

# Νευροφυσιολογία

1

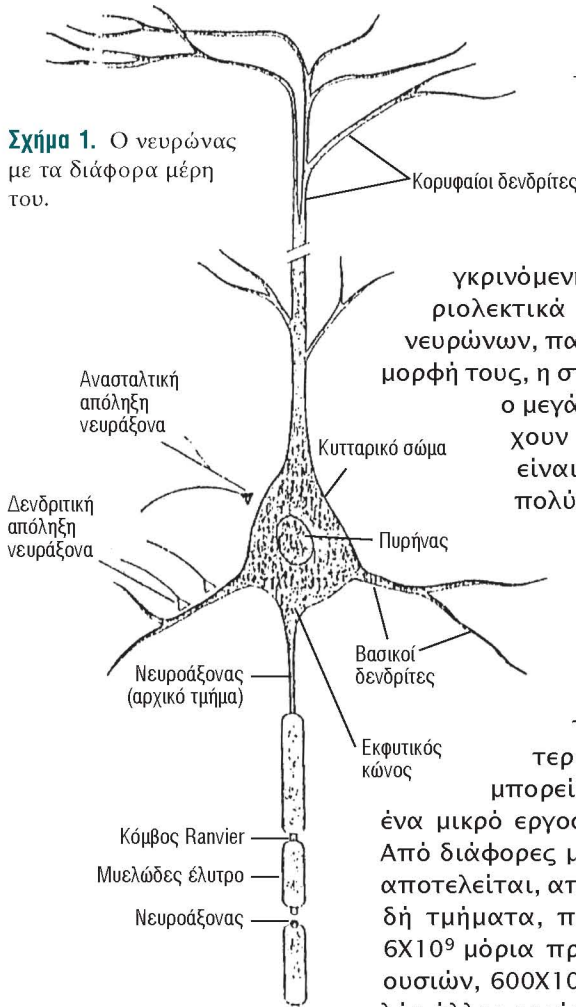
Ο  
Ι  
Ρ  
Λ  
Ρ  
Φ  
Ξ  
Κ

Επειδή όμως, η κατανόηση όλων αυτών των φαινομένων, που αναφέραμε στην εισαγωγή, αποτελεί ένα από τα πιο πολύπλοκα προβλήματα της Νευροφυσιολογίας, που ο ειδικός επιστήμων έχει να αντιμετωπίσει, όταν εργάζεται με τον εγκέφαλο, θα πρέπει να αρχίσουμε πρώτα, με μια σύντομη εισαγωγή από την Νευροφυσιολογία, η οποία θα μας βοηθήσει στην καλλίτερη κατανόηση του εγκεφάλου (Kandel et al., 1995).

Αρχίζοντας λοιπόν από την Νευροφυσιολογία, βλέπουμε ότι το κλειδί για να κατανοήσουμε την δομή και την λειτουργία του εγκεφάλου βρίσκεται στη θεμελιώδη συνιστώσα του εγκεφάλου που ονομάζεται νευρώνας.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μας αποκαλύπτει ότι ο νευρώνας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, είναι ένα κύτταρο, που διαφέρει όμως από τα συνηθισμένα κύτταρα του οργανισμού. Έτσι, εκτός του πυρήνα, όπου όλες οι χημικές διεργασίες του κυττάρου λαμβάνουν χώρα δημιουργώντας (πρωτεΐνες, λίπη, RNA, μιτοχόνδρια κ.λπ.), ο νευρώνας, αποτελείται ακόμη, από δυο διακλαδώσεις, που ονομάζονται διεργασίες. Οι δύο αυτές διακλαδώσεις είναι οι δενδρίτες, που μοιάζουν σαν κλάδους δένδρου, και οι άξονες. Οι δενδρίτες κάθε νευρώνα χρησιμεύουν για την λήψη των σημάτων που δημιουργούνται στους άλλους νευρώνες, που συνδέονται με αυτόν τον νευρώνα, ενώ οι άξονες είναι οι διεργασίες, που λαμβάνουν επίσης σήματα από άλλους νευρώνες, αλλά μεταδίδουν επίσης και τα δυναμικά δράσης **AP (Action Potentials)**, που δημιουργούνται στον έκφυτικό κώνο εκάστου νευρώνα και τα μεταφέρουν αναλλοίωτα στις συνάψεις, όπως θα αναφέρουμε κατωτέρω. Οι συνάψεις είναι οι χημικές επαφές ή οι συνδέσεις μεταξύ προσυναπτικών και μετασυναπτικών νευρώνων, που είναι μεσοδιαστήματα της τάξης περίπου των  $200\text{\AA}$  ( $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ ). Τα δυναμικά δράσης μεταδίδονται

