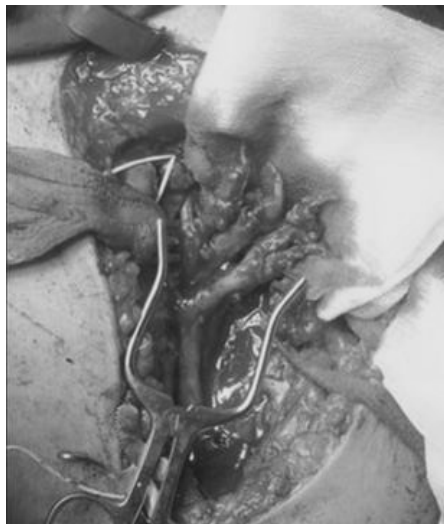




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**  
**ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**  
**ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**  
**ΤΩΝ ΤΡΑΥΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΚΩΣΕΩΝ**  
**ΤΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΙΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ**



**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ν. ΠΑΦΥΛΑΣ**  
**ΧΕΙΡΟΥΡΓΟΣ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΟΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

# **ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2010**



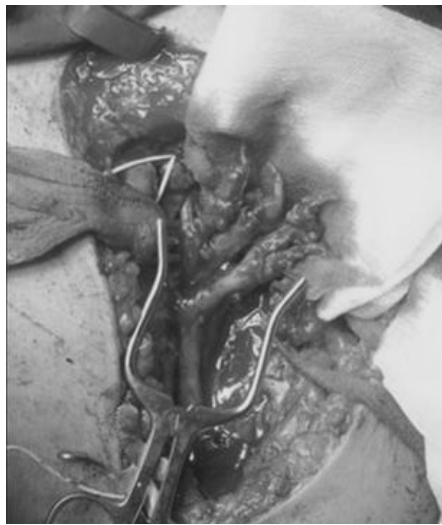






**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**  
**ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ  
ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ  
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΠΕΡΗΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**  
**ΤΩΝ ΤΡΑΥΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΚΩΣΕΩΝ**  
**ΤΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΙΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ**



**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ν. ΠΑΦΥΛΑΣ**  
**ΧΕΙΡΟΥΡΓΟΣ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΟΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

# **ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2009**





**Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.**

**N. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2 (νομική κατοχύρωση του Ιατρικού Τμήματος).**



*Στους γονείς μου για την συνεχή και αμέριστη υπομονή και στήριξη*

*Σε όλους τους δασκάλους μου στην ορθοπαιδική εκμάθηση και άσκηση  
που είχαν όρεξη και διάθεση να με καθοδηγήσουν*

*Στον Selvadurai Nayagam που με μύησε στην κριτική ορθοπαιδική σκέψη  
**«You can always teach a monkey how to operate,  
but you can never teach a monkey how to think»***



# Περιεχόμενα

Γενικό μέρος.....	1
<i>A)Κλινικά σημαντική χειρουργική ανατομία.....</i>	<i>3</i>
I) Φυσιολογική ανατομία του βραχιονίου πλέγματος.....	3
α)Γενική θεώρηση.....	3
β)Έξω δευτερεύον στέλεχος.....	6
γ)Έσω δευτερεύον στέλεχος.....	7
δ)Ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος.....	8
II) Συχνές παραλλαγές του βραχιονίου πλέγματος.....	10
III) Παθολογική ανατομία.....	12
α) Τύποι νευρικής βλάβης.....	12
β) Τοπογραφία νευρικής βλάβης.....	14
γ) Ανατομικοί παράγοντες που επιδρούν στον τύπο της βλάβης.....	16
<i>B) Αιτιολογία και ταξινόμηση τραυματισμών.....</i>	<i>19</i>
I) Αίτια τραυματισμού και δημογραφικά στοιχεία.....	19
II) Μηχανισμοί τραυματισμού.....	19
α) Κλειστοί τραυματισμοί.....	19
ι. Βλάβες ελκυσμού.....	20
ιι. Βλάβες σύνθλιψης.....	22
ιιι. Βλάβες συνδυασμού ελκυσμού και σύνθλιψης.....	22
β) Ανοιχτός τραυματισμός.....	23
γ) Βλάβη από ακτινοβολία.....	24
III) Επίπεδο βλάβης και είδος τραυματισμού.....	24
α) Υπερκλείδιες βλάβες.....	24
β) Υποκλείδιες βλάβες.....	25
<i>Γ) Κλινική εκτίμηση.....</i>	<i>27</i>
I) Ιστορικό.....	27
II) Φυσική εξέταση.....	27
α) Μυοσκελετική εξέταση.....	28
β) Νευρολογική εξέταση.....	29
ι) Κινητική εξέταση & έλεγχος τενόντιων αντανεκλαστικών.....	29
ιι) Αισθητική εξέταση.....	32
ιιι) Εξέταση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος.....	32
γ) Αγγειακή εξέταση.....	33
<i>Δ) Παρακλινικός έλεγχος.....</i>	<i>35</i>
I) Απεικονιστικές μελέτες.....	35
α) Απλή ακτινογραφία.....	35
β) Μυελογραφία και αξονική τομογραφία με μυελογραφία.....	35
γ) Μαγνητική τομογραφία.....	38
δ) Αγγειογραφία.....	40
II) Ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες.....	40
α) Ηλεκτρομυογράφημα.....	41
β) Μελέτες νευρικής αγωγιμότητας.....	42
γ) Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά.....	42
δ) Διεγχειρητικές ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες.....	43
<i>Ε) Προεγχειρητικός σχεδιασμός και λήψη αποφάσεων.....</i>	<i>45</i>

I) Ενδείξεις για χειρουργείο.....	45
α) Ανοικτοί τραυματισμοί.....	45
β) Κλειστοί τραυματισμοί.....	46
γ) Τραυματισμός από ακτινοβολία.....	46
II) Χρόνος του χειρουργείου.....	46
III) Είδος νευρικής ανακατασκευής ανάλογα με το επίπεδο και τη σοβαρότητα της βλάβης.....	47
α) Προεγχειρητικές ενδείξεις υπέρ προγαγγλιακών τραυματισμών.....	48
β) Προεγχειρητικές ενδείξεις υπέρ μεταγαγγλιακών τραυματισμών και συνήθεις θέσεις βλάβης.....	48
IV) Λειτουργικές προτεραιότητες στην ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος.....	49
<b>ΣΤ) Χειρουργική αντιμετώπιση.....</b>	<b>51</b>
I) Ιστορική αναδρομή.....	51
II) Χειρουργική τεχνική.....	51
α) Προετοιμασία ασθενούς και τοποθέτηση.....	51
β) Χειρουργικές προσπελάσεις.....	52
ι) Υπερκλείδια περιοχή.....	53
ιι) Οπισθοκλείδια περιοχή.....	55
ιιι) Υποκλείδια περιοχή.....	56
ιιv) Έσω προσπέλαση των νευρικών κλάδων στον εγγύς βραχίονα.....	57
v) Οπίσθια υποπλάτεια προσπέλαση.....	57
vi) Οπίσθια προσπέλαση στο υπερπλάτιο νεύρο.....	58
vii) Οπίσθια προσπέλαση στο μασχαλιαίο και κερκιδικό νεύρο.....	58
III) Μέθοδοι επιδιόρθωσης και ανακατασκευής.....	59
α) Νευρόλυση.....	59
β) Άμεση νευροσυρραφή.....	59
γ) Έμμεση νευροσυρραφή με παρεμβαλλόμενα νευρικά μοσχεύματα.....	59
ι) Γαστροκνήμιο νεύρο.....	60
ii) Ομόπλευρο έσω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου.....	61
iii) Ομόπλευρο έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου.....	61
iv) Ομόπλευρο επιπολής κερκιδικό πλευρό.....	62
v) Ομόπλευρο ωλένιο νεύρο.....	62
vi) Αγγειούμενα νευρικά μοσχεύματα.....	62
δ) Νευρομεταφορά (νευρική εμφύτευση).....	63
ι) Γενική θεώρηση.....	63
ii) Δότες νευρομεταφορών.....	64
iii) Στρατηγική νευρομεταφορών.....	67
ε) Τελικοπλάγια νευροσυρραφή.....	70
στ) Μεταφορά ελεύθερου λειτουργικού μυός.....	71
ζ) Μελλοντικές τάσεις.....	71
IV) Στρατηγική συνδυασμένης ανακατασκευής με επιδιόρθωση του πλέγματος, τοποθέτηση μοσχευμάτων και υποστήριξη με νευρικές μεταφορές.....	71
<b>Z) Μετεγχειρητική φροντίδα.....</b>	<b>75</b>
Ειδικό μέρος.....	77
<b>A) Υλικό και μέθοδος.....</b>	<b>79</b>
I) Δημογραφικά στοιχεία και προεγχειρητικά ευρήματα.....	79
II) Διεγχειρητικά ευρήματα.....	82
III) Είδος νευρικής ανακατασκευής.....	85
<b>B) Αποτελέσματα.....</b>	<b>95</b>

