



Co-funded by
the European Union

Διδακτική ενότητα: Νευρώνες: βιολογικό και φυσικό μοντέλο μετάδοσης ηλεκτρικού σήματος

DiFC - Πανεπιστήμιο του Παλέρμο



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





Περιεχόμενα

1. Νευροεπιστήμη	3
Νευρώνες: βιολογικά και φυσικά μοντέλα μετάδοσης ηλεκτρικού σήματος	3
2. Εξερεύνηση Ενότητας	4
Φάση «προσόρμισης»	4
Δραστηριότητες καταιγισμού ιδεών στην τάξη	4
Βασικό Επίπεδο	5
Νευρώνες	5
Η γένεση του νευρικού ερεθίσματος	6
Το φυσικό μοντέλο διάδοσης σήματος σε έναν νευρώνα	9
Προχωρημένο επίπεδο	11
Ανάλυση του μοντέλου από μαθηματική άποψη	11
Ανεστραμμένη Μάθηση:	15
3. Μονάδα Λειτουργίας	17
Βασικό Επίπεδο	17
Δοκιμάστε τις γνώσεις σας	17
Προσομοίωση PhEt: νευρώνας	18
Προσομοίωση PhEt: Κιτ Κατασκευής Κυκλωμάτων - Εικονικό Εργαστήριο	18
Προχωρημένο επίπεδο	19
Δοκιμάστε το μόνοι σας:	19
4. Επιπλέον εμπειριστατωμένο υλικό	19
5. Αναφορές	19





Γενικό θέμα της μαθησιακής διαδρομής	Νευροεπιστήμη
Συγκεκριμένη ονομασία της μαθησιακής μονάδας	Νευρώνες: βιολογικό και φυσικό μοντέλο μετάδοσης ηλεκτρικού σήματος
Ηλικία των χρηστών-στόχων	17-19 ετών
Απαιτήσεις για τον εκπαιδευόμενο	Βασικές γνώσεις Μαθηματικών, Φυσικής, Χημείας, Βιολογίας.
Περιγραφή της μαθησιακής μονάδας	Διδακτική περιγραφή της ενότητας Θα καθοδηγήσει εκπαιδευτικούς και μαθητές μέσα από μια διεπιστημονική διδακτική/μαθησιακή πορεία για να ανακαλύψουν τα βασικά της νευροεπιστήμης και τις συνεισφορές της. των κλάδων STEM στην τρέχουσα έρευνα, το εργαλείο AR ενισχύει την οπτικοποίηση και την εμπλοκή
Θέμα: Εμπλεκόμενα μέρη	Βιολογία, Χημεία, Φυσική, Μαθηματικά, Μηχανική
Λέξεις-κλειδιά	Νευρώνες, συναπτική μετάδοση, ηλεκτρικό σήμα, νευρωνική επικοινωνία, AR, Assemblr EDU, μάθηση βασισμένη σε σκηνές, διαδραστική οπτικοποίηση
Βασικά προσόντα, δεξιότητες και γνώσεις που μπορούν να αποκτηθούν	- Επίλυση προβλημάτων, σχεδιαστική σκέψη, συλλογισμός - Εννοιολογικές και πρακτικές γνώσεις Φυσικής, Χημείας, Μαθηματικών, Βιολογίας - Δεξιότητες βασισμένες σε AR: τρισδιάστατη χωρική οπτικοποίηση, πλοήγηση βασισμένη σε σκηνές, ψηφιακή επιστημονική μοντελοποίηση - Διαδραστική μάθηση μέσω ενσωμάτωσης τεχνολογίας
Πόροι και διδακτικά βοηθήματα που χρησιμοποιήθηκαν	Διαδικτυακοί πόροι, εικονικά εργαστήρια, ερευνητικά άρθρα, επιστημονικές βάσεις δεδομένων, πλατφόρμα Assemblr EDU με πρόσβαση στη βιβλιοθήκη PRO (ανατομικά τρισδιάστατα μοντέλα, μοριακές αναπαραστάσεις, εφέ Thunder Particle), προσαρμοσμένα κουμπιά πλοήγησης PNG
Κριτήρια αξιολόγησης και αξιολόγηση	Διαφορετικά επίπεδα γνώσης των εννοιών και των δεξιοτήτων που επιτυγχάνονται, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης με βάση την επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) μέσω της ολοκλήρωσης πλοήγησης σε σκηνές, της συνεργατικής ερμηνείας των συναπτικών διεργασιών και της επίδειξης κατανόησης των αρχών της νευρωνικής επικοινωνίας μέσω διαδραστικής εξερεύνησης τρισδιάστατων μοντέλων.



1. Νευροεπιστήμη

Νευρώνες: βιολογικά και φυσικά μοντέλα μετάδοσης ηλεκτρικού σήματος



Η νευροεπιστήμη είναι μια ομάδα επιστημονικών κλάδων, πολύ διαφορετικών μεταξύ τους, που μελετούν το νευρικό σύστημα, δηλαδή τον εγκέφαλο, τον νωτιαίο μυελό και τα δίκτυα νευρώνων που υπάρχουν σε όλο το σώμα. Με την πάροδο των ετών, έχουν αποκτήσει τις μεθοδολογίες και τις ερευνητικές τεχνικές των μαθηματικών, της φυσικής, της επιστήμης των υπολογιστών και της μηχανικής. Χάρη στη θεμελιώδη συμβολή αυτών των επιστημονικών κλάδων, καθώς και της βιολογίας, της χημείας και της φυσιολογίας, είναι δυνατή η ανάπτυξη μοντέλων λειτουργίας ικανών να εξηγήσουν τη συμπεριφορά βιολογικών συστημάτων όπως ο εγκέφαλος.

Ο βραβευμένος με Νόμπελ Έρικ Κάντελ γράφει: «Το έργο της νευροεπιστήμης είναι να εξηγήσει τη συμπεριφορά με όρους εγκεφαλικής δραστηριότητας. Πώς μπορεί ο εγκέφαλος να κατευθύνει τα εκατομμύρια μεμονωμένων νευρικών κυττάρων του για να παράγουν συμπεριφορά και πώς μπορούν αυτά τα κύτταρα να επηρεαστούν από το περιβάλλον; Το τελευταίο σύνορο της επιστήμης του νου, η απόλυτη πρόκληση, είναι να κατανοήσει τη βιολογική βάση της συνείδησης και τις νοητικές διεργασίες μέσω των οποίων αντιλαμβανόμαστε, ενεργούμε, μαθαίνουμε και θυμόμαστε».

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ένα υπέροχο αλλά πολύπλοκο σύστημα. Οι λειτουργικές μονάδες του νευρικού συστήματος, οι νευρώνες, επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ηλεκτρικών σημάτων που διαδίδονται ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις και απελευθερώνουν χημικές ουσίες, που ονομάζονται νευροδιαβιβαστές.





