

## Κεφάλαιο 9: Δυναμικό Ηρεμίας και Νευρική Ώση

### Δυναμικό Ηρεμίας -Νευρική Ώση

- Όταν ένα νευρικό κύτταρο **ηρεμεί** (δηλαδή δεν παράγει και δε μεταβιβάζει μηνύματα), μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας της **μεμβράνης** του, καταγράφεται μία συγκεκριμένη **διαφορά δυναμικού** που ονομάζεται **δυναμικό ηρεμίας**.
- Στην περίπτωση που το νευρικό κύτταρο δεχτεί ένα **ερέθισμα**, το δυναμικό αυτό μεταβάλλεται και τελικά αποκτά μία τιμή που ονομάζεται **δυναμικό ενέργειας**.

### Δυναμικό Ηρεμίας – Νευρική Ώση

- Η **μεταβίβαση** αυτής της μεταβολής κατά μήκος του **νευρικού κυττάρου**, ονομάζεται **νευρική Ώση** και αποτελεί το **μηχανισμό** με τον οποίο το μήνυμα που ευαισθητοποιεί το νευρώνα μεταβιβάζεται σε άλλα κύτταρα.

### Δυναμικό Ηρεμίας

1. Πότε ένας νευρώνας βρίσκεται σε ηρεμία;

**Απάντηση:** Ένας νευρώνας βρίσκεται σε ηρεμία όταν δε δέχεται κάποιο ερέθισμα, όταν δέχεται ερεθίσματα με ένταση μικρότερη από κάποια οριακή τιμή.

2. Ποια είναι η κατανομή στη συγκέντρωση των ιόντων  $K^+$  και  $Na^+$  καθώς και των αρνητικών ιόντων ( $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ , κ.α) ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά ενός νευρώνα σε ηρεμία και με ποιο μηχανισμό αυτή διατηρείται;

**Απάντηση:** Υπάρχει άνιση κατανομή των ιόντων έξω και μέσα στο κύτταρο. Συγκεκριμένα στο εξωκυτταρικό περιβάλλον υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων  $Na^+$ , ενώ μέσα στο κύτταρο υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων  $K^+$  και αρνητικών ιόντων.

Η άνιση αυτή κατανομή διατηρείται με τη βοήθεια ενός μηχανισμού ενεργητικής μεταφοράς που ονομάζεται αντλία  $Na^+ / K^+$  (ειδική πρωτεΐνη που βρίσκεται στη μεμβράνη των νευρικών κυττάρων). Η αντλία αυτή εισάγει στο εσωτερικό του κυττάρου δύο ιόντα  $K^+$ , ενώ απομακρύνει τρία ιόντα  $Na^+$ . Τα αρνητικά ιόντα διαχέονται ελάχιστα. Επίσης ειδικοί διάλυτοι (περάσματα ιόντων) ιόντων  $Na^+$  είναι κλειστοί, ενώ οι διάλυτοι  $K^+$  είναι ανοιχτοί, αν και ελάχιστα ιόντα καλίου διαχέονται προς τα έξω.

3. Τι ονομάζεται δυναμικό “ηρεμίας”;

**Απάντηση:** Είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής κυτταρικής μεμβράνης ενός νευρώνα σε ηρεμία (δεν επιδρά σε κάποιο ερέθισμα).

4. Ποια είναι περίπου η τιμή του;

**Απάντηση:** Είναι περίπου  $-70$  mV, επειδή η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης είναι ηλεκτραρνητικά φορτισμένη σε σχέση με την εξωτερική.

5. Πως δημιουργείται;

**Απάντηση:** Δημιουργείται λόγω της άνισης κατανομής των ιόντων μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης του νευρώνα, δηλαδή επειδή υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση αρνητικών ιόντων στην εσωτερική και θετικών ιόντων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης.

6. Πως διατηρείται;

**Απάντηση:** Διατηρείται (**α**) λόγω της αντλίας  $Na^+ / K^+$  και (**β**) λόγω του γεγονότος ότι τα αρνητικά ιόντα διαχέονται ελάχιστα μέσω της κυτταρικής μεμβράνης του νευρώνα.