I) Συνολικά αποτελέσματα – Θετικοί & αρνητικοί προγνωστικοί παράγοντες.....	95
II) Αποτελέσματα νευρομεταφορών σε συγκεκριμένο στόχο.....	100
α) Υπερπλάτιο νεύρο.....	100
β) Μασχαλιαίο νεύρο.....	102
γ) Μυοδερματικό νεύρο.....	106
δ) Κερκιδικό νεύρο.....	110
ε) Μέσο νεύρο.....	111
III) Αισθητικότητα & Πόνος.....	113
Γ) Ενδιαφέρουσες περιπτώσεις - Στρατηγική χειρουργικού σχεδιασμού για βλάβες διαφορετικών επιπέδων.....	115
I) Υπερκλείδιες βλάβες.....	115
1. Ολικού τύπου βλάβη με εξελκυσμό όλων των ριζών.....	115
2. Εξελκυσμός 4 ριζών ( A6 έως Θ1 ριζών).....	116
3. Εξελκυσμός 3 ριζών.....	117
ι) Εξελκυσμός A5, A6 και A7 ρίζας.....	117
ιι) Εξελκυσμός A7, A8 και Θ1 ρίζας.....	118
4. Εξελκυσμός 2 ριζών.....	119
ι) Εξελκυσμός A5 και A6 ρίζας.....	119
ιι) Εξελκυσμός A6 και A7 ρίζας.....	120
ιιι) Εξελκυσμός A8 και Θ1 ρίζας.....	121
5. Εξελκυσμός μονής ρίζας.....	122
ι) Εξελκυσμός μόνο της A5 ρίζας.....	122
ιι) Εξελκυσμός μόνο της A6 ρίζας.....	123
ιιι) Εξελκυσμός μόνο της A7 ρίζας.....	124
ιιιι) Εξελκυσμός μόνο της A8 ρίζας.....	125
II) Υποκλείδιες βλάβες.....	126
1. Νεύρωμα σε συνέχεια.....	126
2. Πάρεση του μασχαλιαίου νεύρου.....	126
Δ) Συζήτηση - Συμπεράσματα.....	127
I) Γενική θεώρηση.....	127
II) Νευρόλυση.....	128
III) Ανατομική επιδιόρθωση (νευροσυρραφή) με ή χωρίς την παρεμβολή μοςχευμάτων.....	128
IV) Νευρομεταφορές.....	130
α) Μυοδερματικό νεύρο (Κάμψη του αγκώνα).....	132
β) Υπερπλάτιο νεύρο ± Μασχαλιαίο νεύρο (Σταθεροποίηση του ώμου, απαγωγή και έξω στροφή) έναντι Θωρακικού νεύρου (Βραχιονοθωρακική σύλληψη με προσαγωγή του βραχίονα έναντι του θώρακα).....	137
γ) Μέσο νεύρο (Αίσθηση στην κατανομή του μέσου νεύρου ± κάμψη του καρπού και των δακτύλων).....	140
δ) Κερκιδικό νεύρο (έκταση αγκώνα).....	141
IV) Μελλοντικές τάσεις.....	142
Περίληψη.....	145
Summary.....	147
Βιβλιογραφία.....	149





# Γενικό μέρος



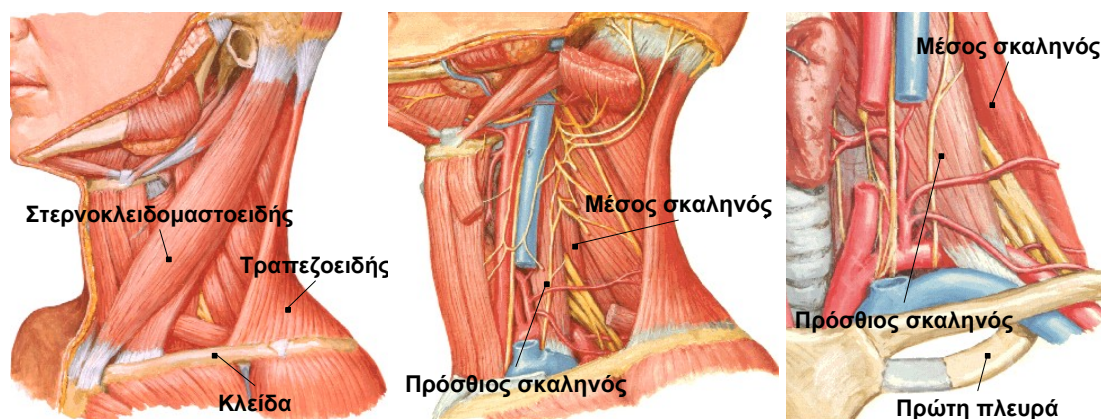
## ***Α/Κλινικά σημαντική χειρουργική ανατομία***

Η πολύπλοκη ανατομία του βραχιονίου πλέγματος είναι πιθανώς ένα από τα θέματα που προκαλούν το περισσότερο άγχος στα μαθημάτων τόσο των φοιτητών της ιατρικής σχολής όσο και των ειδικευόμενων ορθοπαιδικών. Η χειρουργική διερεύνηση αυτής της περιοχής, ωστόσο, απαιτεί μια ξεκάθαρη και βαθιά κατανόηση της φυσιολογικής ανατομίας, των παραλλαγών της, καθώς επίσης και της παθολογικής ανατομίας.

### **Ι) Φυσιολογική ανατομία του βραχιονίου πλέγματος**

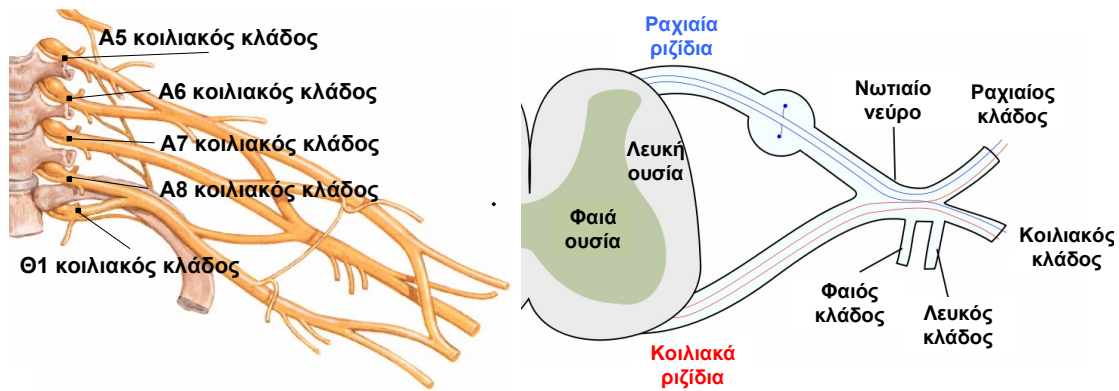
#### ***α) Γενική θεώρηση***

Το βραχιόνιο πλέγμα εντοπίζεται εντός του οπίσθιου τριγώνου του αυχένα, που δημιουργείται από τον στερνοκλειδομαστοειδή επί τα έσω, τον τραπεζοειδή επί τα έξω, και την κλείδα προς τα κάτω (εικ. 1Α). Στην περιοχή αυτή το βραχιόνιο πλέγμα πορεύεται εντός του τριγώνου μεταξύ των σκαληνών, το οποίο δημιουργείται πρόσθια από τον πρόσθιο σκαληνό, οπίσθια από τον μέσο σκαληνό, και κατώτερα από το ανώτερο όριο της πρώτης πλευράς (εικ. 1Β & Γ).



