



**ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Γ' Ορθοπαιδική Πανεπιστημιακή Κλινική

και

Α' Ορθοπαιδική Πανεπιστημιακή Κλινική

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Αξιολόγηση της αισθητικής επανεκπαίδευσης του χεριού μετά από
πλήρη, χαμηλή διατομή και μικροχειρουργική επισκευή
του μέσου νεύρου»**



Του

Δημήτριου Κ. Αντωνόπουλου

Ορθοπαιδικού

Αθήνα Ιανουάριος 2017

Ο ΟΡΚΟΣ ΤΟΥ ΙΠΠΟΚΡΑΤΗ

Ὅμιμι Ἀπόλλωνα ἱητρὸν, καὶ Ἀσκληπιὸν, καὶ Ὑγίαν, καὶ Πανάκειαν, καὶ θεοὺς πάντας τε καὶ πάσας, ἕστορας ποιούμενος, ἐπιτελέα ποιήσω κατὰ δύναμιν καὶ κρίσιν ἐμὴν ὄρκον τόνδε καὶ ξυγγραφὴν τήνδε, ἡγήσασθαι μὲν τὸν διδάξαντά με τὴν τέχνην ταύτην ἴσα γενέτησιν ἐμοῖσι, καὶ βίον κοινώσασθαι, καὶ χρεῶν χρηρίζοντι μετάδοσιν ποιήσασθαι, καὶ γένος τὸ ἐξ αὐτέου ἀδελφοῖς ἴσον ἐπικρινέειν ἄρρεσι, καὶ διδάξω τὴν τέχνην ταύτην, ἣν χρηρίζωσι μανθάνειν, ἄνευ μισθοῦ καὶ ξυγγραφῆς, παραγγελῆς τε καὶ ἀκροήσεως καὶ τῆς λοιπῆς ἀπάσης μαθήσεως μετάδοσιν ποιήσασθαι νιόισι τε ἐμοῖσι, καὶ τοῖσι τοῦ ἐμῆ διδάξαντος, καὶ μαθηταῖσι συγγεγραμμένοις τε καὶ ὠρκαμένοις νόμῳ ἱητρικῷ, ἄλλω δὲ οὐδεὶ. Διαιτήμασι τε χρῆσομαι ἐπ' ὠφελείῃ καμνόντων κατὰ δύναμιν καὶ κρίσιν ἐμὴν, ἐπὶ δηλήσει δὲ καὶ ἀδικῇ ἄρξει. Οὐ δώσω δὲ οὐδὲ φάρμακον οὐδεὶ ἀιτηθεὶς θανάσιμον, οὐδὲ ὑψηλῆσομαι συμβουλήν τοιήνδε, ὁμοίως δὲ οὐδὲ γυναικὰ πεσοῦν φθόριον δώσω. Ἄγνως δὲ καὶ ὁσίως διατηρήσω βίον τὸν ἐμὸν καὶ τέχνην τὴν ἐμὴν. Οὐ τεμέω δὲ οὐδὲ μὴν λιθιῶντας, ἐκχωρήσω δὲ ἐργάτησιν ἀνδράσι πρήξιον τήσδε. Ἐς οὐκίας δὲ ὁκόσας ἂν ἐσίω, ἐσελεύσομαι ἐπ' ὠφελείῃ καμνόντων, ἐς τὸς ἐὼν πάσης ἀδικίης ἐκουσίης καὶ φθορίας, τῆς τε ἄλλης καὶ ἀφροδισίων ἔργων ἐπὶ τε γυναικείων σαμμάτων καὶ ἀνδράων, ἐλευθέρων τε καὶ δούλων. Ἄ δ' ἂν ἐν θεραπείῃ ἦ ἴδω, ἢ ἀκούσω, ἢ καὶ ἄνευ θεραπείης κατὰ βίον ἀνθρώπων, ἂ μὴ χρή ποτε ἐκλαλέεσθαι ἔξω, σιγήσομαι, ἄρρητα ἡγεύμενος εἶναι τὰ τοιαῦτα. Ὅρκον μὲν οὖν μοι τόνδε ἐπιτελέα ποιέοντι, καὶ μὴ ξυγχεόντι, εἴη ἐπαύρασθαι καὶ βίου καὶ τέχνης δοξαζομένω παρ' ἀπᾶσιν ἀνθρώποις ἐς τὸν αἰεὶ χρόνον, παραβαίνοντι δὲ καὶ ἐπιορκούντι, τὰ ναντία τουτέων

ΠΕΡΙΛΗΠΤΙΚΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Δημήτριου Κ. Αντωνόπουλου, Ορθοπαιδικού

Τόπος γέννησης	1973, Ρόδος
Μαθητικά χρόνια	Δημοτικό σχολείο Καλαμάτας, Γυμνάσιο και Λύκειο Χαλανδρίου
Σπουδές	Ακαδημαϊκό έτος 1993 εισαγωγή στη Στρατιωτική Σχολή Αξιωματικών Σωμάτων (Σ.Σ.Α.Σ.) - Τμήμα Ιατρικής σχολής του Α.Π.Θ. Αποφοίτηση 16-07-1999, ΑΠΘ-ΣΣΑΣ Αρ. πρωτ.: 98/00756
Ειδίκευση	2002 Β.Γ.Χ ΝΟΣ. "Κ.Α.Τ." 2003 ΣΤ΄ Ορθ/κή κλινική Γ.Ν.Α. "Κ.Α.Τ." 2006 ειδίκευση στη παιδορθοπαιδική του Γ.Ν.Α. "Κ.Α.Τ." 2007-2009 ειδίκευση στο τμήμα μικροχειρουργικής χεριού και άνω άκρου του Γ.Ν.Α. "Κ.Α.Τ."
Απόκτηση τίτλου ειδικότητας	17/7/2009 Αρ. πρωτ. 3758
Εργασία	Ως ειδικευμένος ορθοπαιδικός στο σώμα της Ελληνικής Αστυνομίας με βαθμό Αστυνομικού Διευθυντή, ως τμηματάρχης στη Διεύθυνση Υγειονομικού του σώματος, και με παράλληλα καθήκοντα ορθ/κού ιατρού εξωτερικών ιατρείων στο Κεντρικό Ιατρείο Αθηνών της Ελληνικής Αστυνομίας
Στοιχεία επικοινωνίας	Τηλ. : 210-6980835, 6932435450 e-mail : antonod@gmail.com

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ – ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΟ ΕΡΓΟ

1. Mouzopoulos G, Kouvaris C, Antonopoulos D, Stamatakos M, Tsembeli A, Mouratis G, Tzurbakis M, Safioleas M. Perioperative creatine phosphokinase (CPK) and troponin I trends after elective hip surgery. *J Trauma*. 2007 Aug;63(2):388-93.
2. MAVROGENIS AF, PAPAGELOPOULOS PJ, IGNATIADIS IA, ANTONOPOULOS D, SPYRIDONOS SG. Anatomical repair of distal biceps brachii tendon rupture through a limited anterior approach. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2009;19:243-247. DOI: 10.1007/s00590-009-0426-x
3. MAVROGENIS AF, SPYRIDONOS SG, IGNATIADIS IA, ANTONOPOULOS D, PAPAGELOPOULOS PJ. Partial fasciectomy for Dupuytren's contractures. *J Surg Orthop Adv* 2009 Summer;18(2):106-10.
4. MAVROGENIS AF, SPYRIDONOS SG, ANTONOPOULOS D, SOUCACOS PN, PAPAGELOPOULOS PJ. Effect of sensory re-education after low median nerve complete transection and repair. *J Hand Surg Am*. 2009 Sep;34(7):1210-5. Epub 2009 Jun 25.
5. Mavrogenis A, Tsibidakis H, Papagelopoulos P, Antonopoulos D, Papathanasiou J, Korres D, Pneumaticos S. Posterior transpedicular decompression for thoracolumbar burst fractures. *Folia Med (Plovdiv)* 2010 Oct-Dec;52(4):39-47.
6. Mitsiokapa EA, Mavrogenis AF, Antonopoulos D, Tzanos G, Papagelopoulos PJ. Common peroneal nerve palsy after grade I inversion ankle sprain. *J Surg Orthop Adv* 2012 Winter;21(4):261-5.
7. Antonopoulos DK, Mavrogenis AF, Korres D, Efstathopoulos N, Spyridonos S. *BMMR (Balkan Military Medical Review)* 2011;14.253-262.
8. Tolis KE, Raptis KG, Zafeiris CP, Antonopoulos DK, Spyridonos SG. A rare intramuscular myxoma of the hypothenar. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2015 Dec;15(4):372-4.
9. Mavrogenis AF, Flevas DA, Raptis K, Megaloikonomos PD, Igoumenou VG, Antoniadou T, Dimopoulos L, Antonopoulos D, Spyridonos SG. Four-corner fusion of the wrist: clinical and radiographic outcome of 31 patients. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2016 Dec;26(8):859-866.
10. Μικροχειρουργική. Πρακτική Άσκηση και Κλινική Εφαρμογή στο Άνω Άκρο. Σ. Σπυρίδωνος. Εκδόσεις Κωνσταντάρας, 2012. ISBN: 9789606802331.

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα (Ν. 5343/32, άρθρο 202, παρ. 2).

Ημερομηνία αίτησης: 23/12/09
Ημερομηνία ορισμού τριμελούς Συμβουλευτικής επιτροπής: 30/6/10
Ημερομηνία ορισμού θέματος διδακτορικής διατριβής: 29/10/10
Ημερομηνία αίτησης αλλαγής επιβλέποντα: 4/4/12
Ημερομηνία κατάθεσης Α' προόδου: 8/6/12
Ημερομηνία κατάθεσης Β' προόδου: 18/3/15
Ημερομηνία αίτησης αλλαγής επιβλέποντα: 30/9/16
Ημερομηνία έγκρισης αλλαγής επιβλέποντα: 12/10/16
Ημερομηνία αίτησης παράτασης διδακτορικής διατριβής: 12/10/16
Ημερομηνία έγκρισης παράτασης διδακτορικής διατριβής: 9/12/16
Ημερομηνία κατάθεσης Γ' προόδου: 16/01/17
Ημερομηνία κατάθεσης διδακτορικής διατριβής: Ιανουάριος 2017

Τριμελής επιτροπή

Σ. Γ. Πνευματικός
Καθηγητής Ορθ/κής

Π. Ι. Παπαγγελόπουλος
Καθηγητής Ορθ/κής

Α. Φ. Μαυρογένης
Επίκουρος Καθηγητής Ορθ/κής

Κύριος ερευνητής

Δημήτριος Κ. Αντωνόπουλος
Ορθοπαιδικός Χειρουργός

Συνεργάτες

Σ. Σπυρίδωνος
Δ/ντής Κλινικής Χειρουργικής
Χεριού, Άνω Άκρου και Μικροχειρουργικής
Γ.Ν.Α. Κ.Α.Τ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πίσω από κάθε πόνημα, όσο δύσκολο, εύκολο, μικρό ή μεγάλο μπορεί να φανεί, κρύβεται πολύς κόπος και προσφορά χρόνου, αλλά κι ένας αριθμός ανθρώπων που ο καθένας από τη σκοπιά του, συνέβαλε βοηθώντας, στηρίζοντας, καθοδηγώντας εκείνον που υπογράφει μετά την τελευταία τελεία.

Με την ολοκλήρωση του εγχειρήματος αυτού, δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω τους Καθηγητές κ. Π. Παπαγγελόπουλο και κ. Σ. Πνευματικό, για την επιστημονική τους βοήθεια και επίβλεψη, καθώς και στον Επίκ. Καθηγητή κ. Α. Μαυρογένη, για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγησή του σε κάθε πτυχή της εργασίας αυτής, καθόλη τη διάρκειά της, με ανιδιοτέλεια και διάθεση προσφοράς.

Οφείλω, επίσης, ένα μεγάλο «ευχαριστώ» στο Χειρουργό Ορθ/κό, Δ/ντή της Κλινικής Χειρουργικής Χεριού, Άνω Άκρου και Μικροχειρουργικής του Γ.Ν.Α. Κ.Α.Τ. κ. Σαράντη Σπυρίδωνος, τον άνθρωπο που μου έμαθε Χειρουργική και που στάθηκε αρωγός στη προσπάθειά μου σε κάθε στάδιό της, προσφέροντας κάθε είδους βοήθεια από την ηθική έως την άκρως ουσιαστική πλευρά αυτής, παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου ικανού αριθμού ασθενών.

Τους συνεργάτες μου Χειρουργούς Ορθ/κούς κ. Ράπτη Κωνσταντίνο και κα. Τέρη Κοντού, για την βοήθειά τους στον έλεγχο των ασθενών.

Όπως είναι γνωστό, όλες οι εργασίες, εκεί που φαίνεται πως έχουν φτάσει στο τέλος τους, εκεί αποδεικνύεται πως κρύβεται πολλή δουλειά. Θα μου ήταν απίστευτα δύσκολο να περατώσω αυτή την εργασία, χωρίς την βοήθεια ανθρώπων που ο καθένας τους θεώρησε μικρή, αλλά για μένα ήταν μεγάλη και άκρως ουσιαστική.

Ευχαριστώ, λοιπόν, τον πατέρα μου Κωνσταντίνο, για την ανάγνωση και τις ουσιαστικές παρεμβάσεις του στη διόρθωση του κειμένου,

τον αδερφό μου Γιώργο, μαθηματικό, για τις πολλές ώρες που διέθεσε στο δύσκολο κομμάτι της στατιστικής ανάλυσης,

την φίλη μου Βαία Κούτρα, για την προθυμία και διάθεση να μεταφέρει, "μεταφράζοντας" τα χειρόγραφα κείμενα σε ψηφιακή μορφή, παράλληλα με το έντονο καθημερινό της έργο,

τον φίλο μου Μπάμπη Καραμίντζιο, που αγόγγυστα προσέφερε πολλές από τις λίγες ελεύθερες ώρες του για να διαμορφώσει και να διορθώσει το παρόν έργο, με διάθεση για τελειότητα και προσοχή στη λεπτομέρεια, στοιχεία από τα οποία ο καθένας έχει να κερδίζει.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου απέναντι σε εκείνους που με έκαναν πάνω απ' όλα «άνθρωπο», τους γονείς μου.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στην οικογένειά μου, για αναρίθμητους λόγους, που μόνο η ψυχή γνωρίζει.

Στατιστική ανάλυση: Αντωνόπουλος Γεώργιος
Σκίτσα: Αντωνόπουλος Δημήτριος
Εξώφυλλο: Αντωνόπουλος Δημήτριος

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Η παρούσα εργασία δημοσιεύτηκε στο Διεθνές Περιοδικό:

BMMR (Balkan Military Medical Review)

Dimitrios K. Antonopoulos, Andreas F. Mavrogenis, Dimitrios Korres, Nikolaos Efstathopoulos, Sarantis Spyridonos, 14.253-262 (2011).

Παρουσιάστηκε στα:

15th EFFORT Congress 4-6 June 2014

Effect of Sensory Re-Education After Low Median Nerve Complete Transection and Repair

Dimitris K. Antonopoulos, MD, Andreas F. Mavrogenis, MD, D. Korres, MD, N. Efstathopoulos, MD, Sarantis Spyridonos MD.

24ο Ιατρικό Συνέδριο Ενόπλων Δυνάμεων 18-20 Οκτ. 2012

Μικροχειρουργική Συρραφή Μέσου νέρου και αισθητική επανεκπαίδευση του χεριού

Αντωνόπουλος Κ. Δημήτριος, Μαυρογένης Φ. Ανδρέας, Πνευματικός Σπυρίδων, Κορρές Δημήτριος, Ευσταθόπουλος Νικόλαος, Σπυρίδωνος Σαράντης

17th BMMC Congress May 29-June 1, 2012 Belgrade Serbia

Sensory re-education of the hand after complete median nerve transaction and microsurgical repair

Dimitris K. Antonopoulos, MD, Andreas F. Mavrogenis, MD, D. Korres, MD, N. Efstathopoulos, MD, Sarantis Spyridonos MD.

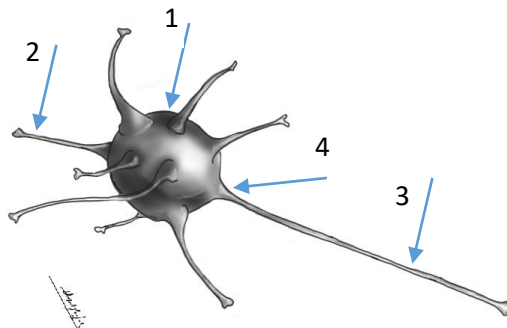
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΠΤΙΚΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ.....	5
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	13
1. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ - ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ	14
2. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ	16
3. ΤΥΠΟΙ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	20
4. ΣΥΝΑΨΕΙΣ.....	22
5. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΧΕΩΝ.....	25
6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	29
7. ΑΙΣΘΗΤΙΚΕΣ ΟΔΟΙ.....	31
8. ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ (ή ΔΙΚΤΥΑ)	35
8.1 Αρχιτεκτονική δομή των Ν.Δ.....	37
9. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ.....	40
10. ΣΥΡΡΑΦΗ ΝΕΥΡΟΥ.....	45
10.1 Επινευρική συρραφή	46
11. ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΣΗ ΤΟΥ ΧΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΕΓΚΕΦΑΛΟ-ΤΟ ΧΕΡΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ.....	47
12. ΑΝΑΤΟΜΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΜΕΣΟΥ ΝΕΥΡΟΥ ΣΤΟ ΧΕΡΙ	50
13. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	52
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	54
14. ΕΠΑΝΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ.....	55
14.1 Εισαγωγή.....	55
14.2 Σκοπός.....	59
14.3 Υλικό - Μέθοδος	60
14.4 Αποτελέσματα.....	68
14.5 Συμπεράσματα.....	77
15. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	81
16. ABSTRACT.....	83
17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ANATOMIA ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ - ΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

Το νευρικό κύτταρο, ο νευρώνας, αποτελεί τη δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος. Πρόκειται για ένα εξειδικευμένο τύπο κυττάρου, με ποικιλία στη μορφολογία, ανάλογα με τη λειτουργική του ιδιότητα και θέση του στο νευρικό σύστημα. Ένας τυπικός νευρώνας αποτελείται από το σώμα και τις αποφυάδες του. Οι αποφυάδες είναι δύο ειδών. Οι δενδρίτες, οι οποίες αποτελούν μικρές αποφυάδες του κυτταρικού σώματος και ποικίλουν από νευρικό κύτταρο σε κύτταρο και ο νευρίτης ή νευράξονας, ο οποίος αποτελεί τη μακρύτερη αποφυάδα του νευρώνα, με μήκος που μπορεί να φτάσει και το ένα μέτρο. Το σημείο έκφυσης του νευράξονα από το σώμα του κυττάρου αποτελεί ένα παχύτερο τμήμα του νευράξονα και ονομάζεται εκφυτικός κώνος. Αποτελεί το πιο ευερέθιστο σημείο της κυτταρικής μεμβράνης.



Σχήμα 1.1. Το τυπικό νευρικό κύτταρο αποτελείται από το σώμα (1), τους δενδρίτες (2), τον νευράξονα (3). Το πιο ευερέθιστο σημείο του είναι ο εκφυτικός κώνος (4).

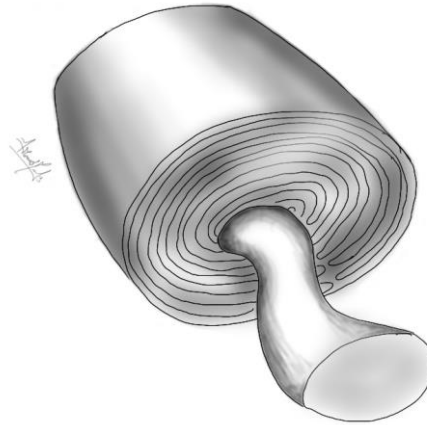
Οι νευράξονες αποτελούν τις ίνες των περιφερικών νεύρων και ο συνολικός αριθμός αυτών στον ανθρώπινο οργανισμό έχει υπολογισθεί σε 10^{11} . Επίσης, έχει υπολογισθεί ότι τα κύτταρα του εγκεφαλικού φλοιού δέχονται κι επεξεργάζονται περί τις 6×10^3 - 6×10^4 συνάψεις από άλλους νευρώνες.

Τα νευρικά κύτταρα έχουν ιδιαίτερα υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις εξαιτίας της μορφής του κυττάρου (μεγάλη επιφάνεια, μακρές αποφυάδες) και λόγω των απαιτήσεων για τη ρύθμιση του δυναμικού της μεμβράνης. Γι' αυτό το λόγο, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μιτοχόνδρια και υψηλή κατανάλωση O_2 .

Οι νευράξονες αποτελούνται από το αξονόπλασμα, το οποίο επικοινωνεί με το πρωτόπλασμα του κυτταρικού σώματος. Η δομική καθώς και η λειτουργική ακεραιότητα του νευράξονα, εξαρτάται από τη συνεχή ροή μεταξύ νευράξονα και κυτταρικού σώματος, που ονομάζεται αξονοπλασματική ροή. Μέσω αυτής, μεταφέρονται θρεπτικά συστατικά ή άλλες ουσίες όπως νευροδιαβιβαστές, απαραίτητα για την δομική και ηλεκτροχημική δυναμική του νευρώνα.

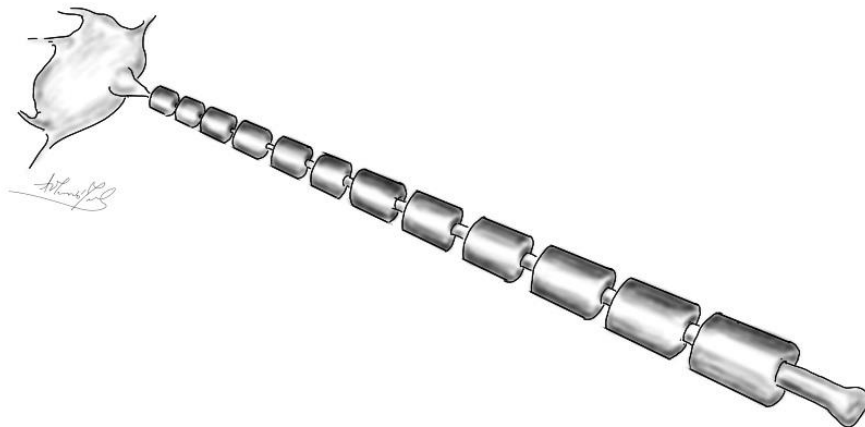
Γύρω από το κυλινδρικό πρωτόπλασμά του, ο νευράξονας περιβάλλεται από έλυτρο, το νευρείλημα ή έλυτρο Schwann. Τα κύτταρα του Schwann καθώς αναπτύσσονται, περιβάλλουν τον νευράξονα με πολλαπλές συγκεντρικές στοιβάδες κυτταροπλασματικής μεμβράνης, σχηματίζοντας έτσι με τις πολλές στοιβάδες περιέλυξης γύρω από τον άξονά του, το έλυτρο *μυελίνης*. Ανάλογα με το αν περιβάλλονται από έλυτρο μυελίνης ή όχι, οι νευράξονες διακρίνονται στους εμύελους και αμύελους.

Η μυελίνη αναπτύσσεται κατά την εμβρυική ζωή στις ανιούσες αισθητικές οδούς, έως και 2-3 έτη μετά τη γέννηση, με τη συμμετοχή της στη πυραμυδική οδό. Η διαδικασία επένδυσης του νευράξονα με έλυτρα μυελίνης ονομάζεται μυελίνωση ή μυελογέννεση.



Σχήμα 1.2. Τα κύτταρα του Schwann καθώς αναπτύσσονται, περιβάλλουν τον νευράξονα με πολλαπλές περιελίξεις γύρω από τον άξονά του, σχηματίζοντας πολλές στοιβάδες περιέλιξης.

Κατά μήκος του νευράξονα και κατά τη μετάβαση από το ένα κύτταρο Schwann στο άλλο, δημιουργούνται μικρές ασυνέχειες, περίπου κάθε 1-2mm αφήνοντας γυμνό από μυελίνη τμήμα του νευράξονα. Το κενό αυτό μυελίνης γύρω από τον νευράξονα, ονομάζεται περισφίγξη Ranvier. Η μυελίνη έχει μονωτικό ρόλο επί της κυτταρικής μεμβράνης, μόνωση που διακόπτεται στις περισφίγγεις Ranvier. Η μυελίνωση και οι περισφίγγεις Ranvier διαμορφώνουν την αγωγιμότητα και τη ταχύτητα της νευρικής ώσης στις εμύελες νευρικές ίνες.



Σχήμα 1.3. Οι περισφίγγεις Ranvier αποτελούν κενά μυελίνωσης του νευράξονα.

2. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

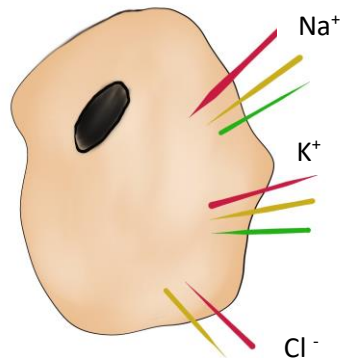
Από λειτουργικής άποψης, το σώμα και οι δενδρίτες αποτελούν τη δεκτική ζώνη του νευρώνα, δηλαδή τη περιοχή που δέχεται ερεθίσματα από άλλους νευρώνες, ενώ ο νευράξονας άγει νευρικές ώσεις ως αγωγός ερεθισμάτων.

Τα νευρικά κύτταρα, βασιζόμενα στην ιδιότητά τους να διεγείρονται κάθε φορά που επιδρά σε αυτά κάποιο ερέθισμα, λειτουργούν ως η βασική μονάδα ενός δικτύου επικοινωνίας. Η αντίδρασή τους είναι πάντα μια ηλεκτροχημική διαταραχή της κυτταρικής μεμβράνης, από το σημείο ερεθισμού, στις τελικές απολήξεις του νευρώνα φυγόκεντρα ή κεντρομόλα.

Σε κατάσταση ηρεμίας του κυττάρου, στην κυτταρική μεμβράνη δημιουργείται δυναμικό βάσει δύο μηχανισμών:

- i. με ενεργητική μεταφορά ιόντων μέσω διαύλων μεταφοράς,
- ii. με διάχυση βάσει του φαινομένου εξισσορόπησης διαλυμάτων μέσω ημιδιαπερατών μεμβρανών με παθητική μεταφορά.

Με τους μηχανισμούς αυτούς διακίνησης ιόντων, εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης, δημιουργούνται ρεύματα μεταφοράς ιόντων και διαφορά δυναμικού σε αυτή με τους παρακάτω τρόπους. Ιόντα Na μεταφέρονται με ενεργητική μεταφορά προς το εξωκυττάριο περιβάλλον της κυτταρικής μεμβράνης και ενεργητικής μεταφοράς ιόντων K από το εξωκυττάριο περιβάλλον προς το εσωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης. Λόγω της δημιουργούμενης, έτσι, διαφοράς βαθμίδωσης πυκνότητας αλλά και της ηλεκτρικής βαθμίδωσης που εγκαθίσταται, δημιουργείται αντίστροφα παθητικό ρεύμα μεταφοράς, από το εξωτερικό της μεμβράνης, προς το εσωτερικό για τα ιόντα Na, και από έσω προς τα έξω για τα ιόντα K.



Σχήμα 2.1. Σχηματική παράσταση ρευμάτων ροής ιόντων Na, K, Cl εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης.

κόκκινο: Παθητικό ρεύμα μεταφοράς λόγω βαθμίδωσης πυκνότητας

πράσινο: Ενεργητική μεταφορά

κίτρινο: Παθητικό ρεύμα μεταφοράς λόγω ηλεκτρικής βαθμίδωσης

Η κυτταρική μεμβράνη έχει ένα διάυλο διαρροής για τα ιόντα K, δια του οποίου ιόντα K διαχέονται συνεχώς εξωκυτταρίως και την ηλεκτρογόνο αντλία Na-K ATPάση που λειτουργεί ανταλάσσοντας ιόντα Na και K με αναλογία 3/2. Η παθητική είσοδος του Na δεν αντισταθμίζει τη διαρροή K με δεδομένο ότι η διαπερατότητα της μεμβράνης για τα ιόντα K είναι 100 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του Na.

Παράλληλα, εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης ιόντων Cl εξωκυτταρίως, με διαφορά βαθμίδωσης πυκνότητας, δημιουργείται, εντός της μεμβράνης, παθητικό ρεύμα μεταφοράς αυτών. Η δημιουργούμενη, όμως, μεγάλη συγκέντρωση αρνητικών φορτίων, εντός της μεμβράνης, δημιουργεί ένα δεύτερο αντίστροφο ρεύμα προς το εξωτερικό της μεμβράνης, αυτή τη φορά, λόγω ηλεκτρικής βαθμίδωσης. Τα δύο αυτά ρεύματα ηλεκτρικής βαθμίδωσης και βαθμίδωσης πυκνότητας καθορίζουν τη συγκέντρωση των ιόντων Cl στο κύτταρο. Ο αριθμός των ιόντων που απαιτείται για τη δημιουργία του δυναμικού της μεμβράνης είναι μόλις το $1/(5 \times 10^6) - 1/10^8$ του συνόλου των θετικών φορτίων στο κύτταρο.

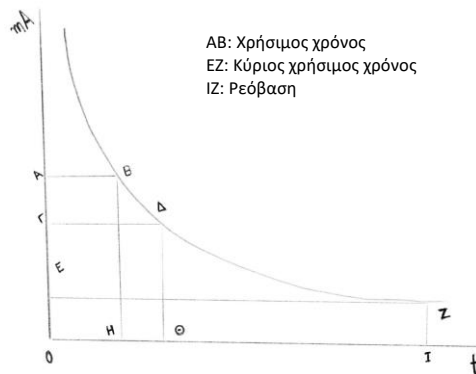
Με τον μηχανισμό αυτό, δημιουργείται μια διαφορά συγκέντρωσης ιόντων εκατέρωθεν της κυτταρικής μεμβράνης. Εξαιτίας της σχετικής αύξησης των ιόντων K εξωτερικά, δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης, με το εξωτερικό περιβάλλον να είναι θετικό σε σχέση με το εσωτερικό. Αυτή η διαφορά δυναμικού, σε κατάσταση ηρεμίας του κυττάρου, είναι περίπου -90mV. Κατά σύμβαση το δυναμικό που μετρείται σαν τιμή της κυτταρικής μεμβράνης, είναι αυτό του εσωτερικού της. Τα κύρια ιόντα που συμβάλλουν στη δημιουργία του δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης είναι τα Na, K, Cl.

Έτσι, λοιπόν, στη περίπτωση επίδρασης ενός ερεθίσματος, ακολουθεί υπερπόλωση του δυναμικού της μεμβράνης, η οποία εξαιτίας της προσωρινής αύξησης των αρνητικών φορτίων στο εσωτερικό του κυττάρου και της δημιουργούμενης ηλεκτρικής βαθμίδωσης, ακολουθεί εισροή εντός αυτής ιόντων K και έξοδος ιόντων Cl. Η σχετική αύξηση των θετικών φορτίων ενδοκυτταρίως επαναφέρει το δυναμικό της μεμβράνης στο αρχικό επίπεδο, με αυτό το μηχανισμό αυτορρύθμισης. Αντίστροφες μεταβολές συμβαίνουν στις περιπτώσεις εκπόλωσης της κυτταρικής μεμβράνης.

Χαρακτηριστικό του νευρώνα είναι η αντίδρασή του, με τη μορφή διέγερσης, κάτω από την επίδραση ποικίλων εξωτερικών ερεθισμάτων. Τέτοια ερεθίσματα μπορεί να είναι μηχανικά, θερμικά, χημικά, ηλεκτρομαγνητικά κ.ά.. Κάθε νευρώνας διεγείρεται από ένα ειδικό ερέθισμα, το *ομόλογο ερέθισμα*, εφόσον αυτό έχει ικανή ένταση, ώστε να περάσει την ουδό διέγερσής του, δηλαδή ικανό να περάσει τη *βαλβίδα διέγερσης* του ακολουθώντας έτσι το νόμο «όλον ή ουδέν». Δηλαδή, ανάλογα με την ένταση του ερεθίσματος κι εφόσον δύναται να περάσει τη βαλβίδα διέγερσης, παράγεται ή όχι νευρική ώση. Κάθε νευρώνας δύναται να διεγερθεί και με μη ομόλογο ερέθισμα, αλλά στη περίπτωση αυτή η βαλβίδα διέγερσης έχει μεγαλύτερη τιμή. Η βαλβίδα διέγερσης είναι διαφορετική και ξεχωριστή, για κάθε νευρώνα αλλά και για τον ίδιο νευρώνα, επίσης διαφέρει, υπό διαφορετικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία).

Η διέγερση ξεκινά όταν μέσω του ερεθίσματος δημιουργείται μεταβολή της ηλεκτροχημικής ισορροπίας του κυττάρου. Ακολουθεί εκπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης, εφόσον το ερέθισμα έχει ένταση ικανή να περάσει τη βαλβίδα διέγερσής του. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονισθεί ότι παράμετρος διέγερσης δεν αποτελεί μόνο η ένταση του ερεθίσματος, αλλά και η διάρκεια επίδρασής του.

Συνδυάζοντας αυτές τις δύο παραμέτρους ορίζεται η καμπύλη έντασης-διάρκειας, που χαρακτηρίζει την ερεθιστότητα του κυττάρου. Η ελάχιστη ένταση που απαιτείται για τη δημιουργία διέγερσης ονομάζεται *ρεόθαση*, ενώ ο χρόνος για την επίτευξη, *κύριος χρήσιμος χρόνος*.



Σχήμα 2.2. Ρεόβαση: η ελάχιστη ένταση που απαιτείται, προκειμένου ένα ερέθισμα να περάσει τη βαλβίδα διέγερσης του νευρώνα (ανεξάρτητα από τη διάρκεια). Κύριος χρήσιμος χρόνος: ο χρόνος που απαιτείται, ώστε ένα ερέθισμα να αποκτήσει ένταση που θα περάσει τη βαλβίδα διέγερσης

Μετά την επίδραση του ερεθίσματος, ακολουθεί μεταβολή του δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης και η εξάπλωση της μεταβολής αυτής αναλλοίωτα κατά μήκος όλου του νευράξονα με τη μορφή του *δυναμικού δράσης*. Δηλαδή, η νευρική ώση μεταφέρεται με την ίδια ένταση και παλμό σε όλο το μήκος του νευρώνα, όπως αυτή δημιουργήθηκε.

Το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα, κατά τη γέννηση του δυναμικού δράσης, είναι η θετικοποίηση του δυναμικού της κυτταρικής μεμβράνης (εκπόλωση). Η εκπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης, η οποία γίνεται σε 100μsec ακολουθείται από την ενεργοποίηση διαύλων Na και στη συνέχεια, η διαφοροποίηση της πυκνότητας των στοιχείων και η διαβάθμιση των ιοντικών φορτίων οδηγεί, μέσω διάχυσης σε αποκατάσταση της ισοροπίας στο δυναμικό ηρεμίας.

Η διαδικασία επανόδου (αποκατάστασης) του δυναμικού ηρεμίας γίνεται σε χρόνο 500-700μsec.

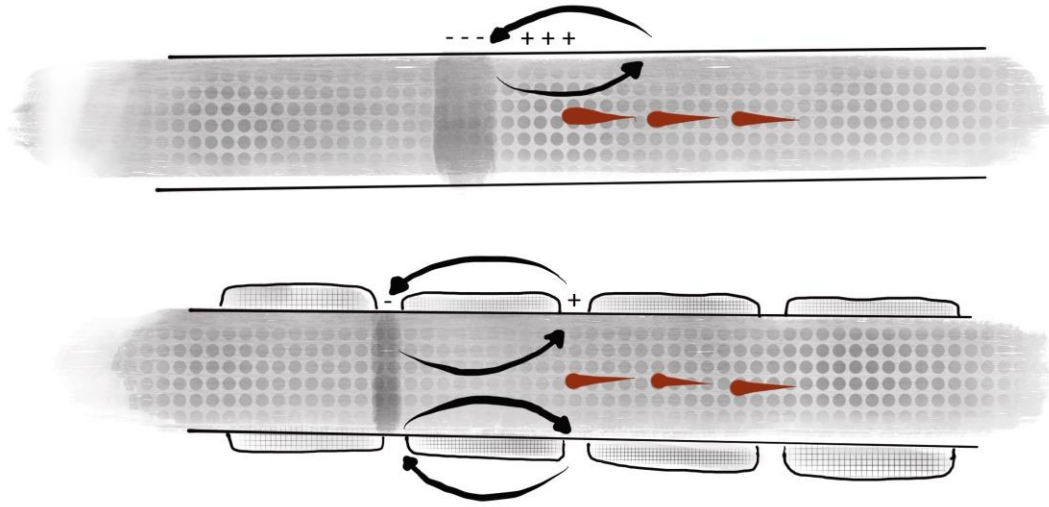
Κατά τη χρονική φάση της έκλυσης δυναμικού δράσης στο κύτταρο ακολουθεί μια χρονική φάση διάρκειας 1ms, κατά την οποία είναι αδύνατο να διεγερθεί εκ νέου. Η φάση αυτή ονομάζεται *απόλυτη ανερέθιστη περίοδος* και είναι ανεξάρτητη από την ένταση το όποιου ερεθίσματος. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια φάση χρονικής διάρκειας 4msec, κατά την οποία ο νευρώνας είναι δυνατό να ερεθιστεί, αλλά με πολύ μεγαλύτερης έντασης ερέθισμα (υψηλότερη βαλβίδα ενεργοποίησης). Η φάση αυτή ονομάζεται *σχετική ανερέθιστη περίοδος*. Το δυναμικό δράσης κατά τη σχετική ανερέθιστη περίοδο είναι πολύ μικρότερο.