7. Σε ποιες περιπτώσεις η μεμβράνη διατηρεί την ηρεμία της;

**Απάντηση:** Το “δυναμικό ηρεμίας” διατηρείται για όσο διάστημα είτε δεν επιδρά σ’ αυτή ερέθισμα, είτε το ερέθισμα έχει ένταση μικρότερη από κάποια οριακή τιμή.

## Νευρική Ώση

1. Τι είναι τα ερεθίσματα;

**Απάντηση:** Είναι οι ενεργειακές μεταβολές του περιβάλλοντος.

2. Να αναφέρετε παραδείγματα ερεθισμάτων που μπορούν να προκαλέσουν νευρική ώση.

**Απάντηση:** Χημικά, ηλεκτρικά, μηχανικά, θερμικά, κ.λ.π

3. Ποια ένταση πρέπει να έχει ένα ερέθισμα για να προκαλέσει νευρική ώση;

**Απάντηση:** Η έντασή του θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από μία οριακή τιμή.

4. Από τι εξαρτάται η οριακή τιμή στην ένταση του ερεθίσματος για να προκληθεί νευρική ώση σε αυτά;

**Απάντηση:** Εξαρτάται από το είδος του νευρώνα.

5. Να περιγράψετε τα βήματα για την παραγωγή μιας νευρικής ώσης σε έναν νευρώνα.

**Απάντηση:**

- Επίδραση στο νευρώνα ερεθίσματος με ένταση μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη (οριακή) τιμή.
- Αύξηση, για περίπου 1msec της διαπερατότητας της μεμβράνης σε  $\text{Na}^+$ , επειδή ανοίγουν οι διάυλοι  $\text{Na}^+$  της μεμβράνης.
- Μαζική εισροή ιόντων  $\text{Na}^+$  στο εσωτερικό του κυττάρου ( λόγω διαφοράς στη συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης).
- Η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης του νευρώνα φορτίζεται θετικά σε σχέση με την εξωτερική και η διαφορά δυναμικού φθάνει στην τιμή των + 50 mV (**δυναμικό ενέργειας**) περίπου (**αναστροφή του δυναμικού ηρεμίας**).
- Μείωση της διαπερατότητας της μεμβράνης στα  $\text{Na}^+$  επειδή κλείνουν οι διάυλοι/κανάλια του νατρίου.
- Αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης στα ιόντα  $\text{K}^+$ .
- Μαζική έξοδος των  $\text{K}^+$  μέσω των διαύλων καλίου από το κύτταρο (εξαιτίας της διαφοράς συγκέντρωσης  $\text{K}^+$  εντός και εκτός του κυττάρου/εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης) με αποτέλεσμα το δυναμικό της μεμβράνης να φθάνει σε τιμές μικρότερες των -70 mV (περίπου -90 mV).
- Μείωση της διαπερατότητας της μεμβράνης στα  $\text{K}^+$ .
- Η διαπερατότητα της μεμβράνης στα ιόντα καλίου και νατρίου επανέρχεται στα επίπεδα που βρισκόταν πριν την επίδραση του ερεθίσματος, οπότε επανέρχεται και η κατανομή των ιόντων στα αρχικά επίπεδα με τη βοήθεια της αντλίας  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  και τελικά αποκαθίσταται το δυναμικό ηρεμίας στα -70 mV.

6. Τι ονομάζεται “δυναμικό ενέργειας”;

**Απάντηση:** Ονομάζεται η σύντομη μεταβολή στο δυναμικό της μεμβράνης, όταν ένα ερέθισμα επιδρά στο νευρώνα (αναστροφή του δυναμικού ηρεμίας).

7. Πως μεταδίδεται το “δυναμικό ενέργειας” κατά μήκος του νευράξονα;

**Απάντηση:** Μεταδίδεται με σταδιακή μεταφορά των αντίστοιχων μεταβολών του δυναμικού της μεμβράνης που αποτελούν το ερέθισμα σε γειτονικές περιοχές της, με συγκεκριμένη κατεύθυνση.