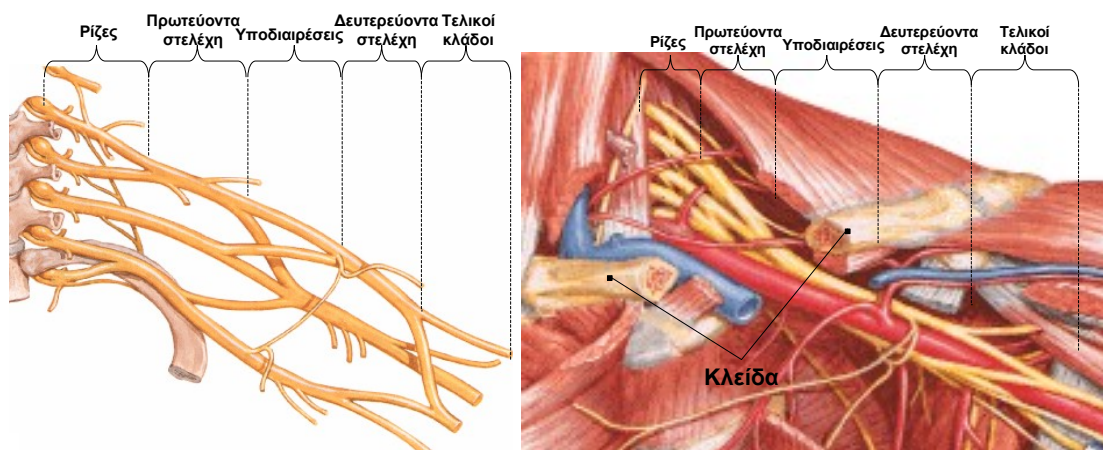
**Εικόνα 1. Α]** Θέση του βραχιονίου πλέγματος στο οπίσθιο τρίγωνο του αυχένα. **Β & Γ]** Θέση του βραχιονίου πλέγματος στο τρίγωνο μεταξύ των σκαληνών

Το βραχιόνιο πλέγμα είναι ένα δίκτυο νεύρων το οποίο ξεκινώντας από την σπονδυλική στήλη παρέχει αίσθηση και λειτουργία στο άνω άκρο. Στην τυπική του μορφή δημιουργείται από τη συνένωση των προσθίων (κοιλιακών) κύριων κλάδων των τεσσάρων κατώτερων αυχενικών νωτιαίων νεύρων (Α5 έως Α8), καθώς και του πρώτου θωρακικού νωτιαίου νεύρου (Θ1) (εικ. 2Α). Οι οπίσθιοι (ραχιαίοι) κλάδοι των νωτιαίων νεύρων, οι οποίοι δεν αποτελούν τμήμα του βραχιονίου πλέγματος, παρέχουν νεύρωση στο δέρμα και τους μύες του οπίσθιου τμήματος του αυχένα (εικ. 2Β).



**Εικόνα 2.** Α] Το βραχιόνιο πλέγμα στην τυπική του μορφή σχηματίζεται από τη συνένωση των προσθίων (κοιλιακών) κύριων κλάδων των τεσσάρων τελευταίων αυχενικών νεύρων (Α5-Α8), καθώς και του πρώτου θωρακικού νεύρου (Θ1). Β] Κάθε νωτιαίο νεύρο δημιουργείται από τη συνεισφορά των ραχιαίων (αισθητικών) ριζιδίων και των κοιλιακών (κινητικών) ριζιδίων και διαχωρίζεται σε πρόσθιο (κοιλιακό) κλάδο και οπίσθιο (ραχιαίο) κλάδο. Οι οπίσθιοι (ραχιαίοι) κλάδοι των νωτιαίων νεύρων δεν αποτελούν τμήμα του βραχιονίου πλέγματος.

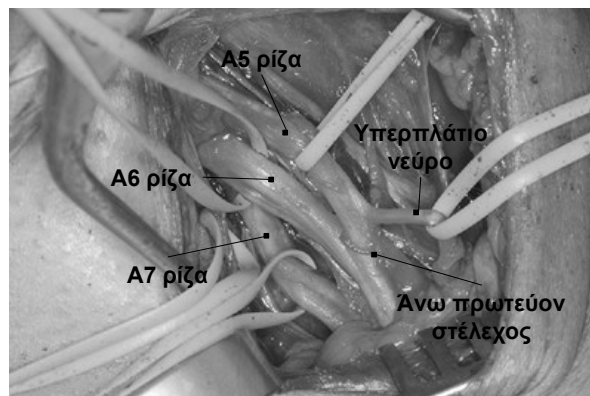
Η «αληθής μορφή» του βραχιονίου πλέγματος έχει περιγραφεί από τον Kerr<sup>(1)</sup>, ο οποίος πραγματοποίησε λεπτομερείς ανατομικές παρασκευές σε 175 προπλάσματα. Στην «αληθή μορφή», τα επιμέρους στοιχεία του βραχιονίου πλέγματος περιλαμβάνουν τα εξής: ρίζες, πρωτεύοντα στελέχη, υποδιαιρέσεις των πρωτευόντων στελεχών, δευτερεύοντα στελέχη, και τελικούς κλάδους (εικ. 3Α). Πέντε ρίζες δημιουργούν τρία πρωτεύοντα στελέχη, τα οποία δημιουργούν έξι υποδιαιρέσεις. Αυτές οι υποδιαιρέσεις δημιουργούν τρία δευτερεύοντα στελέχη, τα οποία τελικά δημιουργούν πέντε τελικούς κλάδους. Οι ρίζες και τα πρωτεύοντα στελέχη βρίσκονται υπερκλείδια, οι υποδιαιρέσεις βρίσκονται οπισθοκλειδικά, και τα δευτερεύοντα στελέχη και οι τελικοί κλάδοι δημιουργούν το υποκλείδιο τμήμα (εικ. 3Β).



**Εικόνα 3.** Α] Τα πέντε τμήματα του βραχιονίου πλέγματος διακρίνονται σε ρίζες, πρωτεύοντα στελέχη, υποδιαιρέσεις, δευτερεύοντα στελέχη, και τελικούς κλάδους. Β] Σχέσεις των τμημάτων του βραχιονίου πλέγματος με την κλείδα. Η κλείδα υπέρκειται των υποδιαιρέσεων. Οι ρίζες και τα πρωτεύοντα στελέχη θεωρούνται υπερκλείδιο πλέγμα, ενώ τα δευτερεύοντα στελέχη και οι κλάδοι θεωρούνται υποκλείδιο πλέγμα.

Οι ρίζες του βραχιονίου πλέγματος (οι πρόσθιοι κλάδοι των νωτιαίων νεύρων) αναδύονται ανάμεσα στον πρόσθιο και τον μέσο σκαληνό μυ στο οπίσθιο τρίγωνο του αυχένα και κατέρχονται προς το ανώτερο τμήμα της πρώτης πλευράς (εικ. 1). Μέσα στο τρίγωνο το πλέγμα καλύπτεται από το μυώδες πλάτυσμα, τα υπερκλείδια νεύρα και την εν τω βάθει περιτονία και χιάζεται από την έξω σφαγιτίδα φλέβα, την κάτω γαστέρα του ωμοϋοειδούς μυός και την εγκάρσια αυχενική αρτηρία.