Στόχος της μελέτης είναι να κεντρίσει το ενδιαφέρον για ένα θέμα που προσφέρεται για μια διεπιστημονική προσέγγιση στον τομέα των STEM μέσω της ανακάλυψης των βασικών στοιχείων της νευροεπιστήμης και να αυξήσει την περιέργεια για ένα θέμα του οποίου η έρευνα αποτελεί πρωτοποριακή έρευνα και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ευημερία και την υγεία.

Η εξερεύνηση της συναπτικής μετάδοσης και της νευρωνικής επικοινωνίας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά μέσω της χρήσης εργαλείων και πόρων επαυξημένης πραγματικότητας (AR). Η εφαρμογή της τεχνολογίας AR στην εκπαίδευση των νευροεπιστημών διευκολύνει την βαθύτερη κατανόηση σύνθετων νευροβιολογικών διεργασιών.

Επαυξημένη Σύναψη: Ταξίδι μέσα στον εγκέφαλο - Υλοποίηση Assemblr EDU

Αυτή η εμπειρία AR καθοδηγεί τους μαθητές μέσα από διαδοχικές σκηνές που επιδεικνύουν πλήρεις διαδικασίες συναπτικής μετάδοσης. Ξεκινώντας με μια ανατομική επισκόπηση του ανθρώπινου νευρικού συστήματος, οι μαθητές προχωρούν σε λεπτομερή εξέταση μεμονωμένων νευρώνων και συναπτικής επικοινωνίας. Χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη PRO του Assemblr EDU, η εμπειρία χρησιμοποιεί ανατομικά ακριβή μοντέλα MotorNeuron και SensoryNeuron, μοριακές αναπαραστάσεις νευροδιαβιβαστών και εφέ Thunder Particle για την οπτικοποίηση ηλεκτρικών παλμών. Οι μαθητές πλοηγούνται σε ειδικές σκηνές που δείχνουν την έναρξη παλμών, την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών και τη λήψη σήματος, συνοδευόμενες από επιστημονικά δεδομένα, όπως μετρήσεις τάσης και ταχύτητας μετάδοσης.

Εκπαιδευτικά Οφέλη της Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR) στη Νευροεπιστήμη

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality) επικαλύπτει εικονικά στοιχεία στον πραγματικό κόσμο, δημιουργώντας ένα διαδραστικό μαθησιακό περιβάλλον. Στην εκπαίδευση στις νευροεπιστήμες, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) ενισχύει την κατανόηση των άορατων βιολογικών διεργασιών παρέχοντας τρισδιάστατες απεικονίσεις και βήμα προς βήμα εξερεύνηση. Η προσέγγιση πλοήγησης που βασίζεται σε σκηνές επιτρέπει στους μαθητές να παρατηρούν αφηρημένες έννοιες όπως η διάδοση ηλεκτρικών παλμών και η μετάδοση χημικών σημάτων με συγκεκριμένους, οπτικούς όρους. Αυτή η μεθοδολογία γεφυρώνει τη θεωρητική γνώση με παρατηρήσιμα φαινόμενα, υποστηρίζοντας διεπιστημονικές συνδέσεις μεταξύ βιολογίας, φυσικής και τεχνολογίας, διατηρώντας παράλληλα την επιστημονική ακρίβεια στην αναπαράσταση των συναπτικών διεργασιών.

2. Εξερεύνηση Ενότητας

Φάση «προσγείωσης»

1) Ταξίδι μέσα στον εγκέφαλό μας – YouTube

<http://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=lrXuyxDt5jo>



Δραστηριότητες καταιγισμού ιδεών στην τάξη

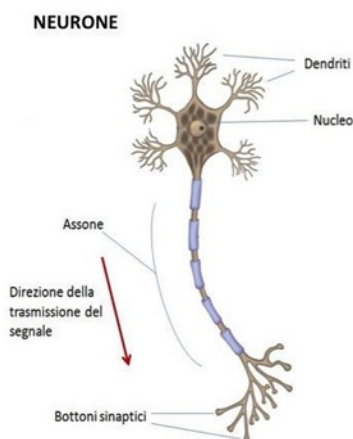
Κατευθυντήρια φράση: Όλες οι δραστηριότητες που εκτελούμε και όλα τα συναισθήματα που νιώθουμε εξαρτώνται από τη μετάδοση του νευρικού σήματος μεταξύ των νευρώνων. Πώς μπορεί η οργανική ύλη να συλλέγει, να αναλύει και να μεταδίδει πληροφορίες με πολύ υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα; Η ευημερία μας βασίζεται στην ορθή λειτουργία κάθε στοιχείου του νευρωνικού δικτύου. Ποιες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέμβουμε εάν κάτι δεν πάει καλά;

Βασικό Επίπεδο

Νευρώνες

Ποια είναι η δομή του νευρώνα;

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει περίπου 100 δισεκατομμύρια κύτταρα, νευρώνες, εξειδικευμένους στη μετάδοση νευρικών σημάτων, κυρίως ηλεκτρικής φύσης. Ένας νευρώνας αποτελείται από διάφορα μέρη, με συγκεκριμένες λειτουργίες: ένα κυτταρικό σώμα (ή σώμα), που περιέχει τον πυρήνα, τους δενδρίτες και τον άξονα. Το νευρικό σήμα, που προέρχεται από άλλους νευρώνες ή από τα όργανα-υποδοχείς, συλλέγεται και μεταδίδεται στον πυρήνα μέσω των δενδριτών, βραχέων και διακλαδισμένων προεκτάσεων του πυρήνα. Μέσα στο κυτταρικό σώμα, το σήμα υποβάλλεται σε επεξεργασία και μεταδίδεται στον άξονα, ο οποίος είναι μια πολύ μεγάλη προέκταση με το έργο της μεταφοράς του ηλεκτρικού σήματος σε άλλα κύτταρα. Το εσωτερικό του νευρώνα από το εξωτερικό ενδιάμεσο υγρό χωρίζεται από την κυτταροπλασματική μεμβράνη. Οι άξονες μερικές φορές περιβάλλονται κατά το μεγαλύτερο μέρος του μήκους τους από ένα παχύ μονωτικό υλικό, το έλυτρο μυελίνης. Στο τελικό του μέρος, ο άξονας διακλαδίζεται σε έναν μεταβλητό αριθμό απολήξεων, τα συνάπτικά κουμπιά, όπου το ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε χημικό σήμα, μέσω ενός νευροδιαβιβαστή.

