνωση του νευρικού συστήματος



10 Η ανατομική και λειτουργική οργάνωση του νευρικού συστήματος

Σύντομη επισκόπηση

Το νευρικό σύστημα μπορεί να διαιρεθεί σε τρία κύρια μέρη: το **αυτόνομο (ΑΝΣ)**, το **περιφερικό (ΠΝΣ)** και το **κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ)**. Το ΠΝΣ αποτελείται από τα νεύρα που εκτείνονται έξω από τον εγκέφαλο, το εγκεφαλικό στέλεχος ή τον νωπιαίο μυελό, ενώ το ΚΝΣ περιλαμβάνει τα κύτταρα τα οποία βρίσκονται μέσα στους σχηματισμούς αυτούς.

Περιφερικό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ)

Το ΠΝΣ αποτελείται από νευρικές δέσμες που συγκροτούνται τόσο από κεντρομόλες ίνες ή νευράξονες που μεταφέρουν αισθητικά μηνύματα προς τον νωπιαίο μυελό και το εγκεφαλικό στέλεχος όσο και από φυγόκεντρες ίνες που μεταβιβάζουν διεγέρσεις κυρίως προς τους μυς. Η κάκωση ενός νεύρου συνεπάγεται αδυναμία των μυών που νευρώνονται από αυτό και απώλεια της αισθητικότητας στην περιοχή από την οποία άγονται με το νεύρο αυτό πληροφορίες που αφορούν στις αισθήσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα περιφερικά νεύρα σχηματίζουν πυκνό δίκτυο ή πλέγμα κοντά στον νωπιαίο μυελό (π.χ. το βραχιόνιο πλέγμα του άνω άκρου). Τα περιφερικά νεύρα συνδέονται με τον νωπιαίο μυελό μέσω τρημάτων των οστών (ή **σπονδύλων**) της σπονδυλικής στήλης ή με τον εγκέφαλο μέσω τρημάτων του κρανίου.

Νωπιαίος μυελός

Ο **νωπιαίος μυελός** αρχίζει από το **ινιακό τμήμα**, που βρίσκεται στη βάση του κρανίου, εκεί όπου τελειώνει το κατώτερο τμήμα του εγκεφαλικού στελέχους (προμήκης μυελός). Στον ενήλικο, ο νωπιαίος μυελός τελειώνει αντίστοιχα με τον πρώτο σφυϊκό σπόνδυλο και δημιουργεί 30 ζεύγη (ή 31 ζεύγη αν συμπεριληφθούν και τα κοκκυγικά νεύρα) νωπιαίων νεύρων, τα οποία εξέρχονται από τον νωπιαίο μυελό ανάμεσα από τα οστά της σπονδυλικής στήλης. Τα πρώτα οκτώ νωπιαία νεύρα εκπορεύονται από την **αυχενική μοίρα του νωπιαίου μυελού** και από αυτά το πρώτο ζεύγος εξέρχεται πάνω από τον πρώτο αυχενικό σπόνδυλο, ενώ τα επόμενα 12 νωπιαία νεύρα εκπορεύονται από τη **θωρακική ή ραχιαία μοίρα του νωπιαίου μυελού**. Τα υπόλοιπα 10 ζεύγη νωπιαίων νεύρων εκπορεύονται από το κατώτερο τμήμα του μυελού, πέντε από την **οσφυϊκή** και πέντε από την **ισρική** μοίρα.

Τα νωπιαία νεύρα αποτελούνται από μια **πρόσθια ή κοιλιακή ρίζα**, η οποία νευρώνει τους σκελετικούς μυς, ενώ η **οπίσθια ή ραχιαία ρίζα** μεταφέρει στον νωπιαίο μυελό αισθητικά ερεθίσματα από την περιοχή του δέρματος που κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης είχε κοινή εμβρυολογική προέλευση με το τμήμα εκείνο του νωπιαίου μυελού (βλέπε Κεφάλαιο 2). Στην περίπτωση των ινών των οπίσθιων ριζών, τα κυτταρικά τους σώματα βρίσκονται στα **νωπιαία γάγγλια**, τα οποία εντοπίζονται ακριβώς έξω από τον σπονδυλικό σωλήνα.

