



# 5

## ΕΡΕΘΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗ

### 5.1 ΕΡΕΘΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΑ ΖΩΑ

Οι οργανισμοί εμφανίζουν ερεθιστικότητα· είναι ευαίσθητοι σε ερεθίσματα από το εξωτερικό και εσωτερικό τους περιβάλλον, στα οποία αντιδρούν με πολλούς τρόπους. Τα πιο πολλά ζώα αντιλαμβάνονται τα ερεθίσματα και προκαλούν αντιδράσεις με το νευρικό σύστημα. Με άλλα λόγια το νευρικό σύστημα, μαζί με τους ενδοκρινείς αδένες σε ορισμένα ζώα, συντονίζει και ρυθμίζει τις διάφορες λειτουργίες του οργανισμού, ανάλογα με τα εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα. Επιπλέον, στον άνθρωπο το κεντρικό νευρικό σύστημα, και συγκεκριμένα ο εγκέφαλος αποτελεί έδρα πολύπλοκων πνευματικών λειτουργιών, όπως είναι η σκέψη, η βούληση, η συνείδηση, τα συναισθήματα κ.ά.

Το νευρικό σύστημα δρα γρήγορα, οι επενέργειές του είναι εντοπισμένες σε συγκεκριμένα σημεία και εμπεριέχει ηλεκτρικές και χημικές μεταβιβάσεις. Οι ενδοκρινείς αδένες δρουν πιο αργά, οι επενέργειές τους είναι διάχυτες και στηρίζονται σε χημική μεταφορά διά μέσου του κυκλοφορικού συστήματος.

#### 5.1.1 ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΟΡΓΑΝΑ

Το νευρικό σύστημα αποτελείται από κύτταρα με μεγάλη εξειδίκευση, η λειτουργία των οποίων είναι να δέχονται ερεθίσματα, να τα κωδικοποιούν στη μορφή των νευρικών ώσεων και να τα μεταβιβάζουν σε άλλα εξειδικευμένα συστήματα κυττάρων (μυς και αδένες), που είναι ικανά να προκαλέσουν μια αντίδραση.

Στα πολυκύτταρα ζώα τα ερεθίσματα προσλαμβάνονται από τους υποδοχείς, που είναι συνήθως τα αισθητήρια όργανα, τα οποία περιέχουν διαφοροποιημένα νευρικά κύτταρα. Τα ερεθίσματα προκαλούν στον υποδοχέα τη δημιουργία νευρικών ώσεων, που μεταδίδονται με τα νεύρα προς το κεντρικό νευρικό σύστημα. Εκεί αναγνωρίζονται, ερμηνεύονται τα ερεθίσματα, και αν χρειάζεται δίνονται εντολές με τη μορφή ώσεων μέσω των νευρών στα εκτελεστικά όργανα (μυς, αδένες), όπου προκαλούνται αντιδράσεις (π.χ. σύσπαση μυών, εκκρίσεις αδένων).

Η κύρια δομική και λειτουργική μονάδα των νευρών και του κεντρικού νευρικού συστήματος είναι τα **νευρικά κύτταρα** ή **νευρώνες**.