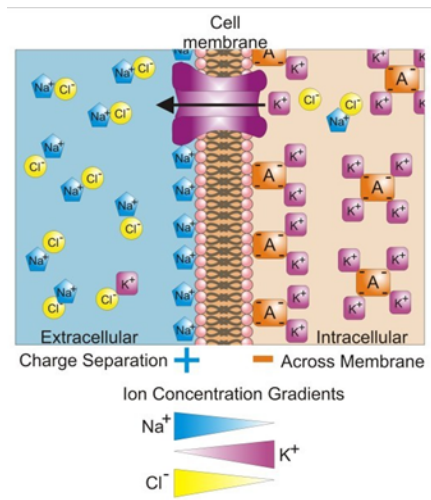


Πηγή εικόνας: Online Ιατρική



Τι συμβαίνει όταν ένας νευρώνας δεν διεγείρεται; Ποια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά μας επιτρέπουν να περιγράψουμε τη συμπεριφορά του νευρώνα;

Οι νευρώνες έχουν διαφορά στο ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταροπλασματικής μεμβράνης, κυρίως λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης ιόντων νατρίου Na^+ και καλίου K^+ στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Όταν ο νευρώνας βρίσκεται σε ηρεμία, δηλαδή δεν μεταδίδει σήματα, αυτή η διαφορά δυναμικού, που ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας, έχει τιμές μεταξύ -60 mV και -80 mV . Η κυτταροπλασματική μεμβράνη έχει ιοντικά κανάλια και αντλίες που ανοίγουν και κλείνουν σε απόκριση σε ορισμένα ερεθίσματα, ρυθμίζοντας τη διέλευση ιόντων και κατά συνέπεια αλλάζοντας το ηλεκτρικό δυναμικό.



Το εσωτερικό του κυττάρου είναι πλούσιο σε ιόντα K^+ και αρνητικά ιόντα συνδεδεμένα με οργανικά μακρομόρια, ενώ το εξωτερικό του κυττάρου είναι πλούσιο σε ιόντα Na^+ και Cl^- . Η συγκέντρωση ιόντων Na^+ και ιόντων K^+ ρυθμίζεται από τρεις πρωτεΐνες μεμβράνης που ονομάζονται ιοντικά κανάλια ή αντλίες:

- κανάλια νατρίου;
- κανάλια καλίου
- η αντλία νατρίου-καλίου.

Η μεμβράνη του νευρώνα έχει πολλά κανάλια καλίου: αυτά τα κανάλια ωθούν ιόντα K^+ από το εσωτερικό της μεμβράνης προς τα έξω, αν και με αυτόν τον τρόπο αυξάνουν την αρνητικότητα στο εσωτερικό του κυττάρου. Από την άλλη πλευρά, τα αρνητικά ιόντα στο εσωτερικό του κυττάρου δεν μπορούν να διαχυθούν προς τα έξω επειδή είναι πολύ μεγάλα για να διασχίσουν τη μεμβράνη.

Τα κανάλια νατρίου είναι λίγα και τείνουν να διαχέουν ιόντα νατρίου προς τα μέσα.

Η αντλία νατρίου-καλίου δρα αντίθετα από τη φυσική κατεύθυνση της ροής των ιόντων, ωθώντας το Na^+ προς τα έξω και το K^+ μέσα στο κύτταρο. Όταν βρίσκεται σε ηρεμία, η μεμβράνη είναι πρακτικά αδιαπέραστη στην είσοδο ιόντων Na^+ .

Ας το σκεφτούμε μαζί: Οι νευρώνες είναι τα παλαιότερα κύτταρα του σώματος: δεν μπορούν να αναπαραχθούν και σε περίπτωση αλλοιώσεων που οδηγούν στον θάνατό τους, οι γύρω τους δεν μπορούν να τους αντικαταστήσουν. Καθώς περνούν τα χρόνια, η λειτουργικότητα του Νευρικού



Συστήματος γίνεται λιγότερο αποτελεσματική: επομένως, η έρευνα ενδιαφέρεται να βρει νέες μεθόδους για την ενίσχυση της ικανότητας του εγκεφάλου να παράγει νέους νευρώνες (νευρογένεση) για τη βελτίωση της μάθησης και της μνήμης. Τι μπορείτε να κάνετε για να διατηρήσετε τους νευρώνες σας υγιείς; Πώς μπορείτε να διατηρήσετε το μυαλό σας εκπαιδευμένο;

Η γένεση του νευρικού ερεθίσματος

Πώς επικοινωνούν οι νευρώνες;

Όλα τα σήματα από το εξωτερικό περιβάλλον λαμβάνονται από τους δενδρίτες και μεταφέρονται στον πυρήνα. Εάν φτάσει στον πυρήνα ενός νευρώνα ένα ερέθισμα που μπορεί να τροποποιήσει το δυναμικό ηρεμίας έως μια τιμή κατωφλίου (περίπου -50 mV), παράγεται ένα δυναμικό δράσης ή νευρική ώθηση που διαδίδεται κατά μήκος του νευράξονα.

Η γένεση του δυναμικού δράσης συνδέεται με την ανταλλαγή ιόντων μέσω ορισμένων διαύλων νατρίου Na^+ και καλίου K^+ που ελέγχονται από την τάση. Τα κανάλια νατρίου ανοίγουν πρώτα, όταν το δυναμικό φτάσει στην τιμή κατωφλίου, ωθώντας ιόντα μέσα στο αρνητικό κύτταρο και αποπολώνοντας γρήγορα τη μεμβράνη. Η ροή ιόντων νατρίου μέσα στη μεμβράνη προκαλεί αντιστροφή πολικότητας: μέσα στη μεμβράνη υπάρχει πλέον περίσσεια θετικού φορτίου, ενώ έξω έλλειψη θετικού φορτίου. Με αυτόν τον τρόπο, η μεμβράνη αποπολώνεται, μέχρι να αποκτήσει δυναμικό $+50\text{ mV}$, τη μέγιστη τιμή του δυναμικού δράσης.