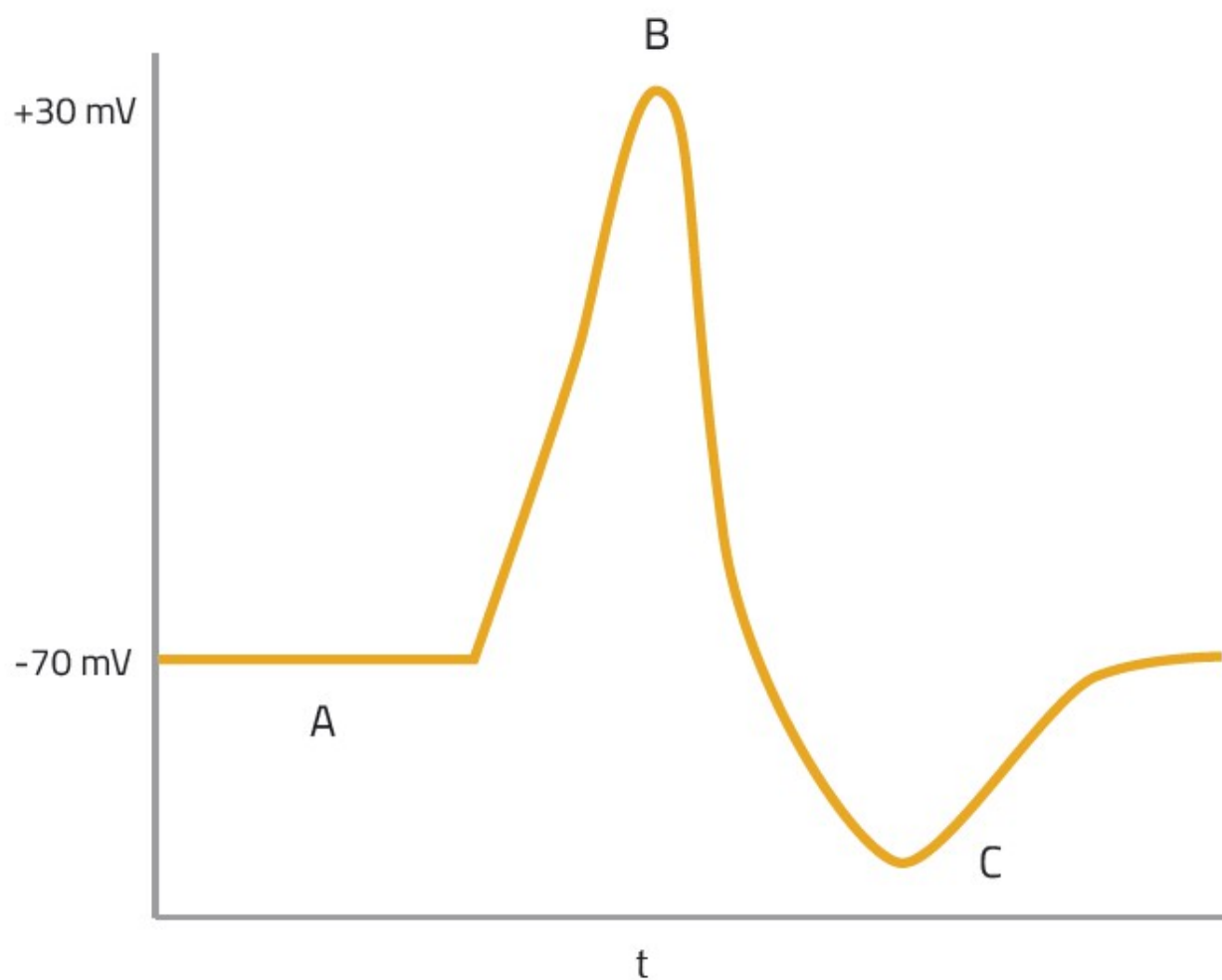
8. Τι ονομάζεται “νευρική ώση”;

**Απάντηση:** Η μετάδοση του “δυναμικού ενέργειας” κατά μήκος του νευράξονα.

9. Τι ονομάζεται “ανερέθιστη περίοδος”;

**Απάντηση:** Ο νευρώνας μπορεί να αποκριθεί σε νέο ερέθισμα μόνο μετά την παρέλευση 0,5-2 msec από τη δημιουργία της νευρικής ώσης. Το διάστημα αυτό ονομάζεται “ανερέθιστη περίοδος”.