## Νευρικό σύστημα

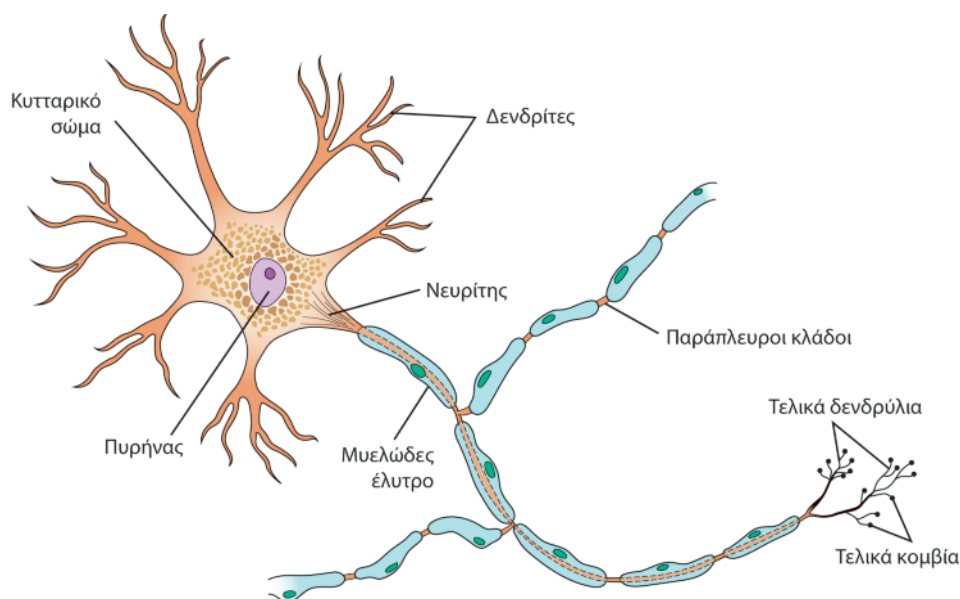
### Νευρικά κύτταρα και νεύρα

Τα νευρικά κύτταρα αποτελούν μόνο το 10% περίπου των κυττάρων του νευρικού ιστού στον άνθρωπο. Τα υπόλοιπα είναι νευρογλοιακά κύτταρα, που δε διεγείρονται ηλεκτρικά, αλλά προστατεύουν τα νευρικά κύτταρα, τα υποστηρίζουν μεταβολικά και απομονώνουν τις νευρικές ώσεις.

Τα νευρικά κύτταρα έχουν διάφορες μορφές στα νευρικά συστήματα των διάφορων ζώων, αλλά και σε διαφορετικά τμήματα του νευρικού συστήματος ενός οργανισμού. Το **νευρικό κύτταρο** ή **νευρώνας** αποτελείται από το **σώμα** και τις **αποφυάδες** του (Εικ. 5.1.1.1). Το **σώμα** περικλείει τον πυρήνα και το κυτόπλασμα. Οι **αποφυάδες** είναι δύο ειδών, οι **δενδρίτες** και ο **νευρίτης**.

Οι **δενδρίτες** είναι συνήθως πολλοί, κοντοί, έχουν διακλαδώσεις, φαιό χρώμα και μαζί με τα σώματα σχηματίζουν τη φαιά ουσία του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού. Δέχονται νευρικές ώσεις μέσω συνάψεων από άλλα νευρικά ή αισθητικά κύτταρα.

Ο **νευρίτης** είναι ένας, μακρύς, με μήκος που μπορεί να ποικίλλει από λίγα δέκατα του χιλιοστόμετρου μέχρι και πάνω από πολλά μέτρα σε ορισμένες περιπτώσεις. Έχει τελικές διακλαδώσεις, τα **τελικά δενδρύλια**, που καταλήγουν σε διογκώσεις, τα τελικά κομβία, τα οποία σχηματίζουν συνάψεις με τη μεμβράνη των επόμενων κυττάρων. Ο νευρίτης μεταφέρει νευρικές ώσεις και μπορεί να είναι σε επαφή μέσω συνάψεων με άλλα νευρικά κύτταρα, με μυς ή αδένες. Περιβάλλεται από **νευρογλοιακά κύτταρα**, που παίζουν ρόλο στη στήριξη και θρέψη των νευρικών κυττάρων και στην