Κατά την ηλεκτρική διέγερση του νευρικού κυττάρου, ηλεκτρικά ρεύματα ροής ιόντων νατρίου από τη διεγερμένη περιοχή μεταφέρονται στην αμέσως γειτονική περιοχή της μεμβράνης. Μεταφέρονται έτσι, κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης, μεταδίδοντας τη νευρική ώση.

Κάθε περιοχή που μόλις έχει διεγερθεί, διεγείρει μόνο τη γειτονική της ανερέθιστη περιοχή και όχι την προηγούμενη της που ήδη βρίσκεται στο στάδιο της ανερέθιστης περιόδου. Έτσι, το δυναμικό δράσης μεταφέρεται μονόδρομα. επίσης, επειδή το δυναμικό δράσης είναι συνήθως πέντε φορές μεγαλύτερο από τη βαλβίδα διέγερσης, εξασφαλίζεται η προώθηση της νευρικής ώσης.

Στις εμμύελες νευρικές ίνες η ηλεκτρική διέγερση γίνεται μόνο στις περισφίξεις Ranvier, καθώς είναι οι μόνες διαθέσιμες μη μονωμένες επιφάνειες της κυτταρικής μεμβράνης, για την δημιουργία τοπικών κυκλωμάτων. Έτσι, η μετάδοση της νευρικής ώσης γίνεται από περισφίγξη σε περισφίγξη, κατά μήκος του άξονα και κατά άλματα. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται μετάδοση ώσης με ταχύτητες έως 50 φορές μεγαλύτερη, σε σχέση με τις αμύελες ίνες.

Η ταχύτητα αγωγής νευρικής ώσης κυμαίνεται από 0,5msec έως 120msec και εξαρτάται από τη διάμετρο της ίνας, τη θερμοκρασία και την ύπαρξη μυελίνης.



Σχήμα 2.3. Σχηματική παράσταση ροής ιόντων κατά τη μονόδρομη μεταφορά νευρικής ώσης σε αμύελες (πάνω) και εμμύελες (κάτω) νευρικές ίνες.

3. ΤΥΠΟΙ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι ίνες των αισθητικών νευρώνων είναι προσαγωγές. Άγουν δηλαδή νευρικές ώσεις από την περιφέρεια προς το Κ.Ν.Σ. Διακρίνονται κατά Erlanger & Glaser, ανάλογα με τη διάμετρο και ταχύτητα αγωγής τους σε:

- Εμμέλες
 - Α, που υποδιαιρούνται στις:
 - Τύπου Αα: έχουν διάμετρο 10-20μm και ταχύτητες αγωγής 60-120m/sec
 - Τύπου Αβ: έχουν διάμετρο 5-15μm και ταχύτητα αγωγής 30-90m/sec
 - Τύπου Αγ: έχουν διάμετρο 1-10μm και ταχύτητα αγωγής 6-60m/sec
 - Τύπου Αδ: έχουν διάμετρο 1-5μm και ταχύτητα αγωγής 6-30m/sec
 - Β (προγαγγλιακές ίνες φυτικού νευρικού συστήματος)
- Αμύελες
 - C, οι οποίες έχουν διάμετρο 0,3-1,3μm, ταχύτητα αγωγής 0,5-2m/sec και άγουν ερεθίσματα, πόνου, θερμού/ψυχρού, ή ερεθίσματα από μηχανοϋποδοχείς

Πάνω από το ήμισυ του συνολικού αριθμού των νευρικών ινών που βρίσκονται στα περιφερικά νεύρα είναι τύπου C.

Αν, αντί για ίνες τύπου C, τα περιφερικά νεύρα είχαν ίνες Αα, τότε θα είχαν σαφώς ταχύτερη αγωγή και αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους, με δυσανάλογη, όμως, αύξηση του όγκου των νεύρων από 15 έως 30 φορές.

Κανένα από τα περιφερικά νεύρα δεν περιέχει όλους τους τύπους των ινών. Έχουν, άλλοτε, διαφορετική κατανομή, με αποτέλεσμα να καταγράφονται σε αυτά σύνθετα δυναμικά δράσης, τα οποία αποτελούν το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους δυναμικών δράσης των διεγερμένων ινών τους. Με άλλα λόγια, η διαφοροποίηση αυτή του δυναμικού δράσης από νεύρο σε νεύρο αποτελεί το δακτυλικό αποτύπωμα του κάθε νεύρου.

Διάφοροι παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν την αγωγιμότητα των νευρικών ινών.

Η όποια εξωτερική πίεση ασκηθεί στο νεύρο, διαταράσσει την αγωγιμότητα των ινών, με διαφορετικό, όμως, τρόπο για κάθε τύπο ίνας. Εύκολα επηρεάζονται οι ίνες μεγαλύτερης διαμέτρου τύπου Α, ενώ δυσκολότερα, οι ίνες τύπου C. Η έλλειψη οξυγόνου διαταράσσει την αγωγιμότητα ευκολότερα στις ίνες τύπου Β, ενώ οι ίνες τύπου C εμφανίζονται ανθεκτικότερες. Τα τοπικά αναισθητικά επηρεάζουν πρωτίστως τις ίνες τύπου C και δυσκολότερα τις ίνες τύπου Α. Στα ανωτέρω παίζει ρόλο και η χωροταξική διάταξη των ινών εντός των νεύρου.

Με βάση τη διάκριση των αισθητικών ινών κατά Lloyd and Hunt οι αισθητικές ίνες κατατάσσονται σε:

- I (Iα, Iβ) που αντιστοιχούν στις ίνες τύπου Αα
- II που αντιστοιχούν στις ίνες τύπου Αβ
- III που αντιστοιχούν στις ίνες τύπου Αδ
- IV που αντιστοιχούν στις ίνες τύπου C

Οι ίνες τύπου I και II άγουν ερεθίσματα από τις μυικές ατράκτους και τα όργανα Golgi και λιγότερο από τους υποδοχείς θυλάκου τριχών, παλαισθησίας καθώς και επικριτικής ικανότητας.

Οι ίνες τύπου II άγουν ερεθίσματα από τις μυικές ατράκτους, από τους υποδοχείς θυλάκου τριχών, από τους υποδοχείς για την εν τω βάθει πίεση και αφή. Επιπρόσθετα, η επικριτική ικανότητα γίνεται αντιληπτή, μέσω αισθητικών οδών, στις οποίες συμμετέχουν, κυρίως ίνες τύπου II. Οι ίνες αυτές συμμετέχουν σπανιότερα στη μεταφορά ερεθισμάτων παλαισθησίας.

Οι ίνες τύπου III άγουν ερεθίσματα για την εν τω βάθει πίεση και αφή, καθώς και για τον οξύ πόνο και το ψυχρό-θερμό.

Οι ίνες τύπου IV άγουν ερεθίσματα για το βύθιο άλγος και το ψυχρό-θερμό.

Ανάλογα με την κατεύθυνση των ώσεων, οι νευρικές ίνες διακρίνονται σε κινητικές-φυγόκεντρες ή αισθητικές-κεντρομόλες, ενώ εντός του νωτιαίου μυελού σε ανιούσες ή κατιούσες ίνες.

4. ΣΥΝΑΨΕΙΣ

Τα νευρικά κύτταρα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των συνάψεων και η νευρική ώση μεταδίδεται μέσω αυτών. Συνάψεις είναι οι «επαφές» μεταξύ των κυτταρικών σωμάτων, δενδριτιών ή νευροαξόνων. Νευρικές συνάψεις μπορεί να υπάρξουν μεταξύ σωμάτων, σωμάτων-δενδριτιών, σωμάτων-νευροαξόνων, δενδριτιών μεταξύ τους, δενδριτιών – νευροαξόνων ή νευροαξόνων μεταξύ τους.

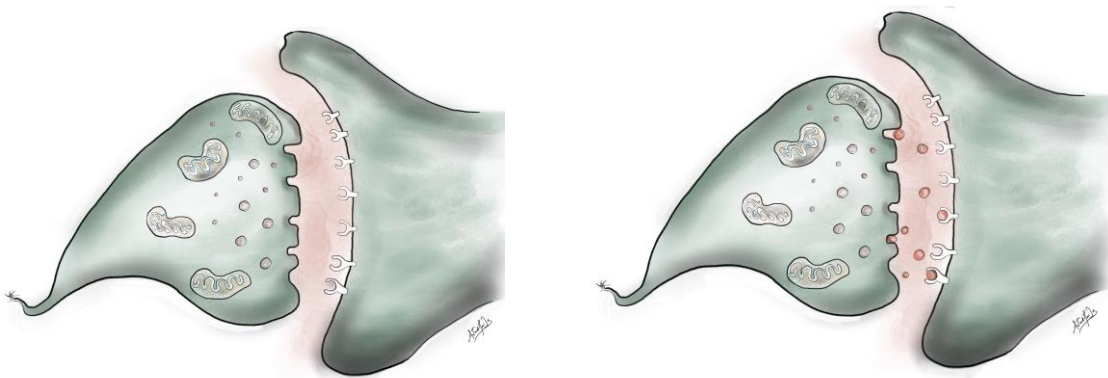
Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά της νευρικής σύναψης είναι η προσυναπτική μεμβράνη, η συναπτική σχισμή και η μετασυναπτική μεμβράνη. Η μετάδοση της νευρικής ώσης δια της σύναψης ονομάζεται συναπτική μετάδοση και εκτελείται με τη βοήθεια χημικών ουσιών από τη μια μεμβράνη στην άλλη. Στην προσυναπτική μεμβράνη βρίσκονται τα συναπτικά κυστίδια τα οποία περιέχουν χημικές ουσίες, τους νευροδιαβιβαστές, οι οποίες εκλύονται στη συναπτική σχισμή όταν η νευρική ώση φθάσει στην προσυναπτική μεμβράνη. Η συναπτική σχισμή έχει διάστημα που κυμαίνεται μεταξύ 150Å–1000Å με μέσες τιμές συνήθως τις 200Å -300Å.

Στη μετασυναπτική μεμβράνη ανευρίσκονται ειδικά πρωτεϊνικά μόρια της μεμβράνης, οι υποδοχείς, οι οποίοι δεσμεύουν τα μόρια των νευροδιαβιβαστών που έχουν εκλυθεί στη συναπτική σχισμή. Όταν μία νευρική ώση φθάσει στην προσυναπτική μεμβράνη προκαλείται σχάση των κυστιδίων και μεταφορά των νευροδιαβιβαστών στη συναπτική σχισμή. Οι νευροδιαβιβαστές παράγονται στο σώμα ή στο αξονόπλασμα του νευρικού κυττάρου. Η ποσότητα δε αυτών που ανευρίσκεται στην προσυναπτική μεμβράνη επαρκεί για τη διαβίβαση μερικών χιλιάδων ώσεων.

Οι ειδικοί υποδοχείς της μετασυναπτικής μεμβράνης δεσμεύουν τους νευροδιαβιβαστές. Η σύνδεση υποδοχέα-μορίου προκαλεί μεταβολές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του μορίου του νευροδιαβιβαστή οι οποίες προκαλούν μεταβολή της διαπερατότητας της μεμβράνης για τα ιόντα Cl.

Οι υποδοχείς της μετασυναπτικής μεμβράνης είναι δύο τύπων:

α) Οι διεγερτικοί υποδοχείς, οι οποίοι με τον ανωτέρω μηχανισμό προκαλούν αύξηση της διαπερατότητας για τα ιόντα Na^+ Cl^- και την είσοδο αυτών εντός της μετασυναπτικής μεμβράνης. Έτσι, προκαλείται, διαβαθμισμένα, εκπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης, η οποία όταν περάσει τη βαλβίδα διέγερσης, (ανα)παράγεται η νευρική ώση.



Σχήμα 4.1. Σχηματική παράσταση νευρικής σύναψης. Τα κυστίδια που περιέχουν νευροδιαβιβαστές, μεταφέρονται εξωκυτταρίως από το νευράξονα που μεταφέρει τη νευρική ώση, για να προσληφθούν από ειδικούς υποδοχείς του νευράξονα που θα διαβιβάσει τη νευρική ώση.

Η διεγερσιμότητα του μετασυναπτικού νευρώνα είναι μεγαλύτερη στο σώμα και στον εκφυτικό κώνο. Για την παραγωγή ώσης- μετασυναπτικού δυναμικού δε φτάνει συνήθως από ένα μόνο ερεθιστικό δυναμικό. Συνήθως απαιτείται συνάθροιση στο χώρο ή χρόνο έτσι ώστε αθροιστικά να μπορεί να φτάσει ως τη βαλβίδα διεγερσης.

β) Οι ανασταλτικοί υποδοχείς προκαλούν αύξηση της διαπερατότητας μόνο για τα ιόντα K^+-Cl και όχι για τα ιόντα Na^+ . Η ηλεκτροχημική αυτή διαφορά οδηγεί σε υπερπόλωση της μετασυναπτικής μεμβράνης και την αναστολή μετάδοσης της νευρικής ώσης.

Σε κάθε προσυναπτική μεμβράνη υπάρχει ένας κύριος νευροδιαβιβαστής, ωστόσο μπορεί να υπάρχουν διάφορες άλλες ουσίες που λειτουργούν ως νευροτροφικοί παράγοντες ή νευροδιαμορφωτές, ουσίες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των ιοντικών διαύλων (εγκεφαλίνες - ενδορφίνες), με αποτέλεσμα την επιτάχυνση ή επιβράδυνση των αντιδράσεων της μετασυναπτικής μεμβράνης.

Η Σπουδαιότητα των νευροτροφικών παραγόντων φαίνεται από το γεγονός ότι:

Διατομή περιφερικού νευρώνα οδηγεί σε ατροφία του οργάνου στόχου ή του νευρώνα με το οποίο συνδεόταν. Βοηθά δηλαδή στη διατήρηση δομικών σχέσεων μεταξύ νευρικών κυττάρων ή εκτελεστικών οργάνων.

Έχει αναγνωρισθεί πληθώρα μορίων που λειτουργούν ως νευροδιαβιβαστές όπως ακετυλοχολίνη, κατεχολαμίνες (νοραδρεναλίνη, ντοπαμίνη, αδρεναλίνη), σεροτονίνη, διάφορα αμινοξέα (GABA). Εκτός από τους υποδοχείς της μετασυναπτικής μεμβράνης διεγερτικό ή ανασταλτικό ρόλο στη μετάδοση της νευρικής ώσης παίζει η ανταγωνιστική δράση των ουσιών στην προσυναπτική μεμβράνη. Για παράδειγμα η ανταγωνιστική δράση της στρυχνίνης ή της τετανικής τοξίνης προς τη γλυκίνη στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού. Η ανασταλτική δράση της γλυκίνης εξουδετερώνεται, με αποτέλεσμα την εμφάνιση σπασμών.

Εκτός από την περίπτωση άμεσης ανασταλτικής δράσης κάποιων ουσιών υποδοχέων ή έμμεσης μέσω ανταγωνιστικής δράσης ουσιών (όπως της γλυκίνης), είναι δυνατό να ανασταλεί η νευρική ώση λόγω του συναπτικού κάματου. Δηλαδή τη μείωση της παραγωγής ώσεων λόγω εξάντλησης αποθεμάτων νευροδιαβιβαστικών ουσιών λόγω συνεχών πολλαπλών ερεθισμάτων στο προσυναπτικό νευρώνα.

Επίσης, διάφοροι παράγοντες του περιβάλλοντος της σύναψης μπορεί να δράσουν ανασταλτικά στη μετάδοση ώσεων. Τέτοια είναι το pH όπου η αλκάλωση ευοδώνει τη διεγερσιμότητα του νευρώνα, ενώ η οξέωση καταστέλλει τη διάδοση ώσεως. Υψηλές τιμές αλκάλωσης οδηγούν σε σπασμούς, ενώ σε υψηλές τιμές οξέωσης η κατάληξη είναι το κώμα.

Το O_2 παίζει σημαντικό ρόλο. Υποξία λειτουργεί ανασταλτικά στη διεγερσιμότητα. Διεγερτικά στη μετάδοση ώσεων παίζουν διάφορες ουσίες όπως η θεοφυλίνη ή καφεΐνη ή θεοβρωμίνη που αυξάνουν τη διεγερσιμότητα.

Χαρακτηριστικό των συνάψεων είναι η ορθόδρομη μετάδοση των ώσεων. Ακριβώς επειδή οι νευροδιαβιβαστές βρίσκονται μόνο στην προσυναπτική μεμβράνη και εκλύονται μόνο από αυτήν προς το μετασυναπτικό νευρώνα, η ανάδρομη μετάδοση είναι αδύνατη.

Οι συνάψεις αποτελούν τον τρόπο σύνδεσης των νευρικών κυττάρων μεταξύ τους. Η διαδικασία όμως αυτή «κοστίζει» χρονικά στην οδό μεταφοράς της νευρικής ώσης. Κάθε φορά που η

νευρική ώση φτάνει στην προσυναπτική μεμβράνη, μόρια των νευροδιαβιβαστών διαχέονται στη συναπτική σχισμή για να προσληφθούν στη συνέχεια από τους αντίστοιχους υποδοχείς και την ενεργοποίηση δυναμικού ώσης στο μετασυναπτικό νευρώνα. Αυτή όλη η διεργασία απαιτεί χρόνο, περίπου 500μsec και ονομάζεται συναπτικό διάλειμμα. Στις νευρικές οδούς όσοι περισσότεροι νευρώνες συμμετέχουν τόσο πιο αργή είναι η μετάδοση της πληροφορίας.

Οι συνάψεις αποτελούν σχετικά σταθερές δομές, ωστόσο η λειτουργικότητά τους μπορεί να τροποποιηθεί βάσει της δυναμικής που εκφράζει το νευρικό σύστημα κατά τη «μαθησιακή» διαδικασία. Για παράδειγμα, κατά την εκπόλωση της προσυναπτικής μεμβράνης μετά την άφιξη μιας νευρικής ώσης, ανοίγουν διάυλοι Ca^{++} και τα εισερχόμενα ιόντα Ca προκαλούν μετακίνηση των προσυναπτικών κυστιδίων από το κυτταρόπλασμα προς τη μεμβράνη. Μετά από αλληπάληλες σειρές ώσεων ή συνδυασμού ώσεων, είναι δυνατή η αύξηση του επιπέδου ιόντων Ca στις απολήξεις του προσυναπτικού νευρώνα με συνέπεια την επακόλουθη αυξημένη απελευθέρωση νευροδιαβιβαστικής ουσίας στη σύναψη που οδηγεί σε ευόδωση της μετάδοσης της ώσης. Ομοίως αύξηση Ca μπορεί να παρατηρηθεί και στο μετασυναπτικό νευρώνα με αποτέλεσμα τη διευκόλυνση της διάδοσης της ώσης.

Παράλληλα, μεταβολές της μικροανατομικής και φυσικοχημικής δομής των συνάψεων είναι δυνατό να συμβούν επηρεάζοντας τη λειτουργικότητά τους. Σημαντικό ρόλο σ' αυτό παίζουν πρωτεϊνικά μόρια της μεμβράνης των συναπτικών κυστιδίων, οι συναψίνες. Έχουν αναγνωρισθεί τέσσερις τύποι αυτών, οι Ια, Ιβ Ια, Ιβ. Η συναπτική μετάδοση δύναται να παρεμποδισθεί επειδή δεσμεύονται τα συναπτικά κυστίδια προς το κυτταροσκελετό εμποδίζοντας τη μετακίνησή τους προς την προσυναπτική μεμβράνη.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι για τη γένεση μετασυναπτικού δυναμικού απαιτείται πολλές φορές η ταυτόχρονη διέγερση του μετασυναπτικού νευρώνα από πολλές συνάψεις ή πολλαπλές ώσεις σε μία σύναψη. Δηλαδή συσσώρευση ώσεων που δημιουργεί σταδιακά άνοδο του δυναμικού και υπερβαίνει τελικά της βαλβίδες του μετασυναπτικού νευρώνα. Με άλλα λόγια, εμφανίζεται συνάθροιση στο χώρο ή στο χρόνο.

Η απόδειξη (Bayer και συνεργάτες, 1982) δυνατότητας δημιουργίας νέων νευρώνων σε ενήλικες σε συνδυασμό με τις ανωτέρω διεργασίες, δείχνουν ότι το νευρικό σύστημα κατέχει μεθόδους προσαρμογής, πλαστικότητας, των νευρικών κυττάρων στις δημιουργούμενες κατά περίπτωση ανάγκες του νευρικού συστήματος. Με την πλαστικότητα αυτή, το νευρικό σύστημα συμβάλει στη μαθησιακή διαδικασία, διεργασία που αναγνωρίζεται ιδιαίτερα στην περιοχή του ιπόκαμπου στον εγκέφαλο, περιοχή που θεωρείται κέντρο διεργασιών μάθησης και μνήμης.

5. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΧΕΩΝ

Τα περιφερειακά όργανα του αισθητηριακού συστήματος, εκείνα από τα οποία ξεκινά και μεταφέρεται η νευρική ώση διά των αισθητικών οδών, είναι οι *αισθητικοί υποδοχείς*. Πρόκειται για ειδικά εξειδικευμένα όργανα, που, αναλόγως με την αρχιτεκτονική τους κατασκευή, έχουν την ιδιότητα να προκαλούν τη γέννηση της νευρικής ώσης στον νευρώνα με τον οποίο συνδέονται, από διάφορα ερεθίσματα. Λειτουργούν, δηλαδή, ως μετασχηματιστές που μετατρέπουν την όποια ενέργεια από το ερέθισμα, σε νευρική ώση. Την κωδικοποιημένη εκείνη δηλαδή μορφή της αισθητικής πληροφορίας, που μέσω των κεντρομόλων οδών, θα καταλήξει στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Κ.Ν.Σ.) όπου θα αποκωδικοποιηθεί, θα αναλυθεί και θα αναγνωρισθεί ως συγκεκριμένο ερέθισμα. Για κάποια ερεθίσματα, όπως αυτά του πόνου, κνησμού, θερμού, ψυχρού, οι ίδιες οι τελικές απολήξεις των νευρικών ινών, αποτελούν αισθητικούς υποδοχείς.

Ανάλογα με το είδος του ερεθίσματος, τη μορφή ενέργειας με την οποία διεγείρονται οι αισθητικοί υποδοχείς, διακρίνονται σε:

- *Μηχανοϋποδοχείς*, εκείνοι που διεγείρονται από μηχανικό ερέθισμα,
- *Χημειοϋποδοχείς*, εκείνοι που διεγείρονται από χημικό ερέθισμα,
- *Φωτοϋποδοχείς*, εκείνοι που διεγείρονται ηλεκτρομαγνητικά
- *Θερμοϋποδοχείς ή ψυχροϋποδοχείς*, εκείνοι που διεγείρονται μέσω θερμοκρασίας κ.τ.λ.

Ανάλογα με το περιβάλλον από το οποίο προέρχονται τα ερεθίσματα, οι υποδοχείς διακρίνονται σε:

- *Εξωυποδοχείς*, οι οποίοι δέχονται ερεθίσματα από το εξωτερικό περιβάλλον, όπως οι οσφητικοί, οι ακουστικοί υποδοχείς
- *Ενδοϋποδοχείς*, οι οποίοι δέχονται ερεθίσματα από τα όργανα του σώματος, δίνοντας πληροφορίες για τις μεταβολές του εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως οι τασεοϋποδοχείς, ή οι ιδιοδεκτικοί υποδοχείς που βρίσκονται στα όργανα του κινητικού συστήματος (μύες, θυλάκους αρθρώσεων, τένοντες, συνδέσμους) και δίνουν πληροφορίες για τη θέση και κατάσταση των μελών του σώματος, εξυπηρετώντας την ιδιοδεκτική αισθητικότητα.

Κάθε υποδοχέας διεγείρεται από συγκεκριμένο τύπο ερεθίσματος, το οποίο καλείται *ομόλογο ερέθισμα*, για τον υποδοχέα αυτόν. Οι αισθητικοί υποδοχείς δύναται να διεγερθούν και από άλλου τύπου ερεθίσματα, μη ομόλογο ερέθισμα, αλλά στη περίπτωση αυτή, θα απαιτηθεί μεγαλύτερη ένταση ερεθίσματος, αφού η βαλβίδα διέγερσης του νευρώνα, για μη ομόλογα ερεθίσματα, είναι μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, μεγάλης έντασης πίεση στο δέρμα θα προκαλέσει πόνο κι όχι αίσθημα πίεσης.

Οι μηχανοϋποδοχείς αποτελούν ένα μεγάλο μέρος των υποδοχέων του σώματος, με ευρύ αριθμό τύπων, που ανάλογα με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του καθενός και την τοπογραφική κατανομή στο σώμα, εξυπηρετούν ο καθένας διαφορετικό τύπο σωματοσπλαχνικής αισθητικότητας.

Σαν μηχανοϋποδοχείς διακρίνονται:

- Οι απολήξεις του Golgi. Αυτές βρίσκονται στις αρθρώσεις κι εξυπηρετούν το αίσθημα της κιναισθησίας, τον τύπο δηλαδή της αισθητικότητας που πληροφορεί το Κ.Ν.Σ. για τη θέση και την κίνηση των μελών του σώματος.
- Οι ελεύθερες νευρικές απολήξεις, που λειτουργούν ως μηχανοϋποδοχείς, βρίσκονται επιφανειακά στο δέρμα, γύρω από τους θυλάκους των τριχών και εξυπηρετούν το

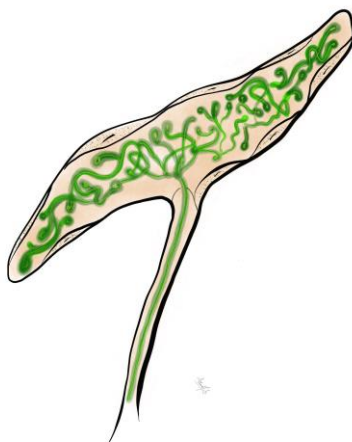
αίσθημα της αφής. Επίσης, λειτουργούν ως υποδοχείς κνησμού, όταν διεγερθούν με απτικά ή χημικά ερεθίσματα. Επιπλέον, η επίδραση απτικών ερεθισμάτων σε υποδοχείς κνησμού προκαλούν το γαργαλισμό. Επιπρόσθετα, οι ελεύθερες νευρικές απολήξεις παίζουν σπουδαίο ρόλο ως υποδοχείς πόνου.

- Τα σωμάτια Meissner. Αυτά βρίσκονται στις επιφανειακές στοιβάδες του σώματος, με ιδιαίτερα πυκνή κατανομή στα σημεία με αυξημένη διακριτική ικανότητα (ράγες δακτύλων), καθώς και γύρω από τους θυλάκους των τριχών, εξυπηρετώντας το αίσθημα της αφής.



Σχήμα 5.1. Σωμάτιο Meissner.

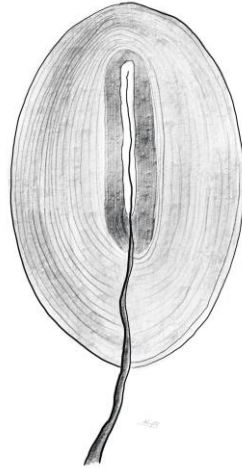
- Τα σωμάτια Ruffini. Αυτά βρίσκονται στις βαθύτερες στοιβάδες του δέρματος, καθώς και στους αρθρικούς θυλάκους κι εξυπηρετούν την εν τω βάθει πίεση και κιναισθησία με ευαισθησία στη ταχύτητα και κατεύθυνση της κίνησης.



Σχήμα 5.2. Σωμάτιο Ruffini.

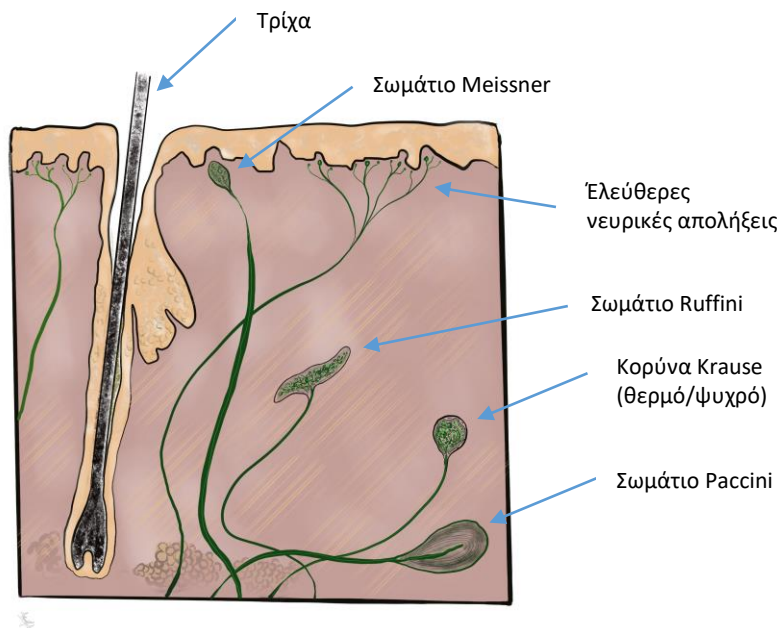
- Τα σωμάτια Pacini. Πρόκειται για ελλειψοειδή μορφώματα, αποτελούμενα από αλληπάλληλες στοιβάδες, στο κέντρο των οποίων βρίσκεται το άκρο της νευρικής ίνας. Η επίδραση μηχανικού ερεθίσματος προκαλεί παραμόρφωση των στοιβάδων τους, η οποία μεταφράζεται σε νευρική ώση στο άκρο της νευρικής ίνας, μέσω μηχανισμού ανάλογου με αυτόν της συναπτικής μετάδοσης. Βρίσκονται σε όλα τα μέρη του οργανισμού, στο δέρμα, στο υποδόριο, στον συνδετικό ιστό μυών, στο περίοστεο, στις

αρθρώσεις κι εξυπηρετεί το αίσθημα της παλαισθησίας (δόνησης), καθώς επίσης και το αίσθημα της κιναισθησίας με αναγνώριση της επιτάχυνσης του μέλους.



Σχήμα 5.3. Σωμάτιο Paccini.

- Οι δίσκοι Merkel. Αυτοί βρίσκονται κυρίως στο δέρμα των δακτύλων, ιδίως στις ράγες των δακτύλων και σχηματίζοντας τους απτικούς δίσκους, εξυπηρετούν το αίσθημα πίεσης.



Σχήμα 5.4. Διάταξη υποδοχέων στο δέρμα.

Ο πόνος, ανάλογα με την περιοχή ερεθισμού, διακρίνεται στον σπλαχνικό, όταν προέρχεται από σπλάχνα και σωματικό όταν προέρχεται από υπόλοιπα όργανα του σώματος (δέρμα, αρθρώσεις, μύες κτλ).

Ειδικότερα, μιλώντας για τον σωματικό πόνο, αναφερόμαστε στον επιφανειακό πόνο που προέρχεται από ερεθίσματα του δέρματος και των βλεννογόνων και στον εν τω βάθει πόνο, όταν προέρχεται από βαθύτερα στρώματα.

Ο επιφανειακός πόνος διακρίνεται, με τη σειρά του, στον οξύ, που είναι εντοπισμένος και στον αμβλύ, ο οποίος είναι διάχυτος. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο οξύς πόνος άγεται με ίνες τύπου Αδ, ενώ οι υπόλοιποι με ίνες τύπου C.

Οι ελεύθερες νευρικές απολήξεις λειτουργούν και ως υποδοχείς αναγνώρισης της θερμοκρασίας του δέρματος (θερμούποδοχείς ή ψυχρούποδοχείς) και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος. Υπάρχουν περιοχές του δέρματος με ιδιαίτερα μεγάλη πυκνότητα σε τέτοιους υποδοχείς, ωστόσο κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια του σώματος, των βλεννογόνων ή εσωτερικών οργάνων, όπως για παράδειγμα οι αναπνευστικές οδοί. Είναι σε θέση να διακρίνουν και το επίπεδο θερμοκρασίας, αλλά και την ταχύτητα μεταβολής αυτής. Μεταξύ τους διαφέρουν και ως προς το επίπεδο ανίχνευσης της θερμοκρασίας και ως προς τη φορά της θερμικής μεταβολής στην οποία αντιδρούν.

Έτσι, οι θερμούποδοχείς αντιδρούν, αναγνωρίζοντας μεταβολή θερμοκρασίας σε επίπεδα μεταξύ 38°C και 43°C, με αύξηση του ρυθμού παραγωγής ώσεων σε άνοδο της θερμοκρασίας και αναστολή αυτών σε πτώση της. Οι ψυχρούποδοχείς αντιδρούν, αναγνωρίζοντας θερμοκρασίες σε επίπεδα μεταξύ 16°C και 27°C, με παραγωγή ώσεων σε πτώση της θερμοκρασίας και αναστολή αυτών σε άνοδό της. Η αντίληψη των ανωτέρω μεταβολών εξαρτάται σαφώς και από το υποκειμενικό αίσθημα που αποκτάμε από τις σχετικές μεταβολές της θερμοκρασίας.

Λειτουργικά, οι μηχανούποδοχείς διακρίνονται σε τρεις τύπους, με χαρακτηριστικά που είναι συνάρτηση της ταχύτητας προσαρμογής τους.

1. Οι αναλογικοί υποδοχείς, όπου η συχνότητα παραγωγής ώσεων είναι σχεδόν ανάλογη με την ένταση του ερεθίσματος και έχουν μικρή ταχύτητα προσαρμογής. Συμπεριφέρονται, δηλαδή, ως ανιχνευτές έντασης (εξυπηρετούν πίεση). Τέτοιοι είναι τα σωματίδια Ruffini και οι δίσκοι Merkel, ή οι απολήξεις Golgi για το αίσθημα της κιναισθησίας.
2. Οι διαφορικοί υποδοχείς, όπου η συχνότητα παραγωγής ώσεων είναι σχεδόν ανάλογη με την ταχύτητα μεταβολής της έντασης του ερεθίσματος. Συμπεριφέρονται, δηλαδή, ως ανιχνευτές ταχύτητας. Εξυπηρετούν το αίσθημα της αφής. Τέτοιοι είναι οι ελεύθερες νευρικές απολήξεις των θυλάκων των τριχών και τα σωματίδια Meissner.
3. Οι υποδοχείς δόνησης, όπου η συχνότητα παραγωγής ώσεων είναι ανάλογη με τον ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας του ερεθίσματος. Έχουν μέγιστη ταχύτητα προσαρμογής και αντιδρούν ως ανιχνευτές επιτάχυνσης. Διαγείρονται με επαναλαμβανόμενα ερεθίσματα μεγάλης συχνότητας και εξυπηρετούν την παλλαισθησία. Τέτοια είναι τα σωματίδια Pacini.

6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Σε ένα νεύρο, η νευρική ώση δεν ακολουθεί αποκλειστικά το νόμο “όλον ή ουδέν”, αλλά ανάλογα με την ένταση του ερεθίσματός και την αναλογία του τύπου των νευρικών ινών που εμπεριέχει, μπορεί να εμφανίσει διαβαθμισμένη αντίδραση.

Ένα ερέθισμα μικρής έντασης διεγείρει ένα ορισμένο αριθμό νευρικών ινών -εκείνες που έχουν τη μικρότερη βαλβίδα διέγερσης- η κάθε μία από τις οποίες θα μεταφέρει διαφορετικό δυναμικό δράσης, το οποίο θα αντιστοιχεί στον τύπο της, την κατάστασή της, την χωροταξική της διάταξη εντός του νεύρου. Κατά συνέπεια, στο νεύρο θα εμφανιστεί ένα δυναμικό δράσης, που θα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών δράσης των ινών που διεγέρθησαν. Αύξηση της έντασης του ερεθίσματος συνεπάγεται αύξηση του αριθμού των διεγερμένων ινών και κατά συνέπεια, αύξηση της έντασης του δυναμικού δράσης του νεύρου συνολικά.