## Δυναμικό Ηρεμίας-Δυναμικό Ενεργείας

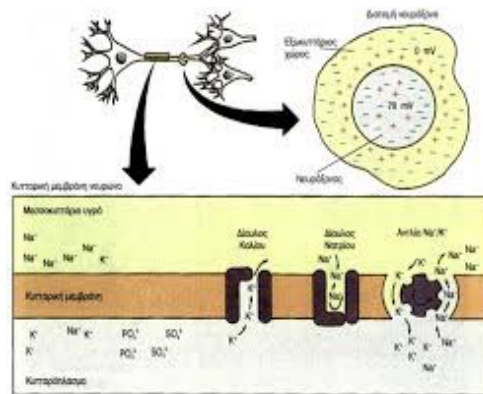


**Εικόνα 1:** Το διάγραμμα απεικονίζει τη διαφορά δυναμικού κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης σε συνάρτηση με τον χρόνο, όταν ένας νευρώνας έχει διεγερθεί.

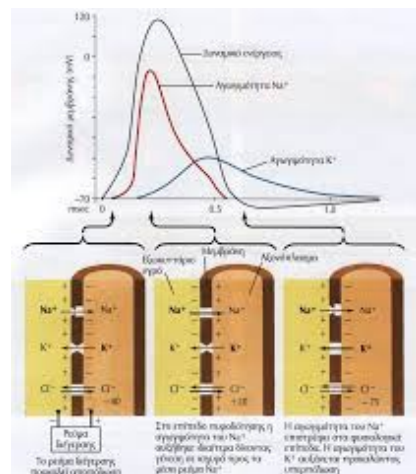
**A:** Το δυναμικό ηρεμίας

**B:** Το δυναμικό ενεργείας

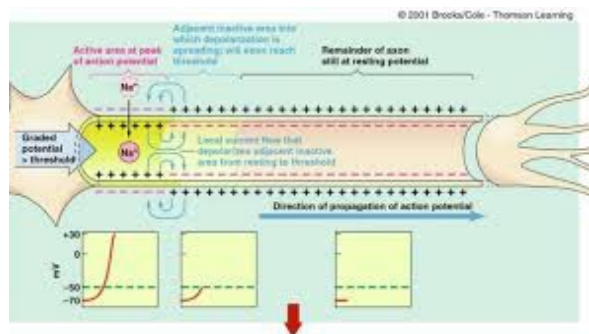
**C:** Η αποκατάσταση του δυναμικού ηρεμίας



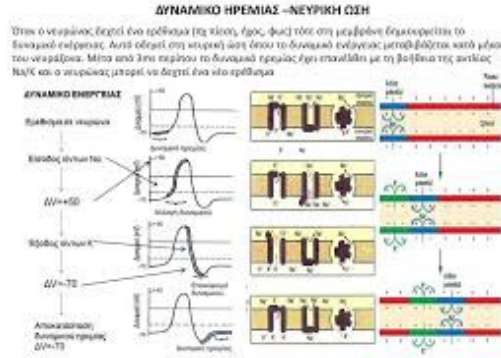
**Εικόνα 2:** Τα κανάλια  $\text{Na}^+$  και τα κανάλια  $\text{K}^+$  συμβάλλουν στη διαμόρφωση του δυναμικού ενεργείας.



**Εικόνα 3:** Συσχέτιση της δράσης των καναλιών με τη δημιουργία του δυναμικού ενεργείας και τη μεταφορά του κατά μήκος της μεμβράνης (νευρική ώση).



