



Νευρικός ιστός

Τα τρισεκατομμύρια κύτταρα του σώματος διαφοροποιούνται, δηλαδή εξειδικεύονται τόσο μορφολογικά όσο και λειτουργικά, και σχηματίζουν τους διάφορους ιστούς. Οι ιστοί που αποτελούν το σώμα μας είναι: ο επιθηλιακός ιστός, ο ερειστικός ιστός (συνδετικός, χονδρικός και οστίτης ιστός και αίμα), ο μυϊκός και ο νευρικός ιστός. Οι ιστοί σχηματίζουν τα όργανα και τα όργανα τα συστήματα του οργανισμού.

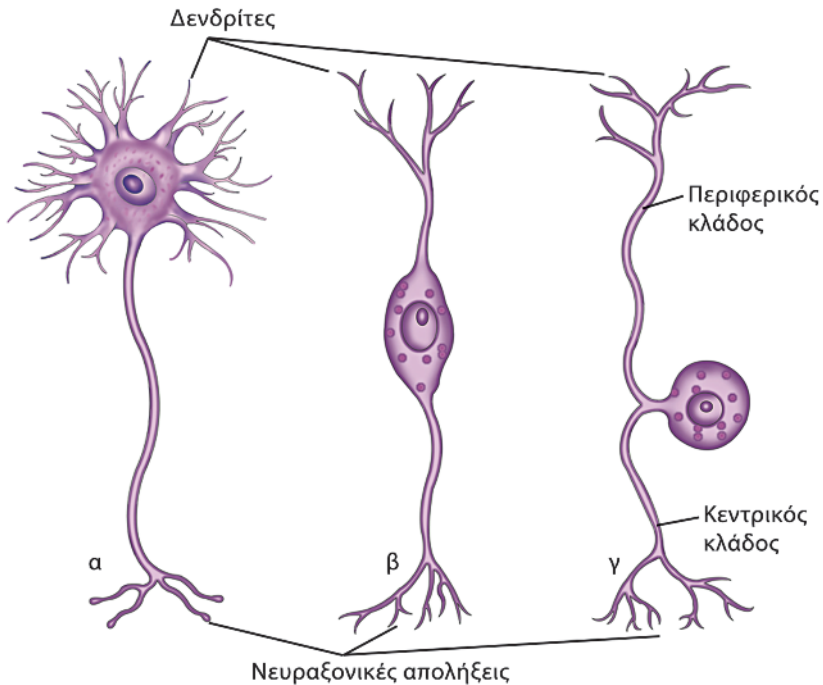
Ο νευρικός ιστός αποτελείται από δύο τύπους κυττάρων, τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα· σχηματίζει όλο το νευρικό σύστημα, δηλαδή το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ – τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό) και το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ – τα νεύρα και τα γάγγλια).

Νευρικά κύτταρα ή νευρώνες

Τα νευρικά κύτταρα είναι εξειδικευμένα για τη διαβίβαση νευρικών ώσεων και την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα με ηλεκτρικά και χημικά σήματα να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες, καθώς και με άλλα κύτταρα του σώματος (μυϊκές ίνες, αδενικά κύτταρα). Τα σήματα αυτά αποτελούν σύμβολα που δεν αντιστοιχούν στον εξωτερικό κόσμο όπως αυτός πράγματι είναι· η αποκωδικοποίηση τους και η δημιουργία εννοιών, οι οποίες μας επιτρέπουν να αποκτήσουμε γνώση για τον κόσμο, είναι έργο σε μεγάλο βαθμό του εγκεφάλου.

Κάθε νευρώνας αποτελείται από το κυτταρικό σώμα (το κυτταρόπλασμα με τα οργανίδια που περιέχει και τον πυρήνα) και τις αποφυάδες. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι νευρικών κυττάρων, τα πολύπολα, τα δίπολα και τα μονόπολα (Εικ. 2)¹. Οι απο-

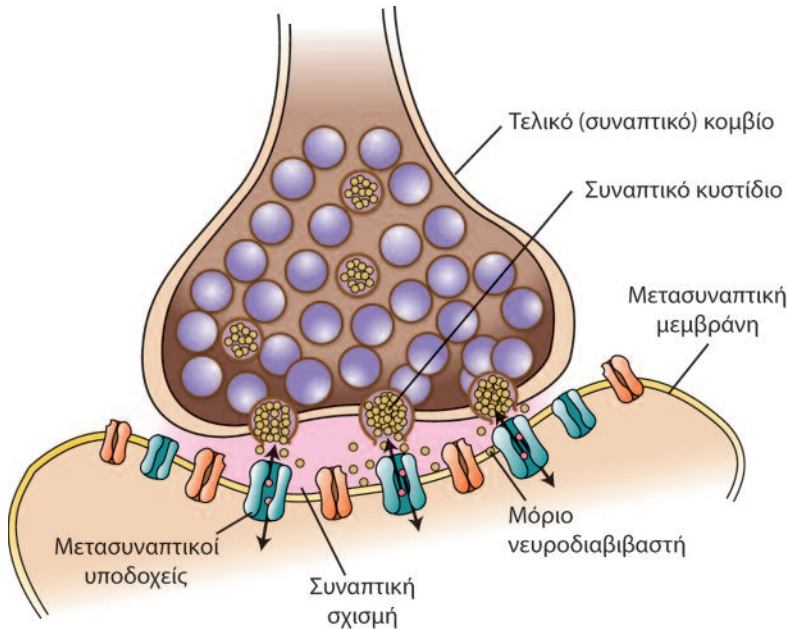
1. Από λειτουργική άποψη, οι νευρώνες διακρίνονται σε κινητικούς (διαβιβάζουν εντολές στους μυς