Ο νωπιαίος μυελός αποτελείται από τη **λευκή ουσία**, το οποίο είναι το τμήμα του νωπιαίου μυελού που περιέχει τις νευρικές ίνες που σχηματίζουν τις **ανιούσες και κατιούσες οδούς του νωπιαίου μυελού**, ενώ η **φαία ουσία** κείται στο κέντρο του νωπιαίου μυελού και περιέχει τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων (βλέπε Κεφάλαιο 12).

Εγκεφαλικό στέλεχος, εγκεφαλικά νεύρα και παρεγκεφαλίδα

Ο νωπιαίος μυελός μεταπίπτει στο **εγκεφαλικό στέλεχος**, το οποίο βρίσκεται στη βάση του εγκεφάλου και το οποίο απαρτίζεται από τον **προμήκη μυελό**, τη **γέφυρα** και τον **μέσο εγκέφαλο** (ή μεσεγκεφαλο) και περιέχει τους πυρήνες (διακριτά αθροίσματα νευρικών κυττάρων) των 10 εκ των 12 εγκεφαλικών νεύρων (βλέπε Κεφάλαιο 14). Το εγκεφαλικό στέλεχος και η **παρεγκεφαλίδα** αποτελούν στοιχεία του οπίσθιου κρανιακού βόθρου. Η παρεγκεφαλίδα συνδέεται με το εγκεφαλικό στέλεχος μέσω των τριών παρεγκεφαλιδικών σκελών και συμμετέχει στον συντονισμό των κινήσεων (βλέπε Κεφάλαιο 34).

Εγκεφαλικά ημισφαίρια

Τα **εγκεφαλικά ημισφαίρια** αποτελούνται από **τέσσερις κύριους λοβούς: τον ινιακό, τον βρεγματικό, τον κροταφικό και τον μετωπιαίο**. Στην έσω μοίρα του κροταφικού λοβού υπάρχει σειρά σχηματισμών, ένας από τους οποίους είναι ο **ιππόκαμπος**, και οι οποίοι συναποτελούν το μεταχαιμιακό σύστημα (βλέπε Κεφάλαιο 45).

Το εξωτερικό στρώμα του εγκεφαλικού ημισφαιρίου καλείται **φλοιός του εγκεφάλου** και περιέχει νευρικά κύτταρα που είναι οργανωμένα τόσο σε οριζόντιες στιβάδες όσο και σε κάθετες στήλες (βλέπε Κεφάλαιο 15). Οι διάφορες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού συνδέονται μεταξύ τους μέσω νευρικών οδών που εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις κάτω από τον φλοιό. Οι οδοί αυτές, μαζί με άλλες που συνδέουν τον φλοιό του εγκεφάλου με τον νωπιαίο μυελό, το εγκεφαλικό στέλεχος και τους πυρήνες που βρίσκονται στο βάθος του εγκεφαλικού ημισφαιρίου, συνιστούν τη **λευκή ουσία του εγκεφαλικού ημισφαιρίου**. Στους κεντρικούς αυτούς πυρήνες συμπεριλαμβάνονται σχηματισμοί όπως τα **βασικά γάγγλια** (βλέπε Κεφάλαια 38 και 39) και ο **οπτικός θάλαμος**.