Εικ. 5.1.1.1 Σχηματική απεικόνιση του νευρικού κυττάρου

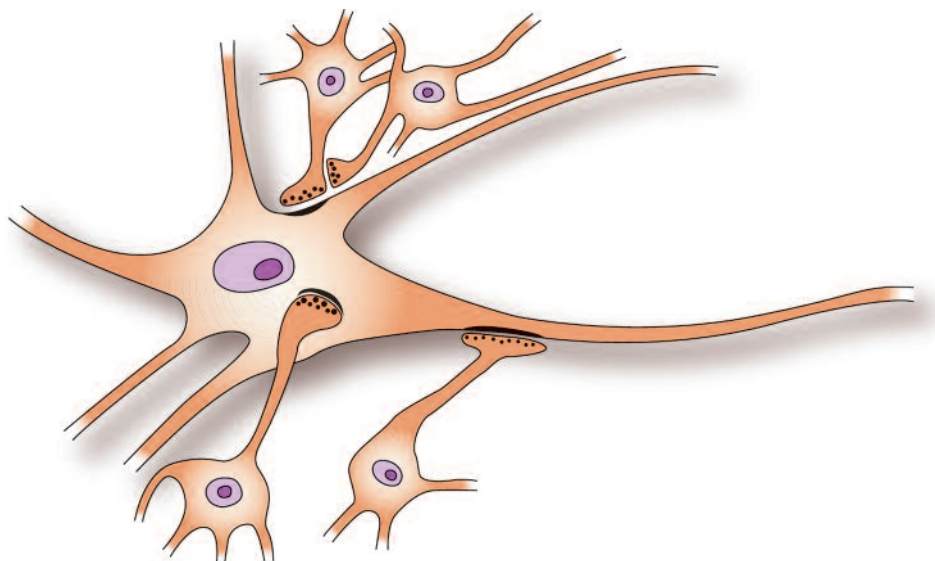
ηλεκτρική μόνωση των νευρικών ινών. Μαζί με το περίβλημά του αποτελεί τη **νευρική ίνα**. Οι νευρικές ίνες έχουν λευκό χρώμα και σχηματίζουν τη **λευκή ουσία** του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού.

Τα νευρικά κύτταρα μπορεί να είναι **αισθητικά**, που οδηγούν νευρικές ώσεις από τους υποδοχείς προς το κεντρικό νευρικό σύστημα, ή **κινητικά**, που οδηγούν νευρικές ώσεις από το κεντρικό νευρικό σύστημα προς τους γραμμοτούς μυς. Υπάρχουν και άλλα νευρικά κύτταρα, όπως είναι τα **διάμεσα** νευρικά κύτταρα στον εγκέφαλο και στο νωτιαίο μυελό, που ενώνουν τα αισθητικά και κινητικά νευρικά κύτταρα ή σχηματίζουν δίκτυα νευρώνων που ελέγχουν διάφορες λειτουργίες.

**Γάγγλιο** είναι μια μονάδα που περιέχει τα σώματα λίγων ή πολλών νευρικών κυττάρων.

Η επικοινωνία μεταξύ δύο νευρικών κυττάρων ή μεταξύ ενός νευρικού και ενός μυϊκού κυττάρου γίνεται με λειτουργικές επαφές, που ονομάζονται **συνάψεις**. Συγκεκριμένα, ένα νευρικό κύτταρο στο οποίο εντοπίζεται η προσυναπτική περιοχή, έρχεται με τα τελικά του κομβία σε λειτουργική σύνδεση συνήθως με το σώμα ή τους δενδρίτες του νευρικού κυττάρου στο οποίο εντοπίζεται η μετασυναπτική περιοχή (Εικ. 5.1.1.2). Στη σύναψη γίνεται η μεταβίβαση της νευρικής ώσης από το ένα νευρικό κύτταρο στο άλλο, αλλά μόνο προς μια κατεύθυνση: από την προσυναπτική προς τη μετασυναπτική περιοχή.

Λίγες ή πολλές νευρικές ίνες που βρίσκονται σε ένα κοινό περίβλημα αποτελούν ένα νεύρο. Ένα μεγάλο νεύρο περιέχει πολλές ίνες, όπως τα σύρματα σε ένα πολυκλωνικό ηλεκτρικό καλώδιο. Τα νεύρα περιλαμβάνουν και αιμοφόρα αγγεία, που μεταφέρουν θρεπτικές ουσίες και οξυγόνο. Ανάλογα με το είδος των νευρικών ινών



**Εικ. 5.1.1.2** Σχηματική απεικόνιση συνάψεων

που περιέχουν, διακρίνονται σε **αισθητικά**, **κινητικά** και **μεικτά**. Τα μεικτά περιέχουν και αισθητικές και κινητικές νευρικές ίνες.

