



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Ηλεκτρικός Ερεθισμός Απονευρωμένων Μυών

Δρ Σάββας Σπανός
Επίκουρος Καθηγητής

Απονεύρωση

- Διακοπή της σύνδεσης του μυ με τις κινητικές νευρικές ίνες. Συμβαίνει σε περιπτώσεις σοβαρών τραυματισμών των περιφερικών νεύρων.
- 48 ώρες μετά την έναρξη της απονεύρωσης αρχίζει η απομάκρυνση των αξονικών απολήξεων από τις νευρομυϊκές τους συνδέσεις και μετά από 96 ώρες οι αξονικές απολήξεις εκφυλίζονται πλήρως.
- Σαν συνέπεια οι μύες αργά ή γρήγορα να οδηγηθούν σε ατροφία.

Ταξινόμηση βλάβης περιφερικών νεύρων κατά Seddon (Sunderland 5 κατηγορίες)

Κατηγορία	Μηχανισμός τραυματισμού	Περιγραφή βλάβης	Κλινικά σημεία	Αντιμετώπιση	Πρόγνωση
<u>Νευραπραξία</u> (Sunderland I)	Γρήγορη πλήξη ή διάταση, παρατεταμένη συμπίεση (πχ «παράλυση του ποδηλάτη», <u>Hankey & Gubbary 1998</u>)	Διακοπή της αγωγιμότητας, τοπική βλάβη του <u>μυελινώδους</u> ελύτρου	Απώλεια λειτουργικότητας περιφερικά του σημείου της βλάβης	Αποτροπή περαιτέρω βλάβης όσο διαρκεί η ανάπλαση	Αυτόματη ανάρρωση σε 6-8 εβδομάδες ή νωρίτερα
Αξονότμηση (Sunderland II)	Διάταση ή <u>συνθλιπτικό</u> χτύπημα	Τραυματισμένος <u>νευράξονας</u> αλλά άθικτος <u>ενδονεύριος</u> σωλήνας. Εκφυλισμός του περιφερικού τμήματος του νεύρου	Πλήρης απώλεια λειτουργικότητας περιφερικά του σημείου βλάβης (αισθητική, κινητική, αυτόνομη)	Συνήθως δεν απαιτείται κάποια αντιμετώπιση στο νεύρο καθεαυτό, αλλά στους μύες & το δέρμα για να εξασφαλισθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα όταν ολοκληρωθεί η ανάπλαση του νεύρου	Η ανάπλαση είναι πλήρης, η διάρκεια εξαρτάται από το σημείο τραυματισμού & το ρυθμό ανάπλασης (1-2mm/μέρα)
Νευρότμηση (Sunderland III-IV)	Άμεσος τραυματισμός, αποκοπή κλπ	Λύση της συνέχειας του άξονα και μέρους ή όλου του <u>ενδονεύριου</u> σωλήνα, του <u>περινεύριου</u> & του <u>επινεύριου</u> . Εκφυλισμός του περιφερικού τμήματος του νεύρου	Πλήρης απώλεια λειτουργικότητας περιφερικά του σημείου βλάβης (αισθητική, κινητική, αυτόνομη)	Χειρουργική επιδιόρθωση	Ανάλογη με την έκταση της βλάβης και την επιτυχία της εγχείρησης