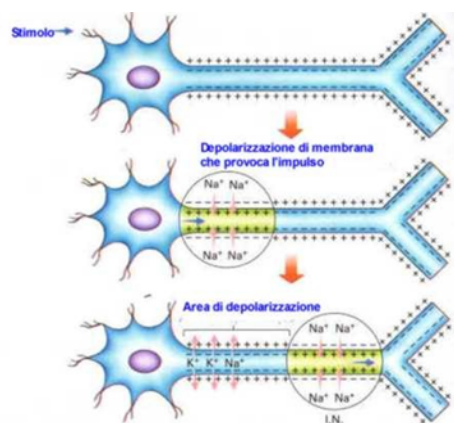
Η κατάσταση αποπόλωσης, ωστόσο, διαρκεί από 1 έως 2 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Μετά από αυτό, με την πάροδο του χρόνου, τα κανάλια νατρίου που ελέγχονται από την τάση κλείνουν και τα κανάλια καλίου που ελέγχονται από την τάση ανοίγουν. Τα τελευταία ανοίγουν πιο αργά και παραμένουν ανοιχτά για περισσότερο χρόνο: τα ιόντα K^+ ρέουν προς το εξωτερικό της μεμβράνης, η οποία αρχίζει να επαναπολώνεται, επαναφέροντας το δυναμικό σε αρνητική τιμή. Η ροή του K^+ επιμένει, δημιουργώντας μια φάση υπερπόλωσης και το δυναμικό γίνεται πιο αρνητικό από το δυναμικό ηρεμίας. Τέλος, όλα τα κανάλια που ελέγχονται από την τάση κλείνουν και η δραστηριότητα της αντλίας νατρίου-καλίου επανέρχεται, η οποία αποκαθιστά το δυναμικό ηρεμίας της πλασματικής μεμβράνης. Το πλάτος (περίπου $+50\text{ mV}$) και η διάρκεια (περίπου 2 χιλιοστά του δευτερολέπτου) του δυναμικού δράσης είναι σταθερά, δηλαδή δεν εξαρτώνται από την ποσότητα διέγερσης.

Πώς διαδίδεται το δυναμικό δράσης κατά μήκος του νευράξονα;



Το ηλεκτρικό σήμα που διαδίδεται μέσω του νευρώνα και στη συνέχεια μεταδίδεται στους επόμενους νευρώνες εκτελεί την ακόλουθη ακολουθία εξαιρετικά γρήγορων γεγονότων:

- το ηλεκτρικό ερέθισμα που επεξεργάζεται ο πυρήνας προκαλεί το άνοιγμα διαύλων νατρίου που εξαρτώνται από την τάση σε ένα τμήμα κοντά στον πυρήνα. Όταν επιτευχθεί η τιμή κατωφλίου, παράγεται το πρώτο δυναμικό δράσης.
- η αποπόλωση διαδίδεται κατά μήκος του άξονα προκαλώντας το άνοιγμα των καναλιών νατρίου με έλεγχο τάσης που βρίσκεται σε γειτονικές ζώνες μεμβράνης. Κατά συνέπεια, παράγεται ένα δεύτερο δυναμικό δράσης, το οποίο με τη σειρά του θα δημιουργήσει ένα τρίτο και ούτω καθεξής.
- Ταυτόχρονα, στην περιοχή που είχε αποπολωθεί πρώτη, άνοιξαν τασεοελεγχόμενα κανάλια καλίου, επαναφέροντας τη μεμβράνη στο δυναμικό ηρεμίας.
- τα δυναμικά διαδίδονται μόνο προς μία κατεύθυνση επειδή, μετά το κλείσιμο, τα κανάλια νατρίου που ελέγχονται από την τάση υφίστανται μια ανερέθιστη περίοδο κατά την οποία δεν μπορεί να ανοίξει ξανά.



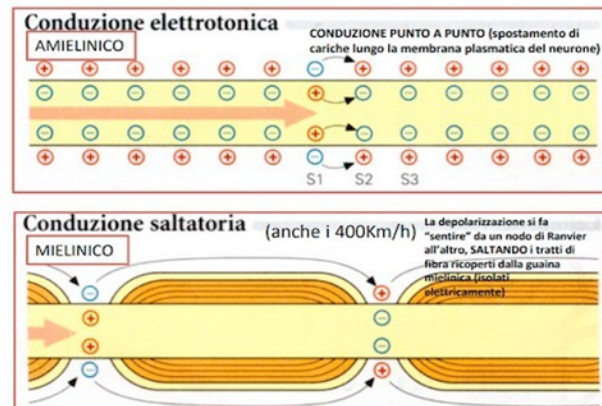
Διάδοση του δυναμικού δράσης κατά μήκος ενός αμύελινωμένου άξονα: βίντεο στο: Διάδοση του δυναμικού δράσης σε έναν αμύελινωμένο άξονα - Κινούμενη ιατρική φυσιολογία - YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=RNdvkoiWOM&t=7s>

Ποιος είναι ο ρόλος του έλυτρου μυελίνης;

Οι νευρικές ίνες που είναι επικαλυμμένες με μυελινικό έλυτρο είναι πιο αδιάβροχες, καθώς το έλυτρο λειτουργεί ως ηλεκτρικός μονωτής: κατά συνέπεια, η εκπόλωση και η διάδοση του δυναμικού δράσης συμβαίνει μόνο στα τμήματα όπου δεν υπάρχει, που ονομάζονται κόμβοι Ranvier. Το νευρικό σήμα «μεταπηδά» από τον έναν κόμβο στον επόμενο με μεγαλύτερη ταχύτητα από τις μη μυελινωμένες ίνες.





Ας το σκεφτούμε μαζί: Η μετάδοση του ηλεκτρικού σήματος πρώτα σε έναν νευρώνα και αργότερα σε άλλους νευρώνες είναι γρήγορη και ακριβής. Η ταχύτητα μετάδοσης και η ακρίβεια των πληροφοριών είναι καθοριστικοί παράγοντες για την ορθή εκτέλεση όλων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Όταν κάτι σε αυτόν τον υπέροχο μηχανισμό μπλοκάρει ή σταματά, προκαλώντας μια νευρολογική ασθένεια, ο αντίκτυπος στην ποιότητα ζωής των προσβεβλημένων ατόμων είναι καταστροφικός. Έρευνα σχετικά με τις αρχές λειτουργίας της μετάδοσης σήματος Η νευρωνική διέγερση αποτελεί τη βάση των πιο προηγμένων νευροτεχνολογιών, οι οποίες αξιοποιούν την ηλεκτρική διέγερση ως θεραπεία. Έχετε ακούσει ποτέ για ηλεκτρόδια που εφαρμόζονται σε παράλυτους ασθενείς που έχουν ξαναπερπατήσει;

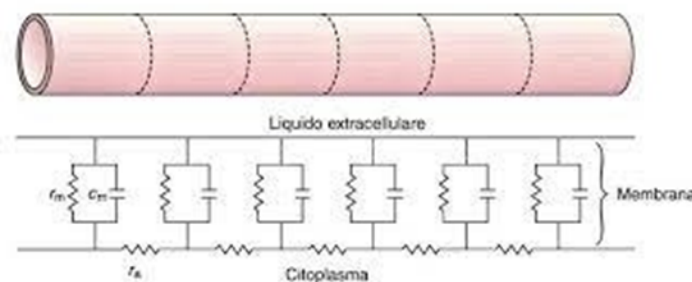
Το φυσικό μοντέλο διάδοσης σήματος σε έναν νευρώνα

Ποιο φυσικό μοντέλο μπορεί να εξηγήσει την αρχή λειτουργίας ενός νευρώνα;

Για μια γρήγορη ενημέρωση σχετικά με την χωρητικότητα και τους πυκνωτές: Πυκνωτές και χωρητικότητα ενός πυκνωτή (youtath.it)

Για μια γρήγορη ενημέρωση σχετικά με την αντίσταση και τις αντιστάσεις: Αντιστάσεις, ηλεκτρική αντίσταση και ηλεκτρική ειδική αντίσταση (youtmath.it)

Ο άξονας είναι παρόμοιος με ένα ομοαξονικό καλώδιο. Το εσωτερικό μέρος του άξονα είναι ο κεντρικός αγωγός πυρήνας του καλωδίου.

