

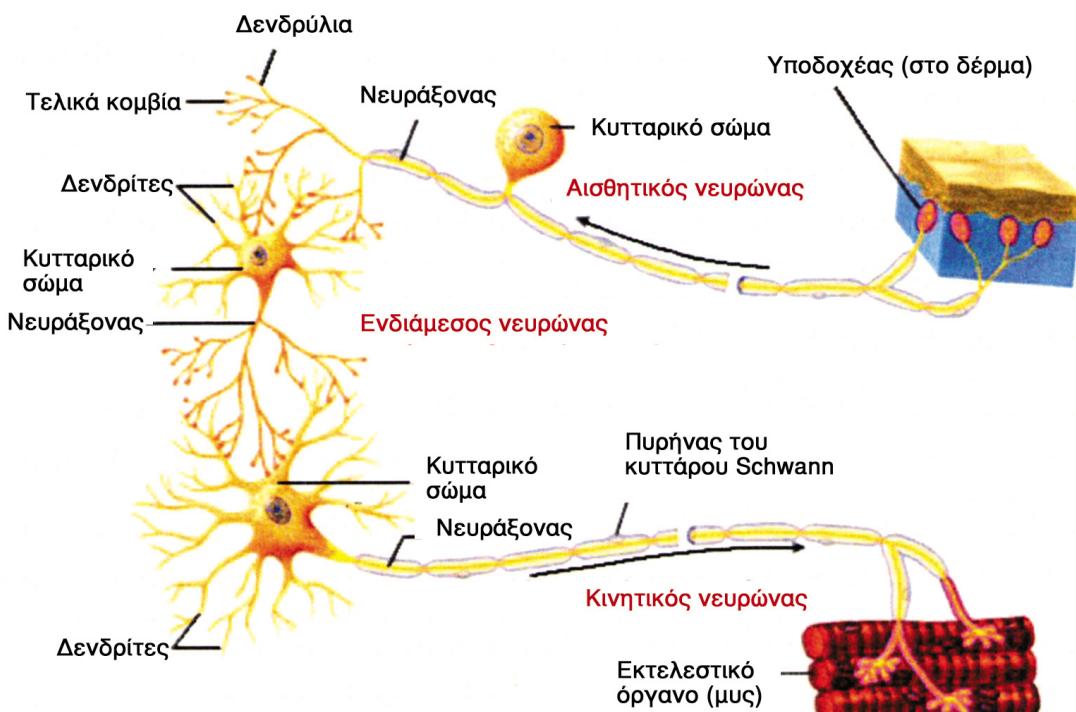
ΕΝΟΤΗΤΑ 11: Νευρικό σύστημα

Το νευρικό σύστημα συντονίζει τη λειτουργία όλων των άλλων συστημάτων. Χωρίζεται σε δύο επί μέρους συστήματα:

- Το **Σωματικό Νευρικό Σύστημα** το οποίο ελέγχει τις συνειδητές λειτουργίες και περιλαμβάνει το **Περιφερικό Νευρικό Σύστημα** που αποτελείται από εγκεφαλικά και νωτιαία νεύρα και το **Κεντρικό Νευρικό Σύστημα** (εγκέφαλος και νωτιαίος μυελός).
- Το **Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα** το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος (υπεύθυνο για την ομοιόσταση). Το σύστημα αυτό λειτουργεί αυτόνομα, χωρίς την άμεση συμμετοχή της συνείδησης. Στο Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα υπάρχουν δύο ανταγωνιστικά σκέλη, το **συμπαθητικό** και το **παρασυμπαθητικό** σύστημα.

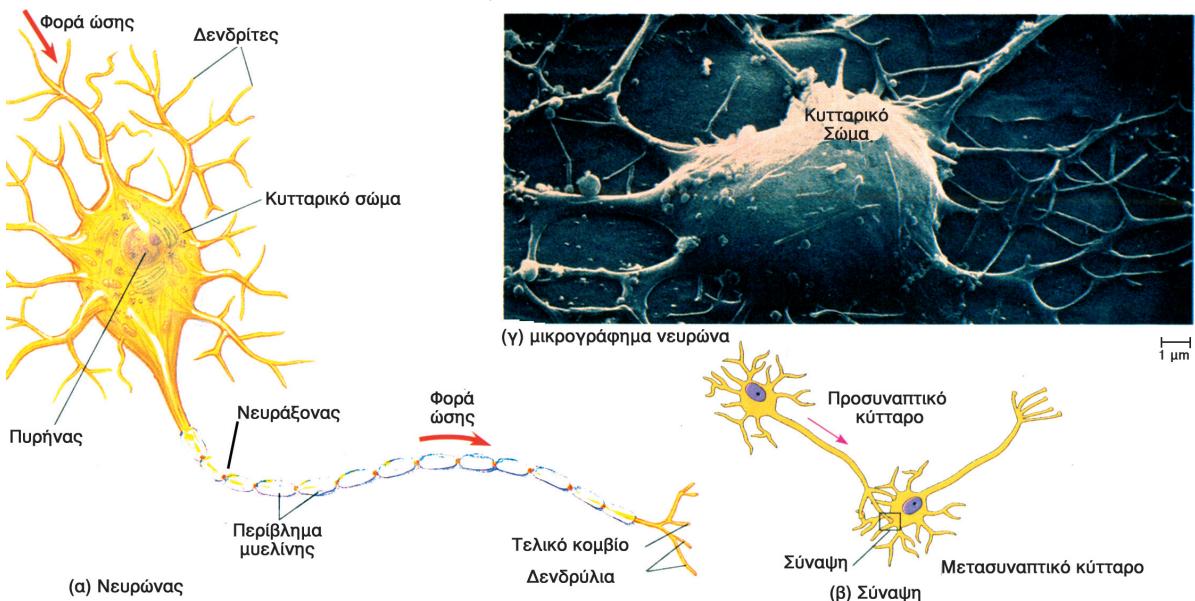
Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) είναι δέκτης μηνυμάτων τόσο από το εσωτερικό όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον. Τα μηνύματα δημιουργούνται από διάφορα ερεθίσματα και μεταφέρονται ως **νευρικές ώσεις** μέσω των περιφερικών νεύρων (αισθητική οδός). Στο ΚΝΣ τα μηνύματα αξιολογούνται και, αν υπάρχει ανάγκη, διαβιβάζονται εντολές (κινητική οδός) που πάλι έχουν τη μορφή νευρικών ώσεων, στα εκτελεστικά όργανα που είναι οι μύες και οι αδένες. Οι νευρικές ώσεις που φτάνουν στον εγκέφαλο από τα περιφερικά νεύρα και αφορούν συνειδητές λειτουργίες καταλήγουν στο **φλοιό** των ημισφαιρίων του εγκεφάλου, ενώ οι νευρικές ώσεις που αφορούν την ομοιόσταση μεταφέρονται σε μια περιοχή του εγκεφάλου που ονομάζεται **στέλεχος** και αποτελείται κυρίως από τον **προμήκη μυελό**, τη **γέφυρα** και τον **υποθάλαμο**. Το νευρικό σύστημα αποτελείται από νευρικά κύτταρα ή νευρώνες και από νευρογλοία (νευρογλοιακά κύτταρα και μεσοκυττάρια ουσία).