Μήνιγγες

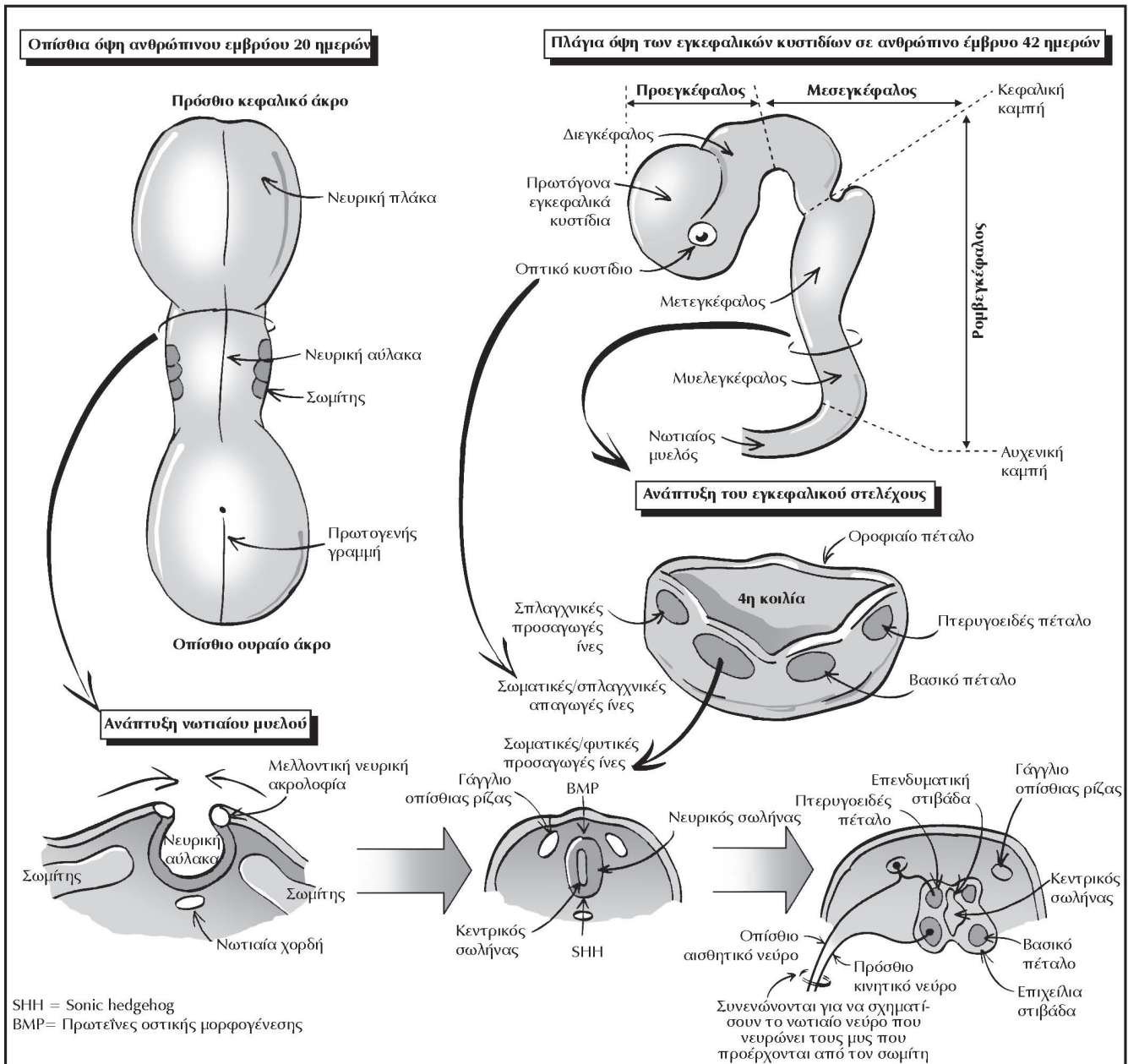
Το ΚΝΣ εμπερικλείεται στο κρανίο και τη σπονδυλική στήλη και διαχωρίζεται από τα στοιχεία αυτά με μία σειρά υμενωδών περιβλημάτων που ονομάζονται **μήνιγγες**. Η **χοριοειδής μήνιγγα** χωρίζεται από τη λεπτή **αραχνοειδή μήνιγγα** με τον υπαραχνοειδή χώρο, η οποία με τη σειρά της χωρίζεται από τη **σκληρή μήνιγγα** με τον υποσκληρίδιο χώρο (βλέπε Κεφάλαιο 16).