Η ταχύτητα μετάδοσης του ερεθίσματός, μέσω των νευρικών ώσεων, εξαρτάται από τον τύπο των ινών.

Όπως έχει αναφερθεί για ορισμένους τύπους αισθήσεων υπάρχουν ειδικοί υποδοχείς, ωστόσο, ακόμα και οι ελεύθερες απολήξεις των νευραξόνων, δύνανται να διεγερθούν υπό διάφορους τύπους ερεθισμάτων (θερμό, ψυχρό, πίεση).

Οι απολήξεις αυτές διεγείρονται εξειδικευμένα υπό την επίδραση κάποιου ερεθίσματος. Δεν σημαίνει, δηλαδή, ότι η ίδια νευρική απόληξη λειτουργεί ως υποδοχέας, για όλους τους τύπους αισθήσεων.

Η διέγερση του νευρώνα και η παραγωγή νευρικής ώσης εμφανίζει τέσσερα χαρακτηριστικά:

- ποιότητα
- ένταση
- διάρκεια στο χρόνο
- ένταση στο χώρο

Το σύνολο ενός νευρώνα με τις διακλαδώσεις του και τους περιφερικούς υποδοχείς που επικοινωνεί, καλείται *αισθητική μονάδα*.

Η περιοχή του δέρματος ή του βλεννογόνου που καλύπτουν οι υποδοχείς μιας αισθητικής μονάδας, καλείται *δεκτικό πεδίο*.

Η ποιοτική αναγνώριση των ενσυνείδητων αισθημάτων, εξαρτάται αποκλειστικά από την περιοχή της αισθητικής μοίρας του εγκεφάλου που θα δεχθεί και θα επεξεργασθεί, τελικά, το ερέθισμα.

Η ποσοτική διαφοροποίηση ενός ερεθίσματος καθορίζεται με βάση τη μεταβολή της συχνότητας των διαβιβαζόμενων ώσεων (συνάθροιση στον χρόνο) και με βάση τη μεταβολή του αριθμού των διεγερμένων υποδοχέων (άθροιση στον χώρο). Με δεδομένο ότι κάθε νευρική ίνα έχει διαφορετική βαλβίδα διέγερσης, συνεπάγεται ότι μικρές διεγέρσεις υποδοχέων από ασθενή ερεθίσματα, προκαλούν νευρικές ώσεις μόνο σε νευρώνες με χαμηλή βαλβίδα διέγερσης. Εντονότερα ερεθίσματα, που προκαλούνται από περισσότερο διεγερμένους υποδοχείς σε αριθμό (άθροιση στο χώρο), οδηγούν σε αύξηση του αριθμού των νευρικών ώσεων (άθροιση στο χρόνο).

Οι διακυμάνσεις αυτές από τη μεταβολή της συχνότητας των ώσεων από υποδοχείς αισθητικής μονάδας, αλλά και η μεταβολή των διεγερμένων νευρικών ινών, αποκωδικοποιούνται στις αντίστοιχες φλοιικές περιοχές.

Δύο βασικά χαρακτηριστικά ακολουθούν την αναγνώριση των ερεθισμάτων στον εγκέφαλο:

α) η αρχή της ειδικής ενέργειας (Mueller 1837), κατά την οποία η ποιότητα του παραγόμενου αισθήματος καθορίζεται από τον υποδοχέα που ερεθίστηκε και όχι από τη φύση του ερεθίσματος. Για παράδειγμα, χημικός ερεθισμός του ψυχροϋποδοχέα στο στόμα από Μινθόλη τσιγάρου, προκαλεί αίσθημα δροσιάς, ή άσκηση πίεσης στον οφθαλμό θα προκαλέσει αίσθημα λάμψης.

Συνεπώς, ουσιαστικά, οι νευρώνες απλά ενημερώνουν το Κ.Ν.Σ. ότι κάποιο ερέθισμα έλαβε χώρα. Η νευρική ώση, όμως, δε μεταφέρει καμιά πληροφορία σχετικά με τον τύπο του ερεθίσματος. Η διαδικασία ολοκλήρωσης και αναγνώρισης του ερεθίσματος βασίζεται στην, κατά βάση, ανεξαρτησία των νευρικών οδών για τους διάφορους τύπους αισθήσεων από τους περιφερικούς υποδοχείς έως τις αντίστοιχες πρωτεύουσες αισθητικές περιοχές του εγκεφάλου, όπου θα γίνει η επεξεργασία όλων των ώσεων και των χαρακτήρων αυτών, μέσω νευρωνικών δικτύων.

β) η αρχή της προβολής, κατά την οποία κάθε ερέθισμα προβάλεται στη θέση του υποδοχέα της διαδρομής του, ανεξάρτητα από το σημείο της νευρικής οδού που αυτό έχει παραχθεί. Για παράδειγμα, ερεθισμός του ισχιακού νεύρου σε ενδιάμεσο σημείο της διαδρομής του, (π.χ. στο μηρό) αισθητικής ίνας θερμούποδοχέα στο πέλμα, θα αναπαράγει αίσθημα θερμότητας στην αντίστοιχη περιοχή του πέλματος απ' όπου εδράζεται ο υποδοχέας. Έτσι εξηγείται το σύνδρομο μέλους φάντασμα (Melzak 1992). Κατ' αυτόν, το φαινόμενο αυτό οφείλεται, επιπλέον, και στη συμμετοχή ανώτερων φλοιικών κυκλωμάτων, στον ρινικό εγκέφαλο και στη τριτεύουσα συνειρμική περιοχή του επικρατούντος ημισφαιρίου. Στις θέσεις αυτές, υπάρχει προεγκατεστημένο πλέγμα νευρικών κυκλωμάτων που αντικατροπτίζει το σύνολο των μελών και της έκτασης του σώματος.

Η παραγωγή και αναγνώριση των ερεθισμάτων δεν έχει απόλυτη έκφραση, αλλά υποκειμενικό χαρακτήρα που δημιουργείται με βάση εικόνες και συσχετίσεις με ποικίλα ερεθίσματα του περιβάλλοντος, όπως αυτά έχουν καταγραφεί εμπειρικά, στο Κ.Ν.Σ. και τροποποιούνται σταδιακά.

Σήμερα, με βάση τη ψυχοφυσιολογία, η συχέτιση υποκειμενικής (Y) ένταση ενός ερεθίσματος και αντικειμενικής (A), εκφράζεται με τη σχέση:

$$Y = K \times (A - A_0)^n$$

Όπου A_0 είναι η βαλβιδική ένταση ερεθίσματος, K και n σταθερές (νόμος Stevens). Η τιμή n ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα της έντασης.

Π.χ. $n=0,7$ για πίεση στο δέρμα ή $n=0,21$ για φώς.

7. ΑΙΣΘΗΤΙΚΕΣ ΟΔΟΙ

Η αισθητική οδός ξεκινάει από τους αισθητικούς υποδοχείς των ερεθισμάτων και μεταφέρεται, μέσω ενδιάμεσων σταθμών, σε ειδικές και μη ειδικές περιοχές του φλοιού, στην οπίσθια κεντρική έλικα.

Στο νωτιαίο μυελό διακρίνονται τέσσερα δεμάτια μεταφοράς αισθητικών ώσεων.

1. το οπίσθια δεμάτια (Ισχνό και σφηνοειδές της οπίσθιας δέσμης του N.M.)
2. το νεονωτιοθαλαμικό
3. το παλαιονωτιοθαλαμικό (της πρόσθιας και πλάγιας δέσμης του N.M.)
4. τα ίδια δεμάτια

Ο πρώτος σταθμός της αισθητικής οδού είναι οι πυρήνες των οπίσθιων κεράτων του νωτιαίου μυελού ή οι πυρήνες του Goll (ισχνός) & Burdach (σφηνοειδές) του προμήκου. Από εκεί, οι νευράξονες οδεύουν προς το δεύτερο διάμεσο σταθμό, τους πυρήνες του θαλάμου, οι οποίοι διακρίνονται στους:

- i. Ειδικούς
- ii. Μη ειδικούς
- iii. Συνειρμικούς
- iv. Κινητικούς

Από εκεί καταλήγουν,

- στη πρωτεύουσα περιοχή SI (ή Sml, πεδιά 1,2,3 κατά Brodman) ή
- στη δευτερεύουσα περιοχή SII (SmlI) (φλοιός καλύπτρας ή άνω τοίχωμα πλάγιας σχισμής),
- σε διάφορες συνειρμικές περιοχές, ιδίως του μετωπιαίου λοβού
- σε φλοιική περιοχή της διάμεσης και κεντρικής μοίρας της παρεγκεφαλίδας.

Λειτουργικά, η αισθητική οδός διακρίνεται στο:

- Λημνισκικό σύστημα
- Εξωλημνισκικό σύστημα
- Σύστημα ιδιοδεκτικότητας

Το **λημνισκικό σύστημα** χαρακτηρίζεται για τη μεταφορά υψηλής πιστότητας πληροφοριών, σε ότι αφορά την ταχύτητα και την ακρίβεια μετάδοσης της πληροφορίας. Αποτελεί ταχεία οδό μεταφοράς, με συμμετοχή μόλις τριών νευρώνων. Μέσω αυτής της οδού, μεταφέρονται πληροφορίες που σχετίζονται με την επικριτική αισθητικότητα, η οποία διακρίνεται για τη σαφήνεια και ακρίβεια των αισθημάτων που προκαλούνται, όπως η αφή, η πίεση, η κιναισθησία, ο πόνος και η θερμοκρασία. Οι ίνες που συμμετέχουν στην οδό αυτή είναι ίνες τύπου Αδ.

Κατ' αυτήν την οδό, το ερέθισμα από τους υποδοχείς περνά από τον νωτιαίο μυελό και ανέρχεται είτε:

1. μέσω του ισχνού και σφηνοειδούς δεματίου (Οπίσθιο δεμάτιο) στο πρώτο ενδιάμεσο σταθμό, τους πυρήνες Goll & Burdach στο προμήκη μυελό, από εκεί μέσω χιασμού στον έσω λημνίσκο, στο δεύτερο ενδιάμεσο σταθμό, τους ειδικούς πυρήνες του θαλάμου και μέρος των ινών στη παρεγκεφαλίδα και τελική κατάληξη την πρωτεύουσα SI περιοχή του φλοιού, είτε,

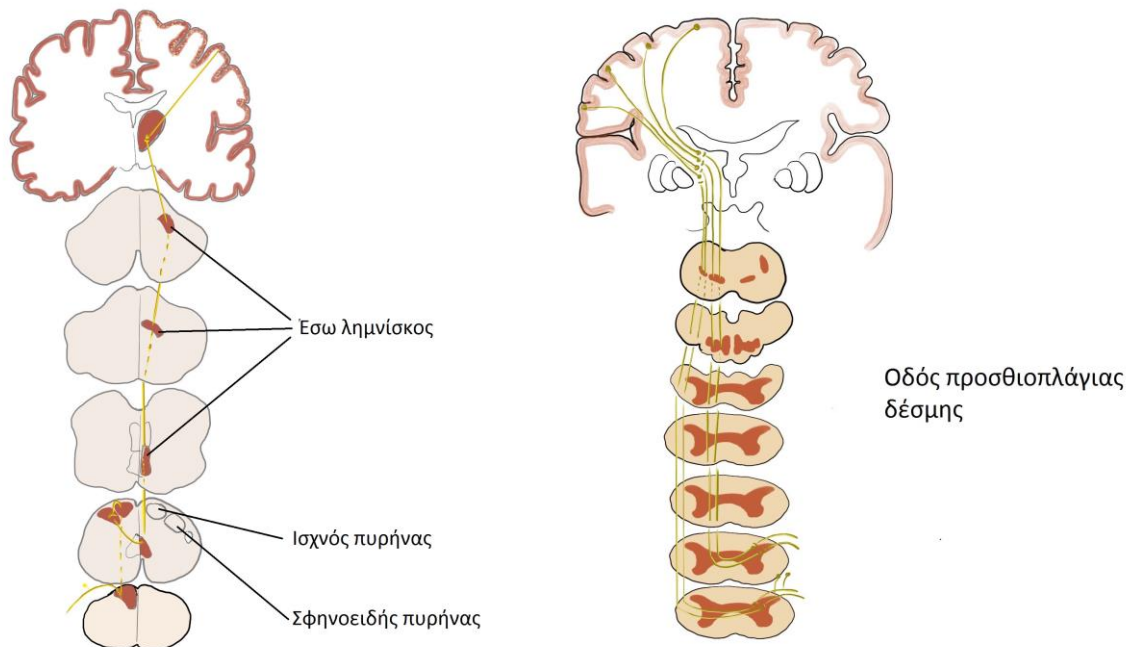
- μέσω του νεονωτιοθαλαμικού δεματίου, κατά μήκος της πρόσθιας και πλάγιας δέσμης, οδεύουν στον δεύτερο ενδιάμεσο σταθμό, τους ειδικούς πυρήνες του θαλάμου, για να καταλήξουν στις SI αλλά κυρίως στην SII φλοιικές περιοχές.

Μέσω αυτής της οδού, άγονται ερεθίσματα κυρίως πίεσης, νυγμού και λιγότερο πόνου ή θερμοκρασίας.

Το **εξωλημνισκικό σύστημα** χαρακτηρίζεται για τις χαμηλής ακρίβειας πληροφορίες που μεταφέρει, σε ότι αφορά την ταχύτητα και την ακρίβεια μεταφοράς. Στην οδό αυτή συμμετέχουν περισσότεροι από τρεις νευρώνες, με αποτέλεσμα να αποτελεί πιο αργή οδό μεταφοράς. Η μεταφορά ώσεων γίνεται δια του δικτυωτού σχηματισμού, προς μη ειδικούς και συνειρμικούς πυρήνες του θαλάμου. Σ' αυτήν εξυπηρετούνται πρωτόγονα ερεθίσματα με ασαφή εντόπιση στο χώρο ή στο χρόνο, που χαρακτηρίζουν την πρωτοπαθή αισθητικότητα, όπως ο εν τω βάθει πόνος και η θερμοκρασία, ενώ συνοδεύονται από διάφορες συναισθηματικές αντιδράσεις.

Η οδός περνά είτε:

- μέσω του παλιονωτιοθαλαμικού δεματίου, εκτός λημνίσκου, προς τους μη ειδικούς πυρήνες του θαλάμου, καταλήγοντας στις μη ειδικές συνειρμικές περιοχές του φλοιού, είτε,
- μέσω των ιδίων δεματίων, με πολλούς ενδιάμεσους σταθμούς στο δικτυωτό σχηματισμό του εγκεφαλικού στελέχους και μέσω μη ειδικών και συνειρμικών περιοχών του θαλάμου, καταλήγουν σε διάφορες μη ειδικές συνειρμικές περιοχές του φλοιού.



Σχέδιο 7.1. Οδός ραχιαίας δέσμης μέσω Ισχνού και Σφηνοειδούς δεματίου - Οδός προσθιοπλάγιας δέσμης.

Στο σύστημα της **ιδιοδεκτικότητας** συμμετέχουν ταχείες ίνες τύπου A με αφετηρία τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς που εξυπηρετούν την κιναισθησία (μυϊκές ατράκτους, τενόντια όργανα Golgi), οδεύουν προς τον πρώτο σταθμό, τον θωρακικό και διάμεσο πυρήνα του νωτιαίου μυελού, απ' όπου, μέσω του οπίσθιου και πρόσθιου νωτιοπαρεγκεφαλιδικού δεματίου, οδεύουν προς την κεντρική μούρα της παρεγκεφαλίδας, απ' όπου οι τελευταίες ίνες καταλήγουν στην κινητική περιοχή του φλοιού, καθώς και στην περιοχή που γειτνιάζει με την SI. Μέσω αυτής της οδού, εξυπηρετείται η ενσυνείδητη αίσθηση της διάταξης των μελών του σώματος στο χώρο και η αντανακλαστική ρύθμιση της κινητικότητας.

Η επεξεργασία, ανάλυση και αναγνώριση ενός ερεθίσματος από το αισθητηριακό σύστημα, αποτελεί μια σύνθετη, πολύπλοκη διαδικασία όπου μια πληροφορία εκφρασμένη ως ηλεκτροχημική αντίδραση, με τη μορφή των νευρικών ώσεων κατά μήκος της αισθητικής οδού, είναι σε θέση να αναγνωρισθεί και να ταυτοποιηθεί ως αίσθημα. Οι αισθητικοί υποδοχείς υποδέχονται το ερέθισμα που προκαλείται από οποιαδήποτε μορφή ενέργειας και το μετατρέπουν σε νευρική ώση, τη μόνη ενεργειακή μορφή που μπορεί να αναγνωρισθεί και η οποία αποτελεί την ανεπεξέργαστη αισθητηριακή πληροφορία.

Η **κωδικοποίηση** αυτής της πληροφορίας γίνεται με βάση την *ένταση*, τη *συχνότητα* και τη *ρυθμικότητα* της παραγωγής των νευρικών ώσεων. Η μορφή και το πλάτος των ώσεων δεν παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη κωδικοποίηση αυτή, αφού η διέγερση του νευρώνα ακολουθεί το νόμο «όλον ή ουδέν». Με άλλα λόγια, ή παράγεται δυναμικό δράσης ή δεν παράγεται.

Ανάλογα με την ένταση του ερεθίσματος ενεργοποιούνται αντίστοιχοι υποδοχείς. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταβολές της έντασης του ερεθίσματος προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές στον αριθμό των υποδοχέων μιας αισθητικής μονάδας που διεγείρονται, και άρα μεταβολές σε αντίστοιχο αριθμό ινών. Η αύξηση της έντασης του ερεθίσματος θα οδηγήσει βαθμιαία σε αύξηση της συχνότητας ερεθισμού των υποδοχέων της αντίστοιχης δεκτικής περιοχής, με αποτέλεσμα να αυξάνεται όλο και περισσότερο ο αριθμός των υποδοχέων του δεκτικού πεδίου της ίδιας δεκτικής μονάδας και, σταδιακά, οι υποδοχείς δεκτικών πεδίων άλλων αισθητικών μονάδων.

Έτσι, η κωδικοποιημένη μορφή της ώσης αφορά διαβάθμιση της συχνότητας εκπομπής ώσεων, καθώς και διαβάθμιση του αριθμού των διεγερμένων μονάδων, ανάλογα με την ένταση του ερεθίσματος. Παράλληλα, λόγω της αλληλοεπικάλυψης των περιφερικών δεκτικών πεδίων των αισθητικών μονάδων, δημιουργούνται πρότυπα κατανομής υποδοχέων με ειδικά πρότυπα διέγερσης (συγκεκριμένοι υποδοχείς δημιουργούν συγκεκριμένο τύπο ώσης σε μια αισθητική μονάδα). Σε αυτά τα πρότυπα διέγερσης βασίζεται η διαβάθμιση, ο εντοπισμός του υποκείμενου αισθήματος και η ικανότητα αναγνώρισης της θέσης και της κίνησης του ερεθίσματος. (Τοπογραφική διαφοροποίηση).

Κατά τη μεταφορά του, το ερέθισμα (νευρική ώση), δια των αισθητικών οδών, υπόκειται σε **διαμόρφωση**, κυρίως στους διάφορους σταθμούς των αισθητικών οδών. Κατά τη διαμόρφωση, η νευρική ώση, είτε ενισχύεται με αύξηση του ρυθμού διέγερσης των καναλιών, είτε με εξάπλωση της πληροφορίας σε μεγαλύτερες περιοχές, μέσω διάφορων νευρωνικών κυκλωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται, είτε μέσω κυκλώματος *πλαγιάς αναστολής*, όπου ενισχύει και διοχετεύει την πληροφορία σε συγκεκριμένο κανάλι, απομονώνοντας τα άλλα, κι εξυπηρετώντας την επικριτικότητα, είτε μέσω ενός αυτοανασταλτικού κυκλώματος που προκαλεί *παλίνδρομη αναστολή* του ερεθίσματος, μετά από περιοδική σειρά ώσεων.

Η διαμόρφωση ενός τύπου πληροφορίας από έναν άλλο (π.χ. πόνος από μηχανικό ερέθισμα) εξυπηρετείται από τα *συστήματα πύλης ελέγχου*, που αποτελούν ιδιαίτερες νευρωνικές διατάξεις στο νωτιαίο μυελό ή και στο θάλαμο. Στις διατάξεις αυτές άλλοτε επιτρέπεται κι άλλοτε αναστέλλεται μια ανερχόμενη πληροφορία πόνου. Τα νευρωνικά αυτά συστήματα φαίνεται ότι δέχονται εισόδους και από ανώτερα επίπεδα του κεντρικού νευρικού συστήματος, με συνέπεια την υποκειμενικότητα. Έτσι ένα αλγινό ερέθισμα μπορεί να δέχεται επιρροή και από άλλες καταστάσεις, όπως ψυχογενείς ή καταστάσεις συναισθηματικής φόρτισης, ή μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από περισσότερα του ενός σημεία, εκτός αυτού του ερεθισμού. Σε αυτές τις πύλες ελέγχου βασίζεται η εμπειρική πρόκληση αναλγησίας μέσω βελονισμού. Η προβολή και επεξεργασία των ώσεων από τους υποδοχείς πόνου γίνεται στον φλοιό, με χαρακτηριστικό την υποκειμενικότητα.

Επειδή οι σπλαχνικές ίνες καταλήγουν στο ίδιο νευροτόμιο του νωτιαίου μυελού με τις ίνες του πόνου από αντίστοιχες δερματικές ζώνες, είναι συνηθισμένη η προβολή του σπλαχνικού πόνου σε αντίστοιχη δερματική περιοχή. Οι περιοχές αυτές του δέρματος ονομάζονται *ζώνες του Head*. Για παράδειγμα, το αίσθημα πόνου στον ΑΡ ώμο ως συνέπεια καρδιακού πόνου ή νεφρικός πόνος που δίνει αίσθημα άλγους στη ραχιαία περιοχή.

Επίσης, έχει βρεθεί πειραματικά, ότι η ουδός της υποκειμενικής έκφρασης του πόνου είναι κοινή, ενώ η διαβάθμισή του από την ουδό έως τη μέγιστη αντίληψη, εξαρτάται από τη φύση του ερεθίσματος. Κατά τη διαδρομή και την αναγνώρισή του, οποιοδήποτε δυσάρεστο συναίσθημα συνοδεύεται και από φυτικές αντιδράσεις (αγγειοκινητικό, κυκλοφορικό, αναπνευστικό σύστημα), όπως εφίδρωση, ταχυπαλμία, ανόρθωση τριχών ή σύσπαση μυών).

Η τελική αποκρυπτογράφηση, αναγνώριση και ταυτοποίηση των αισθημάτων που προκαλεί ένα ερέθισμα, γίνεται στον φλοιό. Η διαδικασία αναγνώρισης της φύσης του ερεθίσματος (πίεση-αφή-πόνος) είναι πολύπλοκη, όχι πλήρως γνωστή και βασίζεται σε πρωτόγονες και εγγεγραμμένες πληροφορίες, με ήδη δομημένες νευρικές συνάψεις, είτε και διαμορφωσιμότητες σταδιακά νέες, με βάση τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος, δημιουργώντας έτσι μια υποκειμενική αντίληψη της αισθητικότητας.

Η οποιαδήποτε μορφή ενέργειας μετατρέπεται, μέσω των υποδοχέων, σε μια και μόνο μορφή. Αυτή της ηλεκτροχημικής νευρικής ώσης, που μετά την κωδικοποίησή της, ανέρχεται δια των αισθητικών οδών, σε ξεχωριστά κανάλια, για να καταλήξει σε συγκεκριμένες φλοιικές περιοχές, στην οπίσθια βρεγματική έλικα, όπου πραγματοποιείται η ταυτοποίηση του ερεθίσματος.

Σημαντικός παράγοντας στην αναγνώριση αυτή, είναι η σωματοτοπική οργάνωση του αισθητηριακού συστήματος. Εν ολίγοις, η εκπροσώπηση περιοχών του σώματος στο φλοιό, όπου η έκταση που καταλαμβάνει κάθε περιοχή, η εκπροσώπησης της δηλαδή στο φλοιό, εξαρτάται από το πλήθος των αισθητικών μονάδων της περιοχής που αντιπροσωπεύεται. Στη πρωτεύουσα περιοχή S1 αισθητηριακή περιοχή, η αντιπροσώπευση είναι σαφής και λεπτομερής, ενώ στη δευτερεύουσα SII αισθητηριακή περιοχή είναι πιο ασαφής και διάχυτη.

Φαίνεται ότι η αντιπροσωπευτική περιοχή του φλοιού για κάθε σημείο του σώματος έχει το κλειδί για την αποκωδικοποίηση της πληροφορίας.

8. ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ (ή ΔΙΚΤΥΑ)

Η μεταφορά της πληροφορίας εντός του νευρικού συστήματος γίνεται μέσω των συνδέσεων των νευρικών κυττάρων μεταξύ τους. Η διάδοση και επεξεργασία αυτής εντός του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (Κ.Ν.Σ.) γίνεται μέσω ενός γιγαντιαίου δικτύου νευρώνων που η πολυπλοκότητα των συνδέσεων μεταξύ τους οδηγεί στην αναγνώριση της πληροφορίας και την αντίδραση.

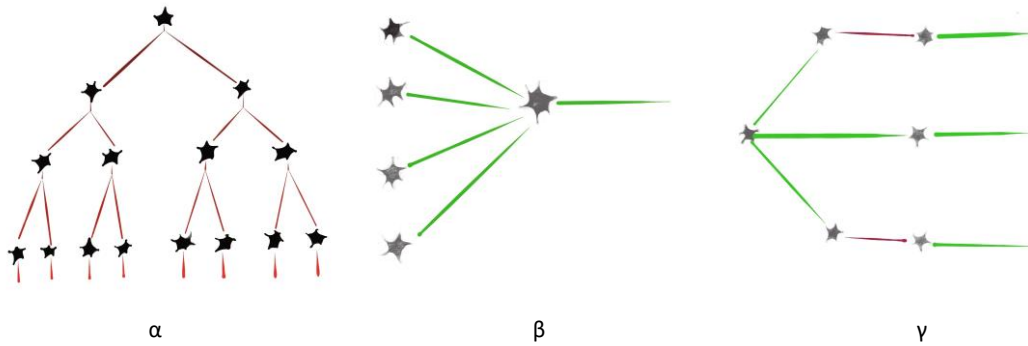
Οι νευρώνες στο Κ.Ν.Σ. οργανώνονται σε συγκροτήματα όπου ο αριθμός των κυττάρων που δύνανται να συμμετέχουν δεν έχει όρια. Ο επιμέρους τρόπος διασύνδεσής τους δημιουργεί τα νευρωνικά κυκλώματα, τα οποία αποτελούν μηχανισμούς επεξεργασίας και διάδοσης της εισερχόμενης πληροφορίας. Στα κυκλώματα αυτά η πληροφορία εισέρχεται από μία «είσοδο» νευράξονα ή δέσμη προσαγωγών νευροαξόνων και αφού επεξεργασθεί περνά στην «έξοδο» η οποία αποτελείται από νευράξονα ή δέσμη νευραξόνων για τη μετάδοση σε άλλο δίκτυο νευρώνων ή το περιβάλλον. Τα κύτταρα εξόδου δύνανται να παράγουν ερέθισμα μόνο όταν εμφανισθούν αρκετοί παλμοί από την είσοδο στο χρόνο λανθάνουσας περιόδου άθροισης με ικανό επίπεδο ώστε να περάσουν το κατώφλι ενεργοποίησης. Ο μέγιστος αριθμός παραγωγής παλμών σε ένα νευρικό κύτταρο μπορεί να φτάσει τους 500 παλμούς/sec, ενώ ο χρόνος καθυστέρησης μεταξύ διέγερσης και παραγωγής είναι 0,1msec – 1msec. Επαναλαμβανόμενες ενεργοποιήσεις μπορεί να αυξάνουν την τιμή της βαλβίδας δηλ. οδηγούν σε «κόπωση» το κύτταρο.

Η τρόπος διάταξη, των νευρώνων μεταξύ τους σ' αυτά τα συγκροτήματα έχει τέτοια πολυπλοκότητα που καθιστά τον τρόπο σύνδεσής τους ανεξάντλητο.

Ανεξάρτητα απ' τις επιμέρους διασυνδέσεις και τη δομή τους, η ολοκλήρωση των διεργασιών ανά δίκτυο έχει ως αποτέλεσμα συγκεκριμένου τύπου λειτουργίες.

Έτσι έχουν αναγνωρισθεί δομές με λειτουργίες, όπως:

- Λειτουργία *σύγκλισης* κατά την οποία νευράξονες από δύο ή περισσότερους νευρώνες από ίδια ή διαφορετική πηγή συγκλίνουν καταλήγοντας σε ένα νευρώνα. Η λειτουργία αυτή οδηγεί σε άθροιση των ώσεων στο χώρο και στο χρόνο.
- Λειτουργία *Απόκλισης* κατά την οποία ο προσυναπτικός νευρώνας καταλήγει σε δύο ή περισσότερους νευρώνες της ίδιας ή άλλης περιοχής. Η λειτουργία αυτή οδηγεί σε ενίσχυση της αρχικής πληροφορίας ή το διαμοιρασμό της σε περισσότερες οδούς.
- Λειτουργία *γραμμικής μετάδοσης* όπου η απόληξη του ενός νευρώνα μεταδίδεται εν σειρά στον επόμενο και διαδοχικά.
- Διάταξη *παράλληλης μετάδοσης* όπου κατ' αυτήν δύο ή περισσότεροι νευρώνες δέχονται εισερχόμενες ώσεις από άλλους νευρώνες και την μεταδίδουν από κοινού σε άλλο δίκτυο «εν παραλλήλω».
- Διάταξη *πλάγιας αναστολής* κατά την οποία παράλληλα με την μεταφορά διεγερτικής ώσης μεταφερεται παράπλευρο (παλίνδρομο) ανασταλτικό κύκλωμα για τον αποκλεισμό πληροφορίας από ορισμένη περιοχή. Τα κυκλώματα αυτά ανευρίσκονται στις αισθητικές οδούς και είναι η βάση για τη διακριτική ικανότητα.
- Διατάξεις *πράτασης της διέγερσης* κατά τα οποία η πληροφορία εισέρχεται από πολλές παράλληλες προσαγωγές ίνες με διαφορετική συναπτική καθυστέρηση ή μέσω ταλαντούμενων ή αντηχούμενων κυκλωμάτων όπου η εισερχόμενη ώση θα πυροδοτήσει συνεχή παραγωγή ώσεων κατά την «έξοδο» και η μετάδοση θα σταματήσει μόνο με την επίδραση ανασταλτικής εισόδου.

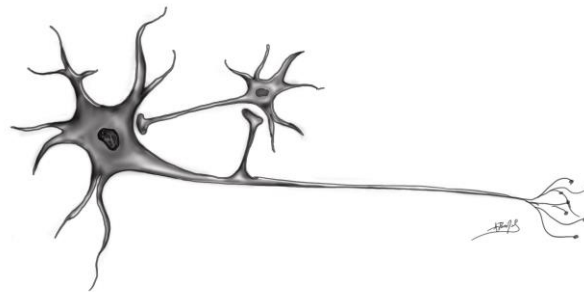


Σχέδιο 8.1. α. Διάταξη απόκλισης με ενίσχυση της αρχικής πληροφορίας, β. Διάταξη σύγκλισης, γ. Κύκλωμα πλάγιας αναστολής. Οι πλάγιοι ανασταλτικοί νευρώνες (κόκκινο), εξασφαλίζουν την μεταφορά ώσης μόνο σε συγκεκριμένες οδούς

Διάταξη *παλίνδρομης ρύθμισης* όπου η έξοδος του συστήματος επιστρέφει στην είσοδο του συστήματος σχηματίζοντας κύκλωμα «επιστροφοδοσίας» διεγερτικό ή ανασταλτικό. (πχ Renshaw).

Κλασικό παράδειγμα ανασταλτικού κυκλώματος αποτελεί το κύκλωμα κυττάρων Renshaw που απαντώνται στα πρόσθια κέρατα του Νωταίου Μυελού.

Τα κύτταρα Renshaw ενεργοποιούνται από παράπλευρο κλάδο του νευρίτη ενός α' κιν. νευρώνα και αναστέλλουν με παλίνδρομο κλάδο τον νευρώνα.



Σχήμα 8.2. Ανασταλτικό κύκλωμα κυττάρων Renshaw. Ο παράπλευρος κλάδος του νευρίτη ενός α-κινητικού νευρώνα στα πρόσθια κέρατα του Ν.Μ., ενεργοποιεί ένα κύτταρο Renshaw, το οποίο στη συνέχεια αναστέλλει με παλίνδρομο μηχανισμό τη δράση του νευρώνα.

Παράδειγμα θετικής – διεγερτικής επιστροφοδοσίας αποτελούν κυκλώματα που ενισχύοντας τη δραστηριότητα της εισερχόμενης κυκλοφορίας και συντηρώντας τη νευρωνική διέγερση λειτουργούν στην πρωτοβάθμια μνήμη (δονούμενα κυκλώματα ή παράλληλο κύκλωμα).

Για τα νευρωνικά δίκτυα, ισχύει κάτι ανάλογο με αυτό που είπε ο Σωκράτης:

«Γηράσκω αεί διδασκόμενος»

Τα συστήματα αυτά μέσω μιας διαδικασίας «εκπαίδευσης-εκμάθησης» τροποποιούν τις τιμές εισόδου με στόχο την επίτευξη μιας επιθυμητής τιμής εξόδου ελαχιστοποιώντας κατά τη διαδικασία τις τιμές που αποκλίνουν από την επιθυμητή τιμή εξόδου. Οι βέλτιστες τιμές εισόδου αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται για την εργασία που προορίζεται το νευρωνικό δίκτυο.

Προσπάθεια μοντελοποίησης των νευρωνικών δικτύων έγινε από τους Mc Culloch και Pitts και το βασικό μοντέλο που παρουσίασαν έχει την κάτωθι μορφή.

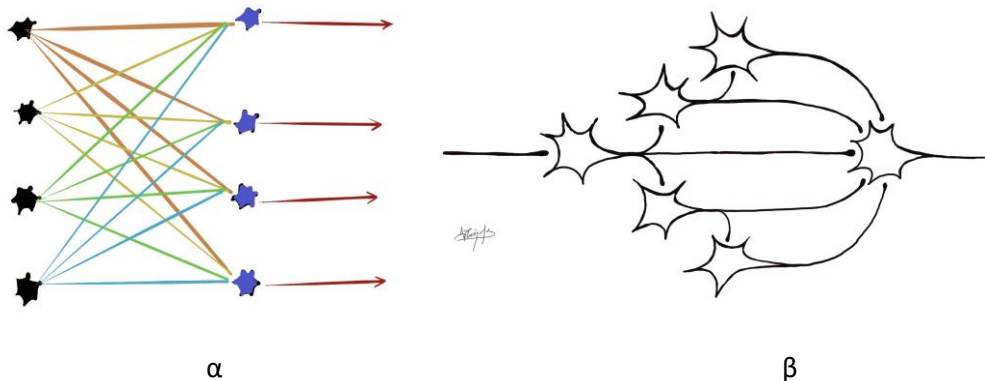
8.1 Αρχιτεκτονική δομή των Ν.Δ.

Οι βασικές ιδιότητες που καθορίζουν την αρχιτεκτονική δομή των νευρωνικών δικτύων είναι:

- Το πλήθος των στρωμάτων που είναι δομημένο, αν δηλαδή είναι μονοστρωματικό ή πολυστρωματικό.
- Ο αριθμός των νευρώνων ανά στρώμα, αν δηλαδή συμμετέχει ένας νευρώνας ή πολλαπλοί
- Ο τρόπος, ο τύπος και ο βαθμός διασύνδεσης των κυττάρων. Αν δηλαδή ορθόδρομη, ανάδρομη, πλάγια. Αν είναι ερεθιστικού ή αναχαιτιστικού τύπου αν είναι πλήρως ή μερικώς διασυνδεδεμένο. Ο τρόπος διασύνδεσης των κυττάρων καθορίζει και τον αλγόριθμο μάθησης.