**Σχήμα 1.** Ο νευρώνας με τα διάφορα μέρη του.



με ταχύτητα, που ποικίλλει από 20m/sec έως 60m/sec για μικρούς νευρώνες με μυελίνη στα θηλαστικά, και μέχρι 120m/sec για μεγάλους νευρώνες. Η ιδιόρρυθμη μορφή αυτών των νευρικών κυττάρων έχει αλλάξει λίγο κατά την πορεία της εξέλιξης. Είναι πράγματι παράξενο να νομίζει κανείς ότι η ποιότητα της ανθρώπινης ζωής, συγκρινόμενη με αυτή των ερπετών, οφείλεται κυριολεκτικά στον αριθμό και την διευθέτηση των νευρώνων, παρά στην μεγάλη ποιοτική διαφορά, στη μορφή τους, η στο μηχανισμό λειτουργίας τους. Βέβαια,

ο μεγάλος αριθμός των νευρώνων που υπάρχουν στον εγκέφαλο ενός ανθρώπου, που είναι περίπου της τάξης των  $3 \times 10^{10}$ , και οι πολύπλοκες συνδέσεις των σε ένα οργανισμό, συμπίπτουν επαρκώς με τις σχεδόν άπειρες υποκειμενικές εμπειρίες που δέχεται κατά την διάρκεια της ζωής του. Ο θαυμασμός αυτού του πολύπλοκου κυκλώματος των νευρώνων, στον εγκέφαλο του ανθρώπου και των ζώων, αυξάνεται ακόμη περισσότερο με το γεγονός, ότι κάθε νευρώνας μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας οργανισμός, η

ένα μικρό εργοστάσιο ασυνήθιστης πολυπλοκότητας. Από διάφορες μελέτες έχει βρεθεί, ότι κάθε νευρώνας αποτελείται, από οργανίδια, νηματίδια, και σωληνοειδή τμήματα, που έχουν δημιουργηθεί από περίπου  $6 \times 10^9$  μόρια πρωτεϊνών, από  $10 \times 10^9$  μόρια λιπαρών ουσιών,  $600 \times 10^9$  RNA (Ριβοτονουκλεϊνικά) οξέα και πολλές άλλες ουσίες, που είναι ως επί το πλείστον ακαθόριστες. Ο νευρώνας επιπλέον, είναι έτσι κατασκευασμένος, ώστε να χρησιμοποιεί ενέργεια ταχύτερα από κάθε

άλλου είδους κυττάρου στον οργανισμό. Τα 2/3 του βάρους του νευρώνα αποτελείται από περίπου 1500 μιτοχόνδρια, που μπορούμε να τα παρομοιάσουμε με μικρά εργοστάσια μέσα στο κύτταρο. Αυτά μεταφέρουν πολύ γρήγορα ζάχαρη δια μέσου πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων, για να παράγουν ενέργεια. Κάθε μιτοχόνδριο χρησιμοποιεί  $10 \times 10^6$  μόρια η άτομα οξυγόνου το δευτερόλεπτο. Αν το οξυγόνο σταματούσε να υπάρχει στους νευρώνες για 10 περίπου δευτερόλεπτα, η λειτουργία των νευρώνων θα καταστρεφόταν και ο άνθρωπος θα έπεφτε σε κατάσταση αφασίας. Αυτή η εντατική απαίτηση για ενέργεια οφείλεται σε δυο ιδιότητες των νευρώνων, που αφορούν στην ανάλυση και στην διάδοση των ηλεκτρικών τους