Αυτόνομο νευρικό σύστημα (ΑΝΣ)

Το **ΑΝΣ** εμφανίζει κεντρική και περιφερική μοίρα και ασχολείται με τη νευρώση των σπλαγγχνικών οργάνων και των αδένων (βλέπε Κεφάλαιο 42): έχει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των ενδοκρινικών και ομοιοστατικών συστημάτων του σώματος (βλέπε Κεφάλαιο 43). Η περιφερική μοίρα του αυτόνομου νευρικού συστήματος περιλαμβάνει το **εντερικό**, το **συμπαθητικό** και το **παρασυμπαθητικό σύστημα** (βλέπε Κεφάλαιο 42).

Οι φυγόκεντρες ίνες του ΑΝΣ εκπορεύονται είτε από τη **μεσοκεράτια ζώνη** (ή **πλάγιο κέρας**) του νωπιαίου μυελού είτε από συγκεκριμένους πυρήνες εγκεφαλικών νεύρων και της ιερής μοίρας του νωπιαίου μυελού και πραγματοποιούν συνάψεις σε **γάγγλια**, η εντόπιση των οποίων διαφέρει στο συμπαθητικό και στο παρασυμπαθητικό σύστημα. Οι κεντρομόλες ίνες που προέρχονται από τα όργανα που νευρώνονται από το ΑΝΣ εισέρχονται στον νωπιαίο μυελό με τις οπίσθιες ρίζες.

2 Η ανάπτυξη του νευρικού συστήματος



Τα πρώτα σημεία ανάπτυξης του νευρικού συστήματος εμφανίζονται την τρίτη εβδομάδα της κύησης, πιθανόν κάτω από την επίδραση χημικών παραγόντων οι οποίοι απελευθερώνονται από τη **νωτιαία χορδή**, με τον σχηματισμό μίας **νευρικής πλάκας** κατά μήκος της ραχιαίας επιφάνειας του εμβρύου. Αυτή η πλάκα διευρύνεται, αναδιπλώνεται (σχηματίζοντας τη **νευρική αύλακα**) και συνενώνεται για να σχηματίσει τον **νευρικό σωλήνα**, ο οποίος τελικά σχηματίζει τον εγκέφαλο στο κεφαλικό άκρο του και τον νωτιαίο μυελό ουραία. Αυτή η συνένωση αρχίζει περίπου στο μέσο της νευρικής αύλακας στο επίπεδο του τέταρτου σωμίτη και συνεχίζει ουραία και κεφαλικά με τη σύγκλιση του οπίσθιο/κεφαλικού και πρόσθιο/κεφαλικού νευροπόρου κατά τη διάρκεια της τέταρτης εβδομάδας της κύησης. Διατα-

ραχές σε αυτή τη διαδικασία σύγκλισης του νευροπόρου προκαλούν **ανεγκεφαλία** στο κεφαλικό άκρο και ορισμένες μορφές **δισχιδούς ράχης** στο ουραίο άκρο (βλ. παρακάτω).

Η ανάπτυξη του νωτιαίου μυελού

Η διαδικασία συνένωσης του νευρικού σωλήνα απομονώνει μία ομάδα κυττάρων που καλείται **νευρική ακρολοφία**. Αυτή η δομή δημιουργεί μία ποικιλία κυττάρων (συμπεριλαμβανομένων των **γαγγλίων των οπίσθιων ριζών** (ΓΟΡ) και των περιφερικών στοιχείων του ΑΝΣ. Τα ΓΟΡ περιέχουν τα σώματα των αισθητικών κυττάρων τα οποία στέλνουν τους αναπτυσσόμενους άξονές τους εντός του αναπτυσσόμε-

νου νωπιαίου μυελού και στο δέρμα. Αυτοί οι αναπτυσσόμενοι νευρωνικοί σχηματισμοί ή νευρίτες έχουν έναν αναπτυσσόμενο **αυξητικό κώνο** που βρίσκει τον κατάλληλο στόχο του στην περιφέρεια και το ΚΝΣ, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο μηχανισμών συμπεριλαμβανομένων των μορίων κυτταρικής προσκόλλησης και των ευδιάχτυπων νευροτρόφων παραγόντων (βλ. Κεφ. 46).