Εικ. 2. Οι τρεις βασικοί τύποι νευρικών κυττάρων: πολύπολο (α), δίπολο (β) και μονόπολο (γ) νευρικό κύτταρο.

φυάδες διακρίνονται στους δενδρίτες, που λαμβάνουν σήματα (πληροφορίες) από άλλους νευρώνες, και τον νευράξονα, ο οποίος έχει, συνήθως, μεγάλο μήκος και στέλνει σήματα σε άλλα νευρικά κύτταρα ή σε μυς και αδενικά κύτταρα. Στα πολύπολα κύτταρα υπάρχουν πολλοί δενδρίτες και ένας νευράξονας. Στα δίπολα ένας δενδρίτης και ένας νευράξονας, που εκφύονται από τους δύο πόλους του κυτταρικού σώματος. Στα μονόπολα κύτταρα ο περιφερικός κλάδος της μοναδικής αποφυάδας εξυπηρετεί τον ρόλο του δενδρίτη και ο κεντρικός κλάδος τον ρόλο του νευράξονα. Τα μονόπολα κύτταρα είναι αισθητικά. Ο περιφερικός κλάδος παίρνει πληροφορίες από το δέρμα και το υπόλοιπο σώμα και ο κεντρικός κλάδος τις διαβιβάζει στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Το κυτταρικό σώμα ενός νευρώνα έχει διάμετρο 50 μικρόμετρα περίπου (50 χιλιοστά του χιλιοστομέτρου), παρ' ότι το μήκος του νευράξονα μπορεί να ποικίλλει από λίγα μικρόμετρα έως και μέτρα (π.χ. οι νευράξονες του ισχιακού νεύρου).

και στα αδενικά κύτταρα), διάμεσους ή συνδετικούς (βρίσκονται στο εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό· επεξεργάζονται τις πληροφορίες που παρέχουν οι αισθητικοί νευρώνες και τις διαβιβάζουν στους κινητικούς νευρώνες) και αισθητικούς (μεταφέρουν πληροφορίες από τα αισθητήρια όργανα στον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό).



Εικ. 3. Στις συνάψεις απελευθερώνονται νευροδιαβιβαστές που συνδέονται με υποδοχείς που βρίσκονται στην κυτταρική μεμβράνη του μετασυναπτικού κυττάρου. Οι συνάψεις είναι είτε διεγερτικές είτε ανασταλτικές.

Κάθε νευρώνας διαθέτει μόνο ένα νευράξονα, αλλά ο νευράξονας αυτός μπορεί να διακλαδίζεται έντονα, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η επικοινωνία με πολλά κύτταρα-στόχους. Τα πλέγματα που σχηματίζονται μεταξύ των απολήξεων του νευράξονα και των δενδριτών έχουν μεγάλη εξάπλωση και αλληλεπικάλυψη. Σε ορισμένες περιοχές, ο όγκος που καταλαμβάνει ένας νευράξονας με το πλέγμα του είναι δυνατόν να υπερβεί το ένα κυβικό χιλιοστόμετρο. Το πλέγμα αυτό με τις περίπλοκες διακλαδώσεις του αλληλεπικαλύπτεται με πλέγματα που εκκινούν από αμέτρητους άλλους νευρώνες. Ο νευράξονας επικοινωνεί με τα άλλα κύτταρα-στόχους μέσω των απολήξεών του, οι οποίες ονομάζονται τελικά κομβία, με ειδικές επαφές, τις συνάψεις (Εικ. 3, 4), με αποτέλεσμα τη δημιουργία νευρωνικών κυκλωμάτων. Όταν τα σήματα φθάσουν στα τελικά κομβία, πυροδοτούν την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών, οι οποίοι είναι αποθηκευμένοι σε κυστίδια. Οι νευροδιαβιβαστές απελευθερώνονται στη συναπτική σχισμή –τον μικροσκοπικό χώρο πλάτους μερικών εκατομμυριοστών του χιλιοστομέτρου–, η οποία χωρίζει την προσυναπτική από την μετασυναπτική πλευρά και δεσμεύονται σε μόρια-υποδοχείς που υπάρχουν στην επιφάνεια των μετασυναπτικών νευρώνων. Ένας συνήθης νευρώνας σχηματίζει χίλιες περίπου συνάψεις και δέχεται ακόμη περισσότερες. Οι αριθμοί αυτοί ποικίλλουν σημαντικά, ανάλογα με την περιοχή του εγκεφάλου και τον τύπο του νευρώνα. Οι συνάψεις διεγείρουν ή καταστέλλουν τη λειτουργία άλλων νευρικών κυττάρων, σε έναν ασταμάτητο χορό συγκλονιστικής πολυπλοκότητας.