παλμών. Η πρώτη από τις ιδιότητες αυτές, είναι η κατασκευή χημικών ουσιών, που περνούν από τον ένα νευρώνα στον άλλο και εξασκούν μια μικρή επίδραση στην ηλεκτρική συμπεριφορά του νευρώνα, και επίσης καθορίζουν πώς να συνδεθεί ο ένας νευρώνας με τον άλλο, διαμέσου του άξονα και των διακλαδώσεων του. Υπάρχουν αρκετά στοιχεία για να πιστεύουμε ότι οι άπειρες συνδέσεις των νευρώνων στον εγκέφαλο είναι πάντοτε σε μια δυναμική κατάσταση χημικής ροής, και ότι η ισορροπία, αυτών των συνδέσεων στους νευρώνες, διατηρείται μόνο με τη σταθερή χημική ανταλλαγή χημικών ουσιών μεταξύ των νευρώνων. Η δεύτερη μεγάλη απαίτηση για μεταβολική ενέργεια προέρχεται από την τεράστια επιφάνεια του νευρώνα σε σχέση με τον όγκο του, όποτε αυτό δημιουργεί και διαρροές χημικών ουσιών και έτσι θα πρέπει να ξοδευτεί ενέργεια για την αποκατάσταση των. Χαρακτηριστικό είναι και το παράδειγμα στους ασθενείς με την νόσο του Alzheimer, που εκδηλώνεται με απώλεια βάρους και αυξημένη ενεργειακή απαίτηση. Η απώλεια βάρους είναι ήπια αρχικά, αλλά χειροτερεύει όσο η νόσος εξελίσσεται. Επειδή όμως, είναι γνωστό, ότι ο μέσος κροταφικός φλοιός παίζει ουσιαστικό ρόλο στη μνήμη, στα συναισθήματα, και στη διατροφική συμπεριφορά, θεωρήθηκε ότι οι αλλαγές, στο μέσο κροταφικό φλοιό, συμβάλουν στην απώλεια βάρους, διότι επιφέρουν αλλαγές στη διατροφική συμπεριφορά (Grundman et al, 1996)με αποτέλεσμα, οι ασθενείς με Alzheimer να έχουν πιο αυξημένες ενεργειακές ανάγκες από τους υγιείς υπερήλικες (Gillette-Guyonnet et al., 2000).

Επίσης, οι άξονες των νευρώνων καλύπτονται από ένα στιβαρό μονωτικό έλυτρο μυελίνης, φτιαγμένο από εξειδικευμένα κύτταρα, που ονομάζονται κύτταρα Schwann. Το μονωτικό αυτό έλυτρο μυελίνης, χρησιμεύει για να επιταχύνει την αγωγή του ηλεκτρικού σήματος(μέχρι και 100 φορές ταχύτερα από τους άξονες χωρίς μυελίνη) δηλ. του δυναμικού δράσης(AP), κατά μήκος του άξονα του νευρώνα και των διακλαδώσεών του για την καλλίτερη λειτουργία του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ). Η ανωτέρω λειτουργία μειώνεται σε περίπτωση καταστροφής της μυελίνης με αποτέλεσμα να έχουμε άσχημες συνέπειες στον οργανισμό, όπως συμβαίνει στη περίπτωση της σκλήρυνσης κατά πλάκας. Έχει επίσης διερευνηθεί, ότι η μέγιστη ταχύτητα αγωγής του δυναμικού δράσης εξαρτάται από το πάχος της μυελίνης και μάλιστα ότι είναι ανάλογος της εσωτερικής διαμέτρου του άξονος του νευρώνα. Πρόσφατες μελέτες του βιολόγου Klaus-Armin Nave of the Max Plank Institute for experimental Medicine in Goottingen, Germany, ανακάλυψε ότι τα Schwann κύτταρα προσλαμβάνουν μια πρωτεΐνη, που ονομάζεται **neuregulin**, που καλύπτει τους άξονες, και εάν το ποσό της πρωτεΐνης αυτής αυξηθεί η ελαττωθεί τα κύτταρα Schwann θα περιτυλίξουν περισσότερο η λιγότερο με μυελίνη τον άξονα του νευρώνα. Ενδιαφέρον είναι, ότι πολλοί άνθρωποι, που υποφέρουν από διπο-

λική δυσλειτουργία, η σχιζοφρένεια, έχουν πρόβλημα στο γονίδιο που ρυθμίζει την παραγωγή αυτής της πρωτεΐνης.