11.1 ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ



Εικόνα 11.1 Είδη νευρώνων

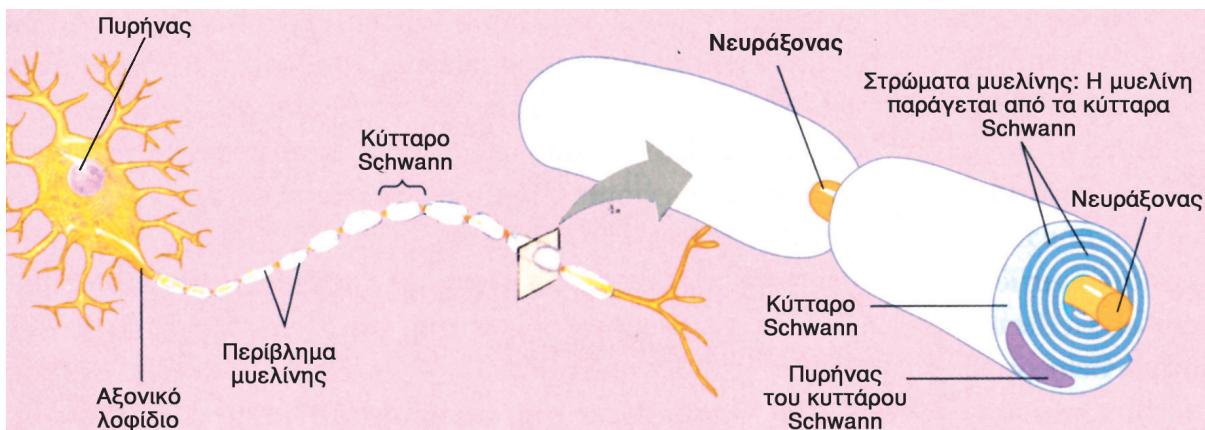
Οι νευρώνες αποτελούν τις δομικές και λειτουργικές μονάδες του νευρικού συστήματος. **Ο νευρώνας αποτελείται από το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες, το νευράξονα και τα προσυναπτικά άκρα.** Οι δενδρίτες είναι αποφυάδες του κυτταροπλάσματος και διακλαδίζονται εκτεταμένα. Μάζι με το σώμα αποτελούν την κύρια περιοχή υποδοχής μηνυμάτων. Το σώμα περιέχει τον πυρήνα του νευρώνα, ενώ το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των νευρώνων είναι οι μεγάλου μήκους ινώδεις αποφυάδες, οι οποίες ανέχουν σημαντικά την απόσταση στην οποία ο νευρώνας μπορεί να στείλει μήνυμα. Υπάρχουν δύο είδη τέτοιων αποφυάδων: οι δενδρίτες που μεταφέρουν μηνύματα προς το σώμα και οι νευράξονες που μεταφέρουν μηνύματα μακριά από το σώμα. Σε ορισμένους νευρώνες, το μήκος των νευράξονων μπορεί να ξεπερνά το 1 μέτρο, ενώ η διάμετρός τους φθάνει μέχρι και το 0,1 mm. Πολλοί νευρώνες έχουν νευράξονες οι οποίοι περιβάλλονται από περίβλημα μυελίνης. Η μυελίνη επηρεάζει σημαντικά τη μεταβίβαση των νευρικών ώσεων. Οι τελικές απολήξεις των δενδρυλίων του νευράξονα έχουν στα άκρα διογκώσεις, τα **τελικά κομβία**.



Εικ. 11.2 Νευρώνας και σύναψη

Το περίβλημα μυελίνης των νευρικών κυττάρων

Οι νευράξονες διακρίνονται σε **εμμύελους** και **αμμύελους**, αναλόγως του αν περιβάλλονται από μυελίνη ή όχι. Η μυελίνη αποτελείται κυρίως από πρωτεΐνες και λιπίδια. Η καταστροφή της προκαλεί ορισμένες σοβαρές ασθένειες, όπως η σκλήρυνση κατά πλάκας.



Εικ. 11.3 Κύτταρο Schwann

Τα κύτταρα Schwann είναι είδος νευρογλοιακών κυττάρων τα οποία περιβάλλουν τα νευρικά κύτταρα. Η νευρογλοία αποτελείται από νευρογλοιακά κύτταρα τα οποία παρέχουν υποστηρικτικές και ανοσοποιητικές ιδιότητες στα νευρικά κύτταρα, καθώς και μονωτικές ιδιότητες. Επίσης, ρυθμίζουν τη σύσταση του χημικού περιβάλλοντος στο νευρικό ιστό.

Τα κύτταρα Schwann περιβάλλουν τους νευράξονες των περιφερικών νεύρων. Έτσι, ο νευράξονας αποκτά ένα στρώμα μυελίνης γύρω του που επιδρά σημαντικά στην ταχύτητα με την οποία άγεται η νευρική ώση κατά μήκος του. Στην εικόνα 11.3 φαίνεται ο τρόπος που διπλώνονται τα κύτταρα Schwann, για να περιβάλουν το νευράξονα. Προσέξτε, επίσης, ότι το περίβλημα δεν είναι συνεχόμενο, αλλά διακεκομμένο, κάτι που βοηθά στην αγωγή των νευρικών ώσεων.

Στις απολήξεις των νευρώνων υπάρχουν τα προσυναπτικά άκρα, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μετάδοση των νευρικών ώσεων από τον ένα νευρώνα στον άλλο ή ακόμη από ένα νευρώνα σε μισό ή αδενικό κύτταρο.

Ανάλογα με τη λειτουργία τους, οι νευρώνες διαιρούνται σε **αισθητικούς, κινητικούς και ενδιάμεσους**. Οι αισθητικοί νευρώνες μεταφέρουν μηνύματα από την περιφέρεια προς το ΚΝΣ, ενώ οι κινητικοί νευρώνες μεταφέρουν μηνύματα-εντολές από το ΚΝΣ προς τα εκτελεστικά όργανα. Οι ενδιάμεσοι νευρώνες παρεμβάλλουν μεταξύ αισθητικών και κινητικών νευρώνων. Ο ρόλος τους είναι να κατευθύνουν τα μηνύματα που προέρχονται από τους αισθητικούς νευρώνες στις κατάλληλες περιοχές του ΚΝΣ. Μεταφέρουν επίσης τα μηνύματα από περιοχή σε περιοχή του ΚΝΣ και τελικά στους κατάλληλους κινητικούς νευρώνες. Οι νευρικές ώσεις είναι στην ουσία ηλεκτρικά μηνύματα τα οποία παράγονται στην πλασματική μεμβράνη των νευρώνων. Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο παράγονται και διαδίδονται οι νευρικές ώσεις, είναι απαραίτητο να εξετάσουμε τις ηλεκτρικές ιδιότητες των πλασματικών μεμβρανών.

Στις μπαταρίες γίνεται διαχωρισμός των ηλεκτρικών φορτίων μεταξύ των δύο πόλων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων, εκ των οποίων ο ένας είναι θετικός και ο άλλος αρνητικός.

Με τον ίδιο τρόπο, παρατηρείται διαφορά δυναμικού κατά μήκος των πλασματικών μεμβρανών. Το μέρος της μεμβράνης που είναι εκτεθειμένο στο κυτταρόπλασμα αποτελεί τον αρνητικό πόλο και η πλευρά που είναι σε επαφή με το εξωκυττάριο υγρό αποτελεί το θετικό πόλο.