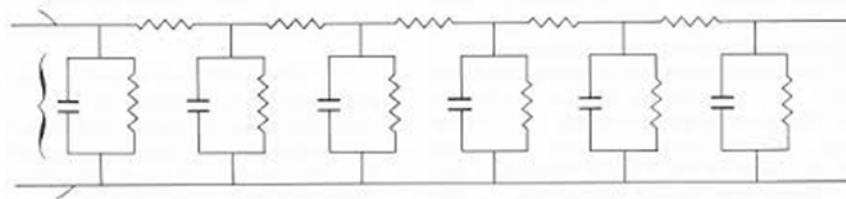


Η αντοχή του είναι υψηλή, κυρίως λόγω της μικρής διατομής του. Για να περιγραφούν οι ηλεκτρικές ιδιότητες του κυτταροπλάσματος, εισάγεται η αντίσταση ανά μονάδα μήκους r_i .

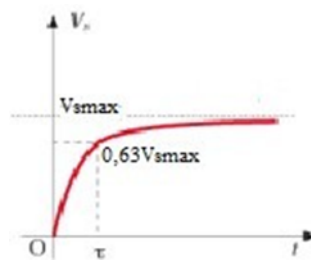


Το εξωτερικό μέρος του άξονα είναι επίσης αγωγός, αλλά το εξωτερικό τμήμα του είναι πολύ μεγαλύτερο από το εσωτερικό και επομένως η αντίσταση που προσφέρει το ενδιάμεσο υγρό είναι αμελητέα σε σύγκριση με το εσωτερικό. Η μονωτική μεμβράνη αποτελεί έναν πυκνωτή, καθώς το εσωτερικό και το εξωτερικό του άξονα συμπεριφέρονται σαν δύο αγωγίμες πλάκες, αποθηκεύοντας φορτία αντίθετου πρόσημου. Παράλληλα με τον πυκνωτή, πρέπει να ληφθεί υπόψη μια αντίσταση, η οποία λαμβάνει υπόψη τη ροή ιόντων μέσω της ίδιας της μεμβράνης. Για να σχηματιστεί η ηλεκτρική συμπεριφορά της μεμβράνης, εισάγονται δύο ποσότητες, η χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους cm και η αγωγιμότητα ανά μονάδα μήκους της μεμβράνης.σm (φρομ ωηιχη ωε ωιλλ δεριωε η αντίσταση της μεμβράνης ανά μέτρο rm).

Ο άξονας μπορεί στη συνέχεια να σχηματιστεί με ένα κύκλωμα που αποτελείται από μια διαδοχή πλεγμάτων με αντιστάσεις και πυκνωτές.



Το δυναμικό διέγερσης θα εξαρτηθεί από τον χρόνο και την τοποθεσία κατά μήκος του άξονα. Στην πραγματικότητα, χαρακτηρίζεται από δύο παραμέτρους: τη σταθερά χρόνου και η σταθερά χώρου. Το μαθηματικό μοντέλο του κυκλώματος μας επιτρέπει να εξαγάγουμε την τάση του δυναμικού τόσο ως συνάρτηση του χρόνου όσο και ως συνάρτηση της θέσης. Στην πρώτη περίπτωση θα έχουμε:



$$V_s(t) = V_{smax}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

όπου V_{smax} είναι η μέγιστη τιμή που επιτυγχάνεται από το δυναμικό και $\tau = rmc_m$.



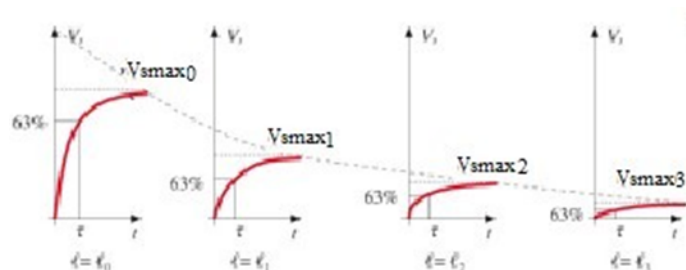
Η χρονική σταθερά (της τάξης των ms) είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το δυναμικό του ερεθίσματος για να φτάσει το 63% της μέγιστης τιμής του: είναι ένα μέτρο της ταχύτητας απόκρισης του νευρώνα.

Καθώς απομακρυνόμαστε από το σημείο όπου παράγεται, το δυναμικό διέγερσης μειώνεται με την απόσταση λόγω των συνδυασμένων επιδράσεων των αντιστάσεων r_i και r_m .

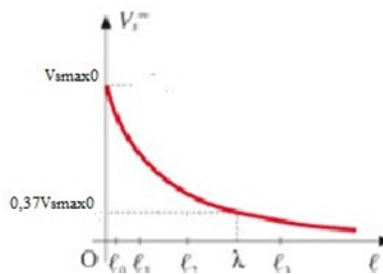
Το δυναμικό ερεθίσματος τείνει να μειώνεται σύμφωνα με τον νόμο:

$$V_{smax}(x) = V_{smax0} e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

όπου V_{smax0} είναι το δυναμικό διέγερσης στο σημείο προέλευσης και λ είναι η σταθερά χώρου.



Η σταθερά χώρου λ (της τάξης των mm) είναι η απόσταση στην οποία η αρχική διαφορά δυναμικού μειώνεται στο 37% της μέγιστης τιμής της.



Είναι ένα μέτρο του πόσο μακριά μπορεί να ρέει το ρεύμα κατά μήκος του άξονα πριν διαχυθεί λόγω ρευμάτων διαρροής.