Εικ. 4. Νευρομυϊκή σύναψη. 1, μυϊκές ίνες· 2, νεύρο· 3, τελικές πλάκες. Στις τελικές πλάκες δημιουργείται η σύναψη μεταξύ των νευρικών και των μυϊκών ινών.

Το ηλεκτρικό ρεύμα των νευρώνων

Όπως σε κάθε κύτταρο του σώματός μας, ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό του νευρώνα υπάρχει μικρή διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού, αρκετή, όμως, για τη δημιουργία ρεύματος (δυναμικό μεμβράνης). Κατά σύμβαση, το εσωτερικό του νευρώνα θεωρείται αρνητικό σε σχέση με το εξωτερικό. Αυτή η διαφορά δυναμικού οφείλεται μεταξύ των άλλων στην άνιση κατανομή ιόντων (φορτισμένων ατόμων) εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης: η εξωκυτταρική πλευρά είναι πλούσια σε νάτριο και ασβέστιο και το κυτταρόπλασμα πλούσιο σε κάλιο. Η διέλευση ιόντων από τη μία πλευρά της κυτταρικής μεμβράνης στην άλλη δημιουργεί ρεύμα. Η διέλευση των ιόντων υλοποιείται με τη μεσολάβηση πρωτεϊνικών δομών ενσωματω-

μένων στη λιπιδική διπλοστιβάδα². Οι πρωτεϊνικές αυτές δομές είτε απλώς αποτελούν διαύλους μέσω των οποίων διέρχονται τα ιόντα, είτε αντλούν ενεργητικά ιόντα από τη μία πλευρά της μεμβράνης στην άλλη. Οι πιο συχνοί και σημαντικοί διάυλοι ιόντων ελέγχονται από το δυναμικό της μεμβράνης (τασσο-ελεγχόμενοι διάυλοι). Το δυναμικό της μεμβράνης μεταβάλλει τη διαμόρφωση των πρωτεϊνών του διαύλου, που ρυθμίζουν το άνοιγμα και το κλείσιμό του.

Όταν ένας νευρώνας ενεργοποιείται, κατά μήκος του νευράξονά του παράγονται ηλεκτρικά ρεύματα μικρής χρονικής διάρκειας λόγω διέλευσης του νατρίου (δηλαδή θετικών φορτίων) από το εξωτερικό του νευρώνα στο εσωτερικό, γεγονός που καθιστά το εσωτερικό προσωρινά θετικό. Έτσι, η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης από πολύ αρνητική γίνεται πολύ θετική. Λέμε τότε ότι η μεμβράνη του νευρώνα έχει εκπολωθεί (ηλεκτρική εκπόλωση του τύπου όλον ή ουδέν)³. Η προσωρινή αυτή μεταβολή του δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης, μεταδίδεται κατά μήκος του νευράξονα και ονομάζεται δυναμικό ενέργειας⁴. Επομένως μία νευρική ώση αντιστοιχεί στην προσωρινή αυτή αποφόρτιση της μεμβράνης, η οποία μεταδίδεται γρήγορα μέχρι τα ακροτελεύτια τμήματα του νευράξονα. Το δυναμικό ενέργειας ακολουθείται από μία *απολύτως ανερέθιστη περίοδο*, που διαρκεί 1 msec περίπου, κατά τη διάρκεια της οποίας το νευρικό κύτταρο δεν μπορεί να διεγερθεί ανεξαρτήτως από την ένταση του ερεθίσματος. Η περίοδος αυτή ακολουθείται από τη *σχετικά ανερέθιστη περίοδο*, που διαρκεί 4 msec περίπου, κατά τη διάρκεια της οποίας για να διεγερθεί το νευρικό κύτταρο απαιτείται μεγαλύτερης έντασης ερέθισμα, ενώ το μέγεθος του δυναμικού είναι μικρότερο. Το δυναμικό ενέργειας δημιουργείται στο αρχικό τμήμα του νευράξονα. Όταν το δυναμικό ενέργειας φθάσει στα τελικά κομβία του νευράξονα διευκολύνει την εισροή ασβεστίου. Η αύξηση της συγκέντρωσης ασβεστίου αποτελεί σήμα που πυροδοτεί τη συγχώνευση των κυστιδίων με την προσυναπτική μεμβράνη. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση της συγκέντρωσης ασβεστίου τόσο πιθανότερη είναι η συγχώνευση των κυστιδίων με την προσυναπτική μεμβράνη, επομένως και η απελευθέρωση περισσότερων νευροδιαβιβαστικών μορίων στη συναπτική σχισμή.