Αυτή η διαφορά δυναμικού ονομάζεται **δυναμικό μεμβράνης** και σε ένα νευρώνα που βρίσκεται σε ηρεμία (δεν παράγει ώσεις) ονομάζεται **δυναμικό ηρεμίας**. Η μονάδα μέτρησης διαφοράς δυναμικού είναι τα volts και οι μπαταρίες συχνά έχουν διαφορά δυναμικού της τάξης των 12 volts.

Στα κύτταρα, η διαφορά δυναμικού είναι πολύ πιο μικρή. Το δυναμικό ηρεμίας των νευρώνων είναι συνήθως περί τα 70 mV (χιλιοστά του volt) ή 0,07 V.

Για να δείξουμε ότι το εσωτερικό της μεμβράνης είναι ηλεκτροαρνητικότερο σε σχέση με το εξωτερικό, το δυναμικό ηρεμίας γράφεται ως -70 mV.

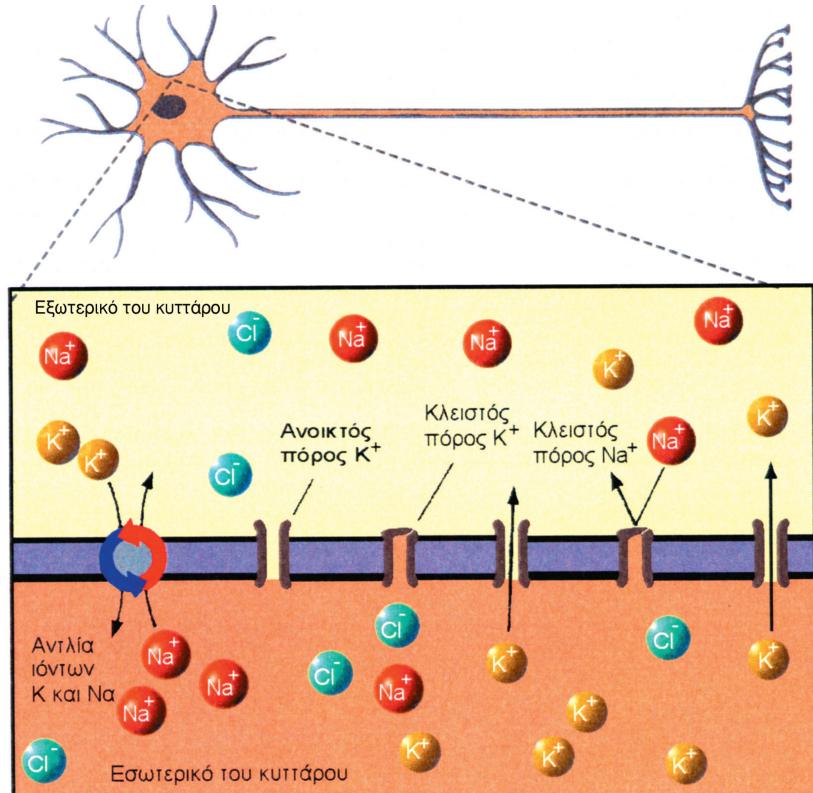
Πώς δημιουργείται το δυναμικό μεμβράνης;

Τρεις είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν το δυναμικό μεμβράνης:

1. Η δράση των αντλιών ιόντων νατρίου και καλίου.
2. Η διαφορά στη διαπερατότητα της μεμβράνης στα διάφορα ιόντα.

3. Η παρουσία αρνητικά φορτισμένων ιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων τα οποία λόγω μεγέθους δεν μπορούν να εξέλθουν του κυττάρου.

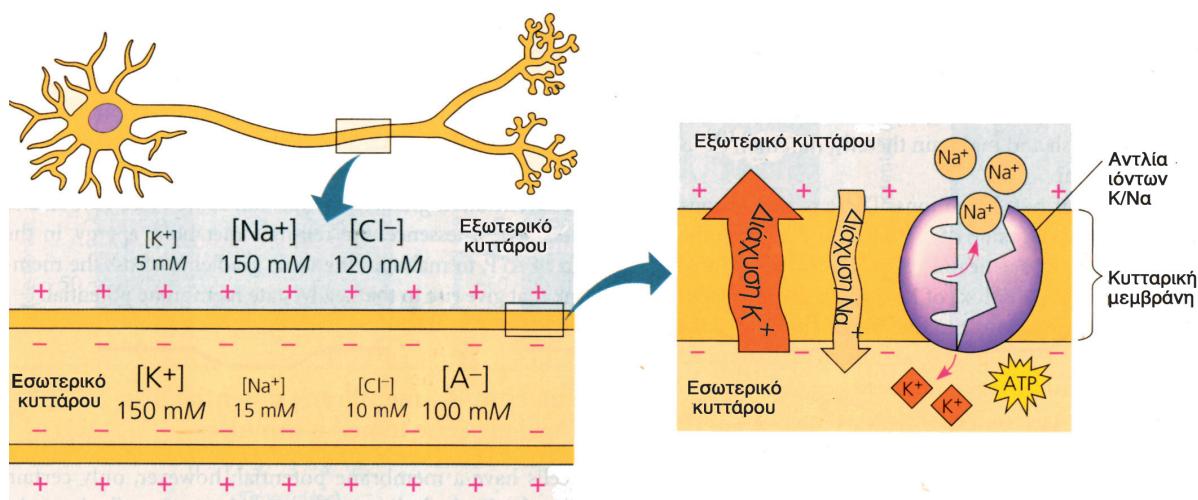
Οι τρεις πιο πάνω παράγοντες επικρατούν σε όλα τα κύτταρα και το αποτέλεσμα είναι όλα τα κύτταρα να διαθέτουν δυναμικό μεμβράνης. Οι αντλίες Na^+ και K^+ μεταφέρουν 3 ιόντα νατρίου έξω από το κύτταρο, ενώ μεταφέρουν 2 ιόντα καλίου μέσα στο κύτταρο. Η μεταφορά είναι ενεργητική και το αποτέλεσμα των αντλιών αυτών είναι να γίνεται άνιση κατανομή αυτών των ιόντων και το εσωτερικό των κυττάρων να διαθέτει λιγότερα θετικά φορτία από το εξωτερικό των κυττάρων.



Εικ. 11.4 Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών συγκεντρώσεων ανιόντων και κατιόντων μέσα και έξω από την κυτταρική μεμβράνη

Οι αντλίες Na^+ και K^+ ενισχύουν το αποτέλεσμα της παρουσίας των ανιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων. Τα ανιόντα αυτά δεν μπορούν, λόγω μεγέθους, να εγκαταλείψουν το κύτταρο, αλλά ελκύουν κατιόντα από το εξωτερικό περιβάλλον. Η πλασματική μεμβράνη δεν παρουσιάζει την ίδια διαπερατότητα στα κατιόντα. Για παράδειγμα, η πλασματική μεμβράνη ενός νευρώνα που βρίσκεται σε ηρεμία είναι κατά πολύ πιο διαπερατή στα K^+ παρά σε οποιαδήποτε άλλα κατιόντα και το αποτέλεσμα αυτής της προτίμησης της μεμβράνης προς τα ιόντα καλίου είναι να παρατηρείται ιωχηρή έλξη των ιόντων αυτών προς το εσωτερικό των κυττάρων. Είναι γι' αυτούς ακριβώς τους λόγους που η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στο εσωτερικό είναι κατά 30 φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ιόντων αυτών στο εξωτερικό των κυττάρων. Και άλλα κατιόντα, πέραν των ιόντων καλίου, μπορούν να περάσουν στο εσωτερικό των κυττάρων, αλλά ο όγκος με τον οποίο περνούν είναι σχετικά πολύ αργός. Η εικόνα 11.5 δείχνει περιληπτικά τον τρόπο δημιουργίας του δυναμικού ηρεμίας.