Έτσι, αφού διανύσετε μια απόσταση λ , το σήμα έχει μειωθεί περίπου στο 1/3 και μετά από 2λ είναι περίπου το 1/7 του αρχικού σήματος και δεν μπορεί πλέον να ενεργοποιήσει το δυναμικό δράσης. Στην πραγματικότητα, τα ερεθίσματα ταξιδεύουν σε σημαντικά μεγαλύτερες αποστάσεις, της τάξης των μερικών μέτρων, λόγω της παρέμβασης άλλων μηχανισμών που δεν εξετάζουμε. Μαθηματικά, η σταθερά χώρου περιγράφεται ως:



$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_i}}$$

Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εσωτερική αντίσταση r_i είναι η ακτίνα του άξονα: οι άξονες μεγάλης διαμέτρου έχουν χαμηλότερη αντίσταση στις διαμήκεις ροές ρεύματος και, επομένως, χαμηλότερη αξονική αντίσταση. Κατά συνέπεια, θα έχουν μεγαλύτερη σταθερά χώρου.

Στην πραγματικότητα, λαμβάνεται με την τετραγωνική ρίζα της ακτίνας του άξονα r_a .

$$\lambda \propto \sqrt{r_a}$$

Από τι εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης της νευρικής ώσης;

Η γνώση των δύο σταθερών μας επιτρέπει να βρούμε την ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρικού σήματος κατά μήκος ενός άξονα:

$$v = \frac{\lambda}{\tau}$$

και επομένως, να συμπεράνουμε ότι

$$v \propto \sqrt{r_a}$$

σχέση που συμφωνεί με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Ας συλλογιστούμε μαζί Ο όρος μοντέλο είναι μια αναπαράσταση και μερικές φορές μια απλοποίηση του ένα φαινόμενο ικανό να εξηγήσει πώς λειτουργεί. Η χρήση ενός φυσικού μοντέλου για την ερμηνεία και την κατανόηση ενός βιολογικού φαινομένου απαντά στην ανάγκη που επισημαίνουν αρκετοί νευροεπιστήμονες.

άρση των εμποδίων μεταξύ διαφορετικών κλάδων, αξιοποιώντας πλήρως τους πόρους και τις τεχνικές διαφορετικών επιστημονικών πεδίων. Έχετε σκεφτεί να χρησιμοποιήσετε τις γνώσεις σας σε τομείς εκτός του δικού σας;

Προχωρημένο επίπεδο

Ανάλυση του μοντέλου από μαθηματική άποψη

Ας εξετάσουμε το πρώτο στοιχειώδες κύκλωμα με το οποίο μπορούμε να σχηματοποιήσουμε τον άξονα.

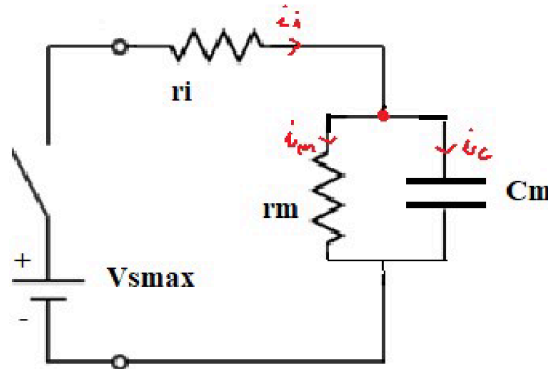
Για να προσδιορίσουμε την τάση του δυναμικού και των ρευμάτων χρησιμοποιούμε τους νόμους του Kirchhoff:

$$V_{smax} = V_{r_i} + V_C$$



και

$$i_i = i_c + i_m$$



όπου V_{smax} είναι το δυναμικό στο κύκλωμα RC που φανταζόμαστε ως τη μέγιστη τάση (d.d.p) μιας γεννήτριας, V_{ri} είναι η μέγιστη τάση (d.d.p) στην εσωτερική αντίσταση του άξονα και V_c είναι η μέγιστη τάση (d.d.p) στα άκρα C του συμπυκνωτή. Με i_m δηλώνουμε επίσης το ρεύμα που διαρρέει τη μεμβράνη.

Παράγουμε το i_c και εκφράζουμε τα πάντα ως συνάρτηση των δυναμικών:

$$i_m = \frac{V_c}{r_m}, \quad i_i = \frac{V_{smax} - V_c}{r_i}, \quad i_c = i_i - i_m$$

και λοιπόν

$$i_c = \frac{V_{smax} - V_c}{r_i} - \frac{V_c}{r_m}$$

Δεδομένου ότι για έναν πυκνωτή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$V_c = \frac{q}{c_m}$$

θα έχουμε

$$i_c = \frac{V_{smax}}{r_i} - \frac{q}{r_i c_m} - \frac{q}{r_m c_m}$$

Παράγοντας την προηγούμενη έκφραση ως προς τον χρόνο, λαμβάνουμε:



$$\frac{di_c}{dt} = -\left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_m}\right) \frac{i_c}{c_m}$$

η οποία είναι μια γραμμική διαφορική εξίσωση με διαχωρίσιμες μεταβλητές της οποίας η λύση λαμβάνεται με την ολοκλήρωση:

$$\int \frac{di_c}{i_c} = -\left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_m}\right) \frac{1}{c_m} \int dt$$
$$i_c(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

Η χρονική σταθερά είναι

$$\tau = \frac{r_i r_m c_m}{r_i + r_m}$$

Η σταθερά A καθορίζεται από τις αρχικές συνθήκες του κυκλώματος.

Για

$$t=0 \quad i_c(0) = A = i_i(0) = \frac{V_{smax}}{r_i}$$

και μετά

$$i_c(t) = \frac{V_{smax}}{r_i} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Συνήθως $r_m \sim 104 \Omega/m$ και $r_i \sim 1010 \Omega \mu$ και το r_m μπορεί να παραμεληθεί σε σύγκριση με το r_i , κάτι που επιτρέπει την απλοποίηση τ:

$$\tau = \frac{r_i r_m c_m}{r_i + r_m} \sim r_m c_m$$

Στη συνέχεια, βρίσκουμε τα άλλα ρεύματα ως συνάρτηση του χρόνου:

$$i_m(t) = \frac{V_c}{r_m} = \int \frac{i_c(t)}{r_m c_m} dt$$

Η λύση είναι:

$$i_m(t) = \frac{V_{smax}}{r_i + r_m} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



Στο τέλος

$$i_i(t) = i_c(t) + i_m(t) = \frac{V_{smax}}{r_i + r_m} \left(1 + \frac{r_m}{r_i} e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Για $t=0$ όλο το ρεύμα διέρχεται από την αντίσταση r_i και πηγαίνει να φορτίσει τον πυκνωτή C_m . Δεν κυκλοφορεί ρεύμα μέσω του r_m , $i_m(0) = 0$, σύμφωνα με το γεγονός ότι είναι παράλληλος με τον C_m και δεν έχει d.d.p. στα άκρα του.