2. Η κυτταρική μεμβράνη αποτελείται από διπλή στιβάδα λιπιδίων με ενσωματωμένες πρωτεΐνες (λιποπρωτεϊνικό μωσαϊκό). Χημικά, αποτελείται κατά 70% από λιπίδια και κατά 30% από πρωτεΐνες· έχει, επίσης, χοληστερόλη και σάκχαρα.

3. Ενώ το δυναμικό ενέργειας ενός επιμέρους νευρώνα ακολουθεί τον νόμο του «όλον ή ουδέν», τα μικτά περιφερικά νεύρα ακολουθούν διαβαθμισμένη ηλεκτρική απόκριση. Αυτό συμβαίνει επειδή τα νεύρα αποτελούνται από ομάδες νευρικών ινών, καθεμία από τις οποίες, ανάλογα με τον τύπο της, χρειάζεται ερεθίσματα διαφορετικής έντασης για να διεγερθεί· διαφορετική είναι, επίσης, και η ταχύτητα αγωγής της ώσης για την κάθε ομάδα.

4. Οι νευρώνες διαβιβάζουν δύο είδη σημάτων: τα δυναμικά ενέργειας και τα τοπικά δυναμικά. Τα τοπικά δυναμικά είναι διαβαθμισμένης έντασης και διαβιβάζονται σε μικρές αποστάσεις μέχρι 1-2mm. Έχουν σημασία σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως είναι οι αισθητικές απολήξεις (παράγωγα δυναμικά ή δυναμικά των υποδοχέων) ή οι συνάψεις μεταξύ κυττάρων (συναπτικά δυναμικά). Αντίθετα, τα δυναμικά ενέργειας δεν εξασθενούν με την απόσταση και είναι ένα «όλον ή ουδέν» γεγονός.

Το δεύτερο στοιχείο της σύναψης, η μετασυναπτική πλευρά, συνήθως βρίσκεται στους δενδρίτες του μετασυναπτικού νευρώνα, δηλαδή του νευρώνα που δέχεται τα σήματα – πληροφορίες. Τα μόρια των νευροδιαβιβαστών αναγνωρίζονται με τρόπο πολύ ειδικό από υποδοχείς, που είναι σύνθετα μόρια τα οποία διαπερνούν τη μετασυναπτική μεμβράνη. Όταν ένας νευροδιαβιβαστής προσδεθεί σε έναν υποδοχέα μπορεί να κάνει τον μετασυναπτικό νευρώνα περισσότερο (διεγερτική σύναψη) ή λιγότερο (ανασταλτική σύναψη) διεγέρσιμο: στην πρώτη περίπτωση η μεταφορά πληροφορίας διευκολύνεται, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ο νευρώνας βγαίνει, κατά κάποιον τρόπο, εκτός κυκλώματος (υπάρχουν και άλλου τύπου υποδοχείς που λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο). Το κάθε νευρικό κύτταρο δέχεται πληθώρα διεγερτικών και ανασταλτικών συνάψεων. Η νευρική ώση που θα παραχθεί θα είναι αποτέλεσμα της ισορροπίας των παραπάνω επιδράσεων. Η διαβίβαση της πληροφορίας στο νευρικό σύστημα πραγματοποιείται από δύο κύριους νευροδιαβιβαστές: το γλουταμινικό οξύ (Glu)⁵, το οποίο αυξάνει τη νευρωνική διεγερσιμότητα, και το γ-αμινοβουτυρικό οξύ (GABA)⁶ το οποίο τη μειώνει (οι συνάψεις στις οποίες απελευθερώνεται γλουταμινικό οξύ και GABA αποτελούν πάνω από 90% των συνάψεων του νευρικού συστήματος). Στις νευρομυϊκές συνάψεις ο νευροδιαβιβαστής είναι η ακετυλοχολίνη.

5. Η απελευθέρωση του γλουταμινικού οξέος μπορεί να προκληθεί μέσω της διέγερσης του προσυναπτικού νευρώνα. Το γλουταμινικό οξύ δεσμεύεται στους γλουταμινεργικούς υποδοχείς της μετασυναπτικής μεμβράνης προκαλώντας την εισροή των θετικά φορτισμένων ιόντων. Η ροή αυτή των ιόντων στο εσωτερικό του μετασυναπτικού κυττάρου προκαλεί τη βραχυπρόθεσμη εκπόλωση του και τη δημιουργία ενός διεγερτικού μετασυναπτικού δυναμικού. Ενώ μία μόνο εκπόλωση αυτού του είδους δεν μπορεί να παράγει δυναμικό ενέργειας, οι επανειλημμένες εκπολώσεις που προκαλούνται από την υψηλής συχνότητας διέγερση του προσυναπτικού νευρώνα μπορεί να οδηγήσει σε άθροιση των διεγερτικών μετασυναπτικών δυναμικών και να ξεπεράσουν τον ουδό διέγερσης του μετασυναπτικού νευρώνα.

Υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερις τύποι γλουταμινεργικών υποδοχών. Οι τρεις είναι ιονοτροπικοί και ονομάζονται NMDA, AMPA και kainικού οξέος. Ο τέταρτος τύπος είναι ματαβοτροπικός και ονομάζεται mGluR. Σε αντίθεση με τους ιονοτροπικούς υποδοχείς οι ματαβοτροπικοί δεν περιέχουν ιοντικούς διαύλους αλλά συνδέονται με ρυθμιστικές πρωτεΐνες που μεταφέρουν το σήμα μέσα στο κύτταρο με τη μεσολάβηση δεύτερων μορίων-αγγελιαφόρων.

Οι μεταβολές που παρατηρούνται στη μετασυναπτική μεμβράνη μπορεί να διαρκούν λίγα δευτερόλεπτα, λίγα λεπτά ή ακόμη περισσότερο. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες είναι οι μακράς διάρκειας μεταβολές στη συναπτική ισχύ, που μπορεί να προκληθούν από σύντομες περιόδους νευρωνικής δραστηριότητας κυρίως με δύο διεργασίες γνωστές ως μακροπρόθεσμη ενδυνάμωση (LTP, long term potentiation), που αυξάνει τη συναπτική ισχύ, και μακροπρόθεσμη καταστολή (LTD, long term depression), που μειώνει τη συναπτική ισχύ. Το γλουταμινικό οξύ θεωρείται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στη συναπτική ευπλαστότητα και ως εκ τούτου στις λειτουργίες της μνήμης και της μάθησης.

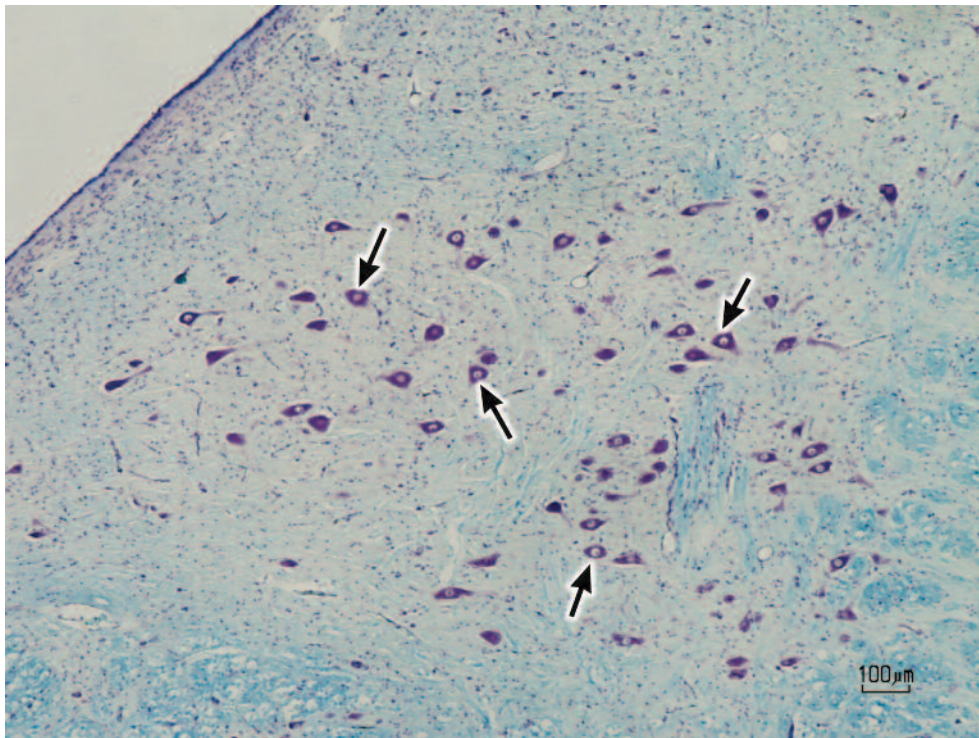
6. Σε αντίθεση με το γλουταμινικό οξύ, το GABA λειτουργεί κυρίως για την ενεργοποίηση ανασταλτικών μετασυναπτικών δυναμικών. Η δέσμευση του GABA στον μετασυναπτικό υποδοχέα προκαλεί τη διάνοιξη διαύλων ιόντων, οι οποίοι είτε προκαλούν εισροή αρνητικά φορτισμένων ιόντων Cl⁻ μέσα στο κύτταρο είτε εκροή θετικά φορτισμένων ιόντων K⁺ έξω από το κύτταρο. Τα δύο αυτά ενδεχόμενα έχουν ως αποτέλεσμα την υπερπόλωση του μετασυναπτικού κυττάρου, δηλαδή τη δημιουργία ενός ανασταλτικού μετασυναπτικού δυναμικού. Το άθροισμα με άλλα ανασταλτικά και η συσχέτιση με άλλα διεγερτικά μετασυναπτικά δυναμικά της μεμβράνης καθορίζουν αν το μετασυναπτικό δυναμικό θα φθάσει τον ουδό και θα προκαλέσει ένα δυναμικό ενέργειας στον μετασυναπτικό νευρώνα.