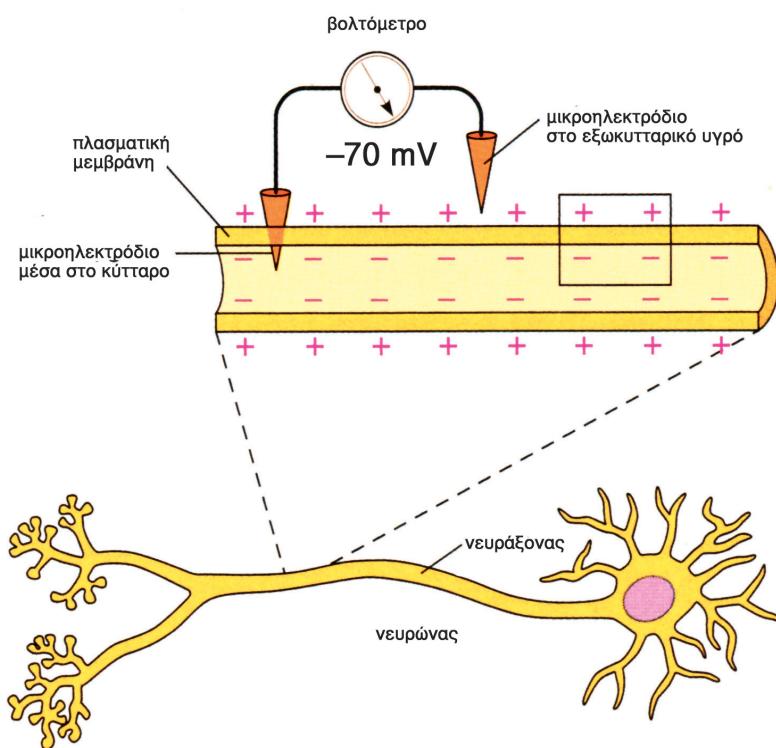
Το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να μετρηθεί, χρησιμοποιώντας παλμογράφο και δύο ηλεκτρόδια, ένα τοποθετημένο στο νευράξονα του νευρώνα και ένα στο εξωκυττάριο περιβάλλον του νευρώνα. Το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να διαφοροποιηθεί ως αποτέλεσμα ερεθίσματος. Αν γίνει θετικότερο, για παράδειγμα, από -70 mV γίνει -50 mV , τότε έχουμε **εκπόλωση**, ενώ αν γίνει αρνητικότερο (π.χ. από -70 mV γίνει -80 mV), τότε έχουμε **υπερπόλωση**.



Εικ. 11.5 Η δημιουργία του δυναμικού ηρεμίας: τα ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά υγρά έχουν διαφορετική ιοντική σύνθεση. Φαίνονται, κατά προσέγγιση, οι συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου, καλίου, χλωρίου και άλλων ανιόντων. Τα ιόντα καλίου διαχέονται έξω από το κύτταρο μέσα από πύλες πρωτεΐνων καναλιών της μεμβράνης, όχι όμως και τα ανιόντα, λόγω των μεγέθους των. Έτσι, το εσωτερικό των κυττάρων αναπτύσσει αρνητικό φορτίο. Παρατηρείται, λοιπόν, μια σταθερή μεταφορά ιόντων καλίου, με διάχυση, έξω από το κύτταρο και ταυτόχρονα διάχυση ιόντων νατρίου από έξω προς το εσωτερικό των κυττάρων. Η διαφορά πάχους στα διο βέλη του σχεδιαγράμματος αντικατοπτρίζει τη σχετική διαπερατότητα της πλασματικής μεμβράνης στα ιόντα νατρίου και καλίου. Η αποκατάσταση της ισοδροπίας που τελικά θα επεφέρει η διάχυση δεν επιτυγχάνεται, λόγω της δράσης της αντλίας ιόντων νατρίου / καλίου, η οποία βέβαια είναι ενεργητική διαδικασία και στηρίζεται στη χορηγία που τελικά θα

Πίνακας 11.1 Η ιοντική σύνθεση του κυτταροπλάσματος και του εξωκυττάριου υγρού (ΕΥ)

Iόν	Συγκέντρωση στο κυτταροπλάσμα (mM)	Συγκέντρωση στο ΕΥ (mM)	Αναλογία	Δυναμικό ισοδροπίας (mV)
Na ⁺	15	150	10:1	+60
K ⁺	150	5	1:30	-90
Cl ⁻	10	120	12:1	-70