Ο νευρικός σωλήνας περιβάλλει τον νευρικό αυλό που σχηματίζει τον κεντρικό σωλήνα του πλήρως ανεπτυγμένου νωπιαίου μυελού. Ο σωλήνας περιέχει τους νευροβλάστες, εκείνοι δε που είναι παρακείμενοι στον σωλήνα (**επενδυματική στιβάδα**) διαιρούνται και μεταναστεύουν εκτός προς την **ενδιάμεση στιβάδα** όπου διαφοροποιούνται σε νευρώνες και έτσι σχηματίζουν τη φαϊά ουσία του νωπιαίου μυελού (βλ. Κεφ. 1). Οι αναπτυσσόμενοι σχηματισμοί από τους νευροβλάστες/νευρώνες επεκτείνονται προς τα έξω στην **επιγείλια στιβάδα**, η οποία τελικά σχηματίζει τη λευκή ουσία του νωπιαίου μυελού. Οι διαιρούμενοι νευροβλάστες διαχωρίζονται σε δύο ξεχωριστούς πληθυσμούς, το **περυγοειδές** και το **βασικό πέταλο**, τα οποία με τη σειρά τους θα σχηματίσουν τα οπίσθια και πρόσθια κέρατα του νωπιαίου μυελού, ενώ ένα μικρό πλάγιο κέρατο από σπλαγγκικούς απαγωγούς νευρώνες (δηλ. μέρος του ΑΝΣ) αναπτύσσεται ανάμεσά τους στη θωρακική και άνω οσφυϊκή μοίρα του μυελού (βλ. Κεφ. 42). Αυτός ο προσθιο-οπίσθιος τρόπος ανάπτυξης οφείλεται εν μέρει σε χημικούς παράγοντες οι οποίοι απελευθερώνονται από το ραχιαίο τμήμα της νωπιαίας χορδής.

Η ανάπτυξη του εγκεφάλου

Το κεφαλικό τμήμα του νευρικού σωλήνα διογκώνεται πριν τη σύγκλειση με τον σχηματισμό τριών **πρωτογενών εγκεφαλικών κυστιδίων** (**προσεγέφαλο, μεσεγέφαλο και ρομβεγέφαλο**) και δύο **καμπών** (**αυχενική και κεφαλική**). Τα πρωτογενή εγκεφαλικά κυστίδια εξελίσσονται στα εγκεφαλικά ημισφαίρια, στο εγκεφαλικό στέλεχος και στην παρεγκεφαλίδα, ενώ ο νευρικός σωλήνας θα σχηματίσει τελικά το κοιλιακό σύστημα του εγκεφάλου (βλ. Κεφ. 16).

Ο **προσεγέφαλος** απαρτίζεται από τον τελεγεέφαλο, ο οποίος σχηματίζει τα εγκεφαλικά ημισφαίρια και μέρος των βασικών γαγγλίων, ενώ ο **διεγέφαλος** σχηματίζει τον θάλαμο, την υποθάλαμο, την οπίσθια υπόφυση, το οπτικό νεύρο και τον αμφιβληστροειδή.