Πυρήνες, δικτυωτοί σχηματισμοί και στιβάδες

Τα νευρικά κύτταρα είναι δυνατόν να οργανωθούν με τρεις βασικούς τρόπους: να σχηματίσουν πυρήνες, δικτυωτούς σχηματισμούς ή στιβάδες.

Οι *πυρήνες* είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες ομάδες νευρώνων στο κεντρικό νευρικό σύστημα με κοινά ανατομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, οι οποίες αριθμούν χιλιάδες νευρώνων (και τότε έχουν το μέγεθος ενός κόκκου άμμου) ή εκατομμύρια νευρώνων (και τότε έχουν το μέγεθος ενός αμυγδάλου). Θα μπορούσε να παρομοιάσει κανείς τους πυρήνες σαν τους γαλαξίες, οι οποίοι είναι αθροίσματα πολλών επιμέρους άστρων. Παραδείγματα πυρήνων είναι ο έξω γονατώδης πυρήνας του θαλάμου, που αποτελεί τον κύριο σταθμό της οπτικής οδού, ο ερυθρός πυρήνας, η μέλαινα ουσία και ο πυρήνας του υπογλώσσιου νεύρου (Εικ. 5). Ομάδες αισθητικών νευρώνων έξω από το ΚΝΣ σχηματίζουν τα εγκεφαλικά και τα νωτιαία γάγγλια (Εικ. 21, 25).

Το δικτυωτό σύστημα (από το λατινικό *rete*, δηλαδή δίκτυο) είναι άθροισμα νευρώνων που απέχουν αρκετά μεταξύ τους (τουλάχιστον αν συγκριθούν με τη πυκνή διάταξη των κυττάρων στους πυρήνες) και καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα του εγκεφαλικού στελέχους. Οι δενδρίτες των νευρώνων αυτών διατάσσονται σε δεσμίδες που διαπλέκονται σχηματίζοντας έναν *δικτυωτό σχηματισμό*. Προς τα κάτω ο δικτυωτός σχηματισμός συνεχίζεται στη διάμεση μοίρα του νωτιαίου μυελού, ενώ προς τα



Εικ. 5. Πυρήνας υπογλώσσιου νεύρου προβάτου. Διακρίνονται τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων (βέλη) (φωτογραφία της Μ. Χιωτέλλη).

πάνω συνεχίζεται με τους ενδοπετάλιους πυρήνες του θαλάμου. Ο δικτυωτός σχηματισμό παίζει καθοριστικό ρόλο στην ομοιόσταση (τη διατήρηση της σταθερότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος του οργανισμού), την εγρήγορση, την προσοχή και τη συνείδηση⁷.

Τα νευρικά κύτταρα διατάσσονται σε *στιβάδες* σε αρκετές περιοχές του εγκεφάλου καθώς και στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του οφθαλμού (ο οποίος μαζί με το οπτικό νεύρο αποτελεί ουσιαστικά προέκταση του εγκεφάλου). Στιβαδωτή δομή παρουσιάζει ο φλοιός των εγκεφαλικών ημισφαιρίων (έξι στιβάδες, Εικ. 14), ο φλοιός της παρεγκεφαλίδας (τρεις στιβάδες, Εικ. 10) και ο οσφρητικός βολβός (πέντε στιβάδες). Η στιβαδωτή διάταξη επιτρέπει πιο σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των νευρικών κυττάρων και των διάφορων εγκεφαλικών περιοχών.

Νευρικές ίνες

Οι νευρικές ίνες είναι οι νευράξονες των νευρικών κυττάρων μαζί με το ή τα έλυτρα που τους περιβάλλουν (βλ. νεύρα, σελ. 52).

Νευρογλοιακά κύτταρα ή νευρογλοία

Τα νευρογλοιακά κύτταρα παρεμβάλλονται μεταξύ των νευρώνων, εκτός από τις θέσεις των συνάψεων. Παλαιότερες μετρήσεις είχαν δείξει ότι υπάρχουν 10 φορές περίπου περισσότερα νευρογλοιακά κύτταρα από ό,τι νευρώνες και ότι η αναλογία μεταξύ των νευρογλοιακών και των νευρικών κυττάρων αυξάνεται καθώς ανερχόμαστε τη φυλογενετική κλίμακα των ζώων.

Τα πρόσφατα ευρήματα από τη μελέτη των νευρογλοιακών κυττάρων μειώνουν την αναλογία αυτή πολύ χαμηλότερα, αλλά ταυτόχρονα αναδεικνύουν όλο και περισσότερο τον σημαντικότερο ρόλο των νευρογλοιακών κυττάρων στην ομαλή λειτουργία του νευρικού συστήματος σε βαθμό που να αλλάζει ριζικά η σύγχρονη νευροβιολογία. Πράγματι, τα νευρογλοιακά κύτταρα από κομπάρσοι της εγκεφαλικής λειτουργίας καταλαμβάνουν σιγά-σιγά πρωταγωνιστικό ρόλο. Επιπλέον, η ενδεχόμενη συμμετοχή τους σε παθολογικές καταστάσεις, όπως είναι η νόσος Αλτσχάιμερ, η πλάγια μυατροφική σκλήρυνση (νόσος του κινητικού νευρώνα), ακόμη και ο αυτισμός και η σχιζοφρένεια, ίσως να ανοίξει καινούριους δρόμους στη θεραπεία σοβαρότατων