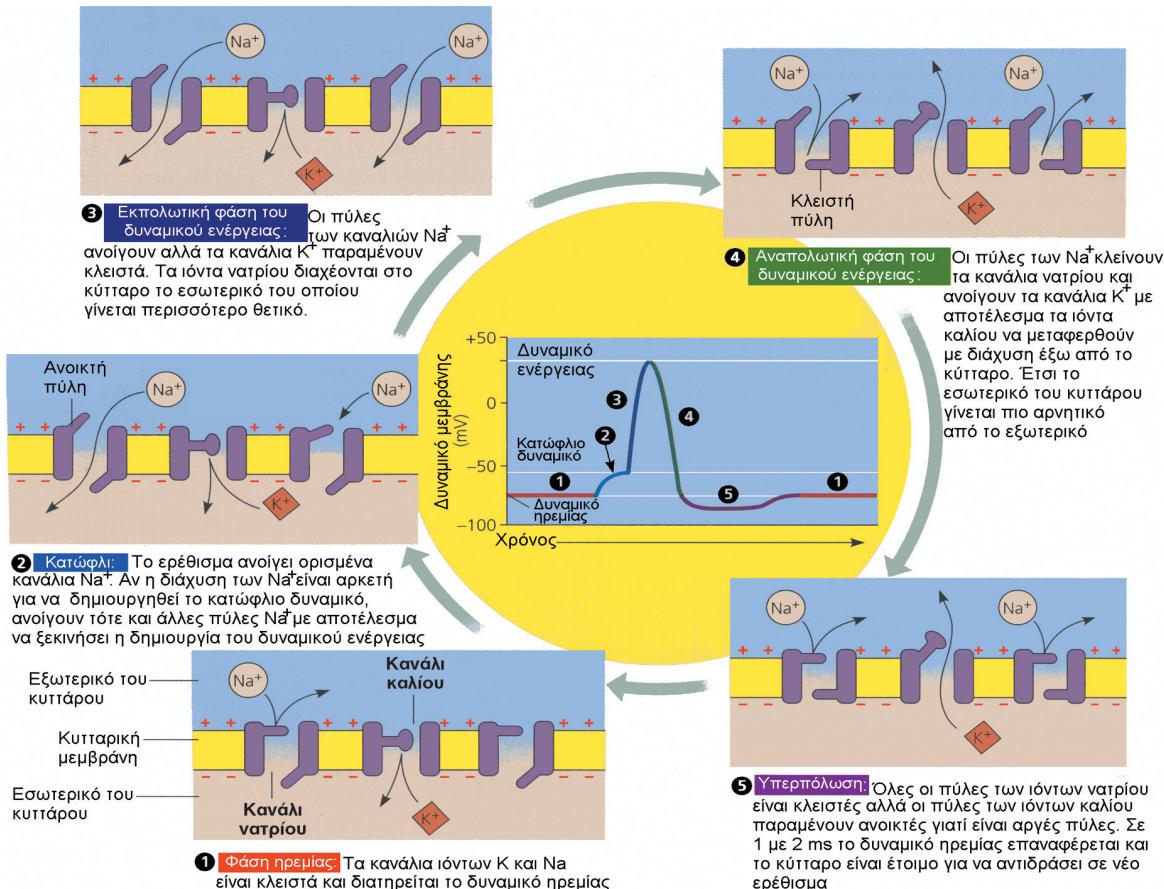


(Η στήλη στα δεξιά αναφέρεται στο δυναμικό ισοδροπίας στην περίπτωση που το κάθε ιόν υπήρχε μόνο του, χωρίς δηλαδή παρουσία άλλων ιόντων. Για παράδειγμα, αν υπήρχαν μόνο ιόντα καλίου, η διαφορά δυναμικού που θα δημιουργηθεί από τη διάχυση των ιόντων προς τα έξω θα ισοδροπηθεί τελικά από την ηλεκτρική έλξη των ιόντων προς τα μέσα, αφού τα ανιόντα παραμένουν στο κυτταροπλάσμα. Τελικά, το δυναμικό ηρεμίας δεν είναι -90 mV αλλά -70 mV, διότι υπάρχει λίγη διάχυση ιόντων νατρίου στο κυτταροπλάσμα).

Εικ. 11.6 Μέτρηση δυναμικού ηρεμίας

11.2 Η ΝΕΥΡΙΚΗ ΩΣΗ

Τα νευρικά και τα μηνικά κύτταρα είναι κύτταρα ηλεκτρικά διεγέρσιμα. Τα κανάλια μέσα από τα οποία περνούν τα ιόντα νατρίου και καλίου διαθέτουν «πύλες» που ανοίγουν ή κλείνουν τους πόδους των καναλιών. Αν θα ανοίξουν ή αν θα κλείσουν οι πύλες, αυτό εξαρτάται από το δυναμικό μεμβράνης. Όταν το κύτταρο βρίσκεται σε ηρεμία, οι πύλες Na^+ είναι κλειστές αλλά πολλές πύλες K^+ είναι ανοικτές, με αποτέλεσμα το κύτταρο να είναι περισσότερο διαπερατό στο K^+ παρά στο Na^+ και έτσι να δημιουργείται το δυναμικό ηρεμίας (-70 mV).



Εικ. 11. 7 Ο ρόλος των καναλιών που διαθέτουν πύλες στη δημιουργία του δυναμικού ηρεγματού

Στο 1 τα κανάλια ιόντων νατρίου και καλίου είναι κλειστά. Στο 2 το ερεθίσμα φτάνει την κατώφλιο τιμή και στο 3 παρατηρείται η φάση της εκπόλωσης και η δημιουργία του δυναμικού ηρεγματού. Στο 4 παρατηρείται η φάση της επαναπόλωσης καθώς οι πύλες Na^+ κλείνουν και ανοίγουν οι πύλες K^+ . Στο 5 παρατηρείται υπερπόλωση διότι οι πύλες K^+ είναι σχετικά αργές και κλείνουν λίγο μετά αφότου κλείσουν οι πύλες Na^+ . Μετά από 2 msec αποκαθίσταται το δυναμικό ηρεμίας και το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί στο επόμενο ερεθίσμα.

Όταν ο βαθμός της εκπόλωσης της μεμβράνης φτάσει σε μια κρίσιμη τιμή που ονομάζεται **κατώφλιος τιμή** – ελάχιστη τιμή εντάσεως του ερεθίσματος – (μεταξύ -50 mV και -55 mV) παράγεται **νευρική ώση** ή **δυναμικό ηρεγματού**. Η εκπόλωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να ανοίξουν τα κανάλια Na^+ και K^+ , μόνο που τα κανάλια Na^+ ανοίγουν πρώτα. Έτσι, παρατηρείται ραγδαία διάχυση Na^+ στο εσωτερικό του κυττάρου που διαρκεί 1 ms και το δυναμικό μεμβράνης κινείται προς το θετικότερο. Αυτό που συμβαίνει στην πράξη είναι η αναστροφή στην πολικότητα της μεμβράνης καθώς τα Na^+ διαχένονται με ραγδαίους χυθούς στο εσωτερικό του κυττάρου. Το δυναμικό μεμβράνης αγγίζει τα $+30 \text{ mV}$ καθώς κλείνουν οι πύλες στα κανάλια των ιόντων καλίου γεγονός που διαρκεί πάλι 1 ms. Το δυναμικό ηρεγματού φτάνει τα $+30 \text{ mV}$ πριν ανοίξουν οι πύλες των καναλιών των ιόντων καλίου και αρχίζει η διάχυση των ιόντων από μέσα προς τα έξω (επαναπόλωση). Η συνεχιζόμενη έξοδος των ιόντων καλίου προκαλεί πρώτα υπερπόλωση, ενώ στη συνέχεια, με τη βοήθεια της αντλίας ιόντων νατρίου/καλίου, επανέρχεται το δυναμικό ηρεμίας.

Το δυναμικό ενέργειας έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά. Κατ' αρχή, η παραγωγή του ακολουθεί το νόμο του «όλο ή τίποτα», δηλαδή, η εκπολωτική διέγερση θα προκαλέσει τη δημιουργία του δυναμικού ενέργειας, αν και όταν φτάσει την κατώφλιο τιμή και μόνο τότε. Διεγέρσεις μικρότερης έντασης δεν προκαλούν παραγωγή δυναμικού ενέργειας. Μετά, τα δυναμικά ενέργειας αποτελούν πάντοτε ξεχωριστά γεγονότα, δηλαδή το κάθε ένα είναι αυτόνομο και αυτό γιατί, αμέσως μετά την παραγωγή του δυναμικού ενέργειας, η μεμβράνη καθίσταται ανερεθίστη για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η περίοδος λέγεται **ανερεθίστη περίοδος** και για να δημιουργηθεί μια νέα ώση, πρέπει το επόμενο υπερκατώφλιο ερέθισμα να φτάσει στο νευρόνια μετά την ανερεθίστη περίοδο, δηλαδή αφού περάσουν περίπου 2 msec, αφού τόσο διαρκεί το δυναμικό ενέργειας.

Η παραγωγή του δυναμικού ενέργειας (να θυμηθούμε ξανά ότι το δυναμικό ενέργειας είναι η νευρική ώση) είναι αποτέλεσμα της παθητικής και μόνο διάχυσης ιόντων. Η αντλία ιόντων νατρίου και καλίου, που είναι βέβαια ενεργητική, επαναφέρει τις συγκεντρώσεις αυτών των ιόντων στην προ της εκπόλωσης κατάσταση (δυναμικό ενέργειας).