Guyon's Canal

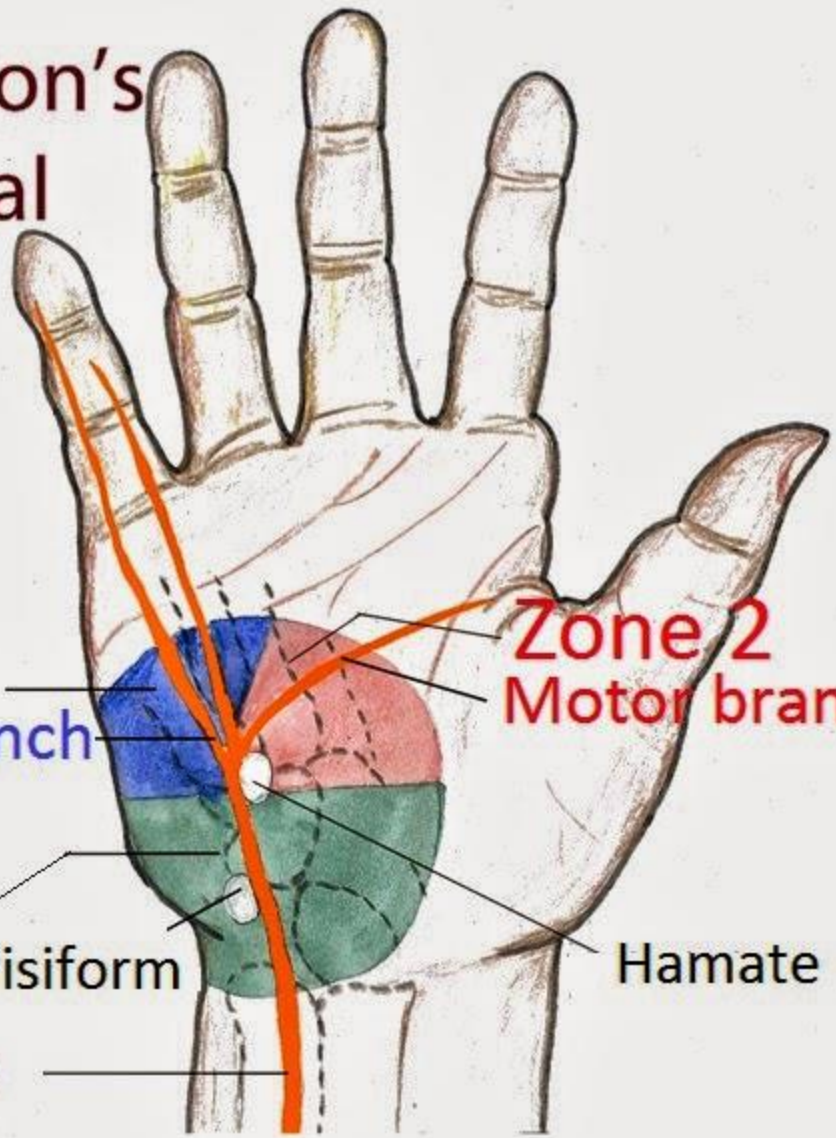
Zone 3
Sensory branch

Zone 2
Motor branch

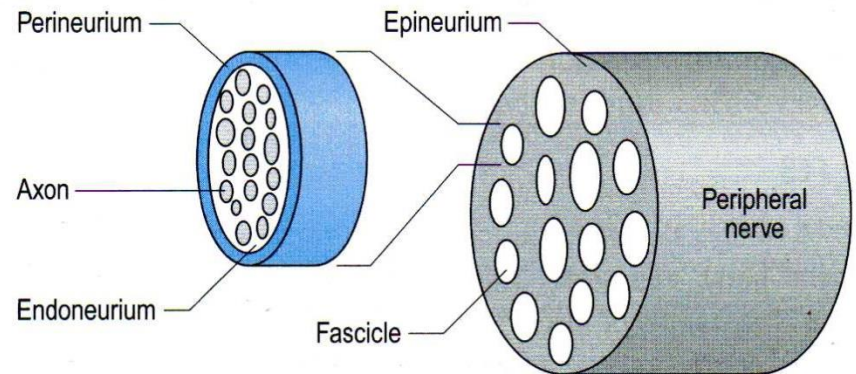
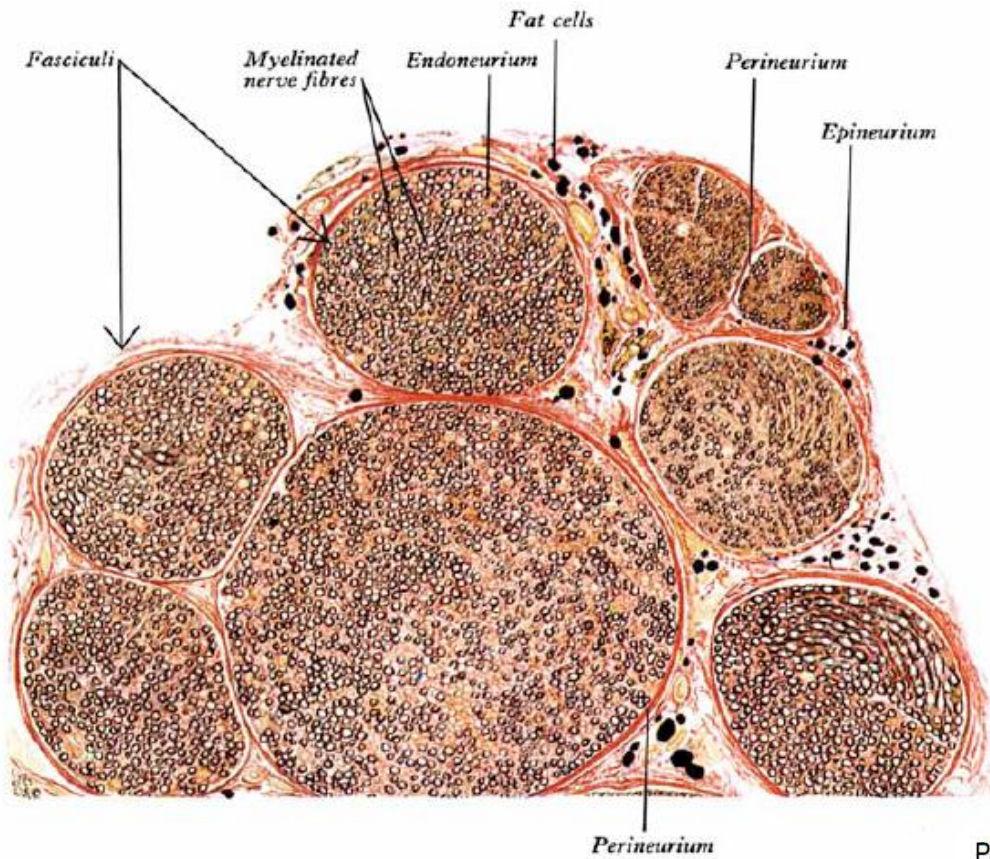
Zone 1
Ulnar nerve

Pisiform

Hamate



Περιφερικά νεύρα



Αποτελέσματα βλάβης περιφερικών νεύρων

- Μυϊκή αδυναμία ή παράλυση & αλλαγή της αισθητικότητας αμέσως μετά τον τραυματισμό.
- Μυϊκή ατροφία των εμπλεκόμενων μυών κατά τους πρώτους 3 μήνες που σταθεροποιείται στους 6-9 μήνες (Spielholz 1999).
- Ινιδισμός (αυτόματη σύσπασση ορατή με γυμνό μάτι & ΗΜΓ).
- Βαλλεριανή εκφύλιση (μη αναστρέψιμη καταστροφή του μυελινώδους ελύτρου και του άξονα περιφερικότερα της βλάβης, από τις πρώτες 1-2 ως τη 10^η ημέρα) (Koerppen 2004).
- Επανανεύρωση (πολλαπλασιασμός κυττάρων Schwann, εκβλάστηση νευραξόνων), η επιτυχία της εξαρτάται από το χρόνο που διανύεται από τη στιγμή του τραυματισμού (μετά από 1 μήνα είναι περιορισμένη), και την απόσταση των απονευρωμένων μυών (Gordon et al 2003).