**Εικόνα 4:** Μεταφορά του δυναμικού ηρεμίας κατά μήκος του νευράξονα, που αντιστοιχεί στη δημιουργία νευρικής ώσης.



**Εικόνα 5:** Συσχετισμός διαφοράς δυναμικού ηρεμίας, δυναμικού ενεργείας, και μεταφοράς της νευρικής ώσης κατά μήκος του νευράξονα.

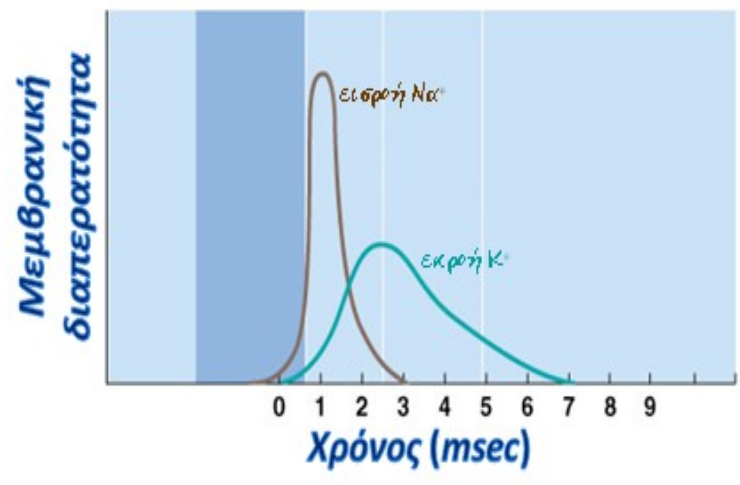
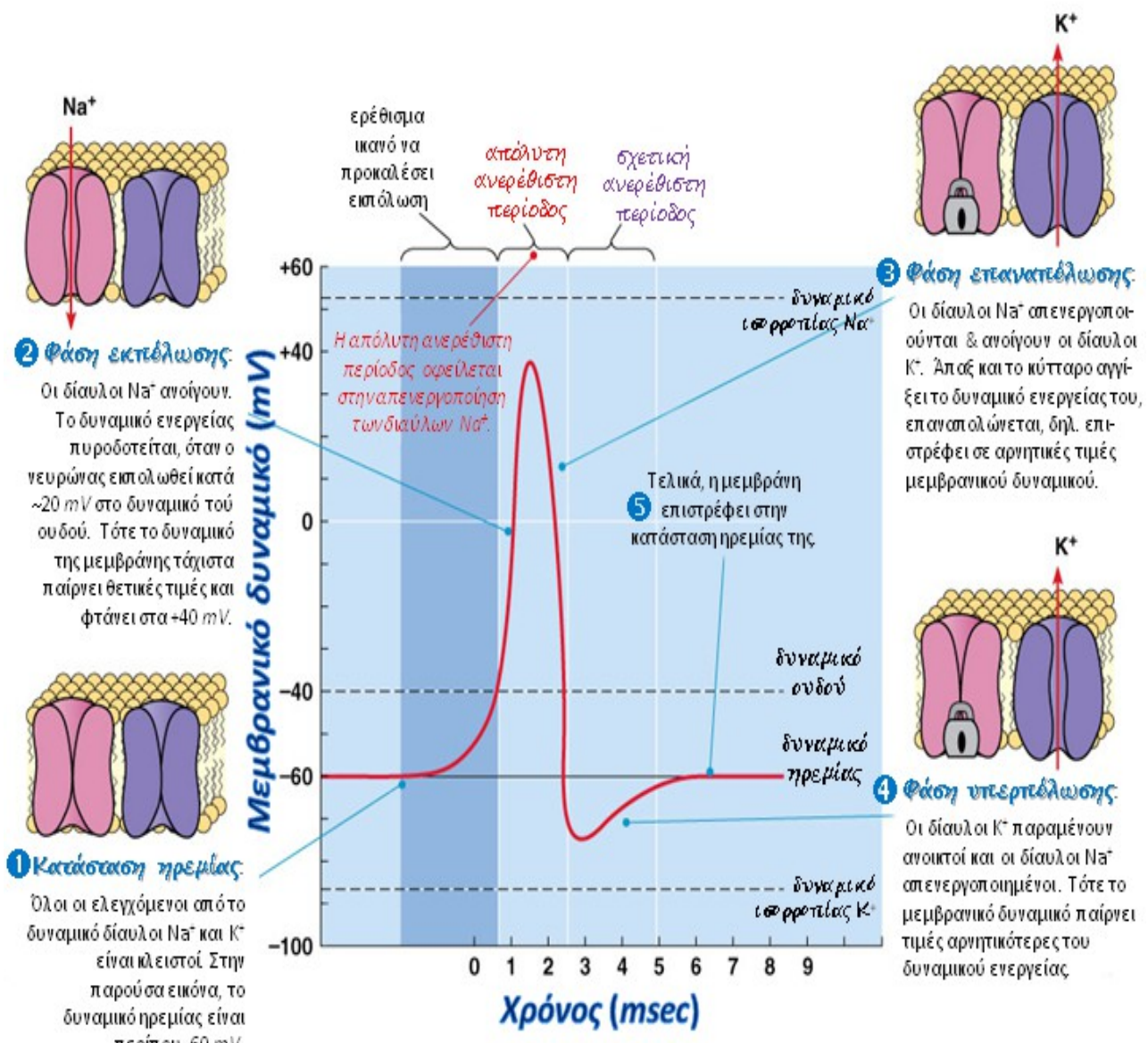
## Με ποια διαδικασία γίνεται αντιληπτό ένα ερέθισμα;