Η αγωγή της νευρικής ώσης

Κατ' αρχίβεια, οι ώσεις δεν «ταξιδεύουν» κατά μήκος του νευράξονα σε ένα νευρόνια. Πρόκειται καλύτερα για γεγονότα που επισυμβαίνουν ξανά και ξανά σε διαφορετικά σημεία της μεμβράνης του νευράξονα. Έχουμε ήδη περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται η ώση. Η ίδια η ώση (δυναμικό ενέργειας) λειτουργεί ως επί μέρους εκπολωτικό ερέθισμα. Κάθε δυναμικό ενέργειας στα πρώτα του στάδια αντικατοπτρίζει την αναστροφή της πολικότητας της μεμβράνης, καθώς γίνεται η φραγματική διάχυση των Na^+ στο νευράξονα. Τα θετικά φροτισμένα ιόντα εκπολώνουν το επόμενο τμήμα του νευράξονα το οποίο παράγει το επόμενο δυναμικό ενέργειας, ενώ το προηγούμενο τμήμα επανέρχεται στην κατάσταση ηρεμίας, κάτι ανάλογο με το πλήθος σε ένα κατάμεστο στάδιο, όταν δημιουργεί το γνωστό «κύμα». Καθώς στρώνονται τα άτομα από το κάθισμά τους (εκπόλωση) και στρώνουν τα χέρια (κορύφωση του δυναμικού ενέργειας) και μετά ξανακάθονται (εδώ βέβαια δεν παρατηρείται υπερπόλωση), δίνεται η εντύπωση ενός κύματος που ταξιδεύει.

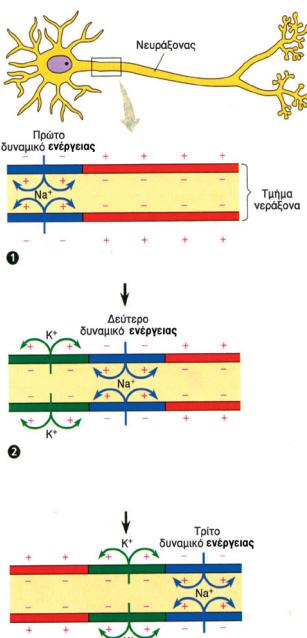
Ας κοιτάξουμε, όμως, λίγο πιο αναλυτικά τον τρόπο αγωγής της νευρικής ώσης. Στο σημείο ερεθίσμοι, κάπου 7000 ιόντα νατρίου διαχέονται φραγματικά στο κύτταρο από το εξωκυττάριο υγρό, δημιουργώντας φεύγμα ιόντων μεταξύ του εξωκυττάριου υγρού και του κυτταροπλάσματος. Το ηλεκτρικό φεύγμα διαπερνά την πλασματική μεμβράνη, λίγο πιο πέρα από το σημείο ερεθίσμοι, με αποτέλεσμα να την ερεθίσει και να προκαλέσει εκπόλωση και δημιουργία δεύτερου δυναμικού ενέργειας. Η φοή του ηλεκτρικού φεύγματος επαναλαμβάνεται και η μεμβράνη ερεθίζεται σε ακόμη πιο απόμακρο σημείο από το σημείο του αρχικού ερεθίσμοι.

Σε τελική ανάλυση, η δημιουργία της νευρικής ώσης και η αγωγή της είναι το αποτέλεσμα των ηλεκτροχημικών γεγονότων που παρατηρούνται κατά μήκος της μεμβράνης.

Η εικόνα 11.8 δείχνει παραστατικά την αγωγή της νευρικής ώσης.

Το μέγεθος των δυναμικών ενέργειας είναι πάντοτε το ίδιο και δεν εξαρτάται από την ένταση του ερεθίσματος. Η ένταση του ερεθίσματος επηρεάζει τη συχνότητα των δυναμικών ενέργειας. Η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από τη διάμετρο του νευράξονα και το είδος του, αν υπάρχει ή όχι μυελίνη, για παράδειγμα.

Στα θηλαστικά έχει αναπτυχθεί μηχανισμός ταχύτερης διάδοσης των



Εικ. 11.8 Η αγωγή της νευρικής ώσης:

Στο (1) δημιουργείται ώση, καθώς διαχέονται τα ιόντα νατρίου στο κύτταρο. Η επιπλόωση των πρώτων διναμικών ενέργειας επηρεάζει το άμεσο περιβάλλον της μεμβράνης (λόγω των τοπικών ηλεκτρικών ουσιών), με αποτέλεσμα να εκπολωθεί το επόμενο τμήμα, όπου και δημιουργείται νέο διναμικό ενέργειας (2). Το πρώτο τμήμα επαναπολώνεται, καθώς διαχέονται εκτός κυττάρων τα ιόντα καλίου. Στο (3) παρατηρείται επανάληψη των γεγονότων που συντηρούνται από τα τοπικά ρείματα ιόντων, τα οποία στην ουσία είναι υπειδίνα για τη δημιουργία του επόμενου διναμικού ενέργειας.

ώσεων στον οποίο συμμετέχει η μυελίνη που εναποτίθεται στον νευράξονα από τα κύτταρα Schwann. Στους εμμύελους νευρώνες, οι διαμεμβρανικές πρωτεΐνες που επιτρέπουν την είσοδο και έξοδο των ιόντων, βρίσκονται μόνο στα κενά του νευράξονα, δηλαδή εκεί όπου δεν υπάρχει μυελίνη. Το εξωκυττάριο υγρό βρίσκεται σε επαφή με το νευράξονα μόνο εκεί που δεν υπάρχει μυελίνη και μόνο σ' αυτά τα σημεία μπορεί να γίνει ανταλλαγή ιόντων μεταξύ του κυττάρου και του περιβάλλοντός του. Έτσι, η νευρική ώση δε διαδίδεται κατά συνεχή τρόπο κατά μήκος του νευράξονα, αλλά «πηδά» από κενό σε κενό, αποφεύγοντας το μονωμένο μέρος του νευράξονα. Με αυτό τον τρόπο η ταχύτητα διάδοσης των νευρικών ώσεων αυξάνεται σημαντικά.

Ο πίνακας 11.2 παρουσιάζει, ενδεικτικά, την ταχύτητα αγωγής ορισμένων νευραξόνων. Γενικά, η ταχύτητα επηρεάζεται από τη διάμετρο του νευράξονα και είναι ανάλογη με τη διάτομη του νευράξονα. Αυτό σημαίνει πως όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος του νευράξονα, τόσο πιο μεγάλη θα είναι και η ταχύτητα αγωγής της νευρικής ώσης.