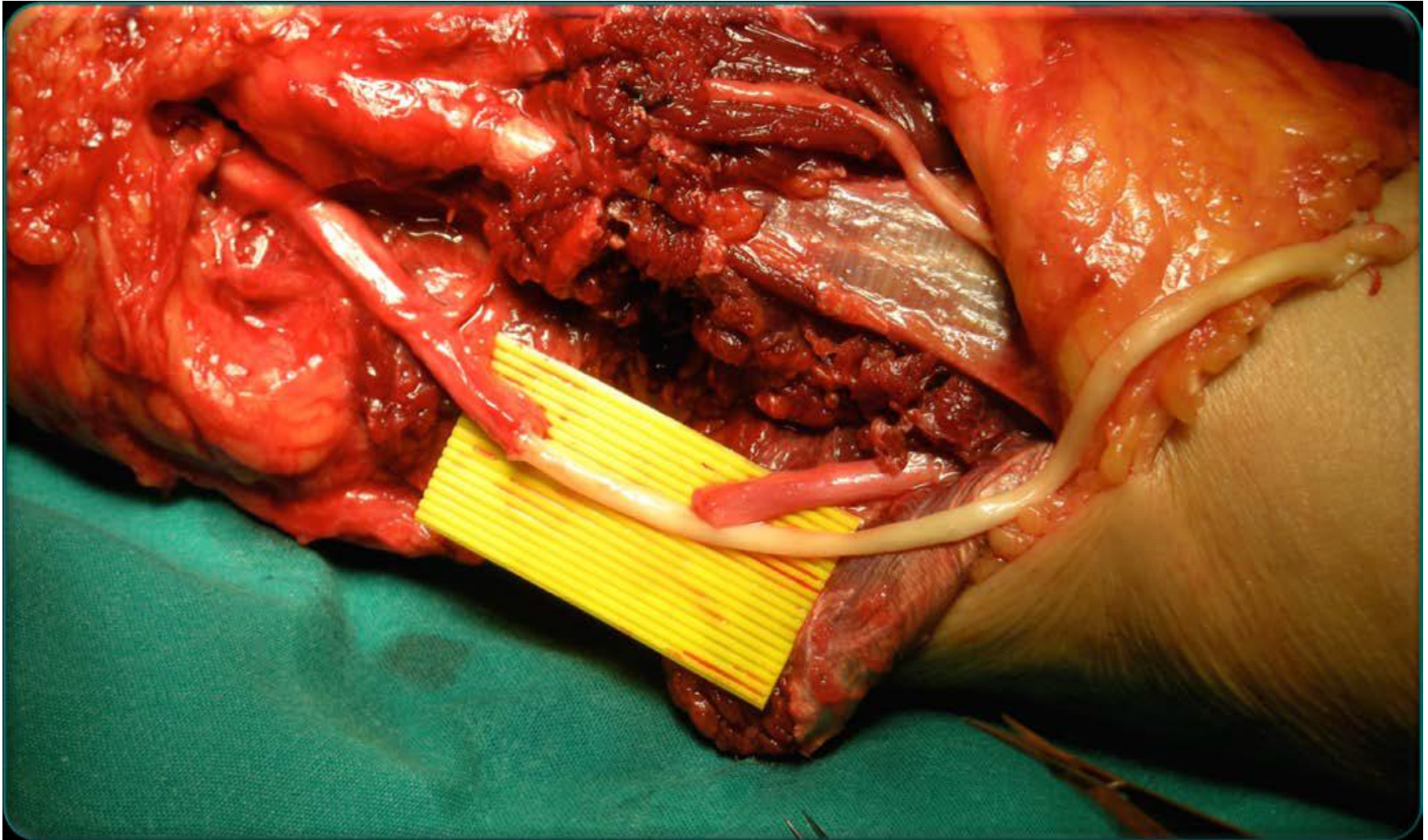
Χειρουργική αντιμετώπιση

- συρραφή
 - μόσχευμα
 - Conduit (σωλήνωση)
 - νευρομεταφορά
-
- Τα πρότυπα επανανεύρωσης ποικίλλουν & είναι ατελή, γεγονός που εξηγεί τη λειτουργική ανικανότητα (ανάλογη με το μηχανισμό & την έκταση του τραυματισμού) μετά από βλάβη περιφερικού νεύρου (Ijkema-Paassen et al 2004).