**Νευρική ώση :**

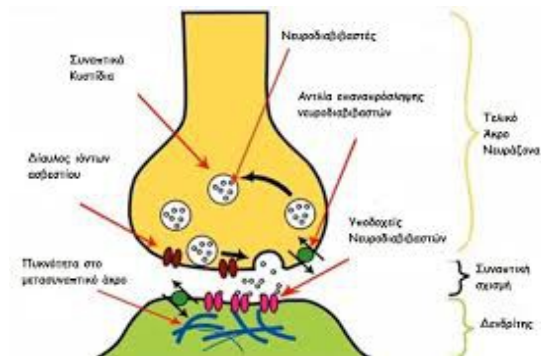
- Οι σύντομες μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης μεταδίδονται στις διπλανές περιοχές της μεμβράνης και με αυτόν τον τρόπο το δυναμικό μεταδίδεται κατά μήκος του νευράξονα σε μία κατεύθυνση (Νευρική ώση)
- Μετά το πρώτο ερέθισμα ο νευρώνας θα απαντήσει σε νέο ερέθισμα μόνο μετά από ένα χρονικό διάστημα 0,5-2 msec. Αυτή η περίοδος ονομάζεται ανερέθιστη περίοδος (λόγω αυτής το ερέθισμα ταξιδεύει μόνο προς μία κατεύθυνση)

**Εικόνα 6:** Με ποια διαδικασία γίνεται αντιληπτό ένα ερέθισμα





Εικόνα 6: Στάδια δημιουργίας νευρικής ώσης



Εικόνα 7: Μεταφορά νευρικής ώσης μέσω των συνάψεων

Σελ. 141

## Δυναμικό ηρεμίας – νευρική ώση

- Όταν ένα νευρικό κύτταρο **ηρεμεί** (δηλαδή δεν παράγει και δεν μεταβιβάζει μηνύματα), μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας της **μεμβράνης** του, καταγράφεται μια συγκεκριμένη **διαφορά δυναμικού**, που ονομάζεται **δυναμικό ηρεμίας**.
- Στην περίπτωση που το νευρικό κύτταρο δεχτεί ένα **ερέθισμα**, το δυναμικό αυτό μεταβάλλεται και τελικώς αποκτά μια τιμή που ονομάζεται **δυναμικό ενέργειας**.



Βιολογία Α' Λυκ. - Θ.Ταντανάσης

Δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης σε mV

23

Εικόνα 8: Σχέση δυναμικού ηρεμίας και νευρικής ώσης