Τα νευρωνικά δίκτυα ανάλογα με τη δομή τους διακρίνονται:

- Τα Νευρωνικά δίκτυα επανατροφοδότησης όπου στην απλούστερη μορφή τους αποτελούνται από ένα στρώμα εισόδου και ένα στρώμα εξόδου με μονόδρομη μεταφορά πληροφοριών.
- Τα πολυστρωματικά νευρωνικά δίκτυα με πολλά ενδιάμεσα στρώματα μεταξύ εισόδου-εξόδου.
- Τα Αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα στα οποία υπάρχει τουλάχιστον ένας κλάδος ανατροφοδότησης ο οποίος ανακυκλώνει την πληροφορία εντός του νευρωνικού δικτύου στο ίδιο ή σε άλλο στρωματικό επίπεδο. Σαν αποτέλεσμα αυτής της δομής δεν υπάρχει πεπερασμένου τύπου παραγωγή πληροφορίας στην έξοδο, αλλά κυκλική παραγωγή λόγω επαναληπτικής αυτοανατροφοδότησης με πιθανότητα είτε (αν είναι ευσταθές το δίκτυο) να ταλαντωθεί μέχρι μία τιμή και να σταματήσουν οι ενεργοποιήσεις έως μίας σταθερής τιμής εξόδου είτε (αν είναι ασταθές) να ταλαντώνεται αδιάκοπα.



Σχήμα 8.1.1. α. Μονοστρωματικό, πλήρως συνδεδεμένο νευρωνικό δίκτυο προστροφοδότησης, β. Κύκλωμα παρατεινόμενης εκτόνωσης

Εκπαίδευση σ' ένα αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο είναι η διαδικασία που ως στόχο έχει την εύρεση συναπτικών τιμών που οδηγούν σε σταθεροποίησή του στην επιθυμητή τιμή εξόδου. Οι κλάδοι ανατροφοδότησης έχουν ευεργετική επίδραση πάνω στη μαθησιακή διαδικασία και τη συνολική συμπεριφορά του νευρωνικού δικτύου.

Ως μαθησιακή διαδικασία του νευρωνικού δικτύου αναφέρεται η διαδικασία επίτευξης μίας επιθυμητής συμπεριφοράς του μέσω ανανέωσης των συναπτικών τιμών ή και της βαλβίδας

ενεργοποίησης. Η διεργασία μάθησης γίνεται μέσω διάφορων αλγορίθμων με καθένα να προσφέρει διαφορετικό τρόπο προσαρμογής των συναπτικών τιμών.

Σαν μοντέλα μάθησης αναφέρονται:

- Επιβλεπόμενη – ενεργή μάθηση
- Ενισχυτική μάθηση
- Μη επιβλεπόμενη μάθηση

α) Επιβλεπόμενη: Κύριο χαρακτηριστικό της είναι ο εξωτερικός παράγοντας που επηρεάζει το σύστημα προς συγκεκριμένες επιθυμητές εξόδους, για συγκεκριμένες τιμές εισόδου. Ωθεί, με άγνωστο εσωτερικό τρόπο, τη διαμόρφωση της λειτουργίας του νευρωνικού δικτύου, ώστε να αποκρίνεται με συγκεκριμένο τρόπο, όταν υπάρχει συγκεκριμένη διέγερση.

β) Ενισχυτική: Το σύστημα τροφοδοτείται με διαφορετικές τιμές εισόδου, όχι όμως με πρότυπα τιμών εξόδου, με στόχο τη βέλτιστη κάθε φορά απόκριση. Επί επιθυμητού αποτελέσματος ανατροφοδοτείται ως «επιβράβευση» ή δεν ανατροφοδοτείται σε μη επιθυμητό αποτέλεσμα ως «τιμωρία».

γ) Μη επιβλεπόμενη: Αποτελεί αυτό-οργανούμενη μάθηση. Δεν υπάρχει εξωτερικός παράγοντας που να επηρεάζει το σύστημα και δεν ακολουθεί συγκεκριμένα ζεύγη εισόδου - εξόδου. Ακολουθεί ένα μέτρο ανεξάρτητων καθηκόντων με επιλογή παραμέτρων που αυτοπροσαρμόζονται και κωδικοποιούνται στις τιμές εισόδου.

Η μαθησιακή διαδικασία του νευρωνικού δικτύου ακολουθεί τους παρακάτω βασικούς τύπους.

Τη μάθηση μέσω διόρθωσης σφάλματος, κατά την οποία ένα συγκεκριμένο, a priori επιθυμητό αποτέλεσμα εξόδου καθορίζεται από τις εναλλαγές στις συναπτικές τιμές εισόδου. Δηλαδή, οι τιμές εισόδου μεταβάλλονται προς την κατεύθυνση μείωσης του τυχόν σφάλματος, προς τη δεδομένη τιμή εξόδου.

Η μάθηση Hebb η οποία βασίζεται στην υπόθεση του Hebb Donald, σύμφωνα με την οποία: όταν ένας νευρώνας A έχει ερεθιστική δράση προς ένα νευρώνα B, επίμονα ή επαναληπτικά, τότε λαμβάνουν χώρα μεταβολικές αλλαγές στο ένα ή και στα δύο κύτταρα, έτσι ώστε η αποδοτικότητα πυροδότησης του A προς το B να αυξάνει. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το εξαρτώμενο αντανάκλαστικό του Ivan Pavlov.

Επομένως, η τιμή μίας σύναψης όπου οι δύο πλευρές ενεργοποιούνται συγχρόνως, αυξάνεται επιλεκτικά, ενώ η τιμή μίας σύναψης όπου οι δύο πλευρές ενεργοποιούνται ασύγχρονα, μειώνεται ή εξαλείφεται επιλεκτικά.

Ανταγωνιστική μάθηση κατά την οποία κάθε νευρώνας εξόδου ανταγωνίζεται τους άλλους προς την αντίδραση εισόδου με αποτέλεσμα μόνο ένας να δίνει τιμή εξόδου σε δεδομένη στιγμή. Αλλαγή των τιμών εισόδου μέσω του μηχανισμού ανταγωνιστικότητας στο στρώμα εξόδου δίνει κάθε φορά διαφορετικό νευρώνα νικητή και άλλη τιμή εξόδου κάθε φορά.

Μάθηση Boltzman η οποία αποτελεί στοχαστική, πιθανοτική μορφή μάθησης και βασίζεται στις μεθόδους θερμοδυναμικής του Boltzman. Αποτελεί αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο οι νευρώνες του οποίου λειτουργούν με δύο τιμές. Έχουν δηλαδή δύο επιτρεπτές καταστάσεις on-off (επιτρεπτή-μη επιτρεπτή) και χρησιμοποιεί στοχαστικούς νευρώνες δηλαδή νευρώνες με πιθανοτικό μηχανισμό πυροδότησης. Η μαθησιακή διαδικασία γίνεται με τον εξής τρόπο: Το σύστημα επιτρέπει την άνοδο της

ενέργειας κατά τυχαιοποιημένο τρόπο και στη συνέχεια τη σταδιακή μείωση αυτής μέσω ελέγχου των τιμών εισόδου έως ότου στην έξοδο ληφθεί τιμή πιο κοντά προς την επιθυμητή.

Τα νευρωνικά δίκτυα δηλαδή λειτουργούν ως μηχανές όπου επιλύουν πολύπλοκες συναρτήσεις πολλαπλών μεταβολών, δεχόμενα από μία είσοδο πληροφοριών, δεδομένα τα οποία επεξεργάζονται μέσω αλγορίθμων για να αποδώσουν επιθυμητό αποτέλεσμα σε μία έξοδο. Χαρακτηριστικό τους η ικανότητα μάθησης η οποία καθίσταται σε μία διαδικασία βελτιούμενης απόδοσης προς τη ζητούμενη επίλυση μέσω επαναληπτικής διαδικασίας προσαρμογής των παραμέτρων εισόδου (μάθηση).

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει μία εξαιρετική ικανότητα να μεταφράζει τις παραμέτρους στα ανωτέρω συστήματα δημιουργώντας διακυμάνσεις στις εισόδους – εξόδους με στόχο το επιθυμητό αποτέλεσμα ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων που δέχεται. Στις δεκαετίες 60-80 αναπτύχθηκαν τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ως μαθηματικά μοντέλα όπου αποδείχθηκε ότι είναι δυνατή η επίτευξη αξιολογώτατων αποτελεσμάτων με προσομοιώσεις της εγκεφαλικής λειτουργίας με όχι και τόσο πολύπλοκα μοντέλα νευρωνικού δικτύου.

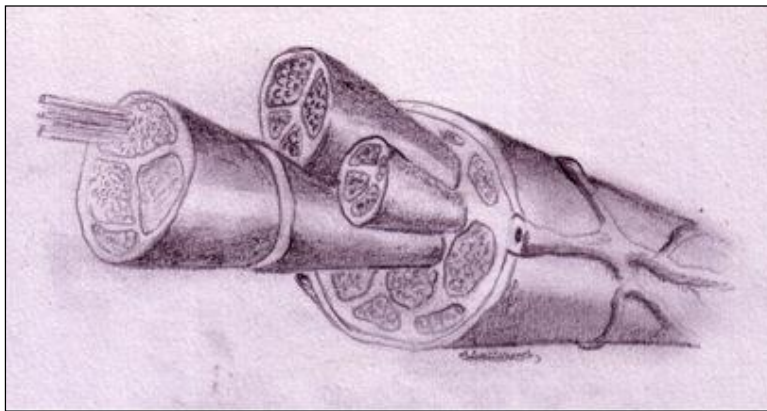
9. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Η μεταφορά και επεξεργασία των πληροφοριών του οργανισμού γίνεται μέσω των νεύρων του περιφερικού και κεντρικού νευρικού συστήματος (Κ.Ν.Σ.).

Τα νεύρα αποτελούνται από δεσμίδες νευραξόνων που συνδέονται μεταξύ τους με στηρικτικό ιστό.

Δομικά αποτελούνται από τα:

- Ενδονεύριο εσωτερικά, το οποίο περιβάλλει τους νευράξονες.
- Περινεύριο αμέσως περιφερικότερα το οποίο περιβάλλει δεσμίδες νευραξόνων.
- Επινεύριο εξωτερικά το οποίο περιβάλλει τις νευρικές δεσμίδες και αποτελείται από χαλαρό ινοκολλαγόνωδη ιστό.
- Μεσονεύριο, το οποίο ενώνει το επινεύριο με τους γύρω ιστούς.



Σχέδιο 9.1. Δομή νεύρου

Από ανατομικής πλευράς διακρίνονται σε:

- Μονοδεσμιδικά, εφόσον έχουν μία δεσμίδα νευρικών ινών.
- Ολιγοδεσμιδικά, όταν εμπεριέχουν λίγες νευρικές δεσμίδες νευραξόνων.
- Πολυδεσμιδικά, όταν εμπεριέχουν πολλές, ποικίλου μεγέθους, ομαδοποιημένες ή όχι δεσμίδες.

Από λειτουργικής άποψης τα νεύρα χωρίζονται σε:

- Κινητικά, όταν το είδος των ινών που μεταφέρουν είναι κινητικές.
- Αισθητικά, όταν το είδος των ινών που μεταφέρουν είναι αισθητικές.
- Μεικτά, όταν το είδος των νευρικών ινών που εμπεριέχουν είναι και αισθητικού και κινητικού τύπου.

Η αιματική παροχή του νεύρου γίνεται από εξωγενή αγγεία, τα οποία διέρχονται δια του επινευρίου εντός του νεύρου και δημιουργούν ένα ενδογενές αναστομωτικό δίκτυο έως το ενδονεύριο με τη μορφή τριχοειδών.

Τα περιφερικά νεύρα είναι δυνατό να υποστούν βλάβες και διαταραχή της λειτουργικότητάς τους, ως αποτέλεσμα βλάβης του νευρώνα των κυττάρων Schwann ή του ελύτρου μυελίνης. Η πρόκληση της βλάβης μπορεί να γίνει είτε από πίεση, είτε από σύνθλιψη, εξελκυσμό, ψύχος ή τρώση.

Σήμερα χρησιμοποιούμε δυο ταξινομήσεις νευρικής βλάβης:

1. Την κατά Seddon (1951) ταξινόμηση, όπου αναγνωρίζονται τρεις τύποι νευρικής βλάβης.
 - Η Νευροαπραξία, όπου η διακοπή της αγωγιμότητας οφείλεται σε απομυελίνωση, χωρίς απώλεια της συνέχειας του νευράξονα. Στις περιπτώσεις αυτές, η αποκατάσταση είναι πλήρης.
 - Η Αξονότμηση, όπου υπάρχει διατομή του νευράξονα με συμμετοχή του ενδονευρίου, ή και περινευρίου. Η πρόγνωση είναι καλή και εξαρτάται από τη πιθανότητα ανάπτυξης νευρώματος και την απόσταση από το όργανο στόχος.
 - Η Νευρότμηση, με πλήρη διατομή του νεύρου και των σωλήνων. Η πρόγνωση είναι φτωχή και απαιτείται χειρουργική αποκατάσταση.
2. Την κατά Sunderland (1975) ταξινόμηση, όπου αναγνωρίζονται πέντε τύποι βλάβης:
 - Βλάβη 1^{ου} βαθμού, που οφείλεται σε βλάβη της μυελίνης ή σε τοπική ισχαιμία και αντιστοιχεί στη νευροαπραξία με άριστη πρόγνωση.
 - Βλάβη 2^{ου} βαθμού, που οφείλεται σε ρήξη του νευράξονα, ενώ διατηρείται ανέπαφο το ενδονεύριο. Η πρόγνωση είναι πολύ καλή και εξαρτάται από την απόσταση από το όργανο στόχος.
 - Βλάβη 3^{ου} βαθμού, με ρήξη του νευράξονα και του ενδονευρίου, αλλά διατηρείται ανέπαφο το περινεύριο. Η πρόγνωση είναι πτωχή και ίσως χρειαστεί χειρουργική αποκατάσταση.
 - Βλάβη 4^{ου} βαθμού, με ρήξη του νευράξονα, του ενδονευρίου και περινευρίου αλλά ανέπαφο το επινεύριο. Η πρόγνωση είναι πτωχή και υπάρχει πιθανότητα αποπροσανατολισμού του νευράξονα. Συνήθως απαιτείται χειρουργική αποκατάσταση.
 - Βλάβη 5^{ου} βαθμού, με ρήξη του νευράξονα, ενδονευρίου, περινευρίου και επινευρίου. Υπάρχει αδυναμία αυτόματης αποκατάστασης και η χειρουργική αποκατάσταση είναι αναγκαία. Η πρόγνωση είναι πτωχή.

Seddon	Sunderland	Βλάβη
1. Νευροαπραξία	1 ^{ου} βαθμού	Τοπική απομυελίνωση
2. Αξονότμηση	2 ^{ου} βαθμού	Απώλεια συνέχειας νευράξονα με άκεραιο συνδετικό ιστό
	3 ^{ου} βαθμού	Απώλεια συνέχειας νευράξονα και ενδονευρίου
	4 ^{ου} βαθμού	Απώλεια συνέχειας νευράξονα και περινευρίου
3. Νευρότμηση	5 ^{ου} βαθμού	Πλήρης διατομή του νεύρου

Πίνακας 9.1. Ταξινόμηση νευρικών βλαβών.

Αμέσως μετά τη νευρική βλάβη κι όταν αυτή είναι δευτέρου ή μεγαλύτερου βαθμού, μια σειρά ιστοχημικών αλλαγών λαμβάνει χώρα, με στόχο την εκφύλιση του κατεστραμμένου ιστού, την απομάκρυνση των αποδομημένων στοιχείων, κι εφόσον το κύτταρο δεν νεκρωθεί, τη νευρική

αναγέννηση έως τους ιστούς στόχους. Έχει παρατηρηθεί ότι βλάβες που αφορούν αξονότμηση κοντά στο κυτταρικό σώμα έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες για κυτταρική νέκρωση (Ygge 1989).

Μετά τη νευρική βλάβη, η κυτταροπλασματική ροή σταματάει, δεν υπάρχει ηλεκτροχημική δραστηριότητα και η ανάδρομη ροή μέσω του αξονοπλάσματος, προς το κυτταρικό σώμα σταματάει, μεταβολές που οδηγούν σε διαδικασίες με τη μορφή καταρράκτη.

Μετά τη βλάβη κι εντός 48 ωρών από αυτή, παρατηρείται εκφύλιση τόσο στο τμήμα του νευράξονα περιφερικά της βλάβης, όσο και κεντρικά αυτής και μέχρι την πρώτη ή δεύτερη περίσφιγξη Ranvier. Αυτή η διαδικασία εκφύλισης ονομάζεται Βαλλεριανή εκφύλιση, από τον August Waller που την περιέγραψε το 1850.

Κατ' αυτήν, άμεσα ακολουθεί φλεγμονώδης διαδικασία, με αύξηση της διαπερατότητας των αγγείων, εξοίδηση, μετανάστευση λευκών αιμοσφαιρίων και αταξία των νευρονηματίων και μικροσωληνίσκων. Ένα πλήθος σημαντικών ουσιών ακολουθεί την όλη διαδικασία που εκτελείται, με τη συμμετοχή και δράση ισταμίνης, σεροτονίνης, βραδυκινίνης, προσταγλανδινών, προστακυκλινών, κυτταροκινών, με στόχο την κυτταρική εκφύλιση και αναγέννηση.

Παρατηρείται μείωση των παραγόντων νευροδιαβίβασης και αύξηση των παραγόντων αποκατάστασης του όγκου του κυτταροπλάσματος και αναγέννησης του νευράξονα. (Fu 1997).

Η μεταστροφή του κυττάρου σε αυξητικό μεταβολισμό επιτυγχάνεται με τη σύνθεση ακτίνης, τουμπουλίνης, πρωτεΐνης GAP-45, γαλανίνης, του νευροπεπτιδίου Υ, καθώς και σύνθεσης πρωτεϊνών του κυτταροσκελετού. Αντίθετα, παρατηρείται μείωση παραγωγής της ουσιάς Ρ, του ρυθμιστικού πεπτιδίου της καλσιτονίνης και του ρυθμιστικού ενζύμου ακετυλοτρανσφεράσης που αφορά τη σύνθεση ακετυλοχολίνης. Παράλληλα, αυξάνεται η διαπερατότητα της μεμβράνης για τα μακροφάγα, τα οποία περνούν το φραγμό του ενδονευρίου, και που μαζί με τα κύτταρα Schwann, συντελούν στη διαδικασία απομάκρυνσης των προϊόντων αποδόμησης (Fu 1997), (Mueller 2001), (Siebert 2000).

Εάν τα μακροφάγα δεν εισέλθουν στο περιφερικό κολόβωμα, αναστέλλεται η Κυτταρική ανάπτυξη (Lundborg 2004).

Μεταξύ των 24 με 48 ωρών από τη βλάβη, παρατηρείται κυστική εκφύλιση της κυτταρικής επιφάνειας και διάλυση του κυτταροσκελετού. Μεταξύ των 36-48 ωρών, παρατηρείται και εκφύλιση της μυελίνης, ενώ μέχρι τις 96 ώρες από τη βλάβη, δεν υπάρχει αξονική συνέχεια. Μέσα σε 5 με 8 εβδομάδες η όλη διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.

Στις βλάβες τύπου 4 ή 5 κατά Sunderland, κι εφόσον δεν υπάρξει νευρική συρραφή, αυτό που δημιουργείται, είναι μια άμορφη μάζα από κύτταρα Schwann, ινοβλάστες, μακροφάγα, τριχοειδή αγγεία, ίνες κολλαγόνου που δημιουργούν ένα είδος φραγμού στις αναγεννούμενες νευρικές ίνες.

Εάν η βλάβη είναι τύπου 2 ή 3 κατά Sunderland, ή έχει γίνει νευρική συρραφή, τότε επέρχεται νευρική αναγέννηση και ολοκλήρωση του νευράξονα. Τα κύτταρα Schwann, τα μακροφάγα, και οι ινοβλάστες, με έκκριση κυτταροκινών συμμετέχουν στη νευρική ανάπτυξη.

Τα κύτταρα Schwann, τα οποία μεταπίπτουν σε στάδιο χαμηλότερης διαφοροποίησης και πολλαπλασιάζονται κατά μήκος της βασικής μεμβράνης, δημιουργούν τις δέσμες του Bungner, οι οποίες αποτελούν επιμήκεις σχηματισμούς που περικλείονται από βασική μεμβράνη και σχηματίζουν ενδονευρικές δομές, αποτελώντας έτσι τους οδηγούς που θα καθοδηγήσουν τους νευράξονες στους ιστούς στόχους.

Η αναγέννηση του νευράξονα γίνεται με τη δράση νευροτροφικών παραγόντων, όπως ο παράγοντας αύξησης νεύρου (NGF nerve growth factor), ο νευροτροφικός παράγοντας εγκεφάλου BDNF (brain derived neurotrophic factor), ή με τη δράση νευροποιητικών κυτοκινών, όπως ο κροσσωτός νευροτροφικός παράγοντας, ο ανασταλτικός παράγοντας λευχαιμίας CNTF (Ciliary Neurotrophic Factor) LIF (Leukemia Inhibitory Factor), οι ινοβλαστικοί παράγοντες, οι παράγοντες ανάπτυξης τύπου ινσουλίνης, ή με παράγοντες όπως SCF (stem cell factor). Οι υποδοχείς νευροτροφικών παραγόντων ErbB σχετίζονται με τη θρέψη και τη συντήρηση των κυττάρων Schwann. Η έκφραση των υποδοχέων αυτών έχει μελετηθεί και μεταξύ άλλων, δίνουν δυνατότητες στο μετεγχειρητικό σχεδιασμό, για μεγαλύτερη δυνατότητα αναγέννησης.^{28,29,30,33,78}

Σημαντικό ρόλο στις διεργασίες παίζουν τα κύτταρα Schwann, καθώς μόλις έρθουν σε επαφή με τους αναγεννημένους νευράξονες, ακολουθεί επαναμυελίνωση.

Στις περιπτώσεις μεγάλων βλαβών, η αναγέννηση ακολουθεί ως διαδικασία, τη Βαλεριανή εκφύλιση, ενώ σε μικρότερες βλάβες, οι διαδικασίες γίνονται σχεδόν παράλληλα.

Στις περιπτώσεις νευροαπραξίας ή αξονότμησης, οι βλάβες είναι πλήρως αναστρέψιμες.

Η διαδικασία νευρικής αναγέννησης εξελίσσεται με ρυθμό 1-3mm ανά ημέρα και μπορεί να διαρκέσει πολλούς μήνες, με ανώτερο χρονικό όριο στον άνθρωπο, τους 12 μήνες, από τη στιγμή της βλάβης. Σε νεαρότερες ηλικίες μπορεί να διαρκέσει και περισσότερο, με δυνατότητα μέγιστης αναγέννησης τα δύο έτη σε παιδική ηλικία.

Παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην νευρική αναγέννηση και στη μείωση του μέγιστου χρόνου δυνατότητα αποκατάστασης αυτής, είναι το κάπνισμα, το σάκχαρο, το αλκοόλ και η ηλικία.

Οι διαδικασίες αναγέννησης του νευράξονα μπορεί να εκτελούνται ανεμπόδιστα και με ιδανικό τρόπο, ωστόσο, κατά περίπτωση, μπορεί να υπάρξουν εμπόδια στην πλήρη επανάκτηση της δομής του νεύρου. Ίνες από το κεντρικό τμήμα μπορεί να μη καταφέρουν να περάσουν το σημείο τραυματισμού στο περιφερικό άκρο, λόγω ανάπτυξης ουλώδους ιστού ή αδυναμίας τους να εισέλθουν στο περιφερικό σωλήνα, με αποτέλεσμα τον αποπροσανατολισμό και τη διασκόρπισή τους στους πέριξ ιστούς. Επίσης, μπορεί οι ίνες να καταφέρουν να περάσουν το σημείο τραυματισμού του νεύρου αλλά να περάσουν σε άλλο περιφερικό ενδονευρικό σωλήνα, με αποτέλεσμα τη συμμετοχή τους σε διαφορετική, περιφερικά, νευρική οδό, ή τη σύνδεση με άλλα όργανα-στόχους. Οι ίνες που περνούν επιτυχώς τον φραγμό της νευρικής βλάβης και καταφέρουν να προσανατολιστούν, περνώντας σε κατάλληλους ενδονευρικούς σωλήνες, καταλήγουν στα κατάλληλα όργανα στόχους. Η απόλυτη αρχιτεκτονική αποκατάσταση του νεύρου, δεν αποτελεί απαραίτητο παράγοντα για τη λειτουργική του αποκατάσταση.

Ένα τραυματισμένο νεύρο δύναται να αποκατασταθεί λειτουργικά σε επίπεδο όμοιο με αυτό προ της βλάβης, όσο το δυνατό πιο σύντομα γίνει η αποκατάστασή του και όσο περισσότερες νευρικές του ίνες αναγεννηθούν και έλθουν σε επαφή με τους υποδοχείς και όργανα στόχους.

Οι περιφερικοί υποδοχείς υπόκεινται σε αλλαγές, λόγω της διακοπής της ηλεκτροχημικής επικοινωνίας. Εφόσον οι υποδοχείς δεν μεταβιβάζουν ή δεν δέχονται ερεθίσματα, σταδιακά υποστρέφουν και εκφυλίζονται. Για παράδειγμα, η τελική κινητική πλάκα στους μύες διατηρεί τη δομή της, μέχρι και δυο έτη από τη βλάβη, ενώ οι μύες υποστρέφουν και οι μυϊκές ίνες ατροφούν πολύ συντομότερα. Οι αισθητικοί υποδοχείς μπορούν να διατηρήσουν τη δομή τους για πολλά έτη. Ωστόσο, η αισθητικότητα μπορεί να μην αποκατασταθεί πλήρως, λόγω της διασταυρούμενης ανανεύρωσης και

της αποτυχίας των αξόνων στις αντίστοιχες δερματικές περιοχές. Παράλληλα, διαταραχές επέρχονται στην κεντρική μούρα των νευρικών οδών, τον φλοιό του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα την διαταραχή της αντίληψης των ερεθισμάτων.

Η διακοπή της συνέχειας των προσαγωγών ερεθισμάτων ή η αποπροσανατολισμένη αξονική αναγέννηση, προκαλεί ταχύτατα φλοιικό ανασχεδιασμό, με αποτέλεσμα την διαστρέβλωση της αντιπροσώπευσης της αισθητικής περιοχής στο φλοιό.

Στο πλαίσιο υποκατάστασης των μη αναστρέψιμων νευρικών βλαβών, μεταξύ άλλων, έχει παρατηρηθεί μετά από μελέτες ότι η αξιοποίηση άλλων αισθήσεων, μπορεί να βελτιώσει τη χαμένη αισθητικότητα. Για παράδειγμα, η αξιοποίηση της ακοής με στερεοφωνική μετατροπή του ήχου τριβής της αφής σε απτικό ερέθισμα. Επίσης ότι οι α-αδρενεργικοί αγωνιστές (Αμφεταμίνες, νορ-αδρεναλίνη,) βοηθούν στην αναδιοργάνωση του φλοιού προς την κατεύθυνση της λειτουργικής εξυπηρέτησης που προκύπτει μετά από συνεχή άσκηση.

10. ΣΥΡΡΑΦΗ ΝΕΥΡΟΥ

Η άποψη ότι ο νευρικός ιστός δεν αναγεννάται καταρίφθηκε στα τέλη του 18^{ου} αιώνα, ενώ στη πορεία με δημοσιεύσεις διαφόρων τεχνικών συρραφής, κατά τον 19^ο αιώνα, έγιναν σημαντικές πρόοδοι στο τομέα της αποκατάστασης των νευρικών βλαβών. Η εφαρμογή της μικροχειρουργικής έδωσε άλματα προόδου στον τομέα της αποκατάστασης όλου και μικρότερων νευρικών στελεχών, με ικανοποιητικότερα αποτελέσματα. Η μικροχειρουργική δεν αποτελεί ειδικότητα αλλά τεχνική η οποία απαιτεί τη χρήση μικροεργαλείων, μικροραμμάτων και μικροσκοπίου και βρίσκει εφαρμογή σε πλήθος ειδικοτήτων για την αποκατάσταση βλαβών σε πολύ μικρές ανατομικές δομές.

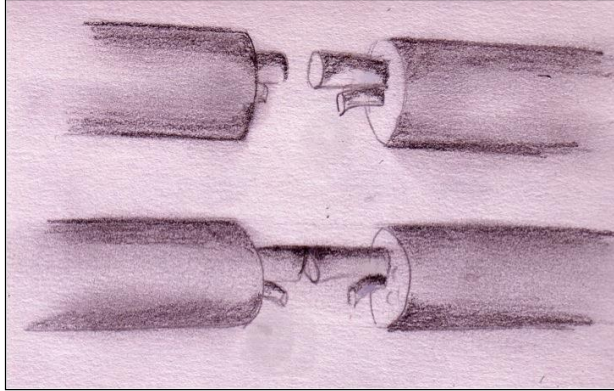
Σήμερα, θεωρείται αυτονόητη η χρήση μικροχειρουργικής τεχνικής και μικροσκοπίου στην αποκατάσταση νευρικών βλαβών. Στις περιπτώσεις διατομής ενός νεύρου, απαραίτητη προϋπόθεση για την νευρική αναγέννηση αποτελεί η νευρική συρραφή, η οποία εκτελείται πάντα με μικροχειρουργική τεχνική.

Σκοπός στη νευρική συρραφή είναι η κατά το δυνατό, ιδανική συμπλησίαση των τετμημένων άκρων και όχι η στεγανή συρραφή. Όταν λέμε ιδανική συρραφή, εννοούμε τη συμπλησίαση με στόχο τον σωστό προσανατολισμό, την χωρίς κενό επαφή των δύο άκρων (ώστε να μη δημιουργείται ουλή και εμπόδιο ανάμεσά τους) και παράλληλα η μη συμπιεστική επαφή, ώστε να δώσουμε τη δυνατότητα στους νευροαξόνες να προσανατολισθούν στο χώρο και να επεκταθούν στο απέναντι άκρο.

Είναι γνωστό ότι μετά τη διατομή του νεύρου και την επερχόμενη Βαλεριανή εκφύλιση, διακόπτεται πλήρως κάθε ηλεκτροχημικό σήμα, και η επανασυρραφή έχει ως στόχο να συμπλησιάσει τα δύο άκρα και κατ' επέκταση τους νευροαξόνες, ώστε καθένας απ' το ένα άκρο να βρεί τον προσανατολισμό του στο άλλο. Αυτό είναι πιο εύκολο να συμβεί στην περίπτωση μονοδεσμιδικών νεύρων, με ένα είδος νευροαξόνων, ενώ στα μεικτά νεύρα οι δυσκολίες προσανατολισμού τους είναι περισσότερες, με συνέπεια η πιθανότητα αποτυχίας να είναι μεγαλύτερη. Ακόμα και η ιδανικότερη συρραφή δεν θα οδηγήσει στην πλήρη αναγέννηση όλων των νευροαξόνων. Σκοπός, πάντα, παραμένει, ο μεγαλύτερος αριθμός αναγεννημένων νευροαξόνων. Ειδικά στην περίπτωση μεικτών νεύρων, ο σωστός προσανατολισμός είναι πρωταρχικής σημασίας.

Στο παρελθόν υποστηρίχθηκε η άποψη της δεσμιδικής συρραφής, ως τεχνική που υποσχόταν καλύτερα λειτουργικά αποτελέσματα έναντι της επινευρικής συρραφής. Κατ' αυτήν, για την επανανεύρωση, γινόταν συρραφή όχι του επινεύριου αλλά των επιμέρους δεσμίδων του νεύρου, δίνοντας, με τον τρόπο αυτό, τη δυνατότητα καλύτερου προσανατολισμού των νευροαξόνων. Η μεγάλη μεγέθυνση και η αρκετά καλή τεχνική και γνώση της ανατομικής του νεύρου, οδήγησε στη διάδοση της δεσμιδικής συρραφής, με θεωρητικά καλύτερη δυναμική αποτελέσματος.

Υποστηρικτές της άποψης αυτής, την εφάρμοσαν για αρκετά χρόνια παρουσιάζοντας τα αποτελέσματά τους. Τα αποτελέσματα όμως δεν ήταν τα αναμενόμενα, ενώ μελέτες που παρουσιάστηκαν με συγκριτικά αποτελέσματα, έδειξαν ότι δεν υπερέρχει έναντι της επινευρικής. Το γεγονός αυτό, οφείλεται κυρίως στο ότι ακόμα και οι λεπτότεροι, τελειότεροι χειρισμοί, είναι ανθρωπίνως αδύνατο να αποκλείσουν τραυματισμούς εντός του νεύρου, με μικροδιαταραχή της αρχιτεκτονικής και της βιολογικής του δραστηριότητας, μικροουλώδεις σχηματισμούς, και κατά συνέπεια πτωχότερα αποτελέσματα σε σχέση με τα θεωρητικώς προσδοκόμενα.³⁴



Σχέδιο 10.1. Δεσμιδική συρραφή.

10.1 Επινευρική συρραφή

Ο χειρουργός κατά την επινευρική συρραφή χρησιμοποιεί πεδίο πίσω από το σημείο της συρραφής. Για την τεχνική χρησιμοποιείται ράμμα 8-0, 9-0 ή 10-0. Προσοχή πρέπει να τεθεί ώστε να περνά η κάθε ραφή μόνο το επινεύριο, χωρίς η βελόνα να εισέρχεται εντός του νεύρου, και να τραυματίζει τις δεσμίδες.

Σημασία, επίσης, τίθεται στο να ακολουθείται η καμπύλη πορεία της βελόνας. Οι χειρισμοί οφείλουν να είναι λεπτοί και με τη λαβίδα να συγκρατεί μόνο το επινεύριο χωρίς να συνθλίβεται τμήμα του νεύρου. Ο προσανατολισμός του, ελέγχεται με βάση το κυρίως αγγείο αιμάτωσής του, το οποίο διατρέχει το νεύρο επιμήκως και που συνήθως είναι εμφανές. Κάθε ραφή περνιέται ξεχωριστά από το ένα άκρο στο άλλο. Επίσης, κάθε συρραφή έχει ως στόχο απλώς να συμπλησιάσει τα δύο άκρα και όχι την δυναμική συγκράτησή τους. Ο αριθμός των ραμμάτων που θα χρειαστεί καθορίζεται από το μέγεθος του νεύρου και την ανάγκη για ιδανική συμπλησίαση.

Θα πρέπει πάντα μετά το τέλος της συρραφής να δίνεται προσοχή ώστε, το νεύρο να μη βρίσκεται σε τάση, ενώ θα πρέπει να καλύπτεται από ικανό πάχος αιμάσωντων ιστών, ώστε να προστατεύεται και να βοηθείται η αιμάτωσή του.

Στη συρραφή του νεύρου τα αποτελέσματα κρίνονται μακροπρόθεσμα, με πολλαπλά κριτήρια, πολλά από τα οποία είναι υποκειμενικά, και παραμέτρους πολυποίκιλες και ίσως άγνωστες στην ολότητά τους. Ωστόσο, γνωρίζουμε πως πρωταρχικής σημασίας κανόνας, είναι η ιδανική συρραφή, δηλαδή η «στεγανή» συμπλησίαση των χειλέων του επινευρίου.



Σχήμα 10.1.1. Στάδια επινευρικής συρραφής.

11. ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΣΗ ΤΟΥ ΧΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΕΓΚΕΦΑΛΟ-ΤΟ ΧΕΡΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Μετά τα μάτια, τα χέρια είναι το κυριότερο εργαλείο του ανθρώπου. Αποτελεί μέσο αναγνώρισης και επικοινωνίας με το περιβάλλον. Είναι το πρώτο μαζί με τα μάτια εργαλείο επικοινωνίας με το περιβάλλον άμεσα μετά τη γέννησή του.

Με τα χέρια αισθάνεται το άγγιγμα και τις δονήσεις, αντιλαμβάνεται την υφή, το σχήμα και τις διαστάσεις των αντικειμένων που συλλαμβάνει. Με τα χέρια τέλος αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του σώματος και των αντικειμένων. Η λειτουργική ικανότητα του χεριού ακολουθεί την εξελικτική πορεία ανάπτυξης του ανθρώπου.

Ξεκινά από τα πρώιμα στάδια της ζωής του ανθρώπου όπου το χέρι εκτελεί αδρές κινήσεις, ασύγχρονες με απλό ανοιγοκλείσιμο της παλάμης αγγίζοντας απλά τα αντικείμενα. Στην πορεία της ανάπτυξης οι κινήσεις γίνονται πιο συγχρονισμένες, πιο στοχευμένες με δυνατότητα χαλαρής συγκράτησης αντικειμένων στην παλάμη. Στη συνέχεια η ολοένα και μεγαλύτερη νευρολογική του ωρίμανση κάνει το δραγμό πιο ισχυρό και πλέον το χέρι μπορεί να χρησιμοποιείται για ισχυρή σύλληψη. Αργότερα, με τις κινήσεις να γίνονται πιο λεπτές και πιο σύγχρονες χρησιμοποιείται η αντίθεση του αντίχειρα με τον δείκτη για σύλληψη τύπου «τσιμπίδας» ενώ σιγά σιγά σταδιακά χρησιμοποιούνται και τα δύο χέρια ταυτόχρονα και η αντίθεση του αντίχειρα δεν περιορίζεται μόνο στο δείκτη αλλά εκτελείται προς όλα τα δάχτυλα.