Οι νευροβλάστες δημιουργούνται πάλι κοντά στον νευρικό σωλήνα (η κοιλιακή και υποκοιλιακή ζώνη), αλλά σε αυτή την περίπτωση μεταναστεύουν όχι μόνο τοπικά για να σχηματίσουν τους εν τω βάθει υποφλοιικούς πυρήνες του εγκεφάλου αλλά και μακριά κατά μήκος των αναπτυσσόμενων ακτινωτών νευρογλοιακών ινών για να σχηματίσουν τον εγκεφαλικό φλοιό (βλ. Κεφ. 15). Αυτή η ενδιάμεση περιοχή, η οποία είναι πλούσια σε νευρογλοιακές ίνες, θα σχηματίσει τελικά τη λευκή ουσία του εγκεφαλικού ημισφαιρίου, με ορισμένα από τα γλοιοκύτταρα να μετασχηματίζονται σε αρχέγονους νευρώνες στον εγκέφαλο του ενήλικος (βλέπε παρακάτω). Τα ηλεκτρικά σήματα τα οποία ευθύνονται για την οργάνωση αυτών των μεταναστευτικών νευρώνων προς και από τον φλοιό είναι γνωστά, η δε διαταραχή τους μπορεί να προκαλέσει **φλοιική δυσπλασία**.

Ο **μεσεγέφαλος** δημιουργεί τον μέσο εγκέφαλο με τον νευρικό αυλό να σχηματίζει τον κεντρικό υδραγωγό του Sylvius, ενώ ο **ρομβεγέφαλος** απαρτίζεται από τον **μετεγέφαλο** που δημιουργεί τη γέφυρα και την παρεγκεφαλίδα και από τον **μυελεγέφαλο** που σχηματίζει τον μυελό (βλ. Κεφ. 13). Το εγκεφαλικό στέλεχος αναπτύσσεται με έναν παρόμοιο τρόπο προς τον νωπιαίο μυελό, με τη διαφορά ότι η ανάπτυξη γίνεται περισ-

σότερο προς τη μεσοπλάγια παρά προς την προσθιοπίσθια κατεύθυνση. Έτσι, οι σχηματιζόμενοι κινητικοί πυρήνες εντοπίζονται επί τα εντός των αισθητικών πυρήνων με το παρασυμπαθητικό στοιχείο να βρίσκεται ανάμεσά τους. Αυτή η προσθιοπλάγια επέκταση εξηγεί γι' αυτό την οργάνωση των πυρήνων των εγκεφαλικών συζυγιών εντός του στελέχους του εγκεφάλου (βλ. Κεφ. 13 και 14).

Η παρεγκεφαλίδα αναπτύσσεται από το ρομβικό χείλος και την παρακείμενη περυγοειδή στιβάδα.

Η νευρογένεση στον ενήλικα

Έως τώρα εθεωρείτο ότι ήταν αδύνατη η αναγέννηση νέων νευρώνων στον εγκέφαλο των ενηλίκων θηλαστικών. Ωστόσο, είναι πλέον σαφές ότι μπορούν να ανευρεθούν νευρικά προγεννητικά κύτταρα στο κεντρικό νευρικό σύστημα των ενηλίκων θηλαστικών, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Τα κύτταρα αυτά απαντώνται κυρίως σε περιοχές του ιπποκάμπου (βλ. Κεφ. 45) και πλησίον των πλεγίων κοιλιών στην υποκοιλιακή περιοχή (ΥΚΠ). Αντιδρούν σε πλειάδα ερεθισμάτων και φαίνεται ότι παράγουν λειτουργικούς νευρώνες στον ιπποκάμπο και τον οσφρητικό βολβό. Τα κύτταρα του τελευταίου μεταναστεύουν από την ΥΚΠ στον οσφρητικό βολβό μέσω της ραχιαίας μεταναστευτικής οδού (ΡΜΟ).

Διαταραχές εμβρυογένεσης του ΚΝΣ

- **Ανεγκεφαλία** προκύπτει όταν υπάρχει αποτυχία στη συνένωση του πρόσθιου κεφαλικού νευροπόρου. Τα εγκεφαλικά κυστίδια δεν σχηματίζονται και έτσι δεν υπάρχει ανάπτυξη εγκεφάλου. Η συντριπτική πλειοψηφία των εμβρύων με αυτή την ανωμαλία αποβάλλεται αυτόματα.