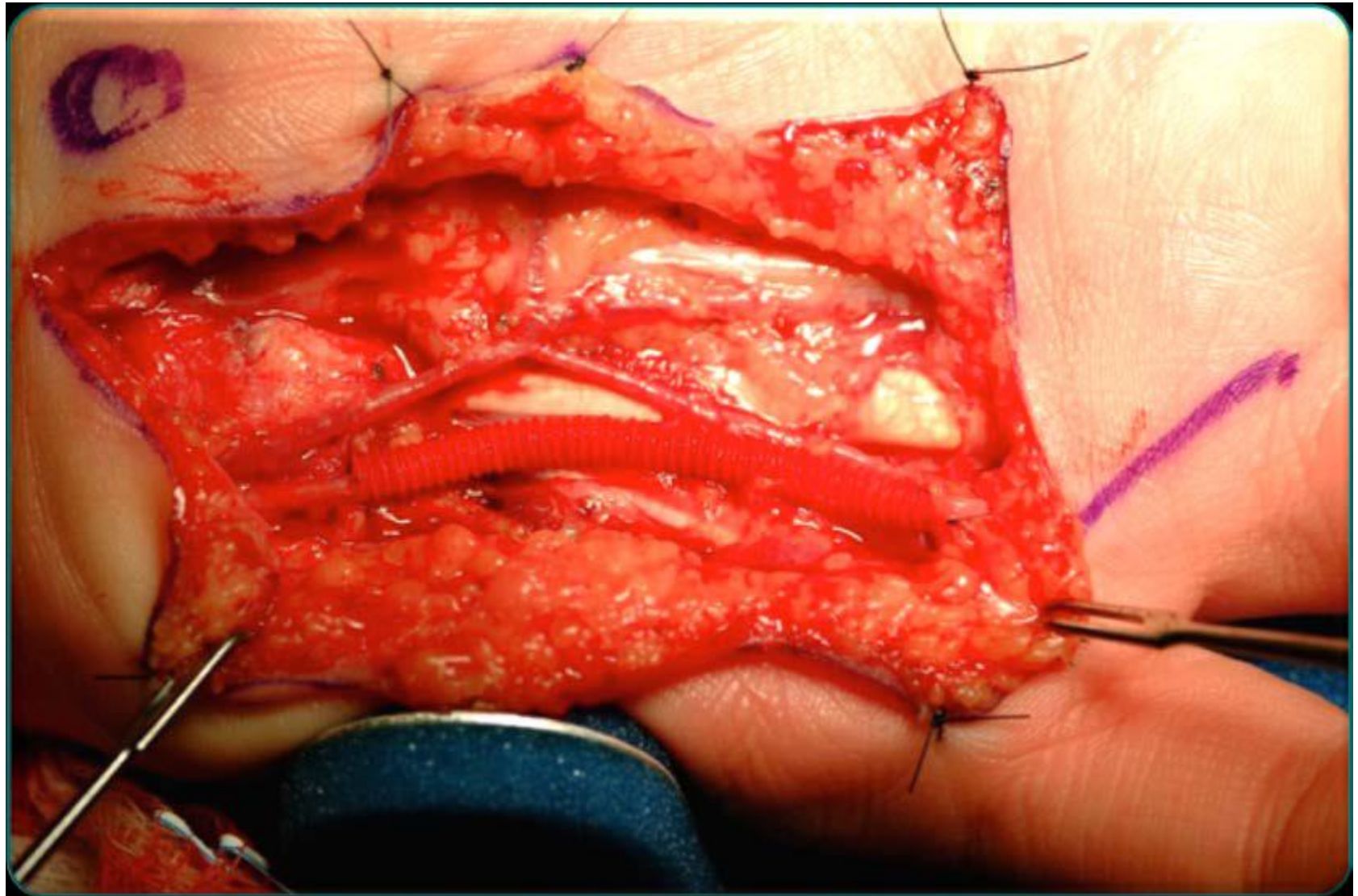
Τελικο-τελική επινευρική συρραφή



Γεφύρωση νευρικού ελλείμματος με νευρικό μόσχευμα



Αποκατάσταση νευρικού ελλείμματος με παρεμβολή σωλήνα-αγωγού



Ιστολογικές αλλαγές

Οι αλλαγές ξεκινούν τις πρώτες 15 ημέρες της απονεύρωσης με διάσπαρτη διάσπαση και εκφύλιση των νηματίων ακτίνης-μυοσίνης. Σ' αυτές τις περιοχές εξαφανίζονται το σαρκοπλασματικό δίκτυο και τα μιτοχόνδρια.