Αν η αντίθεση του αντίχειρα θεωρείται πλεονέκτημα στη χρήση του χεριού, η πλάγια σύλληψη είναι αυτή που τον ξεχώρισε τον άνθρωπο από τα υπόλοιπα όντα. Στην πλήρη ωρίμανσή του, ο άνθρωπος καθιερώνει τη λειτουργικότητα του χεριού, φτάνοντας τη δημιουργικότητα σε ανώτατα επίπεδα.

Ο οπτικοκινητικός συντονισμός οδηγεί στην εκτέλεση πλήθος λεπτών κινήσεων κάνοντας το χέρι το απόλυτο εργαλείο δημιουργικότητας και έκφρασης του ανθρώπου. Το χέρι είναι το η περιοχή του σώματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση αλληλοσυνδεόμενων οστών. Συνολικά, 27 οστά και 24 τένοντες συμμετέχουν στη δομή και συμβάλλουν σε μία συγχρονισμένη και ιδιαίτερα λεπτή κίνηση.

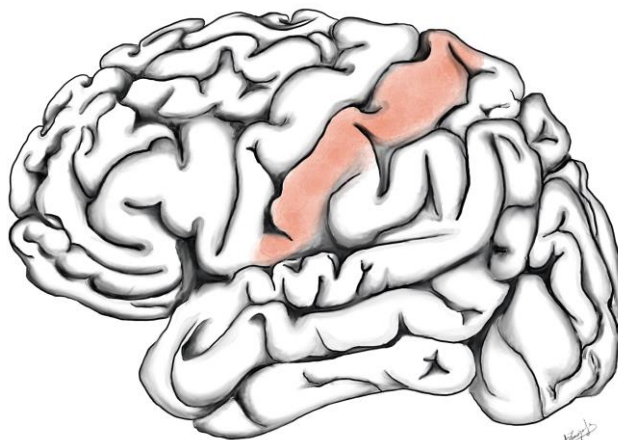
Ο ενήλικας δεν χρησιμοποιεί το χέρι του μόνο σαν εργαλείο. Δεν αποτελεί το μέλος με λειτουργικότητα που εξυπηρετούν πρωτογενείς ανάγκες του, αλλά μέσο δημιουργικότητας και έκφρασης. Το χέρι συνοδεύει και προβάλλει τη σκέψη και το λόγο δίνοντας ξεχωριστή σημασία σ' αυτόν, ανάλογα με τη θέση και την κίνησή του στο χώρο. Ανάλογα εκφράζεται ψυχικά. Οι κινήσεις, ο τρόπος με τον οποίο συνοδεύει το λόγο και τη στάση του σώματος έχει αποτελέσει πεδίο ανάλυσης από ψυχαναλυτές και κοινωνιολόγους.

Το χέρι αποτελεί μέλος επικοινωνίας καθώς και ένα συλλογικό – ευαίσθητο αισθητηριακό όργανο μέσω του οποίου γίνεται η αντίληψη του περιβάλλοντος. Σημαντικότατο ρόλο στη λειτουργικότητα του χεριού ως αισθητηριακό μέσο κατέχει το μέσο νεύρο. Είναι το νεύρο που έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην αισθητηριακή οδό καθώς στην περιοχή του καρπού στο μέσο νεύρο υπάρχουν περίπου 17.000 νευρικές ίνες. Είναι η περιοχή του σώματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση υποδοχέων ανά μονάδα επιφανείας απ' οποιαδήποτε άλλη περιοχή του σώματος. Αντίστοιχα είναι το μέλος με τη μεγαλύτερη αντιπροσώπευση στην αισθητηριακή περιοχή του εγκέφαλου.

Ο Γερμανός ανατόμος Korbinian Brodmann δημοσίευσε το 1909 με τον εγκεφαλικό χάρτη, τη σωματοαισθητική αντιπροσώπευση με χρήση της μεθόδου Nisel.

Περιοχή αναγνώρισης του χεριού (σωματοαισθητική αντιπροσώπευση) στον εγκέφαλο αποτελεί η S1 περιοχή η οποία βρίσκεται στην οπίσθια κεντρική έλικα στον Βρεγματικό λοβό.

Είναι η περιοχή αναγνώρισης και αντίληψης των ερεθισμάτων που προέρχονται από το χέρι.

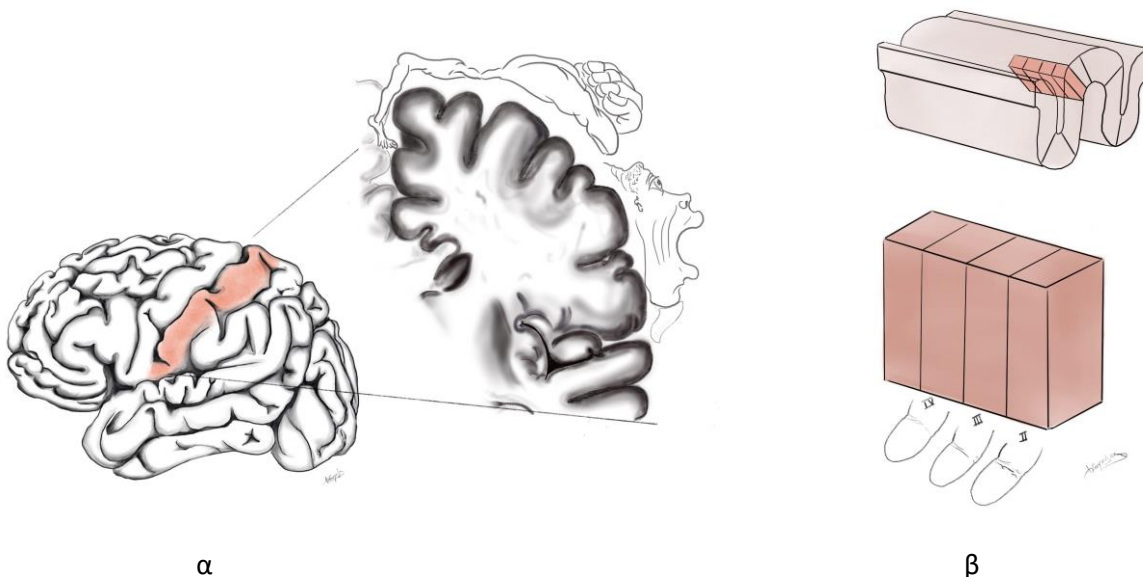


Σχέδιο 11.1. Σωματοαισθητική περιοχή του εγκεφάλου.

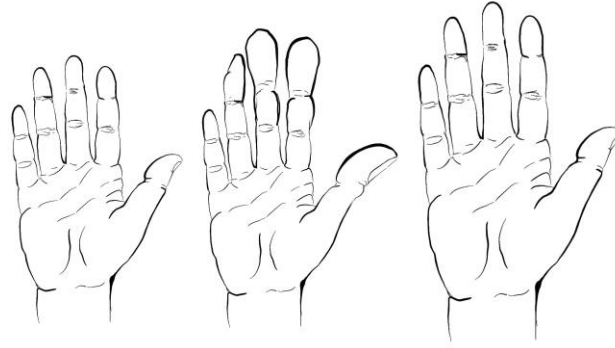
Η οπίσθια κεντρική έλικα χωρίζεται στις περιοχές SI, SII, SIII. Η περιοχή SIII είναι αυτή που δέχεται τα περισσότερα δεδομένα από το θάλαμο κι αυτή τροφοδοτεί με πληροφορίες τις περιοχές SI, SII. Κάθε τμήμα της περιοχής αντιστοιχεί και σε συγκεκριμένη περιοχή του μέλους. Φαίνεται ότι η αντιπροσώπευση του αντίχειρα είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Μέσω νευροαπεικονιστικών μεθόδων αποκαλύπτεται ότι η αντιπροσώπευση στη σωματοαισθητική περιοχή, στην οπίσθια κεντρική έλικα, μπορεί να ποικίλει σε αντιστοιχία, ανάλογα με τα βιώματα και σχετίζεται με την πλαστικότητα του εγκεφάλου.

Για παράδειγμα η αντιπροσώπευση του δείκτη είναι μεγαλύτερη στους τυφλούς λόγω ανάγκης ανάγνωσης με τη μέθοδο Braille ή η αντιπροσώπευση του αριστερού χεριού είναι μεγαλύτερη στους μουσικούς αφού είναι το χέρι δεξιoteχνίας στα μουσικά όργανα.



Σχέδιο 11.2. α. Σωματοτοπική αντιπροσώπευση του εγκεφάλου, β. Αντιπροσώπευση της τελικής φάλαγγας των δακτύλων στην αισθητική περιοχή του εγκεφάλου.



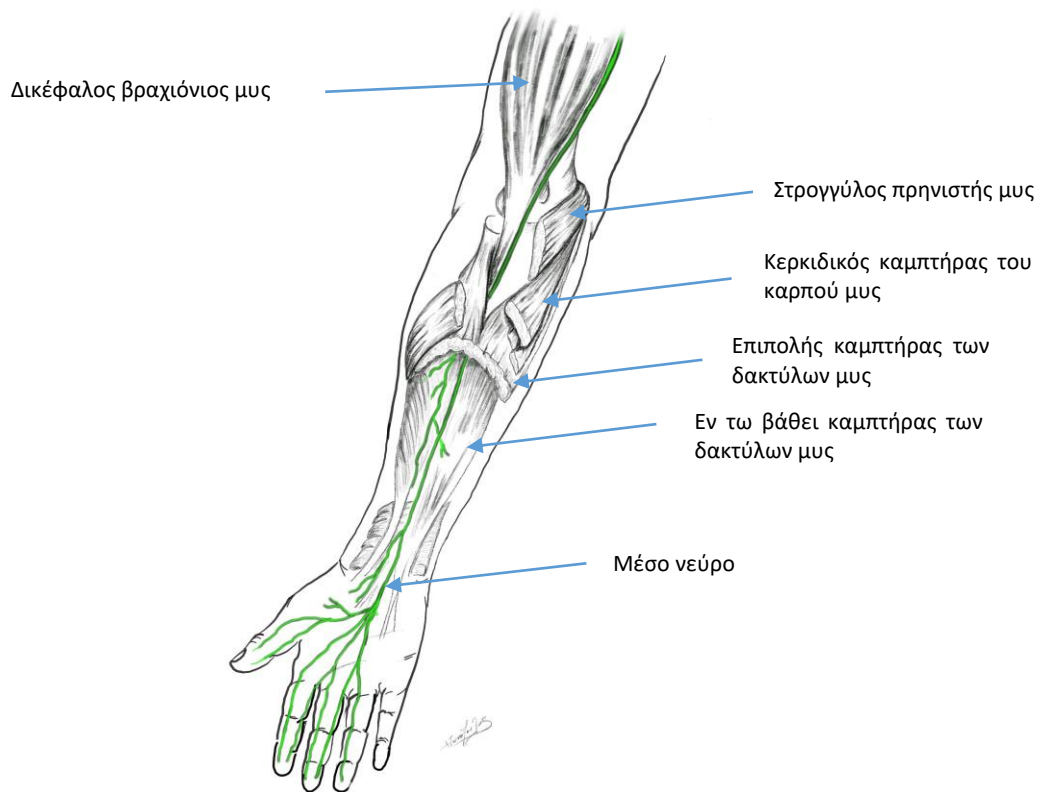
Σχέδιο 11.3. Διαφοροποίηση της αντιπροσώπευσης του χεριού στον εγκέφαλο, σε τυφλό άτομο (μέση), λόγω αυξημένης χρήσης της ράγας των δακτύλων που νευρώνονται από το Μ.Ν. και σε μουσικό (δεξιά), λόγω της απαιτούμενης αυξημένης δεξιολεχνίας, συγκριτικά με τη συνήθη αντιπροσώπευση στο μέσο άνθρωπο (αριστερά).

12. ΑΝΑΤΟΜΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΜΕΣΟΥ ΝΕΥΡΟΥ ΣΤΟ ΧΕΡΙ

Το μέσο νεύρο σχηματίζεται από το έξω δευτερεύοντος στελέχους (αισθητικές που προέχονται από τα Α6-Α7 διαστήματα) και το έσω δευτερεύον στέλεχος (κινητικές ίνες προερχόμενες από το Α8-Θ1) του βραχιονίου πλέγματος. Μετά το σχηματισμό του από τις τελικές διακλαδώσεις του άνω και κάτω στελέχους, πορεύεται σε γεινίαση με την βραχιόνιο αρτηρία, επί τα εντός και άνω αυτής. Ανευρίσκεται κατά μήκος του έσω μεσομύιου διαφράγματος, το οποίο χωρίζει τον τρικέφαλο βραχιόνιο μυ από τη μια και τους δικέφαλο και πρόσθιο βραχιόνιο μύες από την άλλη. Στο βραχιόνιο το μέσο νεύρο δεν χορηγεί κλάδους.

Στον αγκωνιαίο βόθρο, το νεύρο ακολουθεί μέση πορεία, διασταυρούμενο με τη βραχιόνιο αρτηρία, επί τα εντός αυτής και επί τα εντός του δικεφάλου βραχιονίου μύος και πάνω από τον πρόσθιο βραχιόνιο μυ. Στο αντιβράχιο, το μέσο νεύρο περνά κάτω από την ωλένια απονεύρωση του δικεφάλου βραχιονίου μύος, βρισκόμενο ανάμεσα στον καταφυτικό τένοντα του δικεφάλου βραχιονίου μύος, τη βραχιόνιο αρτηρία (επί τα εκτός) και τη βραχιόνιο κεφαλή του στρογγύλου πρηνιστή μύος (επί τα εντός).

Στη συνέχεια, περνά ανάμεσα από τις δύο κεφαλές του στρογγύλου πρηνιστή μύος και τις δύο κεφαλές του επιπολής κοινού καμπτήρα των δακτύλων, με τη βραχιονωλένια κεφαλή επί τα εντός και την κερκιδική επί τα εκτός. Στη συνέχεια, κατά την κάθοδό του στο αντιβράχιο, το μέσο νεύρο πορεύεται μεταξύ του επιπολής και του εν τω βάθει καμπτήρα των δακτύλων, στο έξω χείλος του εν τω βάθει καμπτήρα των δακτύλων. Στο ύψος περίπου αυτό, χορηγεί ραχιαίως, το πρόσθιο μεσόστεο νεύρο, που πορεύεται κατά μήκος και πάνω στο μεσόστεο υμένα.

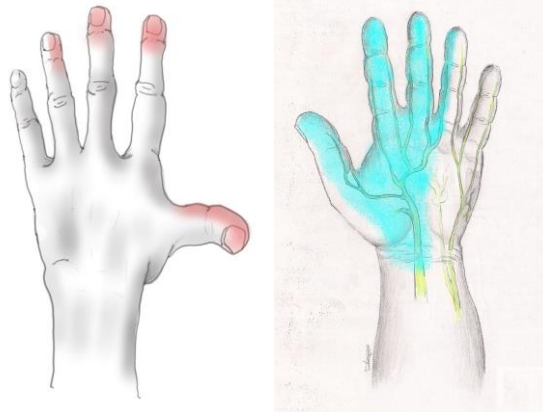


Σχέδιο 12.1. Ανατομική πορεία του μέσου νεύρου, στο άνω άκρο.

Στην περιοχή του καρπού και περί τα 5cm κεντρικότερα της πτυχής του καρπού, το μέσο νεύρο αναδύεται επιπολής, επί τα εντός του κερκιδικού καμπτήρα του καρπού. Εκεί, χορηγεί παλαμιαίως, αισθητικό κλάδο, τον παλαμιαίο αισθητικό κλάδο, που πορεύεται άνωθεν του καρπιαίου σωλήνα και διανέμεται επιφανειακά στη περιοχή του θέναρος.

Στον καρπό, το μέσο νεύρο εισέρχεται εντός του καρπιαίου σωλήνα, μεταξύ των εννέα καμπτήρων τενόντων των δακτύλων. Ο καρπιαίος σωλήνας σχηματίζεται ραχιαίως από τα οστά του καρπού, επί τα εντός το άγκιστρο του αγκιστρωτού και το πισσοειδές και επί τα εκτός το φύμα του Μείζονος πολυγώνου και ο κάτω πόλος του σκαφοειδούς. Παλαμιαία και ως κάλυμμα του σωλήνα, βρίσκεται ο εγκάρσιος σύνδεσμος του καρπού. Στον καρπιαίο σωλήνα και συνήθως κατά την έξοδό του από αυτόν ή, λιγότερο συχνά, με διάφορες παραλλαγές διά αυτού, το μέσο νεύρο χορηγεί τον παλίνδρομο κινητικό κλάδο του θέναρος.

Εν συνεχεία, διχάζεται στον κερκιδικό και τον ωλένιο κλάδο. Ο κερκιδικός χωρίζεται στο κοινό δακτυλικό νεύρο του αντίχειρα που χορηγεί τα δύο ίδια δακτυλικά νεύρα του αντίχειρα και το δακτυλικό νεύρο του κερκιδικού χείλους του δείκτη. Ο ωλένιος κλάδος χορηγεί τα κοινά δακτυλικά νεύρα των 2^{ου} και 3^{ου} μεσοδακτυλικών διαμερισμάτων, τα οποία στη συνέχεια διχάζονται στα ίδια δακτυλικά νεύρα. Ο κερκιδικός και ο ωλένιος κλάδος του μέσου νεύρου βρίσκονται ανάμεσα στο επιπολής παλαμιαίο τόξο (παλαμιαία) και τους καμπτήρες τένοντες (ραχιαία).



Σχέδιο 12.2. Αισθητική κατανομή του μέσου νεύρου στο χέρι.

ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ

A) Το μέσο νεύρο μπορεί να διαχωρισθεί πρώιμα σε κερκιδικό και ωλένιο κλάδο, κεντρικότερα του καρπιαίου σωλήνα, αντί μετά από την έξοδό του από αυτόν. Στη περίπτωση αυτή, συνοδεύεται σταθερά από τη μέση αρτηρία.

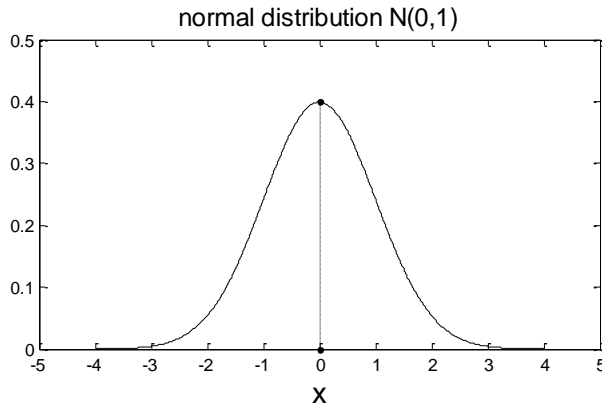
B) Επικοινωνία του παλίνδρομου κινητικού κλάδου του θέναρος, με το εν τω βάθει παλαμιαίο κλάδο του ωλενίου νεύρου (Martin Gruber)

Το μέσο νεύρο παρέχει μικρής έκτασης αισθητική νεύρωση που όμως είναι πολύ σημαντική. Νευρώνει τα 2/3 της παλαμιαίας επιφάνειας, καθώς και τα 3½ κερκιδικά δάκτυλα, δηλ. αντίχειρα, δείκτη, μέσο και κερκιδική πλευρά του παράμεσου. Επίσης, νευρώνει τη ραχιαία επιφάνεια της τελικής φάλαγγας των ανωτέρω δακτύλων, καθώς και το ωλένιο χείλος του αντίχειρα. Εκτός από αισθητικές ίνες, το μέσο νεύρο μεταφέρει ίνες για την ιδιοδεκτικότητα των αρθρώσεων, καθώς και για τον έλεγχο της μυικής τάσης.

13. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην στατιστική υπάρχει έντονο ενδιαφέρον να καθοριστεί η ύπαρξη μεθόδου η οποία θα δίνει τιμή πιθανότητας και θα παραμετροποιεί τη παρουσία του τυχαίου παράγοντα, πάντα υπό ορισμένες προϋποθέσεις ώστε να μην εισερχόμαστε στα όρια ενός χασοτικού συστήματος.

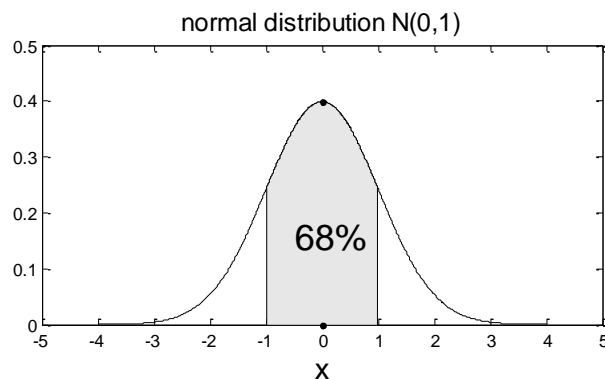
Λέμε ότι ένα χαρακτηριστικό, μια παρατήρηση (x), ακολουθεί μια συγκεκριμένη συνάρτηση κατανομής, η οποία δείχνει κατά κάποιον τρόπο την «κατανομή της πιθανότητας» κατά την οποία μπορεί να πάρει η παρατήρηση συγκεκριμένες τιμές. Λέμε ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή $N(0,1)$ με την αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 13.1. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής $N(0,1)$.

Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος της καμπύλης πάνω από ένα τμήμα του οριζοντίου άξονα (τιμή της παρατήρησης x), τόσο μεγαλύτερη και η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί μία αντίστοιχη τιμή στο τμήμα αυτό. Το εύρος των τιμών (γενικότερα της παρατηρούμενης τιμής), εξαρτάται εκτός από την μέση τιμή και από την τυπική απόκλιση. Η μέση τιμή για την $N(0,1)$ είναι το 0, ενώ η τυπική απόκλιση είναι το 1. Η τυπική απόκλιση δίνει το πλάτος στην καμπύλη της κανονικής κατανομής.

Σε μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, η περιοχή γύρω από μία τιμή της μεταβλητής x και κάτω από την καμπύλη (εμβαδόν), δηλώνει την πιθανότητα να παρατηρούνται αυτές οι τιμές, ως το μέρος του εμβαδού αυτού ως προς το συνολικό εμβαδό κάτω από την καμπύλη.

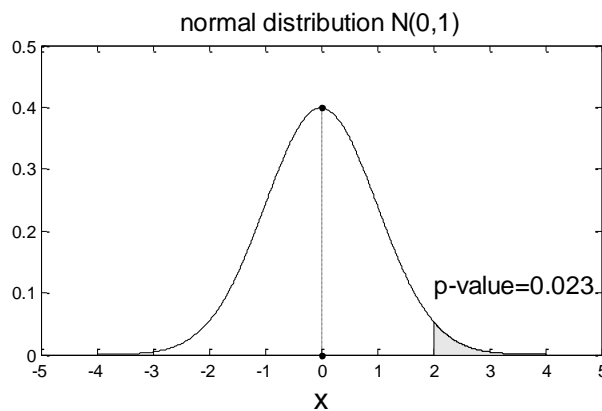


Διάγραμμα 13.2. Πιθανότητα παρατήρησης τιμών μεταξύ -1 και 1 για την κατανομή $N(0,1)$.

Είναι σαφές, επομένως, πως όταν η μεταβλητή x παίρνει “σπάνιες” τιμές, δηλαδή τιμές οι οποίες αποκλίνουν από τις συνήθεις τιμές της κατανομής, αυτές θα βρίσκονται στα άκρα της κατανομής.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της παρατήρησης από την μέση τιμή (προς τα άκρα της συνάρτησης κατανομής) τόσο μικρότερη η πιθανότητα να παρατηρηθεί αυτό. Όταν παρατηρείται μία τιμή «πολύ μακριά» από τις «πιο πιθανές» τιμές της κατανομής μπορούμε να πούμε ότι με κάποια στατιστικώς σημαντική πιθανότητα απορρίπτουμε το ενδεχόμενο αυτή η παρατήρηση να ανήκει στην συγκεκριμένη κατανομή.

Υπάρχει μία σύνδεση παρατηρούμενης τιμής x και αντίστοιχης πιθανότητας p -value αυτής να ανήκει στα άκρα της καμπύλης της κατανομής (ή σε ένα από τα άκρα της). Η τιμή αναφέρεται ως στατιστικό ή παρατηρούμενη τιμή ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα να βρίσκεται στο άκρο της συνάρτησης κατανομής αναφέρεται ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p -value.



Διάγραμμα 13.3. Πιθανότητα (2.3%) παρατήρησης τιμών >2 για την κατανομή $N(0,1)$.

Ακολουθείται η αρχή στην στατιστική πως δεν μπορούμε να δεχτούμε ότι μία παρατήρηση ακολουθεί την συγκεκριμένη κατανομή αν έχει μεγάλο p -value (π.χ. $99\%=0,99$), αλλά μπορούμε να δεχτούμε πως η παρατήρηση δεν ακολουθεί την συγκεκριμένη κατανομή αν έχει «αρκετά» μικρό p -value (π.χ. $5\%=0,05$).

Στην περίπτωση όπου θέλουμε να ελέγξουμε αν δύο ή περισσότερες ομάδες διαφοροποιούνται ως προς τον μέσο όρο ενός παρατηρούμενου χαρακτηριστικού, ακολουθείται η ανάλυση διασποράς (ANalysis Of VAriance ANOVA), όπου διασπορά είναι το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης. Με έναν πιο σύνθετο τρόπο παράγεται από τις παρατηρήσεις, για τις οποίες θέλουμε να ελέγξουμε την ενδεχόμενη διαφορά στην μέση τιμή τους, μία άλλη γνωστή στατιστική κατανομή (η κατανομή F) και η οποία λαμβάνει συγκεκριμένη τιμή, ως στατιστικό πλέον, της F κατανομής και έχει ένα αντίστοιχο p -value.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

14. ΕΠΑΝΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

14.1 Εισαγωγή

Το μέσο νεύρο προσφέρει τη δυνατότητα στον άνθρωπο να «βλέπει» με κλειστά τα μάτια. Το σύνολο των υποδοχέων στο χέρι, η πληθώρα των νευρικών ινών και το μέγεθος του αισθητικού πεδίου που κατέχει, σε συνδυασμό με τη μεγάλη ανταπόκρισή του στον εγκέφαλο, κάνουν τους επιστήμονες να το θεωρούν το «τρίτο μάτι» του ανθρώπου.

Χάρη στην υψηλή αντίληψη της αφής, τη στερεογνωσία και την αντίληψη της θέσης των ερεθισμάτων στη δερματική επιφάνεια, δίνεται η δυνατότητα στο χέρι να εκτελεί πληθώρα ενεργειών χωρίς να απαιτείται οπτική συμμετοχή. Δηλαδή με το χέρι είμαστε σε θέση, για παράδειγμα, να ψηλαφήσουμε αντικείμενα στην τσέπη του παντελονιού και να επιλέξουμε με λεπτομέρεια το επιθυμητό ή να πληκτρολογήσουμε σε πληκτρολόγιο Η/Υ, χωρίς να βλέπουμε τι αγγίζουμε.

Νευρολογική βλάβη του Μέσου νεύρου με διακοπή των ινών του και της αισθητικής οδού προς τον εγκέφαλο, οδηγεί σε απώλεια της αντίληψης της θέσης και της αναγνώρισης των ερεθισμάτων, απώλεια που αλλοιώνει έμμεσα και την κινητική λειτουργία του χεριού, αφού η απόκριση σχετίζεται με τη λήψη και επεξεργασία ερεθισμάτων. Σημαντικό ρόλο σε αυτό, παίζει και η απώλεια της κιναισθησίας, η οποία είναι σημαντική για την λειτουργία του χεριού.

Χωρίς νευρική αποκατάσταση η αισθητικότητα δεν επανακτάται κι έτσι εκλείπει όχι μόνο η προστατευτική αισθητικότητα, αλλά οι κινήσεις βασίζονται πλέον στην πρότερη εμπειρία, ενώ για την εκτέλεση ενεργειών με το χέρι θα πρέπει πάντα να υπάρχει οπτική συμμετοχή. Δηλαδή ο άνθρωπος δεν είναι δυνατό να εκτελεί εργασίες, χωρίς να βλέπει τι αγγίζει και πώς τις εκτελεί το χέρι. Είναι κάτι ανάλογο με το να φορά μεταλλικό γάντι και το χέρι αδυνατεί να αισθανθεί.

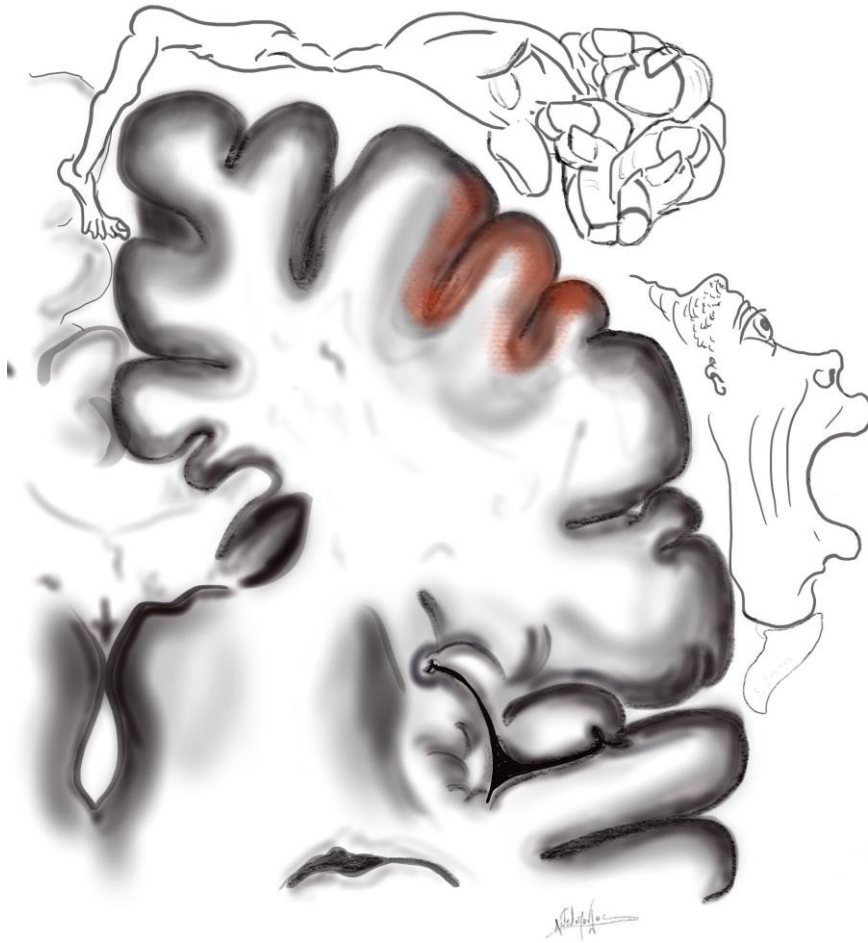
Στον εγκέφαλο η μη νευρική αποκατάσταση οδηγεί σε αποδιοργάνωση αρχικά και αναδιοργάνωση της αντίστοιχης φλοιϊκής περιοχής στη συνέχεια λόγω απώλειας των εισερχομένων πληροφοριών.^{8,75} Η διαδικασία αποδιοργάνωσης είναι σχεδόν άμεση μετά την νευρολογική βλάβη ενώ η αναδιοργάνωση σχετίζεται με την πλαστικότητα του εγκεφάλου στην απαιτούμενη αναγκαία κατά περίπτωση λειτουργικότητα του χεριού με το πέρασμα του χρόνου.^{3,4,7,8,21,35,52}

Η καθυστέρηση της νευρικής αποκατάστασης οδηγεί σε εδραίωση νέων δομικών και λειτουργικών νευρικών οδών στο φλοιό, με νέες συνάψεις και αλλαγή στα νευρωνικά δίκτυα.^{3,7}

Βασική προϋπόθεση της αισθητικής επανάκτησης στις βλάβες Νο3 κατά Sendon ή Νο5 κατά Sunderland είναι η συρραφή του νεύρου για την επανατροφοδότηση του εγκεφάλου.

Βασικοί παράγοντες στη φυσιολογική επαναλειτουργία του χεριού αποτελούν:

- α. Ο χρόνος που μεσολάβησε από τη διατομή μέχρι τη συρραφή του νεύρου και τη νευρική αποκατάσταση. Όσο μεγαλύτερος χρόνος απαιτηθεί, τόσο δυσκολότερα επανέρχεται η αισθητικότητα στα προ της βλάβης επίπεδα, είτε η αποκατάσταση δεν είναι πλήρης.^{53,79}
- β. Το πλήθος των ινών που αναγεννήθηκαν και το ποσοστό του νεύρου που αποκαταστάθηκε (αστοχία αναγέννησης). Με οποιαδήποτε τεχνική συρραφής από όσες έχουν προταθεί, όσο άρτια κι αν γίνει, είναι σχεδόν βέβαιο ότι δεν γίνεται να αναγεννηθεί το σύνολο των νευρικών ινών.
- γ. Λανθασμένος προσανατολισμός νευρικής αναγέννησης σε όργανα στόχους, ο οποίος οδηγεί σε αλλαγή της σωματοαισθητικής αντανάκλασης στο φλοιό του εγκεφάλου.



Σχέδιο 14.1.1. Διαταραχή της σωματοαισθητικής περιοχής του χεριού, μετά από διατομή του μέσου νεύρου.

Η επιτυχημένη νευρική αναγέννηση θα οδηγήσει μετά από έλευση εβδομάδων ή μηνών σε αποκατάσταση της αισθητικής οδού και επανατροφοδότηση με πληροφορίες της αντίστοιχης φλοιϊκής περιοχής, οι οποίες θα πρέπει να επεξεργασθούν.

Στο διάστημα όμως που έχει μεσολαβήσει από τη διατομή του νεύρου μέχρι την αποκατάστασή του, η αντίστοιχη φλοιϊκή περιοχή έχει αναδιοργανωθεί με αντισταθμιστικές αλλαγές στην έλλειψη ερεθισμάτων, λειτουργικά και δομικά.^{8,75} Το μέγεθος της αναδιοργάνωσης ποικίλει, ανάλογα με τη χρήση του χεριού. Έτσι, λοιπόν ο εγκέφαλος θα πρέπει να ξαναμάθει να «διαβάζει» τις εισερχόμενες πληροφορίες απ' το χέρι όπως για παράδειγμα μαθαίνει μία ξένη γλώσσα.³⁹

Για το σκοπό αυτό έχει προταθεί η ιδέα της επανεκπαίδευσης^{22,27,39,56} απ' τα πρώιμα στάδια της νευρικής αποκατάστασης, η οποία θα προσφέρει πληρέστερη λειτουργική αποκατάσταση του χεριού, σε συντομότερο χρόνο. Χωρίς επανεκπαίδευση ο εγκέφαλος παραμένει αποδιοργανωμένος για την συγκεκριμένη περιοχή του σώματος, με δυσκολία στον εκ νέου προσδιορισμό της περιοχής που αντιπροσωπεύει το συρραφέν μέσο νεύρο, μη δυνάμενος να ερμηνεύσει τα εισερχόμενα δεδομένα από τους αισθητικούς υποδοχείς του χεριού. Αποτέλεσμα αυτού είναι η νευρική αποκατάσταση και νευρική αναγέννηση να μην οδηγεί σε πλήρη λειτουργική αποκατάσταση του χεριού, ακόμα και μετά από επιτυχημένη νευρική συρραφή και νευρική αναγέννηση.^{23,43}

Συχνά η εκτέλεση του καθήκοντος του χειρουργού τελειώνει με τη νευρική συρραφή και η αισθητική επανεκπαίδευση παραμελείται. Παράλληλα δίδεται μεγαλύτερη προσοχή στην προστατευτική αισθητικότητα και στην κινητική λειτουργία του μέλους, η οποία όμως είναι συνυφασμένη με την αισθητικότητα γιατί το χέρι που δεν αισθάνεται δεν κινείται φυσιολογικά.^{13,22,44}

Παρά το γεγονός ότι έχει καταστεί σαφές, πως στους ενήλικες η απώλεια της αισθητικότητας του χεριού μετά από διατομή του μέσου νεύρου παραμένει διαταραγμένη ακόμα και μετά μια επιτυχημένη νευρική αναγέννηση και η αισθητική επανεκπαίδευση προτείνεται για την πληρέστερη αισθητική αποκατάσταση, δεν ισχύει το ίδιο και στην περίπτωση ασθενών παιδιών. Μελέτες σε ασθενείς παιδιά με διατομή του μέσου νεύρου και χειρουργική αποκατάσταση, έχουν δείξει ότι η αισθητική και λειτουργική αποκατάσταση του χεριού δεν απαιτεί απαραίτητα αισθητική επανεκπαίδευση καθώς στην παιδική ηλικία είναι έντονη η πλαστικότητα του εγκεφάλου και η δυναμική μαθησιακή διαδικασία έχουν άμεσα και πλήρη λειτουργικά αποτελέσματα σε σύντομο χρόνο.¹⁸ Δηλαδή, το ταχέως αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα σε συνδυασμό με την έντονα αυξημένη μαθησιακή διαδικασία του εγκεφάλου, όσο εύκολα μπορεί να παρακάμψει την έλλειψη ερεθισμάτων, το ίδιο εύκολα μπορεί να επανέλθει μετά την επανάκτηση της αισθητικής οδού και την χρήση του μέλους.