7. Οι μόνες εντοπισμένες βλάβες που οδηγούν σε απώλεια της συνείδησης (το άτομο περιέρχεται σε κωματώδη κατάσταση) επηρεάζουν συνήθως το ονομαζόμενο ανιόν σύστημα ενεργοποίησης του εγκεφάλου (Ascending Activating System, AAS). Το σύστημα αυτό εκκινεί από τον δικτυωτό σχηματισμό της γέφυρας και του μέσου εγκεφάλου και εκτείνεται έως το οπίσθιο τμήμα του υποθαλάμου, τους ενδοπετάλιους πυρήνες του θαλάμου και τον βασικό πρόσθιο εγκέφαλο. Το σύστημα αυτό ενεργοποιεί το θαλαμοφλοιικό σύστημα και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την εγρήγορση και τον ύπνο. Αν και η λειτουργία του AAS αποτελεί αναμφίβολα προϋπόθεση για την εκδήλωση της συνείδησης, θεωρείται ότι ο ρόλος του είναι έμμεσος και το σύστημα αυτό καθαυτό δεν παράγει την συνείδηση. Αντιθέτως, με βάση τα μοναδικά ανατομικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του είναι πολύ πιθανόν να διασφαλίζει την εκφόρτιση νευρώνων που υπάρχουν στο θαλαμοφλοιικό σύστημα κατά τρόπο συμβατό με την ενσυνείδητη εμπειρία (Edelman και Tononi, 2008).

ασθενειών που αποτελούν μάστιγα για την ανθρωπότητα. Η εποχή, λοιπόν, που ο Πρώσος ιατρός Ρούντολφ Βίρχοχ (Rudolf Ludwig Karl Virchow) περιέγραψε πρώτος τα νευρογλοιακά κύτταρα πέρασε ανεπίστρεπті. Ο Βίρχοχ ονόμασε τα νευρογλοιακά κύτταρα συνολικά «γλοία», που στη λατινική γλώσσα σημαίνει «κόλλα», καθώς πίστευε ότι γέμιζαν το κενό μεταξύ των νευρώνων και αποτελούσαν ένα είδος «συνδεδεμένου ιστού» του εγκεφάλου.

Με τεχνικές εμποτισμού με άργυρο και χρυσό χρωματίζονται το σώμα και οι αποφυάδες των νευρογλοιακών κυττάρων. Στο ΚΝΣ διακρίνονται οι εξής τύποι νευρογλοιακών κυττάρων: αστροκύτταρα, ολιγοδενδρα κύτταρα, μικρονευρογλοιακά κύτταρα και επενδυματικά κύτταρα. Στο ΠΝΣ διακρίνονται τα κύτταρα Schwann και τα δορυφόρα κύτταρα.

Επιγραμματικά, τα νευρογλοιακά κύτταρα επιτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες:

1. Χρησιμεύουν ως στηρικτικά στοιχεία γεμίζοντας τα «κενά» μεταξύ των νευρώνων και προσδίδοντας συνοχή στον εγκέφαλο και στον νωτιαίο μυελό.
2. Παράγουν μυελίνη.
3. Ρυθμίζουν τη συγκέντρωση του καλίου και το pH στον εξωκυτταρικό χώρο.
4. Προσλαμβάνουν και απομακρύνουν τους νευροδιαβιβαστές που απελευθερώνονται από τους νευρώνες.
5. Επηρεάζουν τη συναπτική διαβίβαση καθώς και τον σχηματισμό συνάψεων. Συνεπώς έχουν καθοριστικό ρόλο στις διεργασίες της μάθησης και της μνήμης.
6. Καθοδηγούν τη μετανάστευση των νευρώνων και κατευθύνουν τους νευράξονες τους προς τους σωστούς στόχους.
7. Απομακρύνουν κυτταρικά συντρίμματα μετά από κακώσεις του νευρικού ιστού ή θάνατο των νευρώνων.
8. Συγκροτούν την άμυνα του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού.
9. Συμμετέχουν στη δημιουργία του αιματοεγκεφαλικού φραγμού.
10. Ρυθμίζουν τη ροή του αίματος στα αγγεία.
11. Ίσως να συμμετέχουν στη θρέψη των νευρώνων.

Τα νευρογλοιακά κύτταρα δεν είναι απαραίτητα για την επεξεργασία των πληροφοριών, έστω και αν είναι απαραίτητα για την κανονική λειτουργία των νευρώνων.