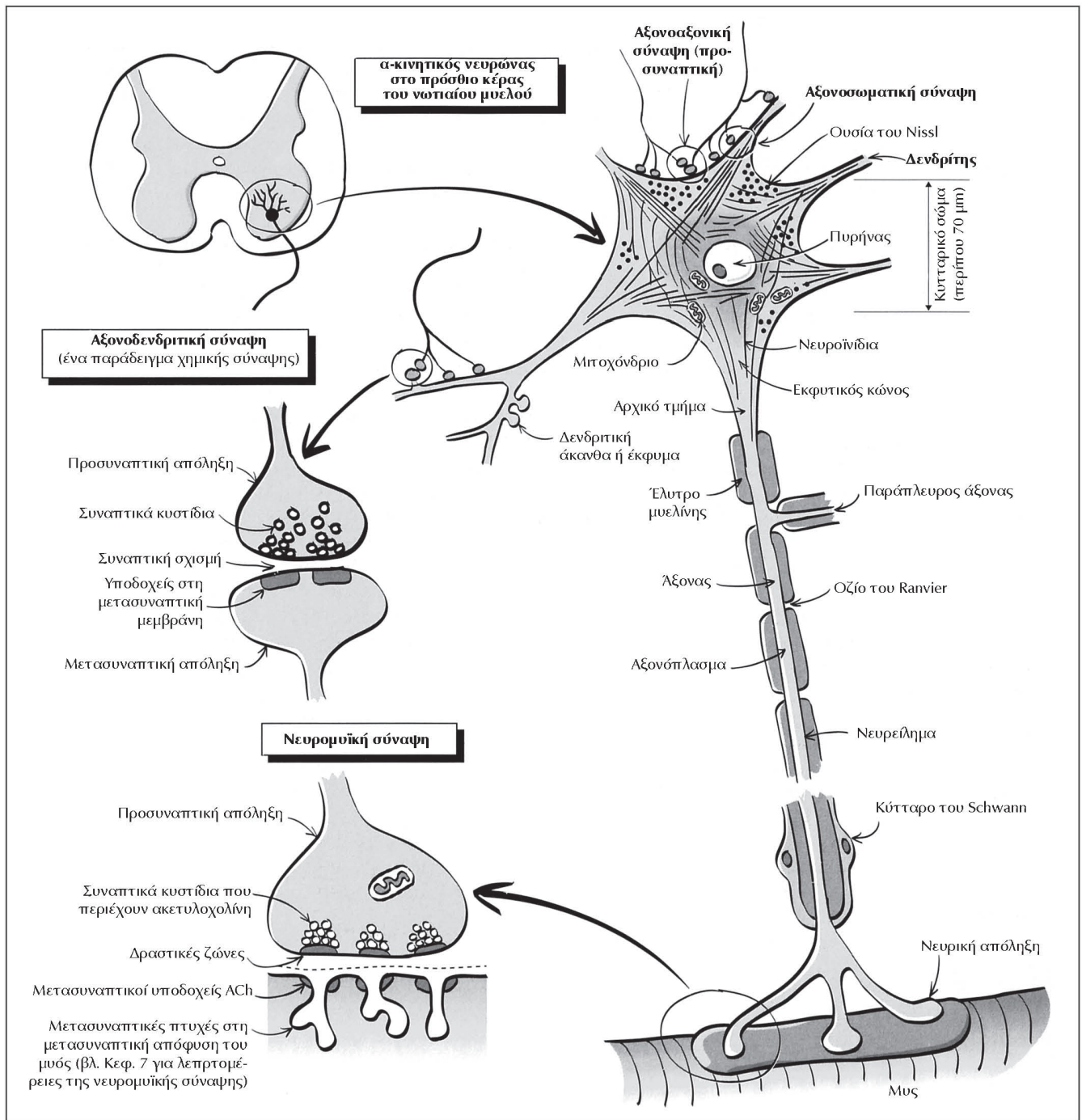
- Η **δισχιδής ράχη** αφορά κάθε έλλειμμα στο κατώτερο άκρο της σπονδυλικής στήλης ή/και του νωπιαίου μυελού. Η συχνότερη μορφή δισχιδούς ράχης αφορά σε μία αποτυχία συνένωσης των ραχιαίων τμημάτων των κατώτερων σπονδύλων (**καλυμμένη δισχιδής ράχη**). Αυτή μπορεί να συνοδεύεται από έλλειμμα των μηνίγγων και του νευρικού ιστού που μπορεί να προκύπτει μέσω του ελλείμματος για να σχηματίσει μία **μηνιγγοκήλη** ή μία **μηνιγγομυελοκήλη** αντιστοίχως. Η πιο σοβαρή μορφή δισχιδούς ράχης είναι όταν ο νευρικός ιστός εκτίθεται άμεσα ως αποτέλεσμα της αποτυχίας συνένωσης του οπίσθιου ουραίου νευροπόρου. Η δισχιδής ράχη συχνά συνοδεύεται από υδροκέφαλο (βλ. Κεφ. 16).