Διαταραχή της αισθητικότητας μπορεί να επέλθει μετά από βλάβη της αισθητικής οδού σε οποιοδήποτε επίπεδο αυτής και όχι μόνο μετά από διατομή περιφερικού νεύρου. Έτσι βλάβες του κεντρικού νευρικού συστήματος μπορεί να προκαλέσουν αλλοίωση της αισθητικότητας εφόσον η βλάβη αφορά αισθητική περιοχή ή κεντρικότερα επίπεδα αισθητικής οδού. Προφανώς και σε αυτές τις περιπτώσεις η απώλεια της αισθητικότητας θα οδηγήσει με ίδιους μηχανισμούς σε αποδιοργάνωση της περιοχής και λειτουργικό ανασχεδιασμό για την αντιστάθμιση της απώλειας. Η ιδέα της αισθητικής επανεκπαίδευσης βρίσκει εφαρμογή και στις περιπτώσεις αυτές για την ανάκτηση της αισθητικότητας. Η αισθητική επανεκπαίδευση έχει απασχολήσει ερευνητές που μετά από μελέτη ασθενών με ημιπληγία ή βλάβη του Κ.Ν.Σ. οδηγήθηκαν σε ανάλογα συμπεράσματα για τη χρησιμότητα της μεθόδου στη λειτουργική αποκατάσταση της αισθητικότητας.^{3,20,60,71,72}

Ακόμα, μετά από παρατηρήσεις αισθητικών δυσλειτουργιών σε χειρουργικές αποκαταστάσεις ελλειμάτων δέρματος και μεταφορά ελεύθερων ή αγγειονευρούμενων κρημνών, τέθηκαν ερωτήματα για την αποκατάσταση αυτών. Για παράδειγμα, στη περίπτωση μεταφοράς μισχωτού κρημού, Kite flap, από τη ραχιαία επιφάνεια του δείκτη για την αποκατάσταση ελλείματος δέρματος στη παλαμιαία επιφάνεια του αντίχειρα, ο ασθενής αντιλαμβάνεται για καιρό τα ερεθίσματα που ασκούνται στην δερματική επιφάνεια του κρημού, ως ερεθίσματα που λαμβάνονται από τη ραχιαία επιφάνεια του δείκτη κι όχι από τον αντίχειρα όπου πλέον έχει τοποθετηθεί ο κρημός. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο κρημός εξακολουθεί να διατηρεί ενέπαφη την αισθητική οδό μέχρι την φλοική περιοχή που αντιστοιχεί στη ραχιαία επιφάνεια του δείκτη. Επίσης μετά από έλλειμα δέρματος και αποκατάσταση με χρήση ελεύθερων κρημών, το πρόβλημα που προκύπτει, παράλληλα, για τον άρρωστο, είναι το έλλειμα αισθητικότητας στη λήπτρια περιοχή. Έτσι μετά από αντίστοιχες μελέτες, προτάθηκε η εφαρμογή της μεθόδου επανεκπαίδευσης σε ασθενείς στους οποίους είχαν αποκατασταθεί ελλείματα δέρματος με χρήση ελεύθερων ή αγγειονευρούμενων κρημών, ως μέθοδος επαναπροσδιορισμού της αισθητικότητας της λήπτριας περιοχής, με ικανοποιητικά αποτελέσματα.^{17,54,74}

Επίσης, ανάλογοι προβληματισμοί τέθηκαν μετά από συγκολλήσεις μελών, αφού η αισθητική οδός είχε αποκατασταθεί μεν, αλλά η αισθητική φλοική περιοχή είχε αποδιοργανωθεί. Επίσης μετά από μεταφορά δακτύλου από το πόδι στο χέρι, για αντικατάσταση του αντίχειρα, απαιτείται

επαναπροσδιορισμός της αισθητικής περιοχής για την αισθητική λειτουργική αποκατάσταση. Έτσι μετά από εργασίες που έχουν γίνει σε ασθενείς με επανασυγκολήσεις μελών^{9,13,47,57} ή μεταφορά δακτύλου από το πόδι στο χέρι^{1,9,12,57,58,59,68,69} προτάθηκε η χρήση της μεθόδου αισθητικής επανεκπαίδευσης για την πλήρη αισθητική αποκατάσταση στις περιπτώσεις επανασυγκολήσεων ή επαναπροσδιορισμού της αισθητικής κατανομής σε ασθενείς με μεταφορά δακτύλου από το πόδι στο χέρι.^{9,13,45,46,47}

Η ιδέα της αισθητικής επανεκπαίδευσης στις περιπτώσεις ασθενών με διατομή αισθητικών νεύρων προτείνεται μετά από μελέτες από τη 10ετία του '70 από διάφορους μελετητές.^{23,24,49-56} Σε όλες τις ανωτέρω μελέτες ανεξάρτητα απ' τις επιμέρους τεχνικές που εφαρμόστηκαν αναγνωρίστηκε η συνεισφορά της μεθόδου στην αισθητική ανάκαμψη και λειτουργικότητα, μειώνοντας το κατώτατο όριο, δηλαδή την ουδό αναγνώρισης των ερεθισμάτων πίεσης, αφής, αντίληψης, θέσης, καθώς και την αποκατάσταση της στερεογνωσίας.^{6,9,11,12,15,16,19,22}

Η αισθητική επανεκπαίδευση είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές. Μία από αυτές είναι το test αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι^{21,35,36,65}. Η μέθοδος αυτή, προάγει την αντίληψη της θέσης των ερεθισμάτων στο χέρι. Μία άλλη μέθοδος, είναι το Moberg Pick-up test^{62,66} το οποίο ποράγει τη λειτουργικότητα του χεριού, βασιζόμενη στην αντίληψη της θέσης των αντικειμένων στο χέρι και τη στερεογνωσία. Επίσης το Semmes Weinstein monofilament test, το οποίο ελέγχει την αντίληψη της πίεσης και προάγει την μείωση του κατώτερου επιπέδου αναγνώρισης^{9,17,18,19,32}. Το test στατικής και κινητικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων,^{1,16,17,18,26,27,49} κατά το οποίο ο ασθενής καλείται να αναγνωρίσει τη μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο ακίδων στατικών ή κινούμενων, σε διάφορα σημεία της καμπτικής επιφάνειας του χεριού στο πεδίο κατανομής του μέσου νεύρου^{5,10,14,61}. Το test στερεογνωσίας, κατά το οποίο ο ασθενής καλείται να αναγνωρίσει, μέσω ψηλάφησης, έναν αριθμό διαφορετικών αντικειμένων. Τα παραπάνω, καθώς και άλλες τεχνικές βοηθούν τους ασθενείς με αισθητική δυσλειτουργία μετά από νευρολογική βλάβη και αποκατάσταση αυτής, να ερμηνεύσουν εκ νέου τα εισερχόμενα αισθήματα, επαναπροσδιορίζοντας μέσω της πλαστικότητας του εγκεφάλου την αντίληψη για το κάθε ερέθισμα ξεχωριστά.

Η διακριτική ικανότητα δύο σημείων είναι μία ιδιαίτερα ξεχωριστή δυνατότητα του χεριού του ανθρώπου χάρη στην οποία λόγω της πληθώρας των υποδοχέων ανά μονάδα επιφανείας, ιδίως στις ράγες των δακτύλων, δύναται να αναγνωρίσει σαφώς διακριτά δύο σημεία που απέχουν κατ' ελάχιστο 1mm. Βάσει αυτής της ικανότητας, ο άνθρωπος μπορεί να διαβάσει με τη μέθοδο Braille. Η ικανότητα διάκρισης δύο σημείων είναι πιο ευαίσθητη εάν το αντικείμενο κινείται στο χέρι, ενώ αποκτά τη μέγιστη ευαισθησία εάν το χέρι κινείται επί του αντικειμένου λόγω συμμετοχής της κιναισθησίας.

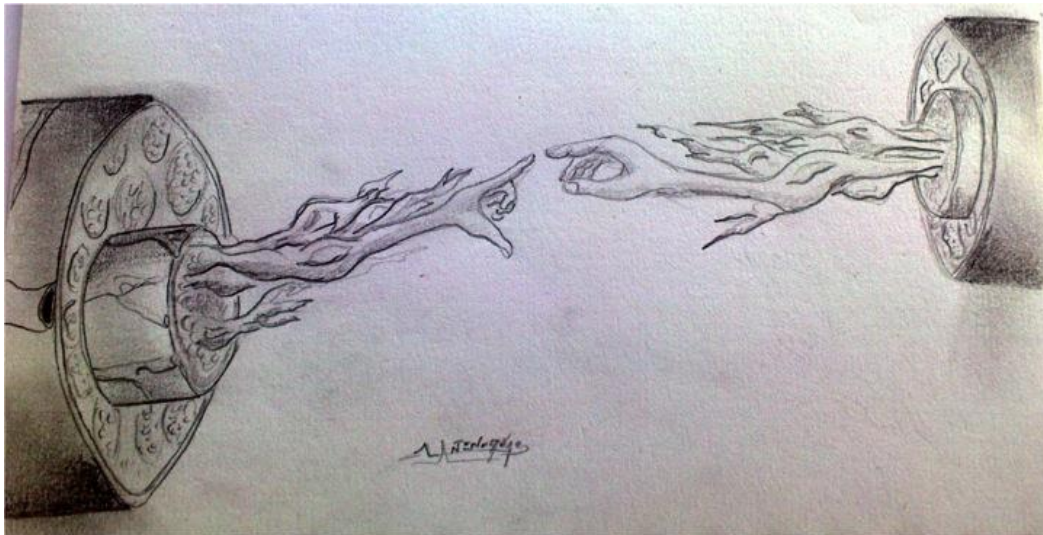
Η αισθητική επανεκπαίδευση ως μέθοδος δεν προάγει τη νευρική αναγέννηση, αλλά προάγει την αντίληψη και επαναπροσδιορισμό των εισερχομένων πληροφοριών από ερεθίσματα των περιφερικών υποδοχέων του χεριού. Στόχος είναι η πληρέστερη, κατά το δυνατό, αισθητική αποκατάσταση. Πρακτικά, ο ασθενής ξαναμαθαίνει με λεπτομερέστερο τρόπο και σε σύντομο χρόνο τη θέση των αντικειμένων στο χέρι, την υφή τους, αποκτά στερεογνωσία, αυξάνει τη διακριτική ικανότητα δύο σημείων και μειώνει την οδό πίεσης. Έτσι, μετά από βλάβες και χειρουργική αποκατάσταση του μέσου νεύρου, η αισθητική επανεκπαίδευση βοηθά στην απόκτηση πλήρους συνείδησης του χεριού. Η μέθοδος μετά από πολλές μελέτες, προτείνεται ως αναγκαία για την αποκατάσταση στο ανώτερο δυνατό τελικό επίπεδο.^{13,15,23,47,49-57}

14.2 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση της αισθητικής επανεκπαίδευσης ασθενών με πλήρη, χαμηλή βλάβη του μέσου νεύρου μετά την αποκατάσταση αυτού, μέσω συγκριτικών test μεταξύ ομάδας ασθενών που επανεκπαιδεύθηκε και ομάδας ασθενών που δεν μπήκε σε αντίστοιχο πρόγραμμα επανεκπαίδευσης.

Στο παρελθόν, μελέτες έχουν αξιολογήσει και εκτιμήσει την κλινική χρησιμότητα και ανταπόκριση των επιλεγμένων αισθητικών test παρακολουθώντας την αισθητική επαναφορά και το λειτουργικό αποτέλεσμα του χεριού μετά από νευρολογική βλάβη.^{13,39,52,55,63,64} Ωστόσο παρά τις αναφορές σχετικά με το ζήτημα της αισθητικής λειτουργικής επανάκτησης μετά από νευρολογική βλάβη, έχει επισημανθεί η αναγκαιότητα επιπλέον μελετών γύρω από το θέμα για την εξαγωγή ασφαλέστερων και αξιολογότερων συμπερασμάτων.²

Αρκετές από αυτές τις μελέτες^{9,13} έχουν ερευνήσει τα μακρά οφέλη της αισθητικής επανεκπαίδευσης μέσω συγκριτικών αναλύσεων κλινικών δεδομένων χρησιμοποιώντας μία ομάδα ελέγχου και test τα οποία σχετίζονται με τη λειτουργικότητα του χεριού όπως όπως το test αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι,^{21,35,36,65,67} το Moberg Pick-up test,^{62,66} το test στατικής και κινητικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων.^{26,32,49,55,63,64,67,72}



Σχέδιο 14.2.1. Νευρική αναδιοργάνωση.

14.3 Υλικό - Μέθοδος

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζουμε συγκριτική αξιολόγηση ασθενών με πλήρη διατομή του μέσου νεύρου και χειρουργική αποκατάσταση αυτής με ή χωρίς αισθητική επανεκπαίδευση.

Μελετήθηκαν 52 ασθενείς με χαμηλή βλάβη του μέσου νεύρου στην περιοχή του κάτω πέρατος του αντιβραχίου και τον καρπό. Οι βλάβες αφορούσαν πλήρη διατομή του μέσου νεύρου από νύσσοντα ή τέμνοντα όργανα.

Μελετήθηκαν συνολικά 42 άνδρες και 10 γυναίκες με μέσο όρο ηλικίας τα 36 έτη (20 -47).

Από τις γυναίκες:

- 5 νοικοκυρές
- 3 πωλήτριες
- 1 σπουδάστρια
- 1 άνεργη

Από τους άνδρες:

- 14 υπάλληλοι γραφείου
- 7 εργάτες
- 14 δημόσιοι υπάλληλοι
- 1 σπουδαστής
- 5 πωλητές
- 1 δικηγόρος

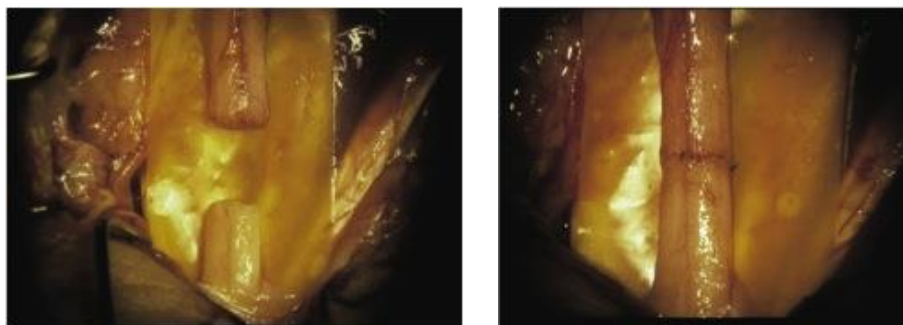
Όλοι οι ασθενείς είχαν χαμηλή βλάβη του μέσου νεύρου ετερόπλευρα και τα τραύματα ήταν μη παραμελημένα, μη ρυπαρά.

Κατά την εισαγωγή τους στη μελέτη, ενημερώνονταν γι' αυτή, δίνονταν απαντήσεις σε τυχόν ερωτήματά τους, κι εφόσον τους δινόταν ο απαραίτητος χρόνος για να αποφασίσουν, συγκατέθεταν για τη συμμετοχή τους στη μελέτη.

Στη μελέτη δεν συμπεριλήφθησαν παιδιά, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι η δυναμική του εγκεφάλου κατά την παιδική ηλικία είναι τέτοια που μπορεί να αποκατασταθεί η αισθητική λειτουργικότητα του χεριού σε άριστο βαθμό χωρίς επανεκπαίδευση, ¹⁸ επίσης ασθενείς με αμφοτερόπλευρη βλάβη αφού το υγιές χέρι χρησιμοποιούνταν για σύγκριση της αισθητικότητας με το χέρι που είχε υποστεί τη βλάβη, καθώς και περιπτώσεις μείζονων μεικτών βλαβών (spaghetti wrist).

Η αποκατάσταση γινόταν σε πρώτο χρόνο, σε όλους τους ασθενείς. Προεγχειρητικά, γινόταν πλήρης ορθοπεδική και νευρολογική εκτίμηση των ασθενών για την εκτίμηση λοιπών ορθοπεδικών βλαβών και την πλήρη εκτίμηση της νευρολογικής βλάβης. Η χειρουργική αποκατάσταση γινόταν εντός 24ωρου από τη βλάβη με μέσο χρόνο αποκατάστασης τις 10 ώρες από αυτήν, υπό περιοχική ή γενική αναισθησία. Λοιπές βλάβες που αναγνωρίζονταν, όπως διατομές τενόντων ή αγγείων, αποκαθίστανται σε πρώτο χρόνο. Η συρραφή του νεύρου γινόταν με μικροχειρουργική τεχνική με χρήση Loopes 3,5-4,5x. Για τη συρραφή προτιμήθηκε η επινευρική συρραφή σε όλους τους ασθενείς με χρήση ραμμάτων 8-0 single – strand.

Κατά την τεχνική της επινευρικής συρραφής, το νεύρο νεαροποιούταν, όπου κρινόταν αναγκαίο και το επινεύριο συρραπτόταν, αφού είχε επιμελώς προσεχθεί ο προσανατολισμός του νεύρου, με χρήση 3-5 ραμμάτων έτσι ώστε να έχει επιτευχθεί κάθε φορά η ιδανική επαφή των διατετμημένων άκρων του νεύρου. Προσοχή, επίσης, δινόταν στην τυχόν τάση του νεύρου καθώς και στο να κείτεται εντός αιμασσόντων ιστών. Ο μέσος χρόνος συρραφής του νεύρου ήταν 15' και γίνονταν από την ίδια χειρουργική ομάδα. Σε όλους τους ασθενείς που συμπεριλήφθησαν στη μελέτη, η χειρουργική τεχνική κρίθηκε άρτια και ιδανική για την νευρική αποκατάσταση. Μετά τη χειρουργική αποκατάσταση στο άκρο τοποθετούνταν γυψονάρθηκας πηχεοκαρπικός σε θέση ήπιας κάμψης του καρπού για ακινητοποίηση, η οποία είχε διάρκεια 4 εβδομάδων. Στο διάστημα αυτό γινόταν περιποίηση και παρακολούθηση του εγχειρητικού τραύματος και οι ασθενείς με συρραφές καμπτήρων τενόντων ακολουθούσαν πρωτόκολλο κινητοποίησης.



Σχέδιο 14.3.1. Συρραφή νεύρου.



Σχέδιο 14.3.2. Αποκατάσταση συνοδών βλαβών.

Μετά το πέρας των 4 εβδομάδων γινόταν αφαίρεση του γυψονάρθηκα και οι ασθενείς έμπαιναν σε φυσικοθεραπευτικό πρόγραμμα διάρκειας 4 επιπλέον εβδομάδων για την αποκατάσταση της κινητικότητας των αγκυλωμένων αρθρώσεων. Σε όλους τους ασθενείς η κινητικότητα των αρθρώσεων και η λειτουργικότητα των τενόντων κρίθηκε πλήρης και ικανοποιητική.

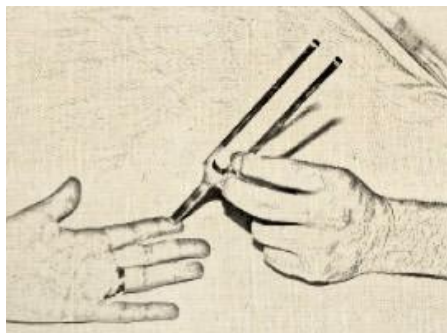


Σχέδιο 14.3.3. Τοποθέτηση Γ/Ψ για 4 εβδομάδες.



Σχέδιο 14.3.4. Ικανοποιητική η κινητικότητα των αρθρώσεων και η λειτουργικότητα των τενόντων, σε όλους τους ασθενείς

Μετεγχειρητικά και μετά την αφαίρεση του γυψονάρθηκα παρακολουθούνταν η νευρική αναγέννηση του μέσου νεύρου. Ως προγνωστικό κριτήριο εκτίμησης της νευρικής αναγέννησης χρησιμοποιήθηκε το σημείο Tinel. Η ολοκλήρωση της νευρικής αναγέννησης εκτιμήθηκε με χρήση τονοδότη 256 cps (cycles per second) στις άκρες των 3½ κερκιδικών δακτύλων του χεριού, περίπου στους 3,5 μήνες (3-4Μ) σε όλους τους ασθενείς που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη μετά την επινευρική συρραφή. Η χρήση του τονοδότη ως κριτήριο βασίζεται στο γεγονός ότι με τη χρήση του κι εφόσον η νευρική αναγέννηση έχει καταλήξει στους υποδοχείς των ακροδακτύλων η δόνηση θα γίνει, έστω αδρά, διάχυτα αντιληπτή μέσω ερεθισμού των αντίστοιχων υποδοχέων. Μη αντιληπτή αίσθηση απ' τον τονοδότη σημαίνει υπολειπόμενη νευρική αναγέννηση.⁷⁰



Σχέδιο 14.3.5. Χρήση τονοδότη, για τον έλεγχο της αναγέννησης.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο παρακολούθησης των ασθενών σ' αυτή τη χρονική φάση γινόταν ο διαχωρισμός τους σε δύο ομάδες. Στην ομάδα Α επιλέχθηκαν 26 οι ασθενείς οι οποίοι θα ακολουθούσαν πρόγραμμα αισθητικής επανεκπαίδευσης ενώ στην ομάδα Β, οι 26 ασθενείς που

επιλέχθηκαν δεν θα ακολουθούσαν πρόγραμμα επανεκπαίδευσης. Ο διαχωρισμός των ασθενών γινόταν με τυχαίο τρόπο.

Μέριμνα ωστόσο τέθηκε ώστε να υπάρχει κατά το δυνατό ισομερής διαχωρισμός ανδρών – γυναικών. Οι γυναίκες που παρακολούθησαν πρόγραμμα επανεκπαίδευσης ήταν πέντε. Επίσης μέριμνα τέθηκε στην ηλικιακή ισοκατανομή κατά το δυνατό ώστε ο μέσος όρος (Μ.Ο.) ηλικίας και στα δύο φύλα μεταξύ των δύο ομάδων να μην έχει σημαντική απόκλιση. Παράλληλα στην ομάδα Α προτιμούνταν ασθενείς με διάθεση για συνεργασία και κίνητρο το αποτέλεσμα.

Οι ασθενείς και των δύο ομάδων ελέγχθηκαν και εκτιμήθηκαν. Για την αξιολόγηση της πορείας της αισθητικής επανεκπαίδευσης χρησιμοποιήθηκαν:

- το test αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι (Locognosia) ^{65,67}
- το Moberg Pick-up test ^{62,66} και
- το test στατικής και κινητικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων. ^{49,63,64,72}

Η αισθητική επανεκπαίδευση των ασθενών της ομάδας Α γινόταν σε δύο στάδια κατά Dellon ^{23,43}. Το πρώτο στάδιο θα ξεκινούσε όταν διαπιστωνόταν ανανεύρωση στις κορυφές των δακτύλων που νευρώνονται απ' το μέσο νεύρο. Στο στάδιο αυτό οι ασθενείς καλούνταν να αναγνωρίσουν ευμεγέθη αντικείμενα από το οικείο τους περιβάλλον με τα μάτια ανοικτά ή κλειστά ⁴² ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η άσκηση, αυτή, οδηγεί σε ερεθισμό του εγκεφάλου για αναγνώριση των ερεθισμάτων που λαμβάνονται απ' τους διάφορους αισθητικούς υποδοχείς του χεριού και την ανάπτυξη της στερεοογνωσίας. Επίσης, οι ασθενείς καλούνταν να αναγνωρίσουν ερεθίσματα από βαμβάκι, πίεση από ακίδα ή αμβλύ αντικείμενο, νυγμό ή αίσθημα θερμού-ψυχρού στο χέρι, για τον επιμέρους διχωρισμό και αναγνώριση των αισθημάτων. ⁷³

Το στάδιο αυτό επίσης περιελάμβανε δοκιμασία αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι τροποποιημένη κατά Marsh. ^{65,67}

Στη φάση αυτή οι δοκιμασίες αποσκοπούν στο συνεχή ερεθισμό της αισθητικής περιοχής του εγκεφάλου όπου αντιστοιχεί το χέρι, ώστε να αναδιοργανωθεί σταδιακά, ξαναμαθαίνοντας ουσιαστικά την αισθητικότητα στη περιοχή. ^{22,73}

Το όψιμο στάδιο λάμβανε χώρα όταν γινόταν αντιληπτή η στατική και κινητική επικριτική αισθητικότητα στα τρισίμια κερκιδικά δάκτυλα Dellon ²³, περίπου 3,5 μήνες μετά την έναρξη της πρώιμης φάσης. (3-4Μ).

Σ' αυτή τη φάση, συμπεριλαμβανόταν το Moberg's Pick-up test, ο έλεγχος διακριτικής ικανότητας δυο σημείων και ασκήσεις ικανότητας αναγνώρισης και εντόπισης διαφόρων ερεθισμάτων στο χέρι. Επίσης γίνονταν ασκήσεις αναγνώρισης αντικειμένων με ψηλάφηση, παρόμοιων μεταξύ τους όπως κέρματα, κλειδιά, καρποί. Επιπροσθέτως σ' αυτή τη φάση οι ασθενείς της ομάδας Α συμβουλευόταν να μεταφέρουν διάφορα μικροαντικείμενα εντός της τσέπης τους (κλειδιά, βίδες, ζάρια, καρποί, κέρματα) τα οποία καλούνταν να ψηλαφούν και να αναγνωρίζουν μέσα από την τσέπη τους χωρίς να τα βλέπουν.



Σχέδιο 14.3.6. Αναγνώριση αντικειμένων ψηλαφητικά, με κλειστά τα μάτια.

Οι ασθενείς αρχικά ελέγχονταν από τους ιατρούς ή το φυσικοθεραπευτή κι αργότερα από το οικείο ή οικογενειακό τους περιβάλλον.

Τα test αναγνώρισης ερεθισμάτων γίνονταν τέσσερις (4) φορές ημερησίως και είχαν διάρκεια 10'-15' κάθε φορά. Τα test γίνονταν σε ήσυχο περιβάλλον με την προσοχή του ασθενή. Στη συνέχεια, η εξέταση και η εκτίμηση της προόδου των ασθενών γίνονταν εβδομαδιαίως. Τέλος, η εκτίμηση των αποτελεσμάτων γινόταν στους 18 μήνες, 3 έτη ή και 6 έτη και περιελάμβανε την εκτίμηση των αποτελεσμάτων εξέτασης ασθενών και των δύο ομάδων.

Εκτιμήθηκαν:

- 52 ασθενείς που ολοκλήρωσαν 18μηνη παρακολούθηση και εκτίμηση
- 40 ασθενείς που ολοκλήρωσαν 3ετή παρακολούθηση και εκτίμηση
- 18 ασθενείς που ολοκλήρωσαν 6ετή παρακολούθηση και εκτίμηση

Ο έλεγχος ικανότητας αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι γινόταν με τη χρήση του τροποποιημένου Marsh's test, κατά το οποίο τα δάκτυλα που νευρώνονται απ' το μέσο νεύρο (αντίχειρας, δείκτης, μέσος, κερκιδικό χείλος παράμεσου) χωρίζονται σε τέσσερις (4) ζώνες το καθένα (συνολικά 14 ζώνες). Με μία ακίδα ο εξεταστής αγγίζει την παλαμιαία επιφάνεια των δακτύλων με τυχαίο τρόπο κι ενώ ο ασθενής έχει τα μάτια κλειστά. Ο ασθενής καλείται να αναγνωρίσει το άγγιγμα και να σημειώσει την αντίστοιχη περιοχή – ζώνη σε σχεδιάγραμμα του χεριού. Για κάθε σωστή αναγνώριση ζώνης δινόταν ένας πόντος και για κάθε ακριβή εντοπισμό του σημείου δινόταν άλλος ένας πόντος (Άριστα: 28 πόντοι).

Είναι προφανές ότι μετά τη διατομή του νεύρου και μέχρι την νευρική αναγέννηση που ακολουθεί τη συρραφή, η σωματοαισθητική περιοχή του εγκεφάλου που αντιστοιχεί στη περιοχή κατανομής του μέσου νεύρου, έχει αποδιοργανωθεί, με συνέπεια να μην μπορεί να γίνει πλήρης αντιστοίχιση των ερεθισμάτων στο χέρι. Με την επανεκπαίδευση, στοχεύεται η αναδιοργάνωση της αντιστοιχίας κεντρικής περιοχής μέσω συνεχούς ροής ερεθισμάτων από το χέρι. Έτσι οδηγείται η αναδιοργάνωση, μέσω της πλαστικότητας του εγκεφάλου, προς την κατεύθυνση εκ νέου αναγνώρισης του μέλους και των ερεθισμάτων που λαμβάνει.^{35,39,41,42,80} Το test εξυπηρετεί στην εκτίμηση της προόδου της επανεκπαίδευσης του ασθενή. Η βαθμονόμηση με βάση την απόδοση έγινε σε τέσσερις κατηγορίες: "Άριστα", "Καλή", "Μέτρια", "Πτωχή".

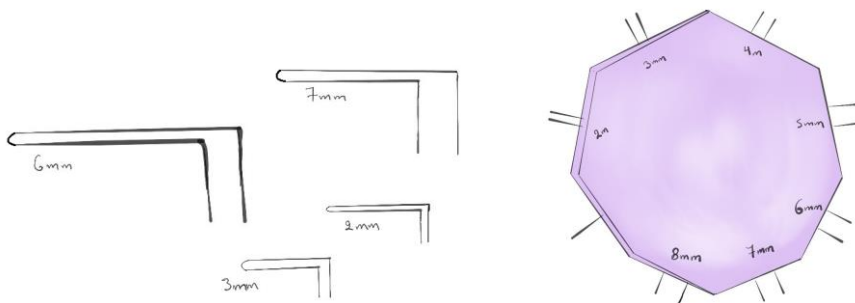


Σχέδιο 14.3.7. Έλεγχος ικανότητας αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι.

Κατηγορία	Αποτέλεσμα
Πτωχή	0-7
Μέτρια	8-14
Καλή	15-21
Άριστη	22-28

Πίνακας 14.3.1 Βαθμολόγηση ελέγχου ικανότητας και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι.

Για την εκτίμηση διακριτικής ικανότητας δύο σημείων χρησιμοποιήθηκε αυτοσχέδιος πολύγωνος δίσκος, ο οποίος είχε τοποθετημένα περιμετρικά ποικίλης απόστασης ζεύγη ακίδων, ή μεμονωμένα, λεπτά σύρματα, διπλωμένα, ώστε τα άκρα τους να σχηματίζουν ζεύγη ακίδων. Τα ζεύγη ακίδων είτε στο αυτοσχέδιο εργαλείο, είτε στη περίπτωση μεμονωμένων συρμάτων, είχαν άκρα που απείχαν μεταξύ τους 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 7mm, 8mm.

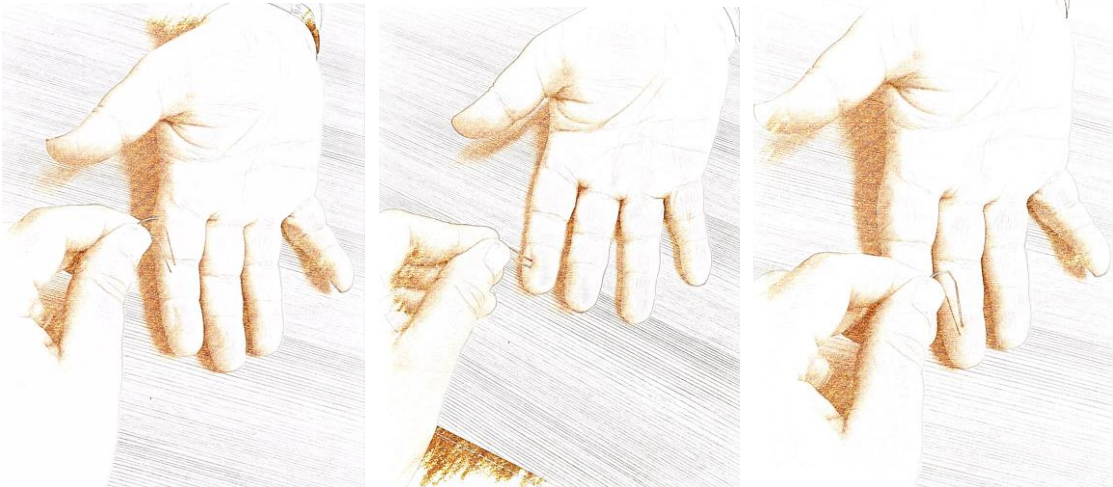


Σχέδιο 14.3.8. Αυτοσχέδια εργαλεία ελέγχου διακριτικής ικανότητας δύο σημείων.

Το δέρμα του ανθρώπου έχει διαφορετική ευαισθησία ανά περιοχή. Η διάκριση διαφορετικών ερεθισμάτων στο δέρμα, δεν έχει την ίδια ευαισθησία παντού με μεγάλες αποκλίσεις από περιοχή

δέρματος, σε περιοχή. Μεγαλύτερη ευαισθησία υπάρχει στο χέρι, τη γλώσσα ή τα χείλη, κάτι που γίνεται αντιληπτό αν δούμε το σωματοτοπικό χάρτη του φλοιού. Το ανθρώπινο χέρι φυσιολογικά δύναται να αναγνωρίσει ως δύο διακριτά σημεία εκείνα που απέχουν μεταξύ τους κατ' ελάχιστο 1mm, με μεγαλύτερη ευαισθησία στις άκρες εκείνων των δακτύλων που νευρώνονται από το μέσο νεύρο. Ερεθισμός του δέρματος των δακτύλων με ακίδες που απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από 1mm δεν αναγνωρίζονται ως δύο σημεία.

Κατά το test διακριτικής ικανότητας δύο σημείων, ο εξεταστής αρχικά τοποθετεί στατικά το εργαλείο κατά μήκος του αναγεννημένου νεύρου, στην παλαμιαία επιφάνεια του κάθε δακτύλου, κάθετα στο δέρμα και σε διαφορετικά σημεία. Έπειτα το εφαρμόζει κινούμενο κατά τον επιμήκη άξονα του δακτύλου από κεντρικά προς περιφερικά. Χρησιμοποιούνται όλο και μικρότερη απόσταση ακίδων για κάθε εξεταζόμενη περιοχή του κάθε δακτύλου έως ότου γίνει σαφώς διακριτή η μικρότερη απόσταση των ακίδων που μπορεί να αναγνωρίσει ο ασθενής ως δύο και όχι μία. Δηλαδή ο εξεταστής σημειώνει τη μικρότερη διακριτή απόσταση δύο σημείων που γινόταν αντιληπτή από τον ασθενή για κάθε ελεγχόμενη περιοχή. Σαν σκορ σημειωνόταν ο μέσος όρος των απαντήσεων στα δάκτυλα ελέγχου (3½ κερκιδικά δάκτυλα) με βαθμονόμηση απόδοσης: "Άριστα", "Καλή", "Μέτρια", "Πτωχή".



Σχήμα 14.3.9. Έλεγχος διακριτικής ικανότητας δύο σημείων.

Κατηγορία	Απόσταση (mm)
Πτωχή	> 8
Μέτρια	6 – 8
Καλή	4 – 6
Άριστη	< 4

Πίνακας 14.3.2. Βαθμολόγηση ελέγχου κινητικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων.

Κατηγορία	Απόσταση (mm)
Πτωχή	> 16
Μέτρια	12 – 15
Καλή	7 – 11
Άριστη	2 – 6

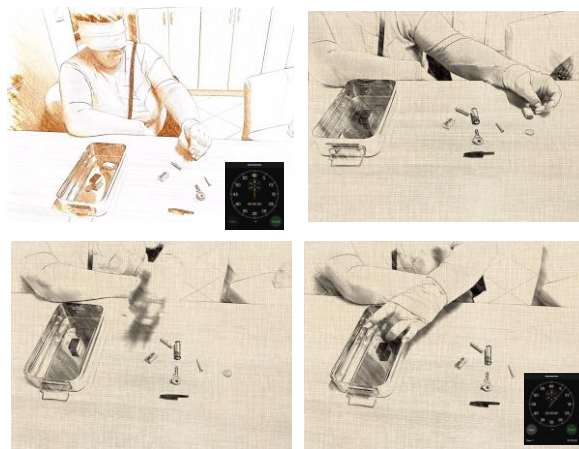
Πίνακας 14.3.3. Βαθμολόγηση ελέγχου στατικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων.