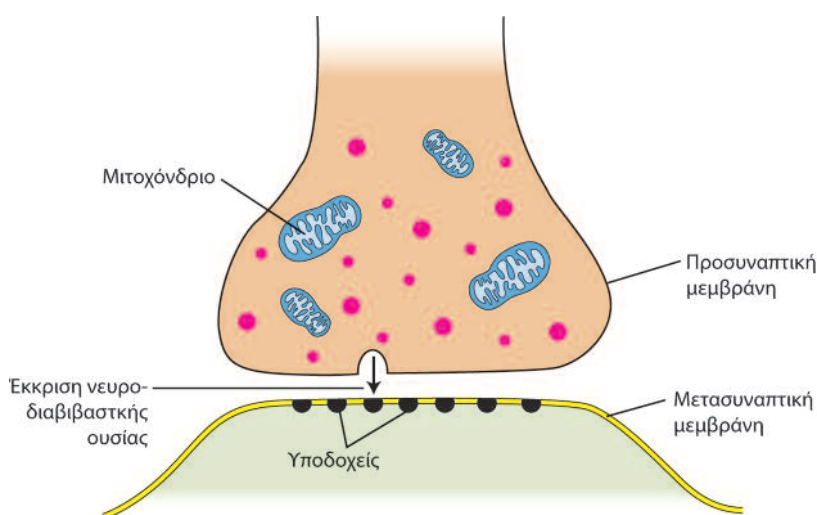
### Νευρική ώση

Σε ένα νευρικό κύτταρο που βρίσκεται σε ηρεμία, δηλαδή δε δέχεται την επίδραση ερεθίσματος, το εξωτερικό της πλασματικής του μεμβράνης έχει περισσότερα θετικά φορτία από το εσωτερικό. Με άλλα λόγια το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικότερο του εξωτερικού χώρου, και μάλιστα κατά περίπου 70 mV. Αυτή η διαφορά δυναμικού μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας της πλασματικής μεμβράνης ονομάζεται **δυναμικό ηρεμίας**.

Όταν κάποιο ερέθισμα επιδράσει σε ένα σημείο ενός νευρικού κυττάρου, τότε στο σημείο αυτό η εσωτερική επιφάνεια της πλασματικής μεμβράνης γίνεται θετικότερη της εξωτερικής περίπου κατά 40 mV. Αμέσως μετά ξαναγίνεται αρνητικότερο το εσωτερικό του κυττάρου κατά 70 mV, δηλαδή αποκαθίσταται το δυναμικό ηρεμίας. Αυτή η αλλαγή και αποκατάσταση της πολικότητας ονομάζεται **δυναμικό ενέργειας** ή **νευρική ώση** και διαρκεί από 1 msec μέχρι 3 msec.

Μόλις ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδοχή των φαινομένων στο συγκεκριμένο σημείο, ξεκινά αμέσως η ίδια διαδοχή στο επόμενο σημείο της μεμβράνης και ακολούθως σε ένα μεθεπόμενο σημείο κ.ο.κ.

Όταν μια νευρική ώση φτάνει στην προσυναπτική περιοχή, προκαλεί την έκκριση μιας νευροδιαβιβαστικής ουσίας, που είναι συνήθως η ακετυλοχολίνη ή η νοραδρεναλίνη (Εικ. 5.1.1.3). Στη συνέχεια η νευροδιαβιβαστική ουσία κατευθύνεται στη μετασυναπτική περιοχή του επόμενου νευρικού κυττάρου και ενώνεται με κατάλληλους υποδοχείς της περιοχής αυτής. Η σύνδεση αυτή προκαλεί αναστροφή του δυναμικού ηρεμίας της μεμβράνης του μετασυναπτικού νευρικού κυττάρου,