Σπανίως ανευρίσκονται οστικά ελλείμματα στη βάση του κρανίου με τον σχηματισμό μίας **μηνιγγοκήλης**. Ωστόσο, αντίθετα με την κατάσταση στο κάτω τμήμα του νωπιαίου μυελού, αυτά μπορούν συχνά να επιδιορθωθούν χωρίς να προκύψει καμία νευρολογική διαταραχή.

- Η **φλοιική δυσπλασία** αναφέρεται σε ένα φάσμα διαταραχών οι οποίες είναι το αποτέλεσμα της ανώμαλης μετανάστευσης των αναπτυσσόμενων φλοιικών νευρώνων. Αυτές οι διαταραχές αναγνωρίζονται με αυξανόμενη συχνότητα με τη βελτιωμένη απεικόνιση του ανθρώπινου ΚΝΣ και είναι σήμερα γνωστό ότι αποτελούν ένα σημαντικό αίτιο **επιληψίας** (βλ. Κεφ. 53).

- Πολλές ενδομήτριες λοιμώξεις (όπως η ερυθρά), καθώς επίσης και μερικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες (π.χ. ακτινοβολία), προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην ανάπτυξη του νευρικού συστήματος. Επιπλέον, ένας μεγάλος αριθμός σπάνιων γενετικών καταστάσεων σχετίζεται με διαταραχές στην ανάπτυξη του ΚΝΣ, αλλά αυτές βρίσκονται πέραν των σκοπών του παρόντος βιβλίου.

3 Τα κύτταρα του νευρικού συστήματος I: Νευρώνες



Υπάρχουν δύο κύριες ομάδες κυττάρων στο νευρικό σύστημα, τα νευρογλοιακά κύτταρα και οι νευρώνες, με τους τελευταίους να απαρτίζουν μόνο το 10-20% του συνολικού πληθυσμού. Οι νευρώνες είναι εξειδικευμένοι για διέγερση και μετάδοση της νευρικής ώσης (βλ. Κεφ. 5, 6 και 8) και επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της σύναψης (βλ. Κεφ. 7) και έτσι δρουν ως η ανατομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος.

Νευρώνες

Το **κυτταρικό σώμα** είναι το τμήμα του νευρώνα που περιέχει τον πυρήνα και το περιβάλλον κυτταρόπλασμα. Είναι το κέντρο του κυτταρικού μεταβολισμού και φιλοξενεί τα περισσότερα από τα ενδοκυτταρικά οργανίδια του νευρώνα (**μιτοχόνδρια**, συσκευή του Golgi και τα υπεροξειδοσωμάτια) και συνοδεύεται τυπικά από δύο τύπους