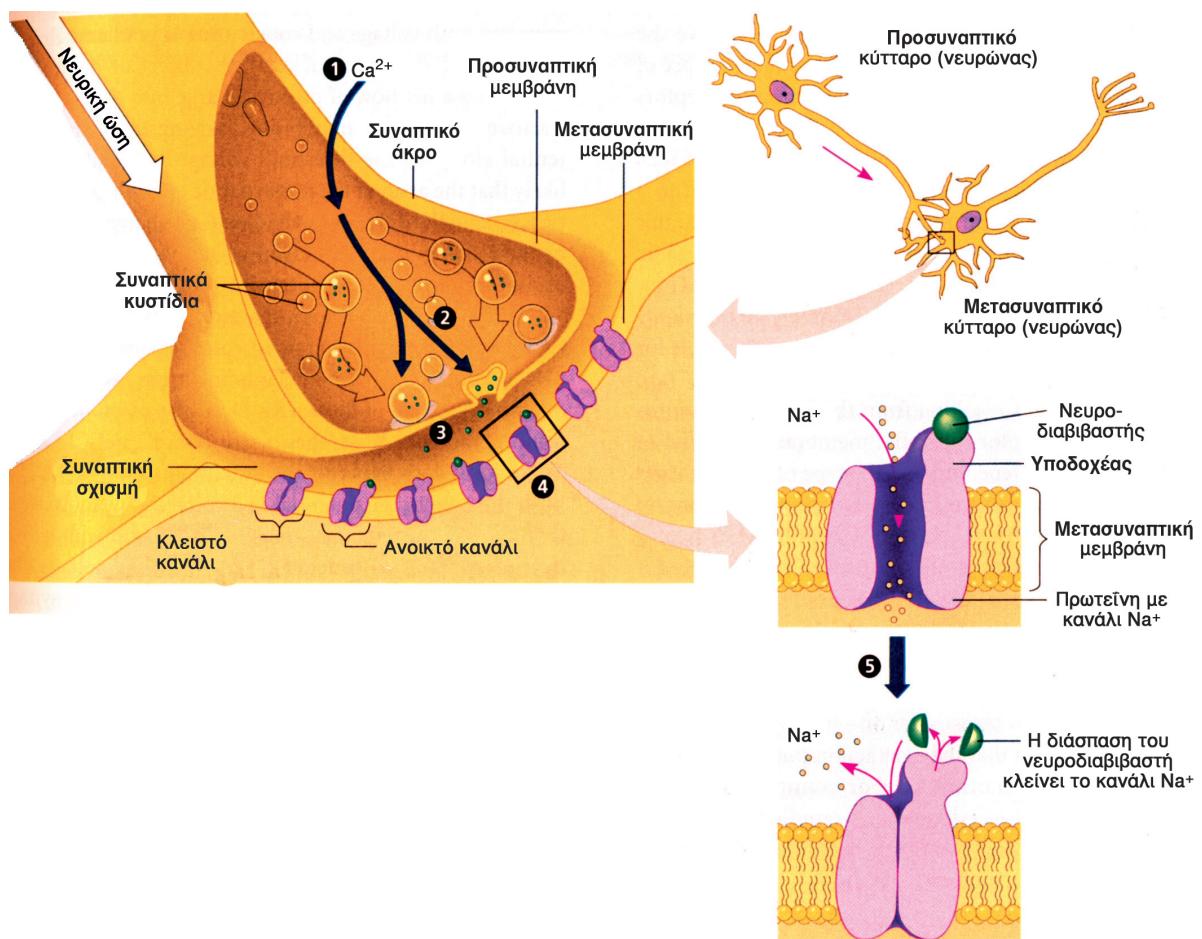
Πίνακας 11.2 Ταχύτητα αγωγής ορισμένων νευραξόνων

	Διάμετρος νευράξονα (μμ)	Μυελίνη	Ταχύτητα αγωγής (m/s)
Γιγαντονευράξονας καλαμαριού.	500	OXI	25
Κινητικός νευράξονας του ποδιού.	20	NAI	120
Νευράξονας υποδοχέα πίεσης στο χέρι.	10	NAI	50
Νευράξονας υποδοχέα θερμότητας στο χέρι.	5	NAI	20
Κινητικός νευράξονας των εσωτερικών οργάνων.	1	OXI	2

Η μεταβίβαση της νευρικής ώσης από κύτταρο σε κύτταρο

Το σημείο όπου γίνεται η μεταβίβαση μιας ώσης από το ένα κύτταρο στο άλλο, λέγεται **σύναψη**. Η κάθε σύναψη περιλαμβάνει την **προσυναπτική μεμβράνη** του ενός κυττάρου, τη **μετασυναπτική μεμβράνη** του επόμενου κυττάρου και ένα μικρό διάστημα που χωρίζει τις δύο μεμβράνες το οποίο ονομάζεται **συναπτική σχισμή** και το οποίο έχει εύρος μόλις 20 nm.

Όταν η νευρική ώση φτάσει στο συναπτικό όριο ενός νευρώνα, προκαλείται ένα χημικό μήνυμα το οποίο «γεφυρώνει» τη συναπτική σχισμή και επαναδημιουργεί νευρική ώση στη μετασυναπτική μεμβράνη. Αυτό σημαίνει πως οι πιο πολλές συνάψεις είναι χημικές, αλλά υπάρχουν και ορισμένες που είναι ηλεκτρικές και απαντώνται κυρίως σε ασπόνδυλους οργανισμούς. Η μελέτη της δομής της σύναψης ωρίνει άπλετο φως στη λειτουργία της.



Στο κυτταρόπλασμα, λίγο πριν το προσυναπτικό άκρο, απαντώνται πολυάριθμα κυττάδια, που ονομάζονται **συναπτικά κυττάδια**. Κάθε συναπτικό κυττάδιο περιέχει χιλιάδες μόρια ειδικών χημικών ουσιών, των νευροδιαβιβαστών, όπως είναι η ακετυλοχολίνη, η επινεφρίνη και η σεροτονίνη. Ο νευροδιαβιβαστής εκκρίνεται στη συναπτική σχισμή και αποτελεί ένα είδος διακυτταρικού αγγελιαφόρου (χημικό μήνυμα). Όταν φτάσει η νευρική ώση στο συναπτικό άκρο, εκπολώνεται τελικά η προσυναπτική μεμβράνη και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισέλθουν στο κύτταρο ιόντα ασβεστίου μέσα από κανάλια διαμεμβρανικών πρωτεΐνων που διαθέτουν πύλες. Η παρουσία των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στο κύτταρο διεγείρει τα συναπτικά κυττάδια, ώστε να προχωρήσουν προς την προσυναπτική μεμβράνη και να συνενωθούν μαζί της, με αποτέλεσμα ο νευροδιαβιβαστής που περιέχουν να αδειάσει στη συναπτική σχισμή (εξωκυττάρωση). Η παρουσία ενός και μόνο δυναμικού ενέργειας μπορεί να προκαλέσει την αντίδραση χιλιάδων συναπτικών κυττάδιων.

Εικ. 11.9 Η μεταβίβαση της νευρικής ώσης σε σύναψη

Η μετασυναπτική μεμβράνη είναι ειδικά προσαρμοσμένη, για να ανταποκρίνεται στην παρουσία των νευροδιαβιβαστών. Διαμεμβρανικές πρωτεΐνες στο μέρος της μετασυναπτικής μεμβράνης που είναι απέναντι από την προσυναπτική, διαθέτουν υποδοχείς των οποίων η λειτουργία είναι να δεσμεύουν τα μόρια του νευροδιαβιβαστή. Μόλις συμβεί αυτό, ανοίγουν στη μετασυναπτική μεμβράνη οι πύλες των καναλιών Na^+ , με αποτέλεσμα να εισχωρήσουν τα ιόντα νατρίου στο εσωτερικό του κυττάρου και να προκαλέσουν εκπόλωση και δημιουργία δυναμικού ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο ο κύκλος της διέγερσης μεταδίδεται στο επόμενο κύτταρο. Στη συνέχεια, τα μόρια του νευροδιαβιβαστή διασπώνται με την επίδραση ενζύμου. Αυτό προκαλεί το κλείσιμο των πυλών των καναλιών

Na⁺ και τον τερματισμό της διαδικασίας (μεταβίβαση της νευρικής ώσης). Τα προϊόντα διάσπασης του νευροδιαβιβαστή καταλήγουν στο προσυναπτικό κύτταρο και χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση νέων μορίων του νευροδιαβιβαστή. Αν ο νευροδιαβιβαστής δε διασπαστεί, τότε η μετασυναπτική μεμβράνη παραμένει εκπολωμένη και δεν μπορεί να δεχθεί νέα ερεθίσματα. Αν η εκπόλωση που προκαλεί ο νευροδιαβιβαστής δεν είναι επαρκής, δηλαδή, δεν ξεπερνά την κατώφλια τιμή, τότε δε θα δημιουργηθεί ώση στο κύτταρο.