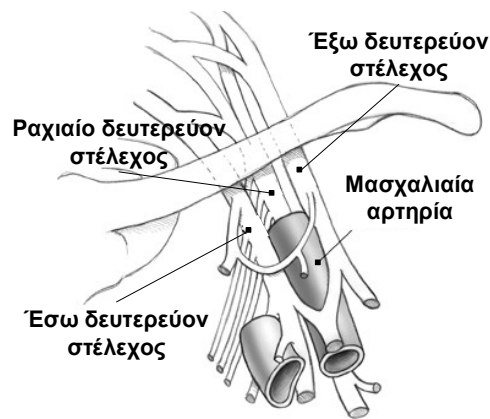
Οι ρίζες του βραχιονίου πλέγματος έχουν μόνο μία μικρή διαδρομή κατά το πέρασμά τους ανάμεσα στους σκαληνούς μύες. Αμέσως μετά την είσοδό τους στο οπίσθιο τρίγωνο, οι A5 και A6 συμπλέκονται για να σχηματίσουν το ανώτερο πρωτεύων στέλεχος, η A7 συνεχίζει ως το μέσο πρωτεύων στέλεχος, και οι A8 και Θ1 ενώνονται για να σχηματίσουν το κατώτερο πρωτεύων στέλεχος. Το σημείο στο οποίο η A5 και A6 ρίζα ενώνονται και σχηματίζουν το ανώτερο πρωτεύων στέλεχος είναι γνωστό ως το σημείο του Erb (εικ. 4).



**Εικόνα 4.** Χειρουργική προσπέλαση των A5-A7 ριζών και του ανώτερου και μέσου πρωτεύοντος στελέχους. Η αγκύλη στο δεξιό μέρος της εικόνας συγκρατεί το υπερπλάτιο νεύρο προτού το ανώτερο πρωτεύων στέλεχος διαχωριστεί σε πρόσθιο και οπίσθιο κλάδο.

Καθώς τα πρωτεύοντα στελέχη διασταυρώνονται με την πρώτη πλευρά, παραμένουν ανώτερα του πρώτου τμήματος της μασχαλιαίας αρτηρίας. Στη συνέχεια κάθε πρωτεύων στέλεχος διαιρείται σε μία πρόσθια και μία οπίσθια υποδιαίρεση ακριβώς εγγύτερα από το κλειδικό όριο (υπερκλείδια μοίρα βραχιονίου πλέγματος), και περνά κάτω από την κλείδα. Η διαίρεση αυτή έχει τοπογραφική σημασία, καθώς υποδηλώνει τον διαχωρισμό των νευρικών ινών που παρέχουν νευρώση στα αρχικώς κοιλιακά (καμπτικά) μέρη του άκρου από εκείνες οι οποίες παρέχουν νευρώση στα ραχιαία (εκτατικά) μέρη.<sup>(2)</sup>

Τα τρία δευτερεύοντα στελέχη του πλέγματος δημιουργούνται από συνδυασμούς των προσθίων και οπίσθιων υποδιαιρέσεων. Το έξω δευτερεύων στέλεχος δημιουργείται από την ένωση των προσθίων υποδιαιρέσεων του ανώτερου και μέσου πρωτεύοντος στελέχους (A5-A7) και βρίσκεται επί τα εκτός της μασχαλιαίας αρτηρίας. Το έσω δευτερεύων στέλεχος δημιουργείται από την πρόσθια υποδιαίρεση του κατώτερου πρωτεύοντος στελέχους (A8-Θ1) και βρίσκεται επί τα εντός της μασχαλιαίας αρτηρίας. Το ραχιαίο δευτερεύων στέλεχος (A5-Θ1) δημιουργείται από τις οπίσθιες υποδιαιρέσεις και των τριών πρωτεύοντων στελεχών και βρίσκεται οπίσθια της μασχαλιαίας αρτηρίας. Τα δευτερεύοντα στελέχη δημιουργούνται στο επίπεδο της κλείδας ή ακριβώς περιφερικότερα αυτής (υποκλείδια μοίρα βραχιονίου πλέγματος). Επενδύονται από το μασχαλιαίο έλυτρο καθώς κατέρχονται πίσω από τον τένοντα του ελάσσονος θωρακικού. Στη συνέχεια τα δευτερεύοντα στελέχη πορεύονται δίπλα στο δεύτερο μέρος της μασχαλιαίας αρτηρίας (εικ. 5), προς την κατώτερη μασχάλη, όπου διαιρούνται σε τελικούς κλάδους.



**Εικόνα 5.** Κάτωθεν της κλείδας, η μασχαλιαία αρτηρία περικλείεται από τα δευτερεύοντα στελέχη. Η ξεκάθαρη κατανόηση αυτών των ανατομικών συσχετισμών είναι απαραίτητη κατά τη χειρουργική διερεύνηση του βραχιονίου πλέγματος. Τα δευτερεύοντα στελέχη ονομάζονται ανάλογα με την θέση τους ως προς τη μασχαλιαία αρτηρία: έξω δευτερεύον στέλεχος, έσω δευτερεύον στέλεχος, ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος.

Το έξω δευτερεύον στέλεχος διαχωρίζεται σε δύο τελικούς κλάδους: το μυοδερματικό νεύρο και την συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο (το επονομαζόμενο «αισθητικό» τμήμα). Το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος σχηματίζει το μασχαλιαίο και το κερκιδικό νεύρο, και το έσω δευτερεύον στέλεχος δίνει τη συνεισφορά του έσω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο (το επονομαζόμενο «κινητικό» τμήμα) και το ωλένιο νεύρο.

Υπάρχουν μερικοί τελικοί κλάδοι που εξέρχονται από τις ρίζες, τα πρωτεύοντα στελέχη, και τα δευτερεύοντα στελέχη. Οι κλάδοι από την A5 ρίζα περιλαμβάνουν το ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης (προς τους ρομβοειδείς μύες), έναν κλάδο για τον φρενικό νεύρο (μαζί με την A3 και την A4 ρίζα), και έναν κλάδο για το μακρό θωρακικό νεύρο (πρόσθιος οδοντωτός μυς). Κλάδοι από τις A6 και A7 ρίζες επίσης συνεισφέρουν στο μακρό θωρακικό νεύρο. Οι κλάδοι από το ανώτερο πρωτεύον στέλεχος περιλαμβάνουν το νεύρο για τον υποκλείδιο μυ (κλινικά ασήμαντο) και το υπερπλάτιο νεύρο (υπερακάνθιος και υπακάνθιος μυς). Το έξω δευτερεύον στέλεχος δίνει το έξω θωρακικό νεύρο, ενώ το έσω και ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος δίνουν το καθένα τρεις κλάδους. Το έσω δευτερεύον στέλεχος δίνει (από εγγύς προς περιφερικότερα) το έσω θωρακικό νεύρο, το έσω δερματικό νεύρο του βραχίονα, και το έσω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου. Το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος τυπικά δίνει κλάδους που περιλαμβάνουν (από εγγύς προς περιφερικότερα) το άνω υποπλάτιο νεύρο, το θωρακοραχιαίο νεύρο, και το κάτω υποπλάτιο νεύρο.

### **β) Έξω δευτερεύον στέλεχος**

Το έξω δευτερεύον στέλεχος δημιουργείται από την συμβολή των προσθίων υποδιαίρέσεων του ανώτερου και μέσου πρωτεύοντος στελέχους. Πορεύεται επιφανειακά και επί τα εκτός του δευτέρου τμήματος της μασχαλιαίας αρτηρίας και δίνει τρία νεύρα: το έξω θωρακικό νεύρο, την συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο (το επονομαζόμενο «αισθητικό» τμήμα), και το μυοδερματικό νεύρο.