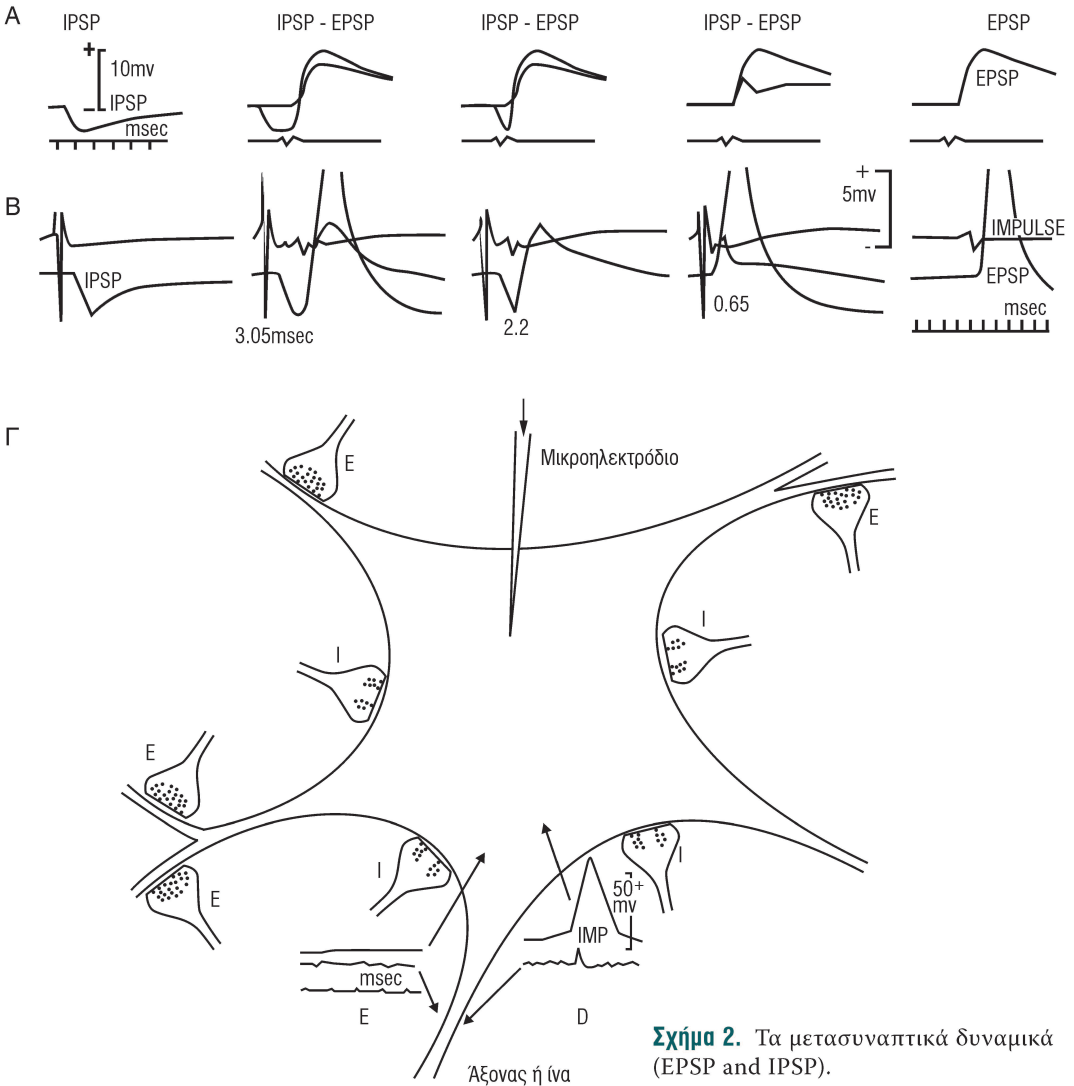
Από έρευνες έχει αποδειχθεί, ότι η μυελίνη αρχίζει να καλύπτει τους άξονες των νευρώνων κατά την γέννηση σε μερικές περιοχές, αλλά γίνεται πλήρης, σε ηλικία περίπου 25 η 30 ετών. Η μυελίνη προχωρεί σαν κύμα από την ινιακή περιοχή μέχρι το μετωπιαίο τμήμα του εγκεφάλου, καθώς προχωρούμε στη εφηβική ηλικία. Οι μετωπιαίοι λοβοί είναι, όπως αναφέραμε, οι τελευταίες περιοχές, όπου γίνεται η μυελίνη. Αυτές οι περιοχές είναι υπεύθυνες για υψηλό δείκτη νοημοσύνης, σχεδιασμού, κριτικής, μάθησης και δεξιοτήτων που έρχονται με την απόκτηση των εμπειριών. Παράδειγμα, είναι οι πιανίστες όπου ορισμένες περιοχές της λευκής ουσίας είναι περισσότερο ανεπτυγμένες, λόγω της μυελίνης.