Με δεδομένο ότι το χέρι που δεν έχει αίσθηση "δεν βλέπει", αναμένεται δυσχέρεια στην χρήση του, ιδίως κατά τη σύλληψη αντικειμένων. Ένα χέρι δηλαδή χωρίς πλήρη αισθητικότητα, για να είναι κατά το δυνατό λειτουργικό, θα πρέπει ο ασθενής να βλέπει τι κάνει. Το πόσο σημαντικό στοιχείο αποτελεί η αισθητικότητα στο χέρι, φαίνεται από το πόσο μειώνεται η αποδοτικότητα χρήσης του, όταν δεν υπάρχει οπτικοκινητική συμμετοχή. Όταν δηλαδή ο ασθενής προσπαθεί να λειτουργήσει το χέρι χωρίς να βλέπει τί κάνει. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της επανεκπαίδευσης στο επίπεδο αυτό, γινόταν με το Moberg's Pick-up test.

Το Moberg's Pick-up test εκτελούνταν με τον ασθενή καθισμένο σε γραφείο σε ήσυχο χώρο. Στο γραφείο τοποθετούνταν δώδεκα διαφορετικά αντικείμενα ως προς το μέγεθος, το σχήμα, την υφή και το υλικό κατασκευής. Ο ασθενής καλείτο, αρχικά με τα μάτια ανοικτά να τοποθετήσει ένα-ένα τα αντικείμενα σε δοχείο παραπλεύρως. Εν συνέχεια γινόταν επανάληψη της άσκησης με τα μάτια κλειστά. Σαν απόδοση, σημειωνόταν ο μέσος όρος του χρόνου που απαιτείτο για την ολοκλήρωση της τοποθέτησης όλων των αντικειμένων εντός του καλαθιού και στις δύο περιπτώσεις. Η βαθμονόμηση έγινε με βάση την απόδοση ομοίως σε τέσσερις κατηγορίες: "Άριστα", "Καλή", "Μέτρια", "Πτωχή".

Κατηγορία	Χρόνος (sec)
Πτωχή	> 30sec
Μέτρια	20-30sec
Καλή	10-20sec
Άριστη	< 10sec

Πίνακας 14.3.4. Βαθμολόγηση ελέγχου Moberg's Pick-up test.



Σχήμα 14.3.10. Moberg's Pick-up test.

Οι εκτιμήσεις γίνονται κάθε φορά από τον ίδιο εξεταστή χρησιμοποιώντας τις ανωτέρω τεχνικές. Η στατιστική ανάλυση έγινε με χρήση της απλής analysis of variance (ANOVA).

Το χ^2 test χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθούν το σύνολο των αποτελεσμάτων που κρίθηκαν άριστα-καλά, έναντι των μετρίων – πτωχών της διακριτικής ικανότητας δύο σημείων και του Moberg's Pick-up test για τη σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων A-B.

14.4 Αποτελέσματα

Εφαρμόζοντας τη στατιστική μέθοδο ανάλυσης διασποράς ANOVA (ANalysis Of VAriance) στα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

Σε ότι αφορά τη στατική διακριτική ικανότητα δύο σημείων (s2PD) στους ασθενείς που ελέγχθηκαν στους 18μήνες, στην Ζετία και σε 18 ασθενείς που ελέγχθηκαν στην βετία **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των δύο ομάδων. ($P=0,195$, $P=0,239$, $P=0,536$ αντίστοιχα - ANOVA).

Εφαρμόζοντας τον στατιστικό έλεγχο χ^2 (χ^2 test), σε κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα (Πτωχά, Μέτρια, Καλά, Άριστα) των διαγνωστικών ελέγχων στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

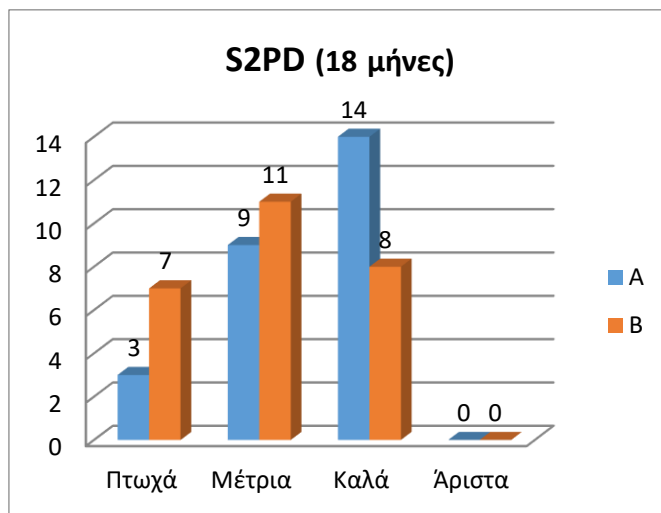
Σε ότι αφορά τη στατική διακριτική ικανότητα δύο σημείων στους ασθενείς που ελέγχθηκαν στους 18μήνες, στην Ζετία και στην βετία **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των δύο ομάδων. ($P=0,179$, $P=0,275$, $P=0,572$ αντίστοιχα - χ^2).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, έχοντας συμπύξει τις 4 κατηγορίες ανά δύο, (Καλά-Άριστα, Πτωχά-Μέτρια) και με χρήση του χ^2 test, διαπιστώνεται ότι **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** σε ότι αφορά τη στατική διακριτική ικανότητα δυο σημείων μεταξύ των ομάδων A και B ($P=0,092$ – 18M , $P=0,113$ – 36M - χ^2 test). Για τον έλεγχο στους 72 μήνες, τα αποτελέσματα του διαγνωστικού ελέγχου ήταν όμοια και δεν χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί στατιστικός έλεγχος.

Μολονότι στους παραπάνω στατιστικούς ελέγχους δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ομάδων, εντούτοις στα ραβδογράμματα 14.4.1, 14.4.2, 14.4.3 και

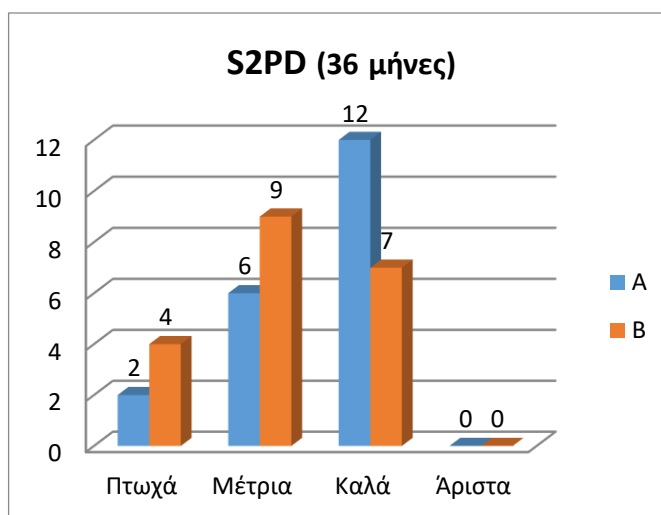
ειδικά στα δύο πρώτα χρονικά στάδια ελέγχου, φαίνεται πως η ομάδα των ασθενών που επανεκπαιδεύτηκαν (ομάδα Α) έχει καλύτερα ποσοστά θετικών αποτελεσμάτων έναντι αυτών της ομάδας Β. Ωστόσο, με αυτά τα ποσοστά, η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ομάδων, δεν είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό προκύπτει και από την μέθοδο ANOVA που εφαρμόζεται στις ακριβείς μετρήσεις των διαγνωστικών test και από τον έλεγχο χ^2 ο οποίος εφαρμόζεται στις κατηγοριοποιημένες μετρήσεις (Πτωχά, Μέτρια κ.τ.λ.). Επίσης, κρίνοντας και από τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων στα τρία χρονικά στάδια ελέγχου, η όποια διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ομάδων, αμβλύνεται με το χρόνο.

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	3	7
ΜΕΤΡΙΑ	9	11
ΚΑΛΑ	14	8
ΑΡΙΣΤΑ	0	0



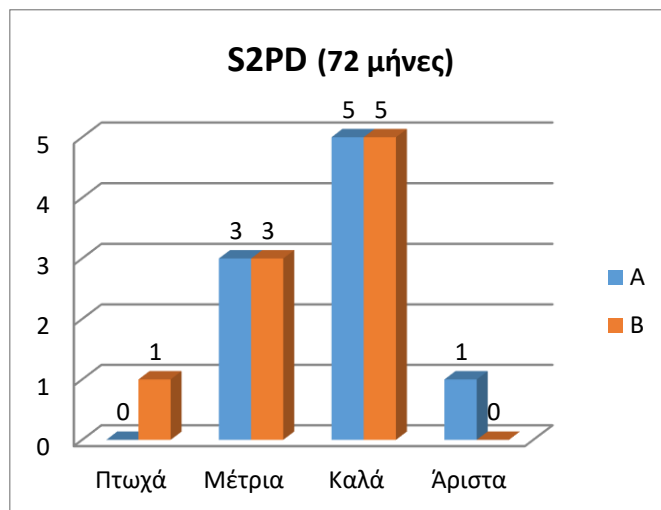
Πίνακας 14.4.1. s2PD 18M

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	2	4
ΜΕΤΡΙΑ	6	9
ΚΑΛΑ	12	7
ΑΡΙΣΤΑ	0	0



Πίνακας 14.4.2. s2PD 36M

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	1
ΜΕΤΡΙΑ	3	3
ΚΑΛΑ	5	5
ΑΡΙΣΤΑ	1	0



Πίνακας 14.4.3. s2PD 72M

Εφαρμόζοντας τη στατιστική μέθοδο ανάλυσης διασποράς ANOVA στα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων κινούμενης διακριτικής ικανότητας δύο σημείων (m2PD) στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

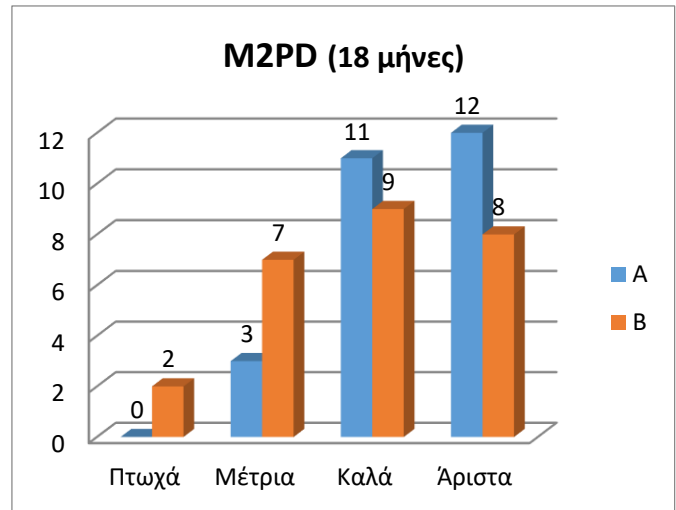
Σε ότι αφορά στους ασθενείς που ελέγχθηκαν στους 18 μήνες, στην 3ετία και 6ετία **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των ομάδων Α και Β ($P=0,196$, $P=0,170$, $P=0,724$ αντίστοιχα - ANOVA).

Εφαρμόζοντας τον στατιστικό έλεγχο χ^2 (χ^2 test), σε κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα (Πτωχά, Μέτρια, Καλά, Άριστα) των διαγνωστικών ελέγχων στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

Σε ότι αφορά τη κινούμενη διακριτική ικανότητα δύο σημείων στους ασθενείς που ελέγχθηκαν στους 18μήνες, στην 3ετία και στην 6ετία **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των δύο ομάδων ($P=0,204$, $P=0,240$, $P=0,865$ αντίστοιχα - χ^2).

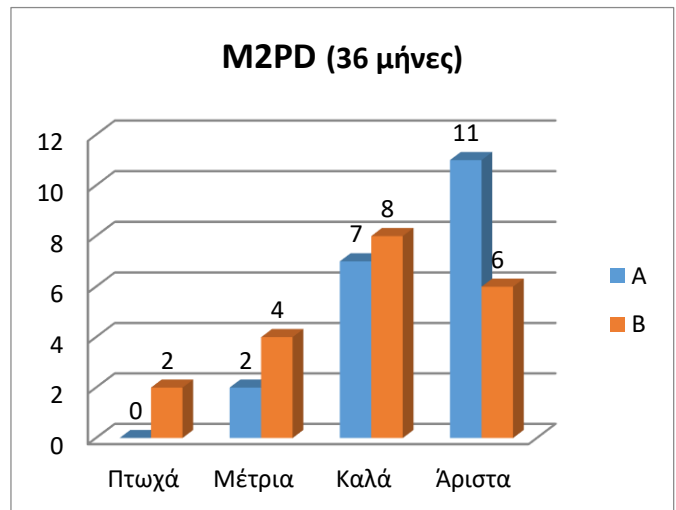
Στα διαγράμματα 14.4.4, 14.4.5, 14.4.6 όπου φαίνονται οι μετρήσεις στις 4 κατηγορίες, διακρίνεται κι εδώ ότι η ομάδα των ασθενών που επανεκπαιδεύτηκαν (ομάδα Α) έχει καλύτερα ποσοστά θετικών αποτελεσμάτων έναντι αυτών της ομάδας Β. Ωστόσο, και με αυτά τα ποσοστά, η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ομάδων, δεν είναι στατιστικά σημαντική, όπως είδαμε και παραπάνω.

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	2
ΜΕΤΡΙΑ	3	7
ΚΑΛΑ	11	9
ΑΡΙΣΤΑ	12	8



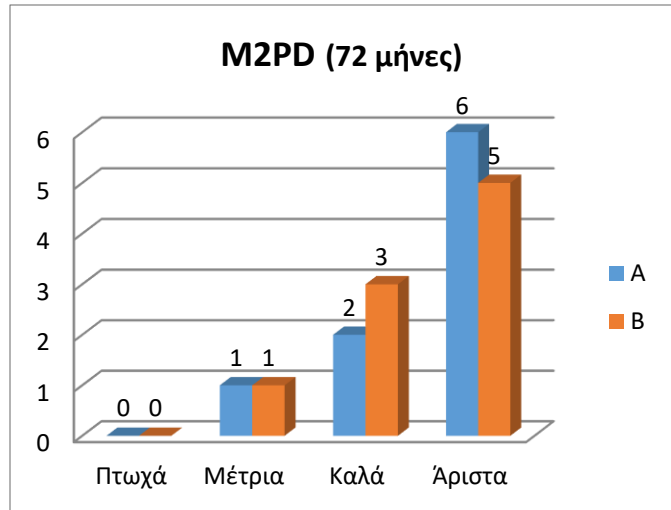
Πίνακας 14.4.4. m2PD 18M

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	2
ΜΕΤΡΙΑ	2	4
ΚΑΛΑ	7	8
ΑΡΙΣΤΑ	11	6



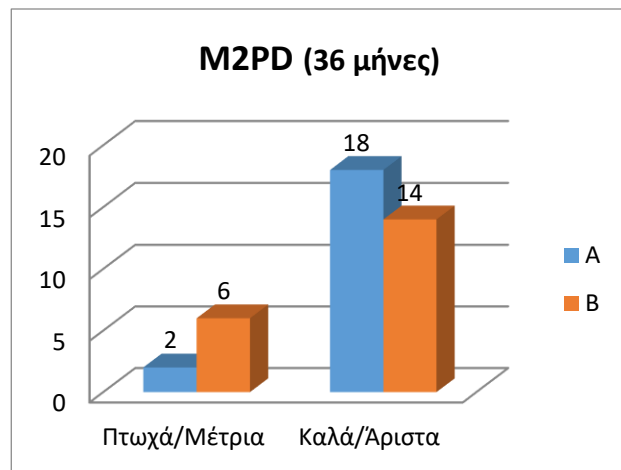
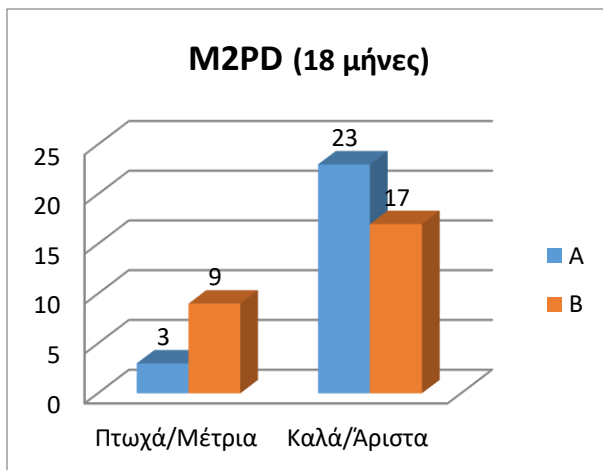
Πίνακας 14.4.5. m2PD 36M

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	0
ΜΕΤΡΙΑ	1	1
ΚΑΛΑ	2	3
ΑΡΙΣΤΑ	6	5



Πίνακας 14.4.6. m2PD 72M

Εφαρμόζοντας τον στατιστικό έλεγχο χ^2 (χ^2 test), σε νέα κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων (Πτωχά-Μέτρια, Καλά-Άριστα) των διαγνωστικών ελέγχων στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκε στους 18 μήνες ελέγχου **στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** για την ομάδα Α και **στατιστική τάση** υπέρ των ασθενών της ομάδας Α για το διάστημα ελέγχου 36 μηνών ($P=0,048$ - 18M, $P=0,114$ -36M - χ^2 test). Τα ραβδογράμματα του παρακάτω πίνακα δείχνουν αυτήν την διαφοροποίηση στην κατηγοριοποίηση αυτή. Για τον έλεγχο στους 72 μήνες, τα αποτελέσματα του διαγνωστικού ελέγχου ήταν όμοια και δεν χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί στατιστικός έλεγχος.



Διάγραμμα 14.4.7. Κινούμενη διακριτική ικανότητα δύο σημείων, για 18 και 36M

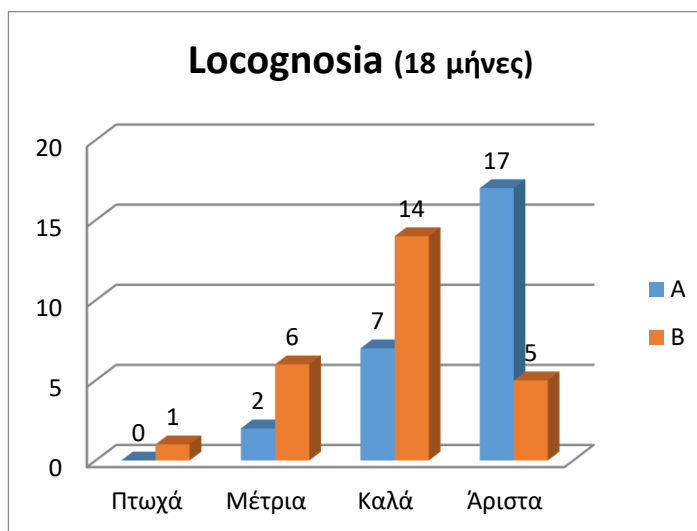
Εφαρμόζοντας τη στατιστική μέθοδο ανάλυσης διασποράς ANOVA στα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων ικανότητας αναγνώρισης κι εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι (Locognosia) στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

Σε ότι αφορά την ικανότητα αναγνώρισης κι εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι (Locognosia), η στατιστική ανάλυση έδειξε **στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** στους ασθενείς που δέχθηκαν αισθητική επανεκπαίδευση της ομάδας A συγκριτικά με τους ασθενείς της ομάδας B στον έλεγχο των 18 μηνών (P=0,005 - ANOVA). Επίσης, **στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** παρατηρήθηκε και στην Ζετία (P=0,034 - ANOVA), ενώ στην εξαετία **δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** (P=0,269 - ANOVA). Από τα ανωτέρω φαίνεται ότι υπάρχει αποτελεσματικότητα σε συντομότερο χρόνο, σε ό,τι αφορά την ικανότητα αναγνώρισης κι εντοπισμού ερεθισμάτων στο χέρι, στους ασθενείς που μπήκαν σε πρόγραμμα επανεκπαίδευσης με παρουσία βελτιωμένης αισθητικότητας.

Εφαρμόζοντας τον στατιστικό έλεγχο χ^2 (χ^2 test), σε κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα (Πτωχά, Μέτρια, Καλά, Άριστα) των διαγνωστικών ελέγχων στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

Σε ότι αφορά την ικανότητα αναγνώρισης κι εντόπισης ερεθισμάτων στους ασθενείς που ελέγχθηκαν στους 18μήνες και στην Ζετία **υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των δύο ομάδων (P=0,008, P=0,017 αντίστοιχα – χ^2). Σε ότι αφορά την βετία **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των δύο ομάδων (P=0,257 – χ^2). Από τα ραβδογράμματα 14.4.8, 14.4.9, 14.4.10 φαίνεται το μεγάλο ποσοστό άριστων αποτελεσμάτων της ομάδας A, συγκριτικά με εκείνο της ομάδας B, το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις παραπάνω μελέτες.

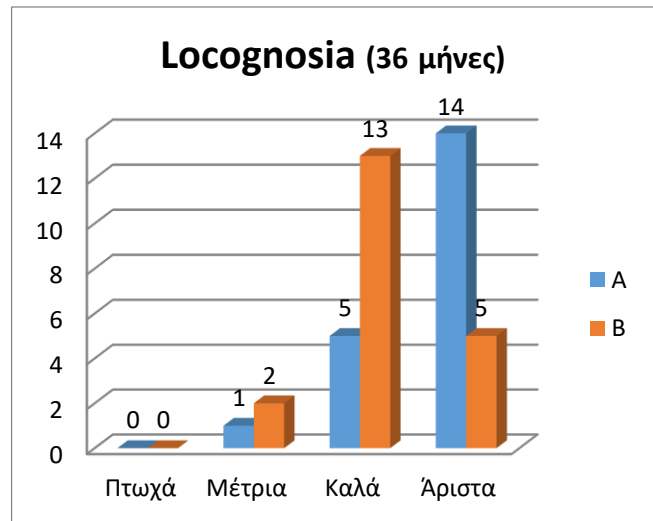
Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	1
ΜΕΤΡΙΑ	2	6
ΚΑΛΑ	7	14
ΑΡΙΣΤΑ	17	5



Πίνακας 14.4.8. Locognosia 18M

Βαθμολόγηση ΟΜΑΔΑ Α ΟΜΑΔΑ Β

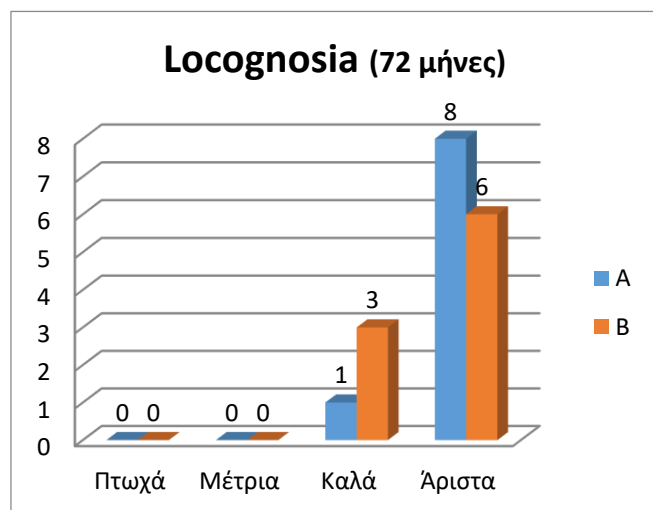
Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	0
ΜΕΤΡΙΑ	1	2
ΚΑΛΑ	5	13
ΑΡΙΣΤΑ	14	5



Πίνακας 14.4.9. Locognosia 36M

Βαθμολόγηση ΟΜΑΔΑ Α ΟΜΑΔΑ Β

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	0
ΜΕΤΡΙΑ	0	0
ΚΑΛΑ	1	3
ΑΡΙΣΤΑ	8	6



Πίνακας 14.4.10. Locognosia 72M

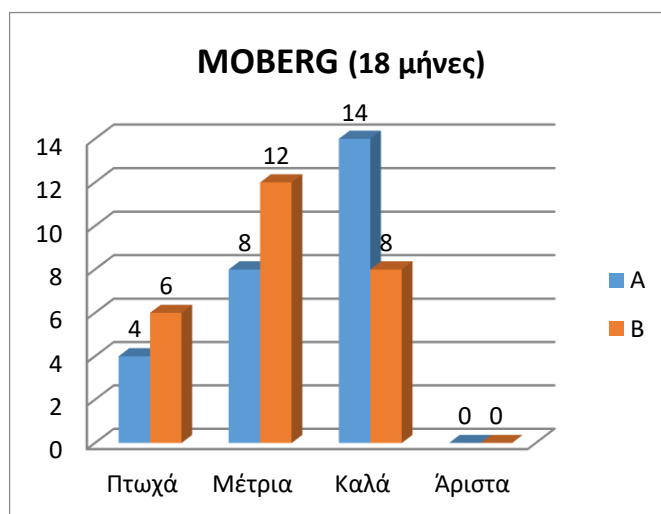
Εφαρμόζοντας τη στατιστική μέθοδο ανάλυσης διασποράς ANOVA στα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων Moberg's Pick-up test στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκε ότι η ανάλυση **δεν έδειξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** για τους ασθενείς της ομάδας Α στο διάστημα ελέγχου 18 μηνών ($P=0,197$ - ANOVA), ούτε για τα διαστήματα ελέγχου της ζετίας και βετίας ($P=0,147$, $P=0,712$ αντίστοιχα - ANOVA). Τα αποτελέσματα αυτά εξηγούνται απ' το γεγονός ότι καθώς ο ασθενής χρησιμοποιεί όλο και περισσότερο το χέρι στην καθημερινότητά του, ο εγκέφαλος εξοικειώνεται, έτσι και αλλιώς, με τη χρήση των αντικειμένων συν τω χρόνο, με αποτέλεσμα την απόκτηση αισθητικής λειτουργικότητας.

Εφαρμόζοντας τον στατιστικό έλεγχο χ^2 (χ^2 test), σε κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα (Πτωχά, Μέτρια, Καλά, Άριστα) των διαγνωστικών ελέγχων στις δύο ομάδες των ασθενών, παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα:

Στους ασθενείς που ελέγχθηκαν στους 18μήνες, στην 3ετία και στην 6ετία **δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** μεταξύ των δύο ομάδων ($P=0,242$, $P=0,169$, $P=0,865$ αντίστοιχα $-\chi^2$). Από τα ραβδογράμματα 14.4.11, 14.4.12, 14.4.13 φαίνονται μεγαλύτερα ποσοστά καλών-άριστων αποτελεσμάτων της ομάδας A, συγκριτικά με εκείνα της ομάδας B, το οποίο όμως είναι ανεπαρκές για να καταδείξει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση.

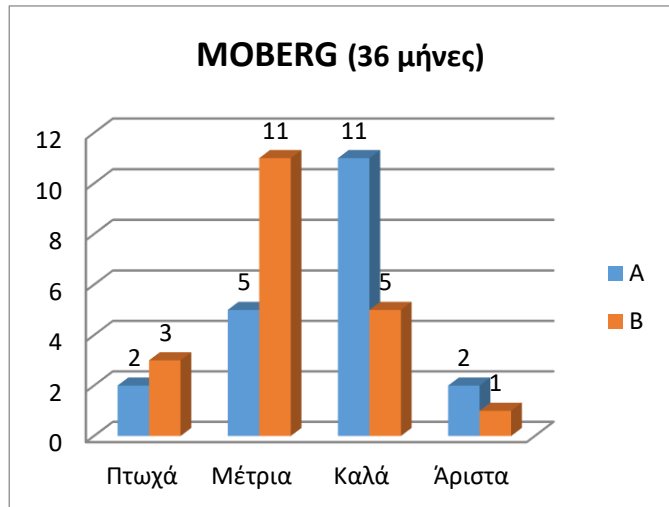
Βαθμολόγηση ΟΜΑΔΑ Α ΟΜΑΔΑ Β

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	4	6
ΜΕΤΡΙΑ	8	12
ΚΑΛΑ	14	8
ΑΡΙΣΤΑ	0	0



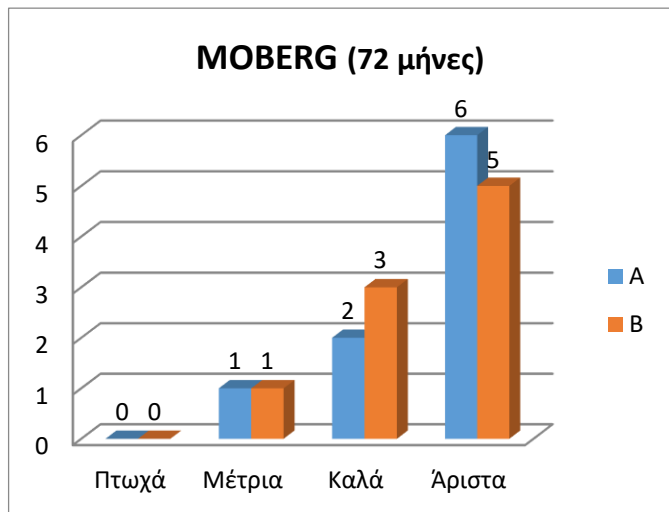
Πίνακας 14.4.11. Moberg's Pick-up test 18M

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	2	3
ΜΕΤΡΙΑ	5	11
ΚΑΛΑ	11	5
ΑΡΙΣΤΑ	2	1



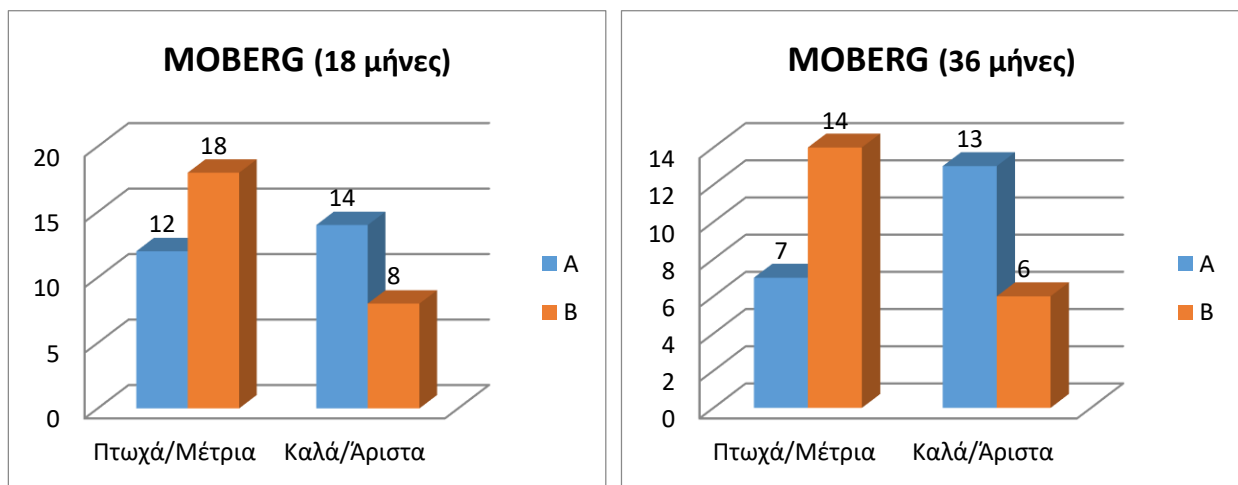
Πίνακας 14.4.12. Moberg's Pick-up test 36M

Βαθμολόγηση	ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
ΠΤΩΧΑ	0	0
ΜΕΤΡΙΑ	1	1
ΚΑΛΑ	2	3
ΑΡΙΣΤΑ	6	5



Πίνακας 14.4.13. Moberg's Pick-up test 72M

Ομοίως, συγκρίνοντας τα κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα (Πτωχά-Μέτρια, Καλά-Άριστα) με χρήση του χ^2 test, βρέθηκε για το Moberg's Pick-up test **στατιστική τάση** υπέρ των ασθενών της ομάδας Α για το διάστημα ελέγχου 18 μηνών, ενώ βρέθηκε **στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση** για τους 36 μήνες, κάτι που ενδεχομένως εξηγείται από το συγκριτικά μικρότερο δείγμα ελέγχου ($P=0,092$ - 18M, $P=0,027$ - 36M - χ^2 test). Τα καλύτερα αποτελέσματα που παρατηρούνται στον 3έτη έλεγχο ενδεχομένως οφείλονται στο γεγονός ότι η εκπαίδευση σε συνδυασμό με την καθημερινή χρήση του χεριού από τον ασθενή τροφοδοτούν τον εγκέφαλο με περισσότερα ερεθίσματα.



Διάγραμμα 14.4.14. Moberg's Pick-up test, για 18 και 36Μ

14.5 Συμπεράσματα

Η πρώτη αναφορά σε πρόγραμμα επανεκπαίδευσης ασθενών, μετά από χειρουργική αποκατάσταση νευρικής βλάβης, έγινε το 1966 από τον Wynn Parry (ρευματολόγος που υπηρέτησε στη RAF, με ειδικευση στην αποκατάσταση βλαβών του άνω άκρου) ο οποίος εισήγαγε τον όρο "αισθητική επανεκπαίδευση".⁵¹

Ο Dellon et al (Αμερικανός πλαστικός χειρουργός, πρωτοπόρος στις βλάβες περιφερικών νεύρων), έθεσε τη λογική της επανεκπαίδευσης και περιέγραψε ένα ικανό αριθμό απλών test για την ταυτόχρονη εκπαίδευση και εκτίμηση της πορείας αυτής σε ασθενείς με νευρολογική βλάβη και χειρουργική αποκατάσταση.^{23,43}

Η καθημερινή δραστηριότητα, οι συνήθειες, οι τυχόν επιπλέον ενασχολήσεις των ασθενών όπως η μουσική, ή η καλλιτεχνία και η επαγγελματική δραστηριότητα των ασθενών ποικίλει, κάτι που παίζει ρόλο στο ρυθμό επανεκπαίδευσης, καθώς η ανάγκη έντονης χρήσης του χεριού εξυπηρετεί την επανεκπαίδευση.³⁸ Ωστόσο, στη παρούσα μελέτη, λόγω του τυχαίου διαχωρισμού των ασθενών στις ομάδες A και B, κάτι τέτοιο δεν συνέβει προς όφελος κάποιας ομάδας. Επιπροσθέτως, με δεδομένο ότι η ηλικία παίζει ρόλο στη πλαστικότητα του εγκεφάλου, δόθηκε προσοχή έτσι ώστε οι δύο ομάδες να είχαν σχεδόν τον ίδιο μέσο όρο ηλικίας. Επίσης, προκειμένου να αποφευχθούν αλλοιώσεις στην εκτέλεση των προγραμμάτων από δερματικές δυσμορφίες ή αλλοιώσεις στο χέρι, οι ασθενείς ελέχθησαν και δεν παρατηρήθηκαν τέτοιου είδους αλλοιώσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τα test. Τέλος, όλοι οι ασθενείς εκτελούσαν τις ασκήσεις, χωρίς επιρροές από το περιβάλλον και με τα ίδια εργαλεία.

Πολλά test έχουν περιγραφεί για την εκτίμηση της αισθητικής λειτουργικότητας στο χέρι, καθένα από τα οποία προσφέρει τη δυνατότητα εκτίμησης ξεχωριστά για κάθε αισθητική κατηγορία. Στόχος είναι η εκτίμηση της αισθητικότητας του χεριού σε ένα πλαίσιο αποκατάστασης μέσω νευροφυσιολογικών test, τα οποία έχει αποδειχθεί ότι σχετίζονται με τη λειτουργικότητα του χεριού.

49,66-70

Στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν η διακριτική ικανότητα δυο σημείων,^{63,64,67,72} η ικανότητα αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι^{65,67} και το Moberg's Pick-up test^{62,66} για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της αισθητικής επανεκπαίδευσης μετά την νευρική αποκατάσταση του μέσου νεύρου.

Ο στόχος της πρώιμης φάσης επανεκπαίδευσης είναι η καθοδήγηση της αισθητικής αποκατάστασης και η επανεκπαίδευση ξεχωριστά κάθε τύπου αισθητικότητας καθώς και στο να δωθεί η δυνατότητα στον ασθενή να χρησιμοποιεί το χέρι ικανοποιητικότερα στη καθ' ημέρα πράξη.