Το **έξω θωρακικό νεύρο** μπορεί να εκφύεται ως μια μοναδική ρίζα από το έξω δευτερεύον στέλεχος ή πιο συχνά με πολλαπλές ρίζες από τους πρόσθιους κλάδους του

ανώτερου και μέσου πρωτεύοντος στελέχους.<sup>(1)</sup> Το νεύρο περιλαμβάνει ίνες από τις A5, A6 και A7 ρίζες. Εξέρχεται από το έξω δευτερεύον στέλεχος επί τα εκτός του πρώτου τμήματος της μασχαλιαίας αρτηρίας, διέρχεται μπροστά από την αρτηρία, και σε ορισμένες περιπτώσεις, διαθέτει μια αγκύλη συνδέσεως με το έσω θωρακικό νεύρο. Στη συνέχεια διαπερνά την κλειδοθωρακική περιτονία και διαχωρίζεται στην εν τω βάθει επιφάνεια του μείζονος θωρακικού μυός για να δώσει νευρώση στην κλειδική κεφαλή του μυός.

Η **συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο** (μεταφέροντας ίνες από τις A5-A7 ρίζες) κατέρχεται κατά μήκος της έξω πλευράς της μασχαλιαίας αρτηρίας για να ενωθεί με τη συνεισφορά του έσω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο μπροστά από το τρίτο τμήμα της μασχαλιαίας αρτηρίας ή στο εγγύς τμήμα του ανώτερου βραχίονα. Η συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο μπορεί να είναι υπολειμματική, οπότε σε αυτή την περίπτωση το μυοδερματικό νεύρο δίνει ένα κλάδο προς το μέσο νεύρο στο εγγύς τμήμα του βραχίονα.<sup>(3)</sup>

Το **μυοδερματικό νεύρο** (ο τελικός κλάδος του έξω δευτερεύοντος στελέχους) και η συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους για το μέσο νεύρο διαχωρίζονται στο έξω όριο του ελάσσονος θωρακικού μυός. Το μυοδερματικό νεύρο περιέχει ίνες από τις ρίζες A4, A5, και A6. Αναδύεται ανάμεσα στη μασχαλιαία αρτηρία και τον κορακοβραχιόνιο μυ.

Το νεύρο για τον κορακοβραχιόνιο μυ, προερχόμενο από την A6 και A7 ρίζα, συνήθως ενσωματώνεται με το μυοδερματικό νεύρο. Εναλλακτικά, ο κορακοβραχιόνιος μυς μπορεί να νευρώνεται από ξεχωριστούς κλάδους από το έξω δευτερεύον στέλεχος ή την A7 ρίζα. Το μυοδερματικό νεύρο διαπερνά και πορεύεται προς τα κάτω και έξω ανάμεσα στο δικέφαλο και τον πρόσθιο βραχιόνιο μυ, νευρώνοντας και τους δύο. Παρέχει έναν αρθρικό κλάδο για την άρθρωση του αγκώνα, διαπερνά την εν τω βάθει περιτονία μπροστά από τον πρόσθιο αγκώνα ανάμεσα στο δικέφαλο και τον βραχιονοκερκιδικό και καταλήγει ως το έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου. Επιπρόσθετα, το μυοδερματικό νεύρο επίσης παρέχει έναν ενδομυελικό κλάδο προς το βραχιόνιο οστό, έναν περιοστικό κλάδο προς το περιφερικό άκρο του βραχιονίου οστού και έναν κλάδο για τη βραχιόνια αρτηρία.

### **γ) Έσω δευτερεύον στέλεχος**

Το έσω δευτερεύον στέλεχος σχηματίζεται από την πρόσθια υποδιαίρεση του κατώτερου πρωτεύοντος στελέχους. Αναδύεται ανάμεσα από τη μασχαλιαία αρτηρία και φλέβα και κατέρχεται επί τα εντός της αρτηρίας, όπου δίνει το έσω θωρακικό νεύρο, το έσω δερματικό νεύρο του βραχίονα, το έσω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου, την συνεισφορά του έσω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο (το επονομαζόμενο «κινητικό» τμήμα), και το ωλένιο νεύρο.

Το **έσω θωρακικό νεύρο** αναδύεται από το έσω δευτερεύον στέλεχος του βραχιονίου πλέγματος αμέσως μετά το σχηματισμό του. Το νεύρο περιέχει ίνες από τις A8 και Θ1 ρίζες. Αφήνει το έσω δευτερεύον στέλεχος πίσω από τη μασχαλιαία αρτηρία και πορεύεται μπροστά ανάμεσα από την αρτηρία και τη φλέβα, όπου μερικές φορές δημιουργεί μια αγκύλη επικοινωνίας με το έξω θωρακικό νεύρο. Εισέρχεται στην εν τω βάθει επιφάνεια του ελάσσονος θωρακικού μυός, δίνοντας κλάδους, και νευρώνει τον ελάσσονα και μείζονα θωρακικό μυ (στερνική κεφαλή).

Το **έσω δερματικό νεύρο του βραχιονίου** αναδύεται από το έσω δευτερεύον στέλεχος του βραχιονίου πλέγματος και από το Θ1 νεύρο. Το νεύρο περιέχει ίνες από τις A8 και Θ1 ρίζες. Αφήνει το έσω δευτερεύον στέλεχος στο κατώτερο όριο του ελάσσονος θωρακικού μυός, κατέρχεται μέσα στην μασχάλη ανάμεσα στη μασχαλιαία αρτηρία και φλέβα, και συνεχίζει επί τα εντός της βραχιόνιας αρτηρίας και της βασιλικής φλέβας στον ανώτερο βραχίονα. Διαπερνά την εν τω βάθει περιτονία στο επίπεδο της μεσότητας του βραχιονίου

για να παρέχει νεύρωση στο δέρμα και την περιτονία του εγγύς μισού του ανωτέρου βραχίονα στην έσω πλευρά του. Το νεύρο ποικίλει σε μέγεθος. Μπορεί να είναι απών, οπότε αντικαθίσταται από κλάδους του βραχιονομεσοπλευρίου νεύρου ή από κλάδους από το οπίσθιο δερματικό κλάδο του κερκιδικού νεύρου.<sup>(4)</sup>

Το **έσω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου** αναδύεται από το έσω δευτερεύον στέλεχος του βραχιονίου πλέγματος ή από το κατώτερο πρωτεύον στέλεχος. Περιέχει ίνες από τις ρίζες Α8 και Θ1. Αναδύεται πάνω ή κάτω από το έσω δερματικό νεύρο του βραχίονα, στη συνέχεια περνά ανάμεσα από τη μασχαλιαία αρτηρία και φλέβα προς το βραχίονα. Στο εγγύς μισό του βραχίονα, βρίσκεται επιφανειακά από την βραχιόνιο αρτηρία. Γίνεται υποδόριο διαπερνώντας την εν τω βάθει περιτονία του μέσου τμήματος του βραχίονα στην έσω πλευρά του, συνοδεύοντας τη βασική φλέβα κατά μήκος του περιφερικού μισού. Διαιρείται στο πρόσθιο τμήμα του αγκώνα σε δύο τελικούς κλάδους, παρέχοντας νεύρωση στο δέρμα κατά μήκος της πρόσθιας επιφάνειας του βραχίονα και του προσθίου-έσω τμήματος του αντιβραχίου.<sup>(5)</sup>

Η **συνεισφορά του έσω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο**, που περιέχει ίνες από τις Α8 και Θ1, διασχίζει προσθίως του τελικού τμήματος της μασχαλιαίας αρτηρίας για να ενωθεί με τη συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο στο εγγύς τμήμα του ανωτέρου βραχίονα.<sup>(1)</sup> Το μέσο νεύρο επομένως λαμβάνει ίνες από όλες τις αυχενικές και θωρακικές νευρικές ρίζες που σχηματίζουν το βραχιόνιο πλέγμα. Το μέσο νεύρο κατέρχεται δια της μασχάλης κατά μήκος της πρόσθιας έξω πλευράς της βραχίονας αρτηρίας και διασχίζει προς την έσω επιφάνεια του μέσου τμήματος του βραχίονα. Στον αγκώνα, βρίσκεται πίσω από την απονεύρωση του δικεφάλου και την έσω φλέβα του αγκώνα. Περνά στο αντιβράχιο ανάμεσα από τις δύο κεφαλές του στρογγυλού πρηνιστή μυός.