Κατά την διάρκεια του 1^{ου} χρόνου απονεύρωσης παρουσιάζεται μεγάλη συρρίκνωση της μυϊκής ουσίας με ελάττωση της διαμέτρου των μυϊκών ινών και πολλαπλασιασμού του συνδετικού ιστού ενδομυϊκά.

Με την συμπλήρωση του 1^{ου} χρόνου αρχίζουν να χάνονται οι γραμμώσεις των μυών.

Με την πάροδο του χρόνου οι απονευρωμένοι μύες βραχύνονται και ελαττώνεται ο δείκτης διατασιμότητάς τους καθιστώντας τους ευάλωτους σε ρήξεις αν διαταθούν έντονα και με υψηλή ταχύτητα.

Αρκετά χρόνια μετά οι μυϊκές ίνες, έχουν βρεθεί εντελώς κατεστραμμένες και στην περιοχή εναπομένει μόνο συνδετικός ιστός, λίπος, αγγεία και άδεια κανάλια της πορείας των μεγάλων νευρικών κορμών.

Χημικές αλλαγές

Εξωτερικά των μυϊκών ινών αυξάνεται η συγκέντρωση:

- Κολαγόνου
- Νατρίου
- Χλωριούχων
- Ασβεστίου
- Λιπιδίων

Εσωτερικά των μυϊκών ινών μειώνεται η συγκέντρωση:

- Καλίου
- Συνολικών οξεοδιαλυτών φωσφορικών αλάτων
- Τριφωσφορικής αδενοσίνης
- Κρεατίνης
- Συσταλών πρωτεϊνών

Αλλαγές στις ηλεκτρικές αντιδράσεις

- Η χροναξία των απονευρωμένων μυών είναι αρκετά μεγαλύτερη από των νευρικών ινών ενώ η ρεόβασή τους μπορεί να είναι μικρότερη.
- Οι μυϊκές ίνες ελάχιστα προσαρμόζονται σε αργά αυξανόμενα ερεθίσματα.
- Ο ερεθισμός δεν μπορεί να γίνει μέσω των νευρικών ινών λόγω απουσίας ενεργού νευρομυϊκής σύνδεσης.
- Τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε το ρεύμα να διέρχεται μέσα από τον μυ από την μια άκρη μέχρι την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι συσπάται μόνο η περιοχή από την οποία διέρχεται το ρεύμα.
- Λόγω μεγάλης χροναξίας απαιτείται μεγάλη διάρκεια ερεθίσματος χωρίς να έχει σημασία ο χρόνος ανόδου του ερεθίσματος. Έτσι μπορούμε να πετύχουμε εκλεκτικότητα στον ερεθισμό και κατ'επέκταση στην σύσπαση.
- Η συχνότητα που απαιτείται είναι 5-10Hz. Αν η χροναξία του απονευρωμένου μυός είναι σχετικά χαμηλή (40-50msec) τότε μια συχνότητα 10-30Hz και υψηλή ένταση είναι προτιμότερη για ισχυρή τετανική σύσπαση.

ΗΜΓ αλλαγές

- Έλλειψη δυναμικών των κινητικών μονάδων κατά την εκούσια προσπάθεια ενεργητικής σύσπασης (αδυναμία των κινητικών νευρώνων να μεταβιβάσουν ερεθίσματα στις τελικές κινητικές πλάκες).
- Εμφάνιση ινιδικών δυναμικών όταν ο μυς βρίσκεται σε χαλάρωση (3-4 ημέρες μετά την αρχή της απονεύρωσης, από πυροδότηση μεμονωμένων μυϊκών ινών λόγω υπερευαισθησίας τους).
- Στους εννευρωμένους μύες παρατηρείται ακριβώς το αντίθετο.

Αναγέννηση με επανανεύρωση

Μετά από μεγάλες περιόδους ατροφίας η αποτελεσματικότητα της επανανεύρωσης μειώνεται κυρίως διότι:

- Η δημιουργία καινούριων τελικών κινητικών πλακών είναι δύσκολη και αργοπορεί.
- Παρουσιάζεται ανωμαλία στο πατέντο επανανεύρωσης.
- Σημαντικός αριθμός απονευρωμένων μυϊκών ινών δεν επανανευρώνεται ποτέ.