Κατά την όψιμη φάση επανεκπαίδευσης οι ασκήσεις στοχεύουν στην αποκατάσταση της στερεογνωσίας και την ικανότητα τοπογραφικής αναγνώρισης ερεθισμάτων, αναγκαία για τη λειτουργικότητα του χεριού.^{43,62}

Η ικανότητα αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι στηρίζεται στην ακεραιότητα των περιφερικών νεύρων και υποδοχέων, την αποκατάσταση της αισθητικής οδού καθώς επίσης και στον ακέραιο σωματοαισθητικό αντικατροπτισμό του χεριού στον εγκέφαλο.^{35,52,68,80} Στόχος είναι, μετά την αποκατάσταση της αισθητικής οδού, ο ανασχεδιασμός της αισθητικής περιοχής του φλοιού. Απ' ό,τι φάνηκε στην ανάλυση των δεδομένων, η ικανότητα αναγνώρισης και εντόπισης ερεθισμάτων στο χέρι, ήταν η μόνη παράμετρος που είχε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση, με όλες τις μετρήσεις, υπέρ της ομάδας των ασθενών που επανεκπαιδεύτηκαν, από τα πρώιμα στάδια εκτίμησης των ασθενών. Η εκτίμηση των ασθενών στα διαστήματα 36 μηνών έδειξε επίσης στατιστική υπεροχή για την ομάδα ασθενών που επανεκπαιδεύτηκαν, ακόμα κι αν η απόκλιση ήταν μικρότερη με το πέρασμα του χρόνου. Το δείγμα ασθενών ελέγχου στην εξαετία δεν θεωρείται επαρκές για ασφαλή συμπεράσματα, ωστόσο, φάνηκε η τάση βελτίωσης και των ασθενών που δεν δέχτηκαν επανεκπαίδευση σε ικανοποιητικότερα επίπεδα.

Το Moberg's Pick-up test απαιτεί πρώιμα αυξημένη επίδοση της συλληπτικής ικανότητας του χεριού κι όχι αναγνώριση των αντικειμένων ψηλαφητικά. Ωστόσο, είναι προφανές πως αν το χέρι "βλέπει", τότε η λειτουργικότητα του χεριού είναι ικανοποιητικότερη, ακόμα κι αν ο ασθενής έχει τα μάτια κλειστά. Στην στατιστική ανάλυση δεν φάνηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση με τη μέθοδο ANOVA. Φάνηκε στατιστική τάση με τη μέθοδο χ^2 υπέρ της ομάδας ασθενών που επανεκπαιδεύτηκαν, κατά τα πρώιμα στάδια ελέγχου και στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στον έλεγχο Ζετίας. Αυτό πιθανώς εξηγείται από το γεγονός ότι η σύμπτυξη των 4 ομάδων σε 2 οδήγησε στον έλεγχο ουσιαστικά ομαδοποιημένων «θετικών» και «αρνητικών» αποτελεσμάτων. Άλλωστε, ανάλογα αποτελέσματα δεν προέκυψαν κατά την ανάλυση των υπόλοιπων μεθόδων ελέγχου.

Σε ότι αφορά τη στατική και κινητική διακριτική ικανότητα δυο σημείων, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων Α και Β με χρήση της στατιστικής ανάλυσης ANOVA. Με δεδομένη όμως τη σημαντική επίδοση των ασθενών που εκπαιδεύθηκαν στην αναγνώριση ερεθισμάτων στο χέρι και τη στερεογνωσία, αλλά και το γεγονός ότι όλοι οι ασθενείς της ομάδας Α ήταν πλήρως ικανοποιημένοι από τη λειτουργικότητα του χεριού, φαίνεται πως το επίπεδο επανάκτησης της διακριτικής ικανότητας δυο σημείων δεν προσφέρει στον ασθενή επιπρόσθετη βοήθεια στους ανωτέρω παράγοντες. Δηλαδή, μειωμένη απόδοση στη διάκριση δύο σημείων δεν σημαίνει απαραίτητα πτωχό λειτουργικό αποτέλεσμα.^{9,74,75} Επιπρόσθετα, άριστα αποτελέσματα βεβαιώθηκαν μόνο στη κινητική διακριτική ικανότητα δύο σημείων στους ασθενείς που εκτιμήθηκαν στους 18 μήνες, κάτι που δείχνει ότι θα πρέπει να προτιμάται από τους μελετητές συγκριτικά με τη στατική διακριτική ικανότητα δύο σημείων.

Το γεγονός ότι η στατιστική ανάλυση για τη κινητική διακριτική ικανότητα δύο σημείων (χ^2 test) για το διάστημα μελέτης 18 μηνών, έδειξε στατιστικά τάση υπέρ των επανεκπαιδευμένων ασθενών, σημαίνει ότι αξιόπιστα αποτελέσματα μπορεί να αναδειχθούν, ενδεχομένως, σε μελέτες με μεγαλύτερο δείγμα ασθενών, ή επιπλέον παραμετροποιήσεις. Επιπλέον, το test κινούμενης διακριτικής ικανότητας δύο σημείων δίνει συντομότερα πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα της νευρικής αναγέννησης, σε σχέση με τη στατική διακριτική ικανότητα δυο σημείων, καθώς η αποκατάσταση επιτυγχάνεται νωρίτερα. Έτσι εξηγείται η στατιστική τάση που παρατηρήθηκε για το test κινούμενης διακριτικής ικανότητας δύο σημείων, συγκριτικά με εκείνο της στατικής.

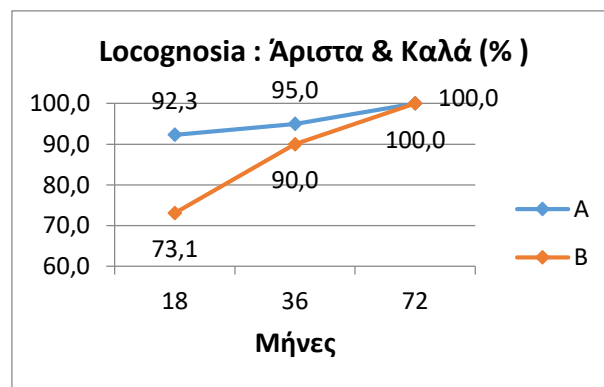
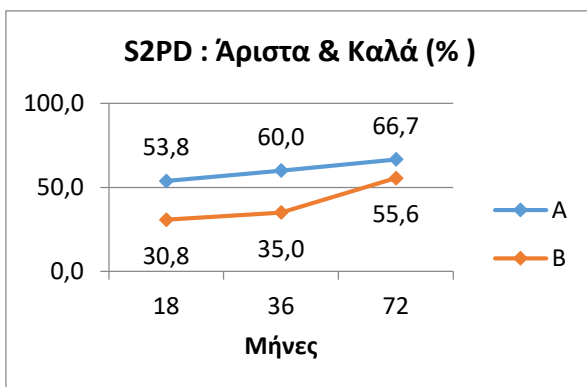
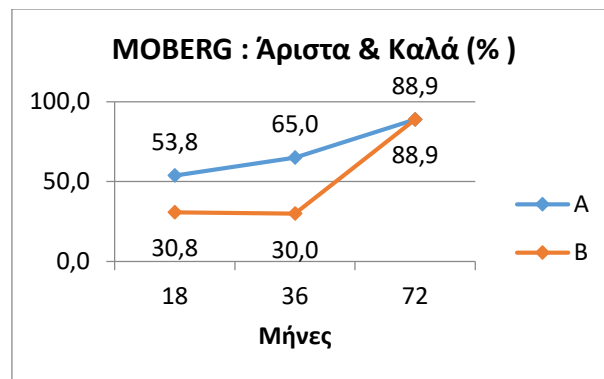
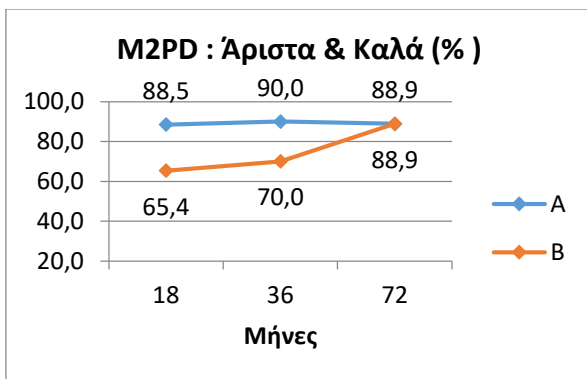
Το δείγμα ασθενών στην εκτίμηση της εξαιτίας δεν θεωρήθηκε ικανό για ασφαλή συμπεράσματα. Ωστόσο, διακρίνεται τάση σημαντικής βελτίωσης της αισθητικότητας των ασθενών γενικότερα, αφού δεν υπήρξε ικανός αριθμός ασθενών, με πτωχά αποτελέσματα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η αισθητική επανάκτηση συνεχίζεται για έτη, με μέγιστο χρόνο δυνατότητας επανάκτησης τα 5-6 έτη από τη νευρική αποκατάσταση. Μετά την περίοδο αυτή δεν φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική απόκλιση μεταξύ ασθενών που δέχθηκαν πρόγραμμα επανεκπαίδευσης και εκείνων που δεν δέχθηκαν.^{73,76,77} Αυτό οφείλεται λόγω των συνεχώς αναγεννημένων νευρικών απολήξεων, της ανάπτυξης δεκτικών πεδίων και λόγω της πλαστικότητας του εγκεφάλου που ανταποκρίνεται στην επανεκπαίδευση και τη συνεχή ροή πληροφοριών από την αναγκαιότητα χρήσης του χεριού στη συνήθη πράξη.^{9,51,78-80}

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η αισθητική επανεκπαίδευση του χεριού μετά από διατομή του μέσου νεύρου και αποκατάστασή του, προσφέρει θετικά στην αποκατάσταση της λειτουργικότητας.

Η παρούσα εργασία δεν περιγράφει από μόνη της το οικοδόμημα της αισθητικής λειτουργικής αποκατάστασης βλαβών του μέσου νεύρου. Αποτελεί, όμως, έναν επιπλέον λίθο, στο εγχείρημα της κατανόησης εκείνων των παραμέτρων που μέσω της μεθόδου επανεκπαίδευσης, αποδεδειγμένα βελτιώνουν την λειτουργική αποκατάσταση του χεριού. Εξάλλου, η Βιβλιογραφία αναζητά επιπρόσθετες μελέτες πάνω στο θέμα.²

Το μέσο νεύρο θεωρείται το τρίτο μάτι του ανθρώπου και αποτελεί αναγκαίο παράγοντα στη λειτουργία του. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει πάντα μετά από βλάβη του μέσου νεύρου, αυτή να αποκαθίσταται και να ακολουθείται πρόγραμμα επανεκπαίδευσης, ώστε με μεθοδικό τρόπο, να αποδίδονται, κατά το δυνατό, τα μέγιστα αποτελέσματα αισθητικής επανάκτησης σε συντομότερο χρόνο.

Στα παρακάτω διαγράμματα διακρίνεται η σταδιακή βελτίωση των ασθενών και των δύο ομάδων, για όλα τα test στα οποία υποβλήθηκαν. Συγκεκριμένα, σε όλα τα test, η ομάδα Α επιτυγχάνει μεγαλύτερα ποσοστά άριστων και καλών αποτελεσμάτων. Ωστόσο, με το πέρασμα του χρόνου, η απόκλιση του ποσοστού των δυο ομάδων, τείνει να μειωθεί. Φαίνεται, επίσης, ότι η επανεκπαιδευόμενη ομάδα, εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα, σε συντομότερο χρόνο.



Διάγραμμα 14.4.15. Ποσοστιαίες μεταβολές άριστων και καλών αποτελεσμάτων, στο χρόνο.

15. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι δεδομένο ότι οι νευρολογικές βλάβες αποτελούν ιδιαίτερα σοβαρές καταστάσεις για τους ασθενείς, δυσεπίλυτα προβλήματα για τον θεράποντα ιατρό και καταλείπουν άλλοτε άλλου βαθμού δυσλειτουργία, ανεξάρτητα από την αντιμετώπιση. Η αποκατάσταση των νευρολογικών βλαβών έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα πολύπλευρα. Η πρόοδος της μικροχειρουργικής τεχνικής έχει προσφέρει τη δυνατότητα αλματώδους προόδου, στον τομέα της αποκατάστασης των βλαβών περιφερικών νεύρων, ενώ παράλληλα οι ποικίλες μελέτες σε διάφορους τομείς και επίπεδα του νευρικού συστήματος, έχουν αποκαλύψει πολλές άγνωστες πτυχές της δομής και της λειτουργίας του περιφερικού και κεντρικού νευρικού συστήματος, σε μικροσκοπικό, κυτταρικό ή μοριακό επίπεδο. Ωστόσο, οι νευρολογικές βλάβες και η αποκατάστασή τους, εξακολουθούν να αποτελούν πεδίο ερευνών και συζητήσεων στον επιστημονικό χώρο.

Σε ότι αφορά τις νευρολογικές βλάβες με απώλεια της αισθητικότητας, έχει γίνει αποδεκτό ότι αποτελούν σοβαρές βλάβες με έντονα δυσλειτουργικά προβλήματα για τον άρρωστο, ανεξάρτητα από την ακεραιότητα της κινητικής οδού. Ειδικότερα, βλάβες του μέσου νεύρου, προκαλούν μεγάλη απώλεια της λειτουργικότητας του χεριού, αφού το χέρι λειτουργεί σωστά μόνο όταν "βλέπει", δηλαδή όταν η αισθητικότητά του είναι ακέραη. Η νευρική αποκατάσταση επαναφέρει την αισθητικότητα αλλά η περιοχή του εγκεφάλου που επεξεργάζεται τις πληροφορίες έχει στο μεταξύ αποδιοργανωθεί, με αποτέλεσμα την μη πλήρη αναγνώριση και συσχέτιση των ερεθισμάτων που λαμβάνονται από την αισθητική οδό.

Για την αποκατάσταση της λειτουργικότητας του χεριού έχει προταθεί η ιδέα της επανεκπαίδευσης του εγκεφάλου με διάφορες τεχνικές, προκειμένου να αποκατασταθεί πλήρως η αισθητικότητα με μεθοδικό τρόπο.

Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην αξιολόγηση της αισθητικής επανεκπαίδευσης για την αποκατάσταση της αισθητικής λειτουργικότητας του χεριού, μετά από πλήρη, χαμηλή διατομή και μικροχειρουργική αποκατάσταση του μέσου νεύρου, μέσω συγκριτικών test μεταξύ ασθενών που ακολούθησαν πρόγραμμα επανεκπαίδευσης και ασθενών που δεν ακολούθησαν.

Μελετήθηκαν 52 ασθενείς με μ.ο. ηλικίας τα 36 έτη, με πλήρη διατομή του μέσου νεύρου στη περιοχή του καρπού, οι οποίοι αντιμετωπίστηκαν με άμεση επινευρική συρραφή. Παράλληλα, αντιμετωπίστηκαν και οι τυχόν συνοδές βλάβες. Μετά τη νευρική αποκατάσταση, το άκρο νάρθηκοποιούταν με γύψινο νάρθηκα, για διάστημα τεσσάρων εβδομάδων.

Μετά την αφαίρεση του νάρθηκα, οι ασθενείς ακολουθούσαν πρόγραμμα φυσικοθεραπείας για διάστημα ακόμα τεσσάρων εβδομάδων. Όλοι οι ασθενείς επανάκτησαν την κινητικότητα και τη μυική ισχύ του χεριού.

Ο έλεγχος της ανανεύρωσης γινόταν με το σημείο Tinel και ολοκληρωνόταν στους 3-4 μήνες από τη συρραφή. Μετά την ολοκλήρωση της ανανεύρωσης στα 3½ κερκιδικά δάκτυλα, οι ασθενείς χωρίζονταν τυχαία σε 2 ομάδες. Η ομάδα Α συμμετείχε σε πρόγραμμα αισθητικής επανεκπαίδευσης του χεριού, ενώ η ομάδα Β δεν συμμετείχε σε αντίστοιχο πρόγραμμα.

Για την αξιολόγηση που έγινε στους 18, στους 36 και στους 72 μήνες χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμασίες αναγνώρισης ερεθισμάτων στο χέρι (localization test), η στατική και τη κινητική διακριτική ικανότητα δύο σημείων (static και moving 2 point discrimination test), και το Moberg's Pick-up test.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ομάδων, σε ότι αφορά τον έλεγχο της στατικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων και του Moberg's Pick-up test, και στα τρία χρονικά στάδια ελέγχου, με χρήση της μεθόδου ANOVA.

Σε ότι αφορά τον έλεγχο της κινητικής διακριτικής ικανότητας δύο σημείων, η στατιστική ανάλυση έδειξε μόνο στατιστική τάση υπέρ της ομάδας ασθενών που επανεκπαιδεύτηκαν για το διάστημα ελέγχου των 18μηνών. Η εκτίμηση στους 36 και 72 μήνες δεν ανέδειξε σημαντική στατιστική απόκλιση, με χρήση της μεθόδου χ^2 -test. Επίσης, διαπιστώθηκε τάση για στατιστική διαφοροποίηση όσον αφορά τη δοκιμασία Moberg στην ομάδα A, με χρήση της ίδιας μεθόδου.

Ωστόσο, η δοκιμασία εντόπισης του ερεθίσματος έδειξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση για την ομάδα A και στα 3 χρονικά στάδια ελέγχου, είτε με χρήση της μεθόδου ANOVA, είτε με χρήση της μεθόδου χ^2 -test.

Συμπερασματικά, η αισθητική επανεκπαίδευση του χεριού προσφέρει τη δυνατότητα στον ασθενή να αναπτύξει σε συντομότερο χρόνο και σε μεγαλύτερο βαθμό την αισθητική του λειτουργικότητα, ιδίως σε ότι αφορά την αναγνώριση και εντόπιση ερεθισμάτων στο χέρι.

Η αναγκαιότητα καθημερινής χρήσης του χεριού λειτουργεί με το πέρασμα του χρόνου ευοδοτικά στην αναδιοργάνωση του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα, σταδιακά, να αποκαθίσταται η αισθητική λειτουργικότητα του χεριού σε ικανοποιητικό βαθμό. Αυτό, επιπλέον, εξαρτάται από τις συνήθειες του αρρώστου, την επαγγελματική του δραστηριότητα ή τις τυχόν επιπλέον ενασχολήσεις του. Η αναδιοργάνωση του εγκεφάλου διαρκεί μέχρι έξι χρόνια, από την αποκατάσταση της νευρολογικής βλάβης.

Για τους παραπάνω λόγους, η αισθητική επανεκπαίδευση του χεριού, μετά από χαμηλή διατομή και αποκατάσταση του μέσου νεύρου κρίνεται απαραίτητη, καθώς φαίνεται ότι αυξάνει στατιστικά σημαντικά την ικανότητα αναγνώρισης των ερεθισμάτων στο χέρι, σε συντομότερο χρόνο και παράλληλα αυξάνει τη λειτουργικότητα του χεριού.

16. ABSTRACT

It is well known that neurological injuries are really serious situations for the patients and particularly intractable problems for the therapists, as they result in dysfunction of various extent, regardless of the treatment. Restoration of the neurological injuries has been a subject of study in the scientific community. Progress in microsurgery technique has offered the opportunity of significant improvement in the restoration of the neurological injuries of the peripheral nerves, while at the same time various studies in different fields of the nervous system have shown many unknown aspects of the structure and function of the peripheral and central nervous system in the microscopic, cellular or molecular level.

However, the neurological injuries and their restoration are still a field of study and discussion among scientists.

Regarding neurological injuries with sensory loss, it is widely accepted that these kind of damage is serious, with many intense, dysfunctional problems for the patients despite the fact that the nerve has been restored. In particular, Median nerve injuries cause great loss of the functionality of the hand, since it is known that the hand functions properly only if it can "see". That is, when its sensory ability is intact.

The nerve treatment restores the sensory ability of the hand, but the part of the brain that processes information has been disorganized, resulting in the loss of recognition and correlation of the stimuli of the hand. For the restoration of the functional sensibility of the hand, the following idea has been proposed: re-educating the central brain using different techniques in order to fully restore the sensibility in a methodical way.

The purpose of this study is to evaluate the functional outcome of patients with microsurgical repair of low median nerve complete transection and to compare the sensory outcomes in patients with, or without sensory re-education. 52 patients were studied with average age 36 years, with low median nerve complete transection in the wrist or distal forearm and epineural repair. Other damages of the hand were restored primarily at the same time. Postoperatively, a splint was used for four weeks for immobilization. After this time, the patients followed physical therapy for a month to restore motion. The mobility and muscle strength of the hand was restored in all the patients. Tinel's sign was used as a prognostic sign to evaluate the progression of nerve regeneration that was integrated in 3-4 months after surgery. After regeneration, the patients were randomly divided into 2 groups. Group A patients were rehabilitated having taken part in a sensory re-education program, while group B patients had no further treatment.

Clinical evaluation took place at the time of 18Months, 36M, 72M after surgery and included the locognosia, (localization test) and the static and moving 2-point discrimination test, as well as Moberg's pick-up test.

The statistical analysis showed that there was no significant difference between the two groups regarding the static 2-point discrimination and the Moberg's pick-up test at all the three stages of evaluation (ANOVA).

Regarding the moving 2-point discrimination, the statistical analysis at 18M, showed statistical trend in group A, but there was no significant difference at the evaluation of 36M and 72M. (χ^2 -test)

Also, statistical trend in group A showed regarding the Moberg's Pick-up test. (χ^2 -test).

However, the statistical analysis showed significant difference regarding locognosia. (ANOVA and χ^2 -test).

In conclusion, sensory re-education of the hand offers people the ability to develop the functional sensibility to the greatest extent, in shorter time especially as far as locognosia is concerned.

Necessity of the daily use of the hand works for the benefit of the reorganization of the brain through time, resulting in the gradual restoration of the functional sensibility of the hand satisfactorily.

This depends among others, on the habits, the profession or other activities of the patients. The further continual reorganization of the brain can last up to 6 years after the neurological repair.

For all these reasons, sensory re-education after low Median nerve complete transection and repair is considered essential, as it seems to increase the ability of locognosia significantly.

17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wei FC, Ma HS, Chien YY, Dellon AL. Effect of neurotization upon degree of sensory recovery in toe-to-hand microvascular transplantation.
J Reconstr Microsurg. 2012 Jul;28(6):367-70. doi: 10.1055/s-0032-1313770.
2. Miller LK, Chester R, Jerosch-Herold C. Effects of sensory reeducation programs on functional hand sensibility after median and ulnar repair: a systematic review.
J Hand Ther. 2012 Jul-Sep;25(3):297-306; quiz 307. doi: 10.1016/j.jht.2012.04.001. Review.
3. Bütefisch CM, Plasticity in the human cerebral cortex: lessons from the normal brain and from stroke.
Neuroscientist. 2004 Apr;10(2):163-73.
4. Wang L, Conner JM, Nagahara AH, Tuszynski MH. Rehabilitation drives enhancement of neuronal structure in functionally relevant neuronal subsets.
Proc Natl Acad Sci U S A. 2016 Mar 8;113(10):2750-5. doi: 10.1073/pnas.1514682113. Epub 2016 Feb 22.
5. Lundborg G, Björkman A, Rosén B. Enhanced sensory relearning after nerve repair by using repeated forearm anaesthesia: aspects on time dynamics of treatment.
Acta Neurochir Suppl. 2007;100:121-6.
6. Meek MF, Coert JH, Wong KH. Recovery of touch after median nerve lesion and subsequent repair.
Microsurgery. 2003;23(1):2-5.
7. Luhmann HJ, Sinning A, Yang JW, Reyes-Puerta V, Stüttgen MC, Kirischuk S, Kilb W. Spontaneous Neuronal Activity in Developing Neocortical Networks: From Single Cells to Large-Scale Interactions.
Front Neural Circuits. 2016 May 24;10:40. doi: 10.3389/fncir.2016.00040. eCollection 2016.
8. Rode G, Rossetti Y, Boisson D. Prism adaptation improves representational neglect.
Neuropsychologia. 2001;39(11):1250-4.
9. Shieh SJ, Chiu HY, Hsu HY. Long-term effects of sensory reeducation following digital replantation and revascularization.
Microsurgery 1998;18:334–336.
10. Nakada M, Uchida H. Case study of a five-stage sensory reeducation program.
J Hand Ther. 1997 Jul-Sep;10(3):232-9.
11. Spicher C, Kohut G. [A significant increase in superficial sensation, a number of years after a peripheral neurologic lesion, using transcutaneous vibratory stimulation].
Ann Chir Main Memb Super. 1997;16(2):124-9. French.
12. Wei FC, Ma HS. Delayed sensory reeducation after toe-to-hand transfer.
Microsurgery 1995;16:583–585.
13. Shieh SJ, Chiu HY, Lee JW, Hsu HY. Evaluation of the effectiveness of sensory reeducation following digital replantation and revascularization.
Microsurgery 1995;16:578–582.
14. Brunelli G, Monini L, Brunelli F. [Sensory retraining of the hand using gnosis rings].
Ann Chir Main Memb Super. 1992;11(1):74-6. French.

15. von Wartburg U.[After care and rehabilitation following surgery of peripheral nerves].
Schweiz Rundsch Med Prax. 1991 Oct 8;80(41):1109-12. German.
16. Imai H, Tajima T, Natsumi Y. Successful reeducation of functional sensibility after median nerve repair at the wrist. J Hand Surg 1991;16A:60–65.
17. Brown CJ, Mackinnon SE, Dellon AL, Bain JR. The sensory potential of free flap donor sites. Ann Plast Surg 1989;23:135–140.
18. Tajima T, Imai H. Results of median nerve repair in children. Microsurgery 1989;10:145–146.
19. Imai H, Tajima T, Natsuma Y. Interpretation of cutaneous pressure threshold (Semmes-Weinstein monofilament measurement) following median nerve repair and sensory reeducation in the adult. Microsurgery. 1989;10(2):142-4.
20. Dannenbaum R M, Dykes R W. Sensory loss in the hand after sensory stroke: therapeutic rationale. Arch Phys Med Rehabil 1988;69:833–839.
21. Comtet JJ. [Sensitivity: physiology, examination, principles of rehabilitation of sensation].
Ann Chir Main. 1987;6(3):230-8. Review. French.
22. Dellon AL. Functional sensation and its reeducation. Clin Plast Surg 1984;11:95–99.
23. Dellon AL, Jabaley ME. Reeducation of sensation in the hand following nerve suture. Clin Orthop 1982;163:75–79.
24. Frykman GK, Waylett J. Rehabilitation of peripheral nerve injuries.
Orthop Clin North Am. 1981 Apr;12(2):361-79.
25. Lustig D, Xenard J, André JM, Merle M, Foucher G. [Sensory reeducation of the hand after peripheral nerve lesions (author's transl)].
Ann Chir. 1981;35(4):295-300. French. No abstract available.
26. Dellon AL. The moving two-point discrimination test: clinical evaluation of the quickly adapting fiber/receptor system. J Hand Surg 1978;3:474–481.
27. Hsu HY, Shieh SJ, Kuan TS, Yang HC, Su FC, Chiu HY, Kuo LC. Tactile Test Predicts Sensorimotor Control Capability of Hands for Patients With Peripheral Nerve Injury.
Arch Phys Med Rehabil. 2016 Jun;97(6):983-90. doi: 10.1016/j.apmr.2016.01.008. Epub 2016 Jan 30.
28. Cobianchi S1, Arbat-Plana A, López-Álvarez VM, Navarro X. Neuroprotective effects of exercise treatments after injury: the dual role of neurotrophic factors
Curr Neuropharmacol. 2016 Mar 29. [Epub ahead of print]
29. Zhou X, Yang A., Huang Z., Yin G., Pu X., Jin J. Enhancement of neurite adhesion, alignment and elongation on conductive polypyrrole-poly(lactide acid) fibers with cell-derived extracellular matrix
Colloids Surf B Biointerfaces 2016 Oct 11
30. Harris GM, Madigan NN, Lancaster KZ, Enquist LW, Windebank AJ, Schwartz J, Schwarzbauer JE. Nerve Guidance by a Decellularized Fibroblast Extracellular Matrix.

Matrix Biol. 2016 Sep 15. pii: S0945-053X(16)30196-2. doi: 10.1016/j.matbio.2016.08.011. [Epub ahead of print]

31. Ince B, Arslan A, Dadaci M, Oltulu P, Bilgen F. The effect of different application timings of hyperbaric oxygen treatment on nerve regeneration in rats.

Microsurgery. 2016 Oct;36(7):586-592. doi: 10.1002/micr.30023. Epub 2016 Jan 16.

32. Meek MF, Coert JH, Wong KH. Recovery of touch after median nerve lesion and subsequent repair. Microsurgery. 2003;23(1):2-5.

33. Bamba R, Waitayawinyu T, Nookala R, Riley DC, Boyer RB, Sexton KW, Boonyasirikool C, Niempoog S, Kelm ND, Does MD, Dortch RD, Shack RB, Thayer WP.

A novel therapy to promote axonal fusion in human digital nerves.

J Trauma Acute Care Surg. 2016 Nov;81(5 Suppl 2 Proceedings of the 2015 Military Health System Research Symposium):S177-S183.

34. Archibald SJ, Shefner J, Krarup C, Madison RD

Monkey median nerve repaired by nerve graft or collagen nerve guide tube.

J Neurosci. 1995 May;15(5 Pt 2):4109-23.

35. Potentials evoked in human and monkey cerebral cortex by stimulation of the median nerve

A review of scalp and intracranial recordings

36. Somatosensory evoked magnetic fields following median nerve stimulation

Ryusuke Kakigi

37. Sensory re-education today and tomorrow. A review of evolving concepts

The journal of Hand Surgery

January 1991

38. Rosén B, Lundborg G, Dahlin LB, Holmberg J, Karlson B.

Nerve repair: correlation of restitution of functional sensibility with specific cognitive capacities.

J Hand Surg Br. 1994 Aug;19(4):452-8.

39. Lundborg G, Rosén B. Sensory relearning after nerve repair. Lancet 2001;358:809–810.

40. Dellon AL, Curtis RM, Edgerton MT.

Reeducation of sensation in the hand after nerve injury and repair.

Plast Reconstr Surg. 1974 Mar;53(3):297-305.

41. Wall JT, Kaas JH, Sur M, Nelson RJ, Felleman DJ, Merzenich MM. Functional reorganization in somatosensory cortical areas 3b and 1 of adult monkeys after median nerve repair: possible relationships to sensory recovery in humans. J Neurosci 1986;6:218–233.

42. Clark SA, Allard T, Jenkins WM, Merzenich MM. Receptive fields in the body-surface map in adult cortex defined by temporally correlated inputs. Nature 1988;332:444–445.

43. Dellon AL. Evaluation of sensibility and reeducation of sensation in the hand. Baltimore: Williams and Wilkins, 1981:115–140, 169–246.
44. Chen ZW, Meyer VE, Kleinert HE. Present indications and contra-indications for replantation as reflected by long-term functional results. *Orthop Clin North Am* 1981;12:849–870.
45. Scott FA, Howar JW, Boswick JA. Recovery of function following replantation and revascularization of amputated hand parts. *J Trauma* 1981;21:204–213.
46. Tamai S. Twenty years' experience of limb replantation—review of 293 upper extremity replants. *J Hand Surg* 1982;7:549–556.
47. Glickman LT, Mackinnon SE. Sensory recovery following digital replantation. *Microsurgery* 1990;11:236–242.
48. Hunter JM, Schneider LH, Mackin EJ, Callahan AD. Rehabilitation of the hand. 3rd ed. Philadelphia: C.V. Mosby, 1990:575–610.
49. Dellon AL, Curtis RM, Edgerton MT. Evaluating recovery of sensation in the hand following nerve injury. *Johns Hopkins Med J* 1972;130:235–243.
50. Dellon AL, Curtis RM, Edgerton MT. Reeducation of sensation in the hand after nerve injury and repair. *Plast Reconstr Surg* 1974;53:297–305.
51. Wynn Parry CB, Salter M. Sensory reeducation after median nerve lesion. *Hand* 1976;8:250–257.
52. Hirasawa Y, Katsumi Y, Tokioka T. Evaluation of sensibility after sensory reconstruction of the thumb. *J Bone Joint Surg* 1985;67B:814–819.
53. Mailänder P, Berger A, Schaller E, Ruhe K. Results of primary nerve repair in the upper extremity. *Microsurgery* 1989;10:147–150.
54. Merzenich MM, Jenkins WM. Reorganization of cortical representations of the hand following alternations of skin inputs induced by nerve injury, skin island transfers, and experience. *J Hand Ther* 1993;6:89–104.
55. Novak CB, Mackinnon SE, Kelly L. Correlation of two-point discrimination and hand function following median nerve injury. *Ann Plast Surg* 1993;31:495–498.
56. Polatkan S, Orhun E, Polatkan O, Nuzumlali E, Bayri O. Evaluation of the improvement of sensibility after primary median nerve repair at the wrist. *Microsurgery* 1998;18:192–196.
57. Dellon AL. Sensory recovery in replanted digits and transplanted toes: a review. *J Reconstr Microsurg* 1986;2:123–129.
58. Leung PC. Sensory recovery in transplanted toes. *Microsurgery* 1989;10:242–244.
59. Vitkus K, Vitkus M, Krivulin A. Long-term measurement of innervation density in second toe-to-thumb transfers receiving immediate postoperative sensory reeducation. *Microsurgery* 1989;10:245–247.
60. Dannenbaum RM, Jones LA. The assessment and treatment of patients who have sensory loss following cortical lesions. *J Hand Ther* 1993;6:130–138.
61. Dellon AL, Kallman CH. Evaluation of functional sensation in the hand. *J Hand Surg* 1983;8:865–870.

62. Moberg E. Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand. *Neurology* 1962;12:8–19.
63. Nolan M F. Two-point discrimination assessment in the upper limb in young adult men and women. *Phys Ther* 1982;62:965–969.
64. Jerosch-Herold C. Should sensory function after median nerve injury and repair be quantified using two-point discrimination as the critical measure? *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 2000;34:339–343
65. Marsh D. The validation of measures of outcome following suture of divided peripheral nerves supplying the hand. *J Hand Surg* 1990;15B:25–34.
66. Moberg E. Objective methods for determining the functional value of sensibility in the hand. *J Bone Joint Surg* 1958;40B:454–476.
67. Weber E. Ueber den Tastsinn. *Arch Anat Physiol, Wissen Med* 1835;1:152–159.
68. Trotter WB, Davies HM. Experimental studies in the innervations of the skin. *J Physiol* 1909;38:134–246.
69. von Frey M. The distribution of afferent nerves in the skin. *JAMA* 1906;47:645–648.
70. Tinel J. “Tingling” signs with peripheral nerve injuries. 1915. *J Hand Surg* 2005;30B:87–89.
71. Moberg E. Reconstructive hand surgery in tetraplegia, stroke and cerebral palsy. Some basic concepts in physiology and neurology. *J Hand Surg* 1976;1:29–34.
72. Moberg E. Two-point discrimination test. A valuable part of hand surgical rehabilitation e.g. in tetraplegia. *Scand J Rehab Med* 1990;22:127–134.
73. Moberg E. Aspects of sensation in reconstructive surgery of the upper extremity. *J Bone Joint Surg* 1964;46A:817–825.
74. Keunen R, Sloof A. Sensibility testing after nerve grafting. *Clin Neurolog Neurosurg* 1983;85:93–99.
75. Rosén B. Recovery of sensory and motor function after nerve repair: a rationale for evaluation. *J Hand Ther* 1996;9:315–327.
76. Nicholson OR, Seddon HJ. Nerve repair in civil practice; results of treatment of median and ulnar nerve lesions. *Br Med J* 1957;2:1065–1071.
77. Hakstian RW. Funicular orientation by direct stimulation. An aid to peripheral nerve repair. *J Bone Joint Surg* 1968;50A:1178–86.
78. Davis RD. Some factors affecting the results of treatment of peripheral nerve injuries. *Lancet* 1949;1:877–880.
79. Honner R, Fragiadakis EG, Lamb DW. An investigation of the factors affecting the results of digital nerve division. *Hand* 1970;2:21–30.
80. Kaas JH, Merzenich MM, Killackey HP. The reorganization of somatosensory cortex following peripheral nerve damage in adult and developing mammals. *Ann Rev Neurosci* 1983;6:325–356.

Το χέρι αποτελεί το κυριότερο στοιχείο του ανθρώπινου κάλους μετά το πρόσωπο.



«Ο άνθρωπος είναι το ευφυέστερο των ζώων επειδή έχει χέρια». (Αναξαγόρας, 500-428π.Χ.)