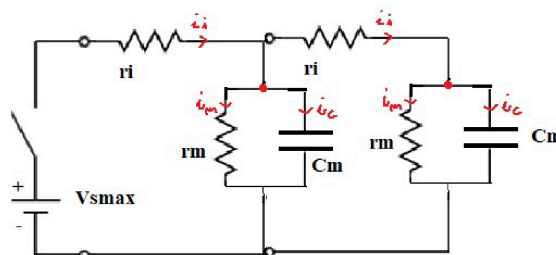
Για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ($t \rightarrow \infty$) ο πυκνωτής είναι φορτισμένος και δεν κυκλοφορεί πλέον ρεύμα μέσω του κλάδου, δηλαδή $i_c(\infty) = 0$, ενώ όλο το ρεύμα διέρχεται από την εσωτερική αντίσταση και την αντίσταση της μεμβράνης:

$$i_i(\infty) = i_m(\infty) = \frac{V_{smax}}{r_i + r_m}$$

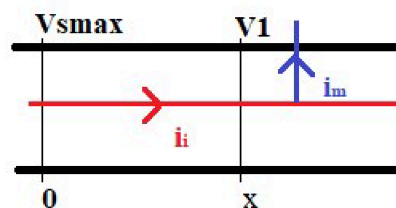
Οι εκφράσεις που βρέθηκαν αναλυτικά για τα ρεύματα δικαιολογούν ένα αποτέλεσμα που είχαμε εισαγάγει προηγουμένως, δηλαδή το δυναμικό διέγερσης:

$$V_s(t) = V_{smax}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Για την προσομοίωση του άξονα, εξετάζουμε άλλα παρόμοια κυκλώματα συνδεδεμένα με το πρώτο. Για αυτό το δεύτερο κύκλωμα, το δυναμικό ή f.e.m. δεν είναι πλέον V_{smax} αλλά το δυναμικό που υπάρχει στις κεφαλές του παράλληλου κυκλώματος.



$$V_c = i_m r_m = \frac{V_{smax} r_m}{r_i + r_m} \sim \frac{r_m}{r_i} V_{smax}$$





Το δυναμικό διέγερσης μειώνεται κατά μήκος του άξονα.

Ας εξετάσουμε το δυναμικό διέγερσης V_{smax} στο σημείο $x=0$. Η διάδοσή του εξαρτάται από το ρεύμα που ρέει εντός του άξονα II, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται (σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Ohm) από τη μεταβολή του δυναμικού κατά μήκος του άξονα:

$$i_i(x) = -\frac{1}{r_i} \frac{dV_s}{dx}$$

Το πρόσημο μείον εξαρτάται από το γεγονός ότι το ρεύμα ρέει από σημεία σε υψηλότερα δυναμικά σημεία με χαμηλότερα δυναμικά, τότε προς την αντίθετη κατεύθυνση από την κλίση του V_s . Το εσωτερικό ρεύμα μειώνεται επειδή τα φορτία ρέουν έξω από τη μεμβράνη μέσω του ρεύματος i_m :

$$\frac{di_i}{dx} = -i_m = -\frac{V_s}{r_m}$$

Αντικαθιστώντας, λαμβάνουμε την ακόλουθη διαφορική εξίσωση δεύτερης τάξης:

$$V_s = -r_m \frac{di_i}{dx} = \frac{r_m}{r_i} \frac{d^2 V_s}{dx^2}$$

Η λύση είναι:

$$V_s(x) = V_{smax} e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

με

$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_i}}$$

όπως είχαμε παρουσιάσει προηγουμένως.

Ανεστραμμένη Μάθηση:

Διαβάστε το προτεινόμενο άρθρο. Εστιάστε ιδιαίτερα στη μελέτη των νευρικών σημάτων και των τεχνικών ηλεκτροφυσιολογίας που περιγράφονται στο άρθρο. Στη συνέχεια, ολοκληρώνει τη μελέτη αναλύοντας ποιοι τομείς έρευνας, σύμφωνα με το άρθρο, είναι πιο αποτελεσματικοί για τη μελέτη των νευρωνικών κυκλωμάτων.





Quando membrane, proteine e sali creano elettricità.

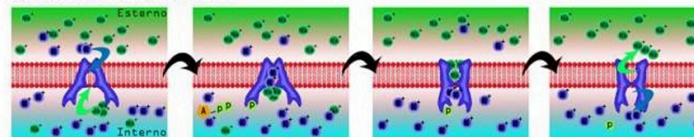
di Elia Magrinelli
Editor: Olivia Candini
Revisori Esperti: Annalisa Zuccotti, Giorgio Grasselli
Revisori Naive: Michele Schiavina, Erika Ponzini



Parole Chiave: Biologia, Biologia Cellulare, Cervello, Medicina, Neuroni, Neuroscienze, Ricerca di Base, Ricerca in Vitro

Permalink: <http://informa.airicerca.org/2015/12/14/quando-membrane-proteine-e-sali-creano-elettricità>

doi: 10.13140/RG.2.2.12876.72328



Σχολιάζουμε τη μελέτη των νευρικών σημάτων που προτείνεται στο άρθρο:

Οι πιο συνηθισμένες ηλεκτροφυσιολογικές τεχνικές:

- Η τεχνική σφινκτήρα επιθέματος
- Η τεχνική από μέσα προς τα έξω και από έξω προς τα έξω
- εξωκυτταρική καταγραφή

Ιδιαίτερα αποτελεσματικές συμμαχίες με την ηλεκτροφυσιολογία:
φαρμακολογία
γενετική μηχανική, οπτογενετική

3. Μονάδα Λειτουργίας

Βασικό Επίπεδο

Δοκιμάστε τις γνώσεις σας

Δραστηριότητα:

Τεστ γνώσεων

Τεστ με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής





1) Ένας νευρώνας αποτελείται από:

- Δενδρίτες, πυρήνας, άξονας, συναπτικά κουμπιά
- Δενδρίτες και νευράξονας
- πυρήνας και νευράξονας
- Δενδρίτες, πυρήνας, νευράξονας, θήκη μυελίνης

2) Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις σχετικά με το δυναμικό δράσης είναι λανθασμένη;

- αντιστοιχεί σε υπερπόλωση
- ενεργοποιείται μόνο ως απόκριση σε ένα ερέθισμα
- ξεκινά μόνο εάν ξεπεραστεί ένα συγκεκριμένο όριο
- προκαλεί αντιστροφή πολικότητας

3) Η διαδικασία διάδοσης ενεργοποιείται από:

- η παρουσία διαύλων που ελέγχονται από την τάση για το Na^+
- η ύπαρξη μιας συγκεκριμένης ανερέθιστης περιόδου

- η επαναλαμβανόμενη επανάληψη του ερεθίσματος που το πυροδότησε
- η ύπαρξη δυναμικού ακόμη και στα τμήματα ηρεμίας