Το **ωλένιο νεύρο**, ο κύριος τελικός κλάδος του έσω δευτερεύοντος στελέχους, περιέχει ίνες από τις ρίζες Α8 και Θ1. Σε περισσότερες από τις μισές περιπτώσεις, λαμβάνει μια συμμετοχή από είτε το έξω δευτερεύον στέλεχος είτε από τη συνεισφορά του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο (την Α7 ρίζα).<sup>(4)</sup> Αναδύεται βαθιά ανάμεσα στη μασχαλιαία αρτηρία και φλέβα, περνά μπροστά από τον μείζονα στρογγύλο και τον πλατύ ραχιαίο μυ, και στη συνέχεια κατέρχεται επί τα εντός της βραχιόνιας αρτηρίας μπροστά από τον τρικέφαλο μυ στο εγγύς μισό του βραχίονα. Στο περιφερικό μισό του βραχίονα, διέρχεται το έσω μεσομύιο διάφραγμα και κατέρχεται μπροστά από την έσω κεφαλή του τρικεφάλου, συνοδεύοντας την ωλένια αρτηρία προς την αύλακα του ωλενίου νεύρου στην έσω πλευρά του έσω κονδύλου του βραχιονίου οστού. Εισέρχεται στο αντιβράχιο ανάμεσα στην βραχιόνιο και ωλένια έκφυση του ωλενίου καμπήρα τον καρπό.

#### **δ)Ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος**

Το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος σχηματίζεται από τις οπίσθιες υποδιαίρεσεις και των 3 πρωτεύοντων στελεχών. Περιλαμβάνει ίνες από τις Α5 έως Θ1 ρίζες, ωστόσο, η συμμετοχή από την Θ1 ρίζα είναι συχνά αμελητέα.<sup>(1)</sup> Η συμμετοχή από κάθε πρωτεύον στέλεχος στο ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος δεν είναι ισόποση. Η οπίσθια υποδιαίρεση του ανώτερου πρωτεύοντος στελέχους είναι σχετικά μεγάλη, υποδηλώνοντας μία μείζονα συμμετοχή από τις Α5 και Α6 ρίζες, ιδίως προς το μασχαλιαίο νεύρο. Η οπίσθια υποδιαίρεση του μέσου πρωτεύοντος στελέχους είναι μεγαλύτερη από ότι η πρόσθια υποδιαίρεση, υποδηλώνοντας μία σημαντική συμμετοχή από την Α7 ρίζα προς το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος, ιδίως προς το κερκιδικό νεύρο. Η οπίσθια υποδιαίρεση του κατώτερου πρωτεύοντος στελέχους είναι συνήθως μικρή, υποδηλώνοντας μία ασήμαντη συμμετοχή από τις Α8 και Θ1 ρίζες προς το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος. Το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος ξεκινά ανώτερα κι επί τα



εκτός της μασχαλιαίας αρτηρίας και περνά πίσω από αυτή. Από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος αναδύονται τα δύο υποπλάτια νεύρα, το θωρακοραχιαίο νεύρο, το μασχαλιαίο νεύρο, και το κερκιδικό νεύρο.

Από τα δύο υποπλάτια νεύρα, ανώτερο και κατώτερο, το **ανώτερο υποπλάτιο νεύρο** συχνά έχει δύο ή τρεις κλάδους. Περιλαμβάνει ίνες από την A5 και A6 ρίζα. Αναδύεται από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος του πλέγματος πίσω από την μασχαλιαία αρτηρία και περνά δια της υποπλάτιας περιτονίας, όπου διαιρείται, νευρώνοντας το ανώτερο τμήμα του υποπλάτιου μυός. Το **κατώτερο υποπλάτιο νεύρο** περιλαμβάνει ίνες από την A5 και A6 ρίζα. Αναδύεται από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος πίσω από τη μασχαλιαία αρτηρία ή, συχνά, άμεσα από το μασχαλιαίο νεύρο. Περνά προς τα κάτω και πίσω από τη μασχαλιαία φλέβα και τα υποπλάτια αγγεία προς το κατώτερο όριο του υποπλάτιου μυός. Διαιρείται σε δύο κλάδους, που νευρώνουν το κατώτερο τμήμα του υποπλάτιου και του μείζονος στρογγυλού μυός.

Το **θωρακοραχιαίο νεύρο** συνήθως αναδύεται από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος ανάμεσα στο ανώτερο και κατώτερο υποπλάτιο νεύρο. Μερικές φορές, αναδύεται από το κερκιδικό, μασχαλιαίο, ή υποπλάτια νεύρα. Περιλαμβάνει ίνες από τις A6, A7 και A8 ρίζες ή από την A7 ρίζα μόνον.<sup>(1)</sup> Πορεύεται προς τα κάτω και έξω, πίσω από τη μασχαλιαία αρτηρία ανάμεσα στα υποπλάτια νεύρα. Συνοδεύει την υποπλάτια αρτηρία κατά μήκος του οπίσθιου τοιχώματος της μασχάλης και νευρώνει τον πλατύ ραχιαίο μυ στην κοιλιακή (εν τω βάθει) επιφάνειά του.

Το **μασχαλιαίο νεύρο** είναι τελικός κλάδος του ραχιαίου δευτερεύοντος στελέχους. Μερικές φορές, αναδύεται από τον οπίσθιο κλάδο του ανωτέρου ή του ανωτέρου και μέσου πρωτεύοντος στελέχους. Περιλαμβάνει ίνες από την A5 και A6 ρίζα. Αναδύεται από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος στο κατώτερο όριο του υποπλάτιου μυός πίσω από τη μασχαλιαία αρτηρία. Αφήνει τη μασχάλη πορευόμενο προς τα πίσω, συνοδεύοντας την οπίσθια παλίνδρομη βραχιόνιο αρτηρία δίπλα στο κατώτερο όριο του αρθρικού θυλάκου του ώμου. Περνά δια του τετράπλευρου διαστήματος, οριοθετούμενου από το βραχιόνιο οστό και τον υποπλάτιο, τρικέφαλο (μακρά κεφαλή), και μείζονα στρογγύλο μυ, και διαιρείται σε πρόσθιο και οπίσθιο κλάδο. Ο πρόσθιος κλάδος κυκλώνει το χειρουργικό αυχένα του βραχιονίου μαζί με τα οπίσθια παλίνδρομα βραχιόνια αγγεία από την έσω προς την έξω μεριά. Πορεύεται εν τω βάθει του πρόσθιου ορίου του δελτοειδούς, όπου διαιρείται, στέλνοντας μυϊκούς κλάδους στο μυ και μικρούς δερματικούς κλάδους στο υπερκείμενο δέρμα. Ο οπίσθιος κλάδος παρέχει νευρώση στον ελάσσονα στρογγύλο και στο οπίσθιο τμήμα του δελτοειδούς μυός. Πορεύεται γύρω από το οπίσθιο όριο του δελτοειδούς μυός, στη συνέχεια διαπερνά την εν τω βάθει περιτονία με κατεύθυνση προς το δέρμα, πάνω από το ανώτερο-έξω τμήμα του βραχίονα ώστε να γίνει το ανώτερο έξω δερματικό νεύρο του βραχίονα.