Αστροκύτταρα

Πρόσφατα υποστηρίχθηκε η άποψη ότι τα αστροκύτταρα επικοινωνούν μεταξύ τους και με τους νευρώνες, σχηματίζοντας ένα δεύτερο παράλληλο δίκτυο που επηρεάζει τη λειτουργία του εγκεφάλου. Επειδή τα νευρογλοιακά κύτταρα δεν έχουν τις μεμβρανικές ιδιότητες οι οποίες είναι απαραίτητες για τη γένεση δυναμικών ενέργειας, η δράση τους επιτυγχάνεται με χημικά σήματα, αντί για ηλεκτρικά. Με τα χημικά αυτά σήματα, τα αστροκύτταρα, κατά κάποιον τρόπο, «συζητούν» μεταξύ τους τα νέα της νευρωνικής εκπόλωσης. Αν οι νευρώνες μπορούν να παρομοιαστούν με τα τηλέφωνα, που επικοινωνούν μεταξύ τους ηλεκτρικά μέσω καλωδιακών δικτύων, τα αστροκύτταρα ίσως να είναι σαν τα κινητά τηλέφωνα, που επικοινωνούν μεταξύ τους με χημικά

σήματα που εκπέμπουν σε μεγάλες αποστάσεις, προκειμένου να συντονίσουν την εκπόλωση νευρωνικών δικτύων κατά μήκος διάφορων περιοχών του εγκεφάλου. Η χημική αυτή επικοινωνία μεταξύ των αστροκυττάρων δεν έχει την ταχύτητα της ηλεκτρικής επικοινωνίας μεταξύ των νευρώνων: Είναι της τάξης των 15-30 μm ανά δευτερόλεπτο, σε αντίθεση με το 1m ανά δευτερόλεπτο της ηλεκτρικής. Ωστόσο, η βραδεία αυτή μετάδοση πληροφοριών αποτελεί τον ρυθμιστή της νευρωνικής λειτουργίας.

Αστροκύτταρα και ομοιόσταση

Οι νευρώνες του ΚΝΣ βρίσκονται σε πολύ προστατευμένο περιβάλλον λόγω της ύπαρξης του αιματοεγκεφαλικού φραγμού. Ο φραγμός αυτός σχηματίζει μία προστατευτική ασπίδα η οποία δεν επιτρέπει τη διόδο πολλών ουσιών από το αίμα στον νευρικό ιστό. Ωστόσο, ο αιματοεγκεφαλικός φραγμός δεν προστατεύει τα νευρικά κύτταρα από μεταβολές που οφείλονται στην ίδια τη λειτουργία τους. Πράγματι, η δραστηριότητα των νευρώνων έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ιόντων καλίου, μεταβολή του εξωκυτταρικού pH και απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών, γεγονότα που επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία των νευρώνων οι οποίοι είναι πολύ ευαίσθητοι σε τέτοιες μεταβολές. Τα αστροκύτταρα έχουν διαύλους που επιτρέπουν τη διέλευση ιόντων καλίου καθώς και αντλίες ιόντων με πιο σημαντική τη νάτριο-κάλιο-αδενοσινωτριφωσφατάση (Na-K-ATPάση). Επιπλέον, ο όγκος των αστροκυττάρων είναι πολύ μεγαλύτερος από τον εξωκυτταρικό χώρο και για τον λόγο αυτό η μεταφορά ουσιών διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης είναι δυνατόν να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στις συγκεντρώσεις τους στον εξωκυτταρικό χώρο μετά από σχετικά μικρές μεταβολές στο κυτταρόπλασμα των αστροκυττάρων.

Ομοιόσταση του καλίου

Η συγκέντρωση του καλίου στον εξωκυτταρικό χώρο είναι φυσιολογική συνέπεια της ηλεκτρικής δραστηριότητας των νευρώνων. Οι μεταβολές του εξωκυτταρικού καλίου είναι δυνατόν να επηρεάσουν την ταχύτητα αγωγής του δυναμικού ενέργειας, το εύρος του συναπτικού δυναμικού, τη συχνότητα της εκφόρτισης των νευρώνων και να προκαλέσουν την εκφόρτιση παρακείμενων νευρικών κυττάρων. Έτσι, όταν μετά από επανειλημμένη εκφόρτιση των νευρώνων παρατηρείται περίσσεια καλίου στον εξωκυτταρικό χώρο, τα αστροκύτταρα αποκρίνονται ως εξής:

1. Εκφορτίζονται και η εκφόρτιση αυτή διαχέεται σε ολόκληρο το νευρογλοιακό δίκτυο ή «συγκύτιο». Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται έχει ως αποτέλεσμα την πιο ομοιόμορφη κατανομή του συγκεντρωμένου καλίου.
2. Προσλαμβάνουν ιόντα καλίου παθητικά και λόγω διαφοράς δυναμικού μεταξύ του δυναμικού μεμβράνης και του δυναμικού ισορροπίας των ιόντων.
3. Ενεργοποιείται η Na-K-ATPάση και επιτυγχάνεται επιπρόσθετη πρόσληψη καλίου.

Ομοιόσταση των ιόντων υδρογόνου (ρύθμιση του pH)

Η ρύθμιση των ιόντων υδρογόνου ελαχιστοποιεί αλλαγές στο pH και συμβάλλει στη