4) Το δυναμικό ηρεμίας οφείλεται στην παρουσία:

- Ιόντα Na^+ έξω από το κύτταρο και K^+ μέσα στο κύτταρο
- Ιόντα Na^+ εντός του κυττάρου και K^+ εκτός του κυττάρου
- Ιόντα Na^+ εντός του κυττάρου και Cl^- εκτός του κυττάρου
- Ιόντα K^+ εκτός του κυττάρου και ιόντα Cl^- εντός του κυττάρου

5) Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις σχετικά με το μοντέλο καλωδίου είναι λανθασμένη;

- Ο άξονας μπορεί να σχηματιστεί με ένα κύκλωμα που περιέχει δύο αντιστάσεις και μια χωρητικότητα σε σειρά
- Ο άξονας μπορεί να σχηματιστεί με μια διαδοχή πλεγμάτων με αντιστάσεις και πυκνωτές
- Το εσωτερικό μέρος του νευράξονα έχει πολύ υψηλή αντίσταση
- Η ίδια η μεμβράνη σχηματίζει έναν πυκνωτή παράλληλα με μια αντίσταση

6) Σύντομη απάντηση: Ποια αξία έχει το δυναμικό ηρεμίας;

7) Ανοιχτή απάντηση: Πώς διαδίδεται το δυναμικό δράσης κατά μήκος του νευράξονα;

8) Ανοιχτή απάντηση: Πώς μεταβάλλεται το δυναμικό ερεθίσματος σε ένα συγκεκριμένο σημείο ως συνάρτηση του χρόνου; Δώστε μια ποιοτική περιγραφή





9) Αντιστοιχίστε κάθε ερώτηση με τη σωστή απάντηση:

- Τι μετρά τη σταθερά χώρου;
- Τι μετρά η σταθερά χρόνου;
- Από τι εξαρτάται η σταθερά χώρου;
- Από τι εξαρτάται η χρονική σταθερά;

10) Σύντομη απάντηση: Από τι εξαρτάται η ταχύτητα διάδοσης της νευρικής ώσης σε μη μυελινωμένους νευρώνες σύμφωνα με το μοντέλο καλωδίου;

Προσομοίωση PhET: νευρώνας

https://phet.colorado.edu/sims/html/neuron/latest/neuron_it.html

Δραστηριότητα:

- σύνδεσμος προς το φύλλο εργασίας στα Αγγλικά: Neuron - Βιολογία | Neurons | Cells - Interactive Simulations of PhET (colorado.edu)
- Διερευνά τη συμπεριφορά ενός νευρώνα παρουσία ενός δυναμικού δράσης.

Προσομοίωση PhET: Κιτ Κατασκευής Κυκλωμάτων - Εικονικό Εργαστήριο

Κιτ Κατασκευής Κυκλωμάτων: Εικονικό Εργαστήριο (colorado.edu)



Δραστηριότητα:

- σύνδεσμος προς το λειτουργικό φύλλο στα Αγγλικά: Κιτ Κατασκευής Κυκλωμάτων: Εικονικό Εργαστήριο - Κύκλωμα RLC | Κυκλώματα AC | Νόμος του Kirchhoff - Διαδραστικές Προσομοιώσεις του PhET (colorado.edu)
- Κατασκευάστε ένα κύκλωμα που προσομοιώνει τη συμπεριφορά του μοντέλου καλωδίου του νευρώνα. Επιστημάνετε την τάση δυναμικού στους πυκνωτές και δείτε αν συμφωνεί με αυτά που έχετε μελετήσει.





Προχωρημένο επίπεδο

Δοκιμάστε το μόνοι σας:

Ενδεικτικά, και με ένα ορισμένο περιθώριο προσέγγισης που λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα των διαφόρων τύπων αξόνων και τις διάφορες ζωικές δομές, ένας άξονας έχει ακτίνα της τάξης του μμ, μια εσωτερική αντίσταση ανά μονάδα μήκους $r_i \sim 1010 \Omega/m$ και διαμεμβρανική αντίσταση ανά μονάδα μήκους $r_m \sim 104 \Omega/m$. Το πάχος της μεμβράνης είναι περίπου 10-8 m και η σχετική διηλεκτρική σταθερά περίπου 3.

1. Επιλέξτε ένα μοντέλο πυκνωτή και την χωρητικότητά του και εκτιμήστε με αυτά τα δεδομένα την τάξη μεγέθους της χωρητικότητας ανά μονάδα μήκους άξονα (μία χωρητικότητα ανά μέτρο cm $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ F/m)
2. Επαληθεύει ότι οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στο εξερευνητικό μέρος είναι έγκυρες και υπολογίζει τη σταθερά χρόνου και χώρου.

3. Στη συνέχεια, εκτιμά την ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρικού σήματος και συγκρίνει τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με τα πειραματικά δεδομένα.
4. Γιατί ο ρυθμός διάδοσης διαφέρει από τα πειραματικά αποτελέσματα; Πώς μπορούμε να βελτιώσουμε το μοντέλο ώστε να επιτύχουμε ταχύτητες διάδοσης πιο κοντά στις πραγματικές;

4. Επιπλέον εμπειριστατωμένο υλικό

Πόροι μέσω διαδικτύου:

Ενημερωτικό φυλλάδιο-NEYPOEΠΙΣΤΗΜΗ-Battaglini (units.it): Εγχειρίδιο πληροφόρησης και διάδοσης για τη νευροεπιστήμη από το κέντρο BRAIN στην Τεργέστη

<https://www2.units.it/brain/Manuali/Scienza%20del%20Cervello-web.pdf>: Ένα δημοφιλές εγχειρίδιο για τη νευροεπιστήμη: ενδιαφέρουσες αναφορές σε ερευνητικά μέτωπα και σύνδεσμοι προς άλλους ιστότοπους

<https://userswww.pd.infn.it/~soramel/FisicaMedicina/Altro/CircuitiRC.pdf>: Παρουσίαση κυκλωμάτων RC και εφαρμογή αυτών των κυκλωμάτων στην ιατρική φυσική.





5. Αναφορές

D. Sadava et al: Biology.blu PLUS. Το ανθρώπινο σώμα, Zanichelli

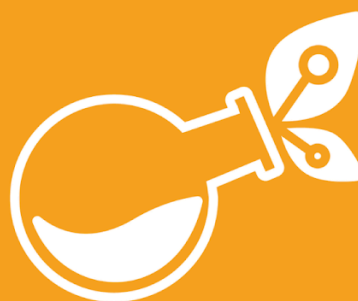
G. Bellini et al: Physics for medicine, Piccin

Walker J: ΦΥΣΙΚΗ: Θεωρητικά μοντέλα και επίλυση προβλημάτων, 3 Linx





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.