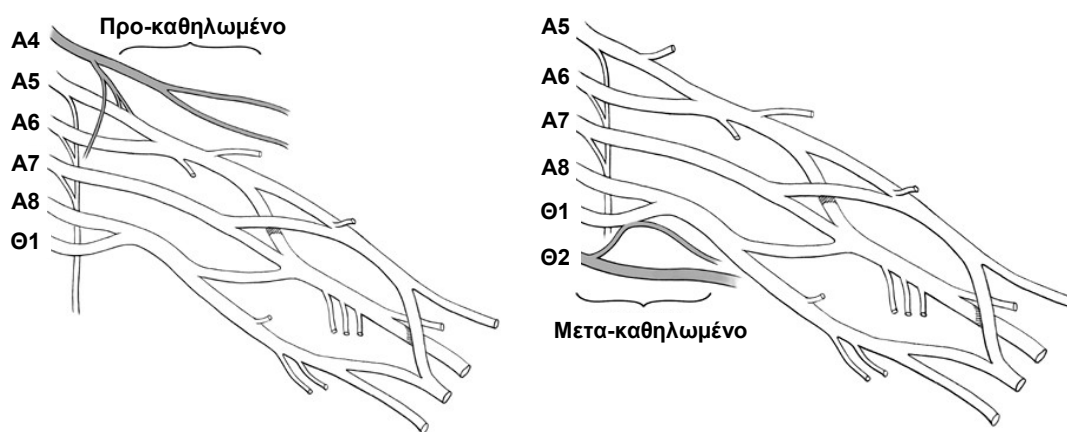
Το **κερκιδικό νεύρο** είναι ο μεγαλύτερος τελικός κλάδος του βραχιονίου πλέγματος και αναδύεται από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος ή τον οπίσθιο κλάδο του ανωτέρου ή του ανωτέρου και μέσου πρωτεύοντος στελέχους. Περιλαμβάνει ίνες από όλες τις ρίζες που δημιουργούν το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος, την A5 έως Θ1 ρίζα, αλλά η συμμετοχή από την A5 και Θ1 ρίζα δεν είναι σταθερή.<sup>(4)</sup> Το κερκιδικό νεύρο διαχωρίζεται από το μασχαλιαίο νεύρο πίσω από τον ελάσσονα θωρακικό μυ. Στη μασχάλη, βρίσκεται πίσω από το τρίτο τμήμα της μασχαλιαίας αρτηρίας και μπροστά από τον υποπλάτιο, μείζονα στρογγύλο, και πλατύ ραχιαίο μυ. Ο κλάδος για το οπίσθιο δερματικό νεύρο αναδύεται από το κερκιδικό νεύρο στη μασχάλη και νευρώνει το δέρμα του οπίσθιου βραχίονα. Το κερκιδικό νεύρο εκτείνεται από τη μασχάλη και γύρω από το πίσω μέρος του βραχιονίου οστού. Στο βραχίονα, αρχικά βρίσκεται στην έσω πλευρά του βραχιονίου οστού πίσω από την βραχιόνιο αρτηρία μπροστά από την μακρά κεφαλή του τρικέφαλου. Συναντά την εν τω βάθει βραχιόνιο

αρτηρία και περνά ανάμεσα στη μακρά και έσω κεφαλή του τρικέφαλου προς την αύλακα του κερκιδικού. Πορεύεται προς τα κάτω και έξω στην αύλακα και γύρω από το πίσω μέρος του βραχιονίου οστού. Διαπερνά το εγγύς τμήμα του έξω μεσομύιου διαφράγματος και περνά μπροστά από τον έξω επικόνδυλο του βραχιονίου, όπου βρίσκεται ανάμεσα στον βραχιονοκερκιδικό και πρόσθιο βραχιόνιο μυ. Κάτω από το βραχιονοκερκιδικό μυ, διαιρείται σε δύο τελικούς κλάδους, το οπίσθιο μεσόστεο νεύρο (εν τω βάθει κλάδος) και το επιπολής κερκιδικό νεύρο (επιφανειακός κλάδος), τα οποία συνεχίζουν στο αντιβράχιο.

## II) Συχνές παραλλαγές του βραχιονίου πλέγματος

Συνολικά παραλλαγές του βραχιονίου πλέγματος έχουν αναφερθεί σε περισσότερο από 50% των περιπτώσεων, εκ των οποίων οι πιο συχνές σχετίζονται με παραλλαγές στις συνεισφορές των A4 και Θ2 ριζών.<sup>(6)</sup> Αυτές οι συνεισφορές κυμαίνονται από πολύ μικρές έως σημαντικού μεγέθους. Εκτιμάται ότι η A4 ρίζα δίνει ένα κλάδο στην A5 ρίζα στο 28% έως 62% των ασθενών βασιζόμενοι σε ανατομικές παρασκευές του βραχιονίου πλέγματος σε πτώματα.<sup>(1,7,8)</sup> Η δεύτερη θωρακική ρίζα (Θ2) επίσης συμβάλει απευθείας στο πλέγμα μέσω διαθωρακικών προ-πλευρικών επικοινωνιών με τη Θ1 ρίζα στο 16% έως 73% των ανατομικών παρασκευασμάτων.<sup>(1,7,9,10)</sup> Ξέχωρα από αυτή την σύνδεση, η Θ2 ρίζα πάντα συμβάλει στην νεύρωση του βραχίονα διαμέσου του βραχιονομεσοπλευρίου νεύρου: το δεύτερο (και συχνά το τρίτο) μεσοπλευρίο νεύρο χορηγεί τον πλάγιο διατιτρόντα κλάδο του προς το βραχίονα, όπου αναστομώνεται με το έσω δερματικό του βραχίονα και σχηματίζουν το βραχιονομεσοπλευρίο νεύρο.

Ο όρος προ-καθηλωμένο πλέγμα (prefixed plexus) αναφέρεται σε μία υψηλότερη θέση του πλέγματος σχετικά με τη σπονδυλική στήλη. Σε αυτή την κατάσταση, υπάρχει μια σημαντική συνεισφορά προερχόμενη από την A4 ρίζα και μια ασήμαντη συνεισφορά προερχόμενη από τη Θ1 και Θ2 ρίζα (εικ. 6A). Από την άλλη πλευρά, ένα μετα-καθηλωμένο πλέγμα (postfixed plexus), έχει μία σχετικά μεγάλη συνεισφορά από τη Θ1 ρίζα, ένα κλάδο από τη Θ2 ρίζα, μία μικρή συνεισφορά από την A5 ρίζα και καμιά συνεισφορά από την A4 ρίζα (εικ. 6B).<sup>(2)</sup> Οι ανατόμοι αναφέρουν ότι 22% των πλεγμάτων είναι προ-καθηλωμένα και μόλις 1% είναι μετα-καθηλωμένα.<sup>(11)</sup>



**Εικόνα 6. Α]** Όταν υπάρχει σημαντική συνεισφορά στο βραχιόνιο πλέγμα από την A4 ρίζα, χρησιμοποιείται ο όρος προ-καθηλωμένο πλέγμα (prefixed plexus). **Β]** Όταν υπάρχει συνεισφορά στο βραχιόνιο πλέγμα από την Θ2 ρίζα, χρησιμοποιείται ο όρος μετα-καθηλωμένο πλέγμα (postfixed plexus).

Παραλλαγές στο επίπεδο των πρωτευόντων στελεχών είναι σχετικά ασυνήθης.

Περίπου το 90% των ανωτέρων πρωτευόντων στελεχών σχηματίζονται από την συμβολή της A5 και A6 ρίζας, ενώ σε άλλα 8%, το ανώτερο πρωτεύον στέλεχος δεν υπάρχει: η A5 και η A6 άμεσα διαχωρίζονται σε υποδιαιρέσεις.<sup>(1)</sup> Στο υπόλοιπο 2% των ανωτέρων πρωτευόντων στελεχών, η A7 ενώνεται με την A5 και A6 ρίζα, και στη συνέχεια διαιρούνται σε δύο τμήματα.

Το μέσο πρωτεύον στέλεχος, το οποίο είναι η συνέχεια της A7 ρίζας, αποτελεί το φυσιολογικό εύρημα σε 93,7% των περιπτώσεων, ενώ σε 3% των περιπτώσεων το μέσο πρωτεύον στέλεχος διαιρείται σε δύο πρόσθιες υποδιαιρέσεις και μία οπίσθια υποδιάρθρωση.

Το κατώτερο πρωτεύον στέλεχος δημιουργείται από την συνένωση της A8 και Θ1 ρίζας στο 95,4% των περιπτώσεων.<sup>(1)</sup>

Μία συχνή παραλλαγή του έξω δευτερεύοντος στελέχους είναι να συνεισφέρει στο ωλένιο νεύρο, και αυτή η παραλλαγή έχει αναφερθεί να συμβαίνει έως 42,9% των περιπτώσεων.<sup>(1)</sup> Μια άλλη συχνή παραλλαγή είναι το μέγεθος της συμμετοχής του έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο: όταν είναι μικρή, υπάρχει συχνά μια επικοινωνία του μυοδερματικού νεύρου προς το μέσο νεύρο στο βραχίονα.