Επίσης, εκτός από διέγερση, υπάρχουν και νευροδιαβιβαστές που προκαλούν αναστολή, δηλαδή υπερπόλωση αντί εκπόλωση του μετασυναπτικού νευρώνα.

Μια σημαντική λειτουργία των συνάψεων είναι το γεγονός ότι εξασφαλίζουν τη μεταβίβαση μιας νευρικής ώσης προς μια μόνο κατεύθυνση, διότι τα συναπτικά κυστίδια βρίσκονται στη μια μόνο πλευρά του συναπτικού χώρου.

11.3 ANTANAKLASTIKA

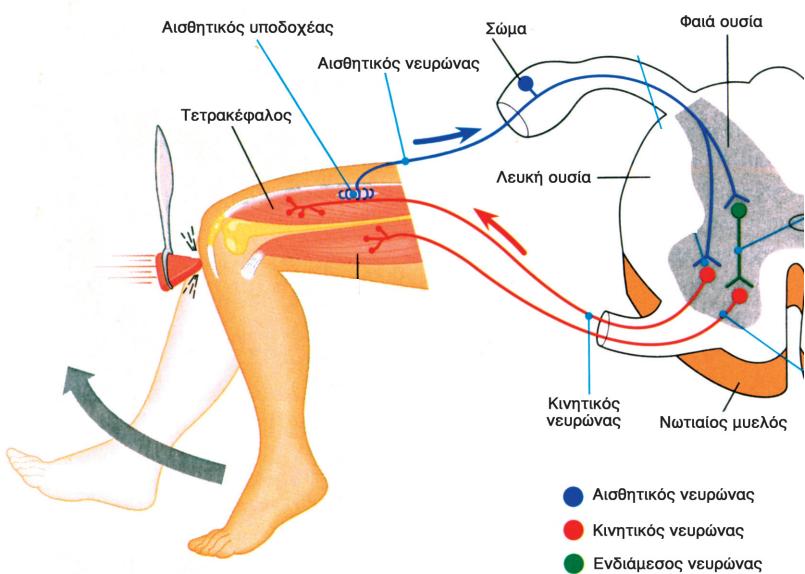
Αντανακλαστικό είναι η στερεότυπη, αυτόματη απάντηση του νευρικού συστήματος μετά από την επίδραση ενός ερεθίσματος.

Έχει ήδη λεχθεί ότι οι νευρώνες και τα μυϊκά κύτταρα είναι διεγέρσιμα κύτταρα. Θα δούμε στη συνέχεια τον τρόπο συνεργασίας ενός μυϊκού κυττάρου και ενός νευρώνα σε ένα από τα απλούστερα αντανακλαστικά του ανθρώπινου οργανισμού, στο μυοτατικό αντανακλαστικό, που περιλαμβάνει τη συμμετοχή αισθητικών και κινητικών νευρώνων μόνο.

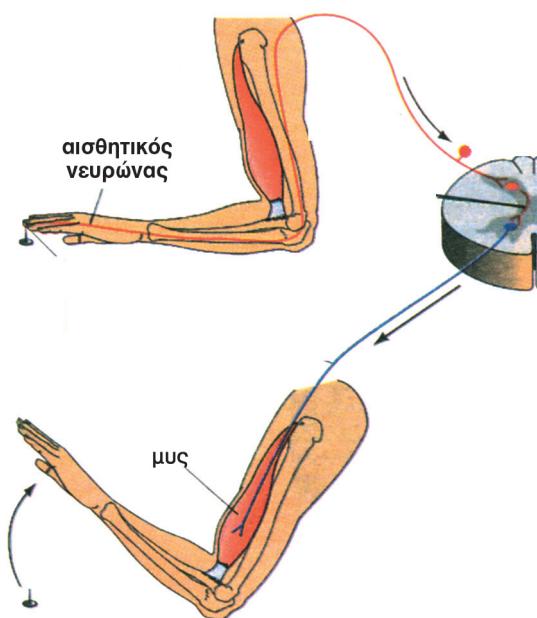
Το μυοτατικό αντανακλαστικό του γονάτου

Όπως φαίνεται στην εικόνα 11.10, ο τένοντας κάτω από την επιγονατίδα δέχεται απότομο κτύπημα. Το χτύπημα προκαλεί απότομη διάταση του τετρακέφαλου και αυτή η διάταση εντοπίζεται από αισθητικούς υποδοχείς στον τετρακέφαλο. Η διαπερατότητα της μεμβράνης των υποδοχέων στο Na⁺ αυξάνεται με αποτέλεσμα να προκληθεί είσοδος Na⁺, εκπόλωση και δημιουργία νευρικών ώσεων. Οι ώσεις άγονται στο νωτιαίο μινελό, όπου οι αισθητικοί νευρώνες συνάπτονται με κινητικούς νευρώνες. Ακολουθεί η διέγερση των κινητικών νευρώνων των οποίων οι νευρικές ώσεις άγονται στις νευρομυϊκές συνάψεις, όπου απελευθερώνεται ακετυλοχολίνη η οποία οδηγεί στη διέγερση και συστολή του τετρακέφαλου. Η διαδικασία που περιγράψαμε είναι εξαιρετικά γρήγορη και συνολικά διαρκεί μόνο 40 msec.

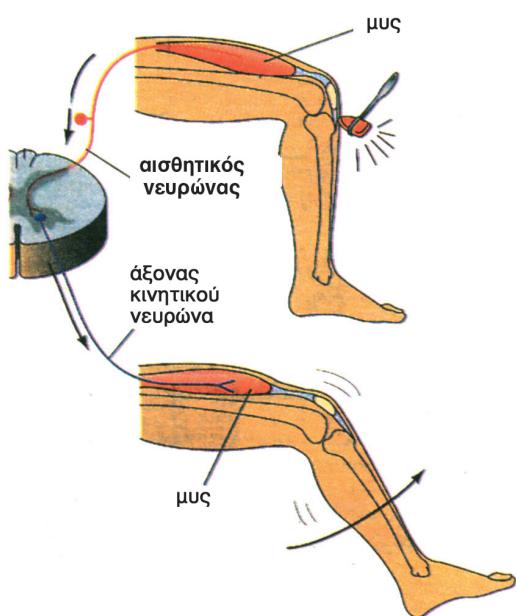
Τα αντανακλαστικά έχουν μεγάλη σημασία στην επιβίωση των οργανισμών. Άλλα παραδείγματα αντανακλαστικών είναι το εικονιζόμενο αντανακλαστικό που παριστάνει την απομάκρυνση του χεριού από επικίνδυνο αντικείμενο (πινέξα) (μπορείτε να περιγράψετε το αντανακλαστικό αυτό), η μείωση του ανοιγματος της κόρης του ματιού σε έντονο φως, η ορύθμιση του καρδιακού ρυθμού και η ορύθμιση της αρτηριακής πίεσης.



Eικ. 11.10 Αντανακλαστικό του γονάτου



Eικ. 11.11 Απομάζουνση από επικίνδυνο αντικείμενο



Eικ. 11.12 Αντανακλαστικό τόξο