Οι αλλαγές στον απονευρωμένο και ατροφικό μυ είναι αναστρέψιμες στους πρώτους 12 μήνες άρα αν η επανανεύρωση γίνει μέσα σε αυτήν τη χρονική περίοδο, μπορεί να υπάρξει ικανοποιητική αποκατάσταση της λειτουργικότητας των μυών.

Η σύνδεση νευρική ίνας με μυϊκές βοηθά την ωρίμανση αυτής και αντίστροφα.

Διαγνωστικές εξετάσεις

Ηλεκτρονευρολογικές εξετάσεις

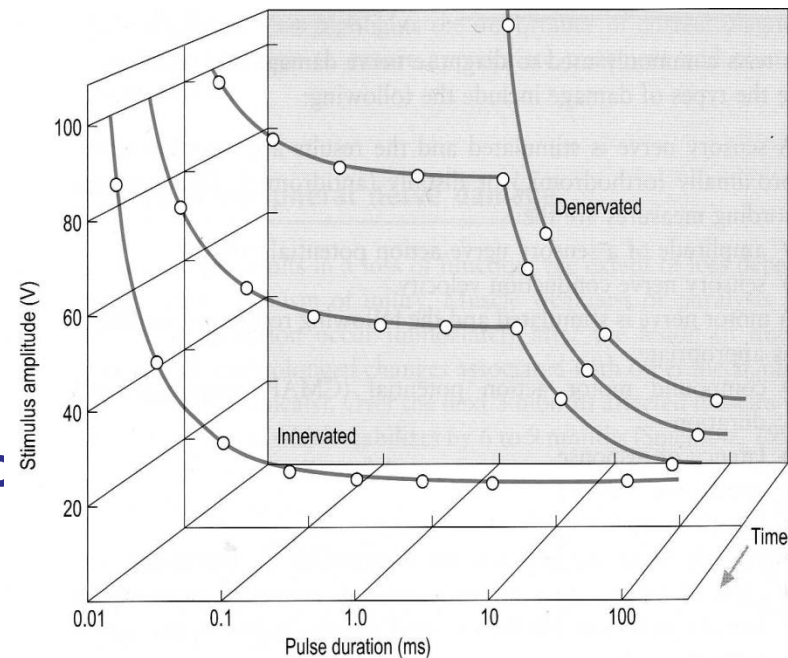
- Ερεθισμός αισθητικού νεύρου: μέγεθος δυναμικού ενεργείας, ταχύτητα αγωγής.
- Ερεθισμός κινητικού νεύρου: μέγεθος & διάρκεια δυναμικού ενεργείας, ταχύτητα αγωγής, καθυστέρηση απόκρισης, καθυστέρηση F-wave.
- ΗΜΓ (ενδομυϊκά) για να διαπιστωθούν: ενδείξεις βλάβης κινητικού νεύρου, μη φυσιολογικά δυναμικά ενεργείας κινητικών μονάδων, λύση συνέχειας του νευράξονα, ενδείξεις αναγέννησης ή εκβλάστησης.

Διαγνωστικές εξετάσεις

Καμπύλη Έντασης-Διάρκειας ηλεκτρικού ερεθισμού

Ελέγχεται συστηματικά (2 εβδομάδες) η ένταση του ρεύματος (μονοφασικού, τετράγωνου 1Hz-2Hz) που απαιτείται για την πρόκληση σύσπασης με διαφορετικής διάρκειας παλμούς (10 μ s-300ms), δηλαδή η ρεόβαση & η χροναξία καθώς και το σχήμα των γραφημάτων.