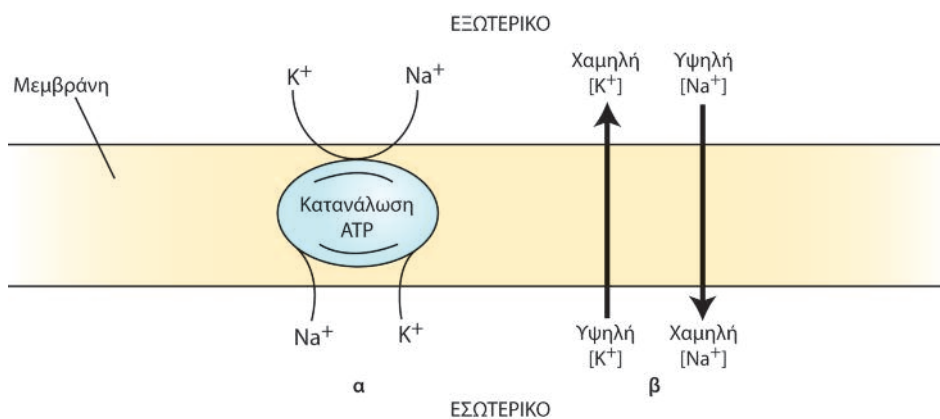


Εικ. 5.1.1.3 Σύναψη σε λειτουργία

και συνεπώς τη δημιουργία νευρικής ώσης σ' αυτό. Έτσι, η νευρική ώση μεταβιβάζεται από το ένα νευρικό κύτταρο στο άλλο και πάντα μόνο προς μια κατεύθυνση, δηλαδή από την προσυναπτική προς τη μετασυναπτική περιοχή. Κατ' αυτόν τον τρόπο καταλήγει σε κάποιο εγκεφαλικό κέντρο ή σε κάποιο εκτελεστικό όργανο.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε με σχετικά περισσότερη λεπτομέρεια στα γεγονότα που παίζουν ρόλο στη δημιουργία της νευρικής ώσης.

Σε κατάσταση ηρεμίας το εσωτερικό της πλασματικής μεμβράνης του νευρικού κυττάρου έχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων καλίου ( $K^+$ ) και χαμηλή συγκέντρωση ιόντων νατρίου ( $Na^+$ ), σε αντίθεση με το εξωτερικό της, που έχει χαμηλή συγκέντρωση ιόντων  $K^+$  και υψηλή συγκέντρωση ιόντων  $Na^+$ . Αυτές οι διαφορές συγκεντρώσεων διατηρούνται με ένα μηχανισμό ενεργής μεταφοράς ιόντων  $Na^+$  και  $K^+$ , που ονομάζεται **αντλία ιόντων  $Na^+-K^+$** . Ο μηχανισμός αυτός γίνεται από ειδικές περιοχές της μεμβράνης και αντίθετα από τις υπάρχουσες ηλεκτροχημικές βαθμιδώσεις, δηλαδή τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ εξωκυτταρικού και εσωκυτταρικού χώρου ως προς τα ηλεκτρικά φορτία και ως προς τις συγκεντρώσεις των ιόντων αυτών. Η αντλία  $Na^+-K^+$  με κατανάλωση ενέργειας απομακρύνει ιόντα  $Na^+$  από το εσωτερικό του κυττάρου και προσλαμβάνει ιόντα  $K^+$  (Εικ. 5.1.1.4).