Η ανατομία του έσω δευτερεύοντος στελέχους είναι σχετικά σταθερή: έχει βρεθεί να δέχεται συνεισφορές από την A8 και Θ1 ρίζα στο 94,6% των περιπτώσεων και έχουν αναφερθεί μόνον ελάχιστες παραλλαγές.

Το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος έχει αναφερθεί να απουσιάζει στο 20,8% των πτωματικών δειγμάτων. Σε αυτά τα δείγματα, το κερκιδικό και μασχαλιαίο νεύρο αναδύονται ξεχωριστά από το βραχιόνιο πλέγμα.

Παραλλαγές στους τελικούς κλάδους είναι συνήθεις. Οι πιο συχνές παραλλαγές είναι οι ακόλουθες:

Το υπερπλάτιο νεύρο έχει βρεθεί να προέρχεται από το ανώτερο πρωτεύον στέλεχος ή την πρόσθια ή οπίσθια υποδιάρθρωση του σε περισσότερο από το 82% των δειγμάτων.<sup>(1)</sup> Περιστασιακά, η A4 μπορεί να συνεισφέρει άμεσα στο υπερπλάτιο νεύρο. Μπορεί επίσης να είναι ο τελικός κλάδος της A5 ρίζας με μία μικρή συμμετοχή της A6.<sup>(12)</sup>

Το μυοδερματικό νεύρο συχνά σχετίζεται με παραλλαγές. Οι Kaplan και Spinner<sup>(3)</sup> παρατήρησαν ότι αυτό το νεύρο μπορεί να φαίνεται απών εξαιτίας ενός «διπλού μυοδερματικού νεύρου» ή ενός συνδυασμένου μέσου/μυοδερματικού νεύρου. Στο 24% των περιπτώσεων, υπήρχαν ίνες της A7 στο μυοδερματικό νεύρο, και αυτές οι ίνες περνούσαν δια μίας επικοινωνίας του μυοδερματικού νεύρου προς το μέσο νεύρο.<sup>(3)</sup> Μία χαμηλή έκφυση του μυοδερματικού νεύρου από το έξω δευτερεύον στέλεχος μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στο χειρουργό, ιδίως εάν αυτός χρησιμοποιεί μία μικρή υποκλείδια τομή και δεν αναγνωρίσει αυτό το νευρικό κλάδο εντός του χειρουργικού του πεδίου.

Το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος, με τους τελικούς του κλάδους, το μασχαλιαίο και κερκιδικό νεύρο, επίσης συχνά υπόκεινται σε παραλλαγές.

Το κερκιδικό νεύρο εκφύεται από το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος στην κλασική του θέση σε 79% των περιπτώσεων.<sup>(1)</sup> Οι παραλλαγές συμπεριλαμβάνουν την έκφυση του κερκιδικού νεύρου από την οπίσθια υποδιάρθρωση του ανώτερου και μέσου πρωτευόντος στελέχους.

Το μασχαλιαίο νεύρο εκφύεται στην κλασική του θέση στο 79,9% των περιπτώσεων αλλά μπορεί επίσης να εκφύεται άμεσα από τις υποδιαιρέσεις του ανώτερου και μέσου πρωτευόντος στελέχους.<sup>(1)</sup>

Η μασχαλιαία αρτηρία και οι σχέσεις της προς τα τμήματα του βραχιονίου πλέγματος μπορεί επίσης να υπόκεινται σε παραλλαγές. Τυπικά, στο επίπεδο της κορακοειδούς, τα τρία δευτερεύοντα στελέχη ονομάζονται σε σχέση με την ανατομική τους σχέση ως προς την

μασχαλιαία αρτηρία: έξω, έσω, και οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος (εικ. 5). Περιστασιακά, ένας μεγάλος επιπολής κλάδος της μασχαλιαίας αρτηρίας αναδύεται ανάμεσα στην συνεισφορά του έσω και έξω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο για να πορευθεί στο βραχιόνα ως επιπολής κερκιδική, ωλένια, βραχιόνιο, ή μέση αρτηρία. Επιπρόσθετα αυτής της παραλλαγής, ο Miller<sup>(13)</sup> ανέφερε διάφορες αγγειακές ανώμαλες σχέσεις (οι οποίες συνέβαιναν σε 8 από 480 δείγματα) όπου το μέσο νεύρο διαπερνόταν και διαχωριζόταν από ένα κλάδο της μασχαλιαίας αρτηρίας κάτω από την σύγκλιση των συνεισφορών του έσω και έξω δευτερεύοντος στελέχους. Συνολικά, ο συγγραφέας ανέφερε 8% αρτηριακές και 4% φλεβικές παραλλαγές που σχετίζονταν με το βραχιόνιο πλέγμα.

### III) Παθολογική ανατομία

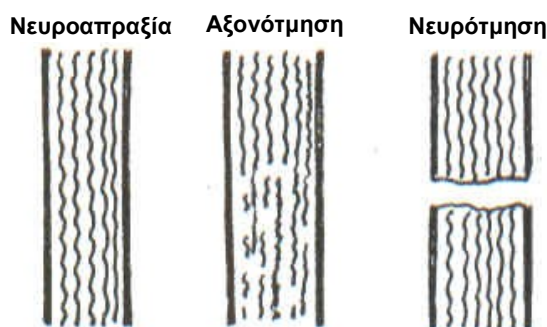
#### α) Τύποι νευρικής βλάβης

Για να κατανοηθούν οι απαιτήσεις για χειρουργείο, είναι απαραίτητο να γίνει ανασκόπηση των τύπων της νευρικής βλάβης.

Μετά από διατομή ενός περιφερικού νεύρου, το περιφερικό τμήμα υφίσταται Βαλεριανή εκφύλιση (καταβολισμός του αξονοπλάσματος και της μυελίνης και απομάκρυνσή τους από φαγοκύτταρα). Τα υπάρχοντα κύτταρα Schwann που παράγουν μυελίνη πολλαπλασιάζονται και αθροίζονται στην βασική μεμβράνη. Αυτός ο περιφερικός σωλήνας λαμβάνει τους εκβλαστώνοντες νευράξονες. Το κυτταρικό σώμα του νεύρου διογκώνεται, και ο ρυθμός παραγωγής της δομικής πρωτεΐνης αυξάνει. Υπάρχουν πολλαπλές εκβλαστήσεις από κάθε εγγύς νευράξονα, οι οποίες συνδέονται στο περιφερικό κολόβωμα και μετακινούνται με ένα ρυθμό ένα χιλιοστό την ημέρα. Η ειδικότητα των αναγεννώμενων νευραξόνων εξαρτάται από την εξάλειψη των λανθασμένως μεταναστευόντων κινητικών νευραξόνων μετά την αρχική τυχαία αναγέννηση κατά μήκος τόσο του κινητικού όσο και του αισθητικού μονοπατιού. Νευρικοί αυξητικοί παράγοντες θεωρείται ότι επηρεάζουν το ρυθμό της νευρικής αναγέννησης αλλά όχι της ειδικότητάς.

Ιστορικά, οι νευρικές βλάβες έχουν περιγραφεί χρησιμοποιώντας το σχήμα ταξινόμησης του Seddon και του Sunderland.

Το αρχικό σχήμα ταξινόμησης του Seddon<sup>(14)</sup> περιέγραφε 3 πιθανότητες για ένα δυσλειτουργικό νεύρο: νευροαπραξία, αξονότμηση, ή νευρότμηση (εικ. 7).



**Εικόνα 7.** Το αρχικό σχήμα ταξινόμησης του Seddon περιέγραφε 3 πιθανότητες για ένα δυσλειτουργικό νεύρο: νευροαπραξία, αξονότμηση, ή νευρότμηση