- Μπορεί να διακριθεί η νευραπραξία από την αξονότμηση/νευρότμηση, & ο εκφυλισμός ή επανανεύρωση μετά από τραυματισμό, όχι όμως οι βλάβες περιφερικών νεύρων από παθήσεις των μυών ή της τελικής κινητικής πλάκας.
Δε χρησιμοποιούνται όσο παλαιότερ



Κλινικές εφαρμογές ηλεκτρικού ερεθισμού απονευρωμένων μυών

- Διατήρηση ικανότητας συστολής
- Καθυστέρηση μυϊκής ατροφίας
- Βελτίωση αιματικής κυκλοφορίας
- Αναστολή δημιουργίας ινοσίτιδας

Κατάλληλος Ηλεκτρικός Ερεθισμός Απονευρωμένων Μυών

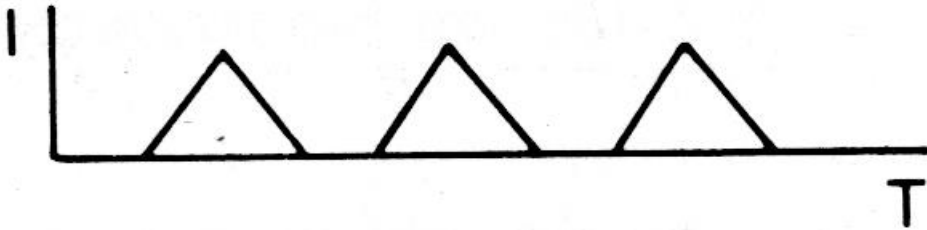
- Οποιαδήποτε μορφή ρεύματος (εκτός του συνεχούς σταθερής έντασης), οποιασδήποτε μορφής κύματος μπορεί να προκαλέσει σύσπαση αρκεί η διάρκεια παλμού να είναι μεγαλύτερη της χροναξίας (μεγαλύτερη αναμενόμενη χροναξία 100msec) και η ένταση να υπερβαίνει την πύλη ερεθισμού των μυϊκών ινών.
- Προτιμούνται τα ημιτονοειδή ή συνεχή διακοπτόμενα με προτιμότερα τα πρώτα για καθυστέρηση της ατροφίας.
- Δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο ο χρόνος ανόδου του παλμού λόγω μη εμφάνισης προσαρμογής.
- Η τετραγωνική μορφή διακοπτόμενου συνεχούς, αν και προκαλεί σύσπαση, πρέπει να αποφεύγεται διότι προκαλεί απότομο ερεθισμό με σχετικά δυσάρεστο αισθητικό αποτέλεσμα.
- Το εναλλασσόμενο πλεονεκτεί λόγω εξισορρόπησης ιοντικών χημικών αποτελεσμάτων της ενεργού φάσης.
- Στην περίπτωση χρήσης συνεχούς πρέπει να υπάρχει μεγάλης χρονικής διάρκειας παύση μεταξύ των παλμών.

Κατάλληλος Ηλεκτρικός Ερεθισμός Απονευρωμένων Μυών

- Οι απονευρωμένοι μύες δεν αντιδρούν σε υψηλές συχνότητες παρόμοιες με αυτές των εννευρωμένων (κατάλληλη συχνότητα 5-30Hz).
- Μπορούν να συσπαστούν τετανικά με σχετικά χαμηλές συχνότητες (10Hz).
- Η ένταση στο μέγιστο ανεκτό, για τον ασθενή, επίπεδο.
- Η διάρκεια της παλμοσειράς κυμαίνεται στα 2-6sec διότι οι απονευρωμένοι μυς δεν μπορούν να συσπαστούν τετανικά για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Κουράζονται σχετικά γρήγορα άρα απαιτείται διάρκεια παύσης μεταξύ παλμοσειρών 3-10 φορές μεγαλύτερη.
- Η διάρκεια της συνεδρίας 7-15min αναλόγως της ταχύτητας κόπωσης.
- Για αναχαίτιση της ατροφίας απαιτούνται περισσότερες από μία συνεδρίες την ημέρα (3-4).

Ηλεκτρικός Ερεθισμός Απονευρωμένων Μυών

- Οι απονευρωμένοι μύες ερεθίζονται επιλεκτικά από τριγωνικούς παλμούς μακράς διάρκειας, καθώς οι μυϊκές ίνες, σε αντίθεση με τις νευρικές, εξοικειώνονται ελάχιστα.



Πάρεση προσωπικού νεύρου

- Πτώση βλεφάρου
- Δακρύρροια ή οφθαλμική ξηρότητα
- Σιελόρροια ή ξηροστομία
- Δυσκολία κατάποσης
- Δυσκολία έκφρασης
- Διαταραχή της γεύσης