**Εικ. 5.1.1.4** Κίνηση ιόντων στη μεμβράνη νευρικού κυττάρου: **α**. Ενεργή, **β**. Παθητική

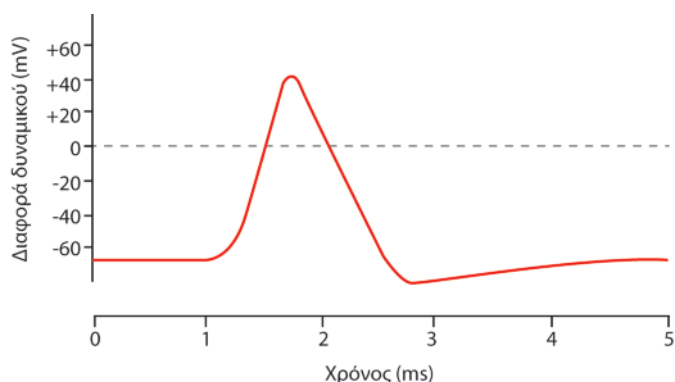
Αυτή η ενεργή μεταφορά γίνεται αντίθετα από την παθητική διάχυση των ιόντων, κατά την οποία συνεχώς περνούν από τον ένα χώρο στον άλλο σύμφωνα με τις ηλεκτροχημικές βαθμιδώσεις, και με ένα ρυθμό που καθορίζεται από τη διαπερατότητα της πλασματικής μεμβράνης για τα ιόντα αυτά. Έτσι, ιόντα  $K^+$  διαχέονται από το εσωτερικό στο εξωτερικό της πλασματικής μεμβράνης, και ιόντα  $Na^+$  διαχέονται προς την αντίθετη κατεύθυνση (Εικ. 5.1.1.4). Επειδή όμως τα ιόντα  $K^+$  έχουν μια ιονική κινητικότητα και ικανότητα διαπέρασης της μεμβράνης 20 φορές μεγαλύτερη από αυτή των ιόντων  $Na^+$ , η έξοδός τους από το κύτταρο είναι μεγαλύτερη από την είσοδο των τελευταίων. Αυτό οδηγεί σε μια καθαρή απώλεια θετικών ιόντων

από το κύτταρο. Έτσι εμφανίζεται η διαφορά δυναμικού, το **δυναμικό ηρεμίας**.

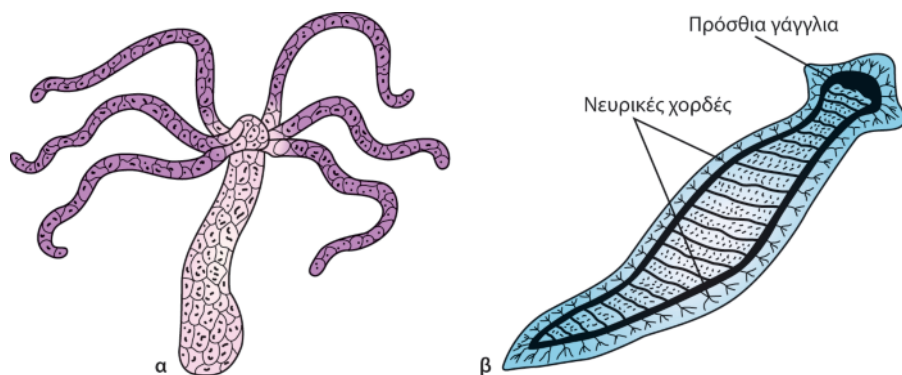
Όταν ερεθιστεί το νευρικό κύτταρο σε ένα σημείο του, τότε στο σημείο αυτό αυξάνεται παροδικά η διαπερατότητα της μεμβράνης για τα ιόντα  $\text{Na}^+$  που εισέρχονται στο κύτταρο. Αυτή η είσοδος αυξάνει τον αριθμό των θετικών ιόντων στο κύτταρο, με τελικό αποτέλεσμα να γίνει η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης θετικότερη της εξωτερικής κατά 40 mV περίπου. Στη συνέχεια η διαπερατότητα της μεμβράνης για τα ιόντα  $\text{Na}^+$  μειώνεται και αυξάνεται η διαπερατότητά της για τα ιόντα  $\text{K}^+$ , που διαχέονται έξω από το κύτταρο, με τελικό αποτέλεσμα το εσωτερικό του κυττάρου να ξαναγίνει αρνητικότερο κατά 70 mV, δηλαδή την αποκατάσταση του δυναμικού ηρεμίας (Εικ. 5.1.1.5).

### Νευρικό σύστημα ασπόνδυλων

Στα κοιλεντερόζωα το νευρικό σύστημα αποτελείται από ένα διάχυτο δίκτυο νευρικών κυττάρων (Εικ. 5.1.1.6). Οι πλατυέλμινθες έχουν δύο πρόσθια γάγγλια με νεύρα στην κεφαλική περιοχή, και δύο νευρικές χορδές, που εκτείνονται προς τα πίσω



**Εικ. 5.1.1.5** Ένα τυπικό δυναμικό ενέργειας σε νευρικό κύτταρο καλαμαριού



**Εικ. 5.1.1.6** Το νευρικό σύστημα **α**. κοιλεντερόζωου, **β**. πλατυέλμινθα