Εδώ, θα πρέπει να εξηγηθεί, πως η λευκή ουσία επηρεάζει την γνωστική ικανότητα, όπου μπορεί να φαίνεται, όπως και στο διαδίκτυο, ότι όλες οι πληροφορίες στο εγκεφαλο πρέπει να μεταδίδονται όσο το δυνατό πιο γρήγορα. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι άξονες πρέπει να καλύπτονται με μυελίνη. Αλλά, για τους νευρώνες, να μεταδίδουν τα δυναμικά με μεγάλη ταχύτητα δεν είναι πάντοτε το ιδανικό. Όπως είναι γνωστό, οι πληροφορίες πρέπει να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων εγκεφαλικών κέντρων. Κάθε κέντρο όμως, εκτελεί την λειτουργία του και στέλνει το αποτέλεσμα του σε ένα άλλο κέντρο, για το επόμενο βήμα και ανάλυση. Παράδειγμα, είναι η μάθηση του πιάνου, όπου οι διάφορες πληροφορίες πρέπει να πηγαινούν πίσω και εμπρός μεταξύ των διαφόρων περιοχών. Οι πληροφορίες που προέρχονται από διαφορετικές αποστάσεις πρέπει να φθάνουν ταυτόχρονα σε μια περιοχή και σε συγκεκριμένο χρόνο. Για να συμβεί μια τέτοια ακρίβεια, πρέπει να έχουμε και ορισμένες καθυστερήσεις. Εάν λοιπόν, όλοι οι άξονες μετέφεραν τις πληροφορίες με την μέγιστη ταχύτητα, τα δυναμικά δράσης από νευρώνες σε μεγάλες αποστάσεις θα έφθαναν αργότερα από τα δυναμικά δράσης των γειτονικών νευρώνων και δεν θα είχαμε τα επιθυμητά αποτελέσματα, όπως είναι το παράδειγμα της μάθησης ενός μουσικού οργάνου, όπως είναι π.χ. του πιάνου.

Ένα δυναμικό δράσης χρειάζεται περίπου 30msec για να ταξιδέψει από το ένα εγκεφαλικό ημισφαίριο στο άλλο δια μέσου των αξόνων που έχουν μυελίνη στο μεσολόβιο, συγκρινόμενο με 150 έως 300msec με άξονες χωρίς μυελίνη. Κανένας από τους άξονες των νευρώνων στο μεσολόβιο έχει μυελίνη κατά την γέννηση, και κατά την εφηβική ηλικία το 30% παραμένει στη ίδια κατάσταση. Αυτή η διαφορά είναι που βοηθάει να συντονίζει ο εγκέφαλος τις ταχύτητες διάδοσης των ηλεκτρικών παλμών για την καλλίτερη μάθηση και ανάκληση των πληροφοριών.

Τα δυναμικά δράσης, όταν φθάσουν στις συνάψεις απελευθερώνουν χημικές ουσίες μέσα σε αυτά τα μεσοδιαστήματα. Οι χημι-

κές αυτές ουσίες λέγονται **νευροδιαβιβαστές** (όπως είναι π.χ. η **ακετυλοχολίνη**, η **ντοπαμίνη**, η **σεροτονίνη** κ.λπ.) οι οποίες διαχέονται μέσα στα μεσοδιαστήματα και επικάθονται σε ειδικούς υποδοχείς που βρίσκονται είτε στους δενδρίτες η στους άξονες των μετασυναπτικών νευρώνων και μεταβάλλουν **τα δυναμικά των μετασυναπτικών νευρώνων (Post Synaptic Neurons)**, που συνδέονται, δημιουργώντας **έτσι τα μετασυναπτικά δυναμικά (Post Synaptic Potentials or PSP's)**. Τα μετασυναπτικά δυναμικά είναι είτε θετικά η αρνητικά. Τα θετικά δυναμικά ονομάζονται **διεγερτικά (EPSP's)** και τα **αρνητικά ανασταλικά μετασυναπτικά δυναμικά (IPSP's)** αντίστοιχα (όπως φαίνεται και στο κατωτέρω Σχήμα 2).



**Σχήμα 2.** Τα μετασυναπτικά δυναμικά (EPSP and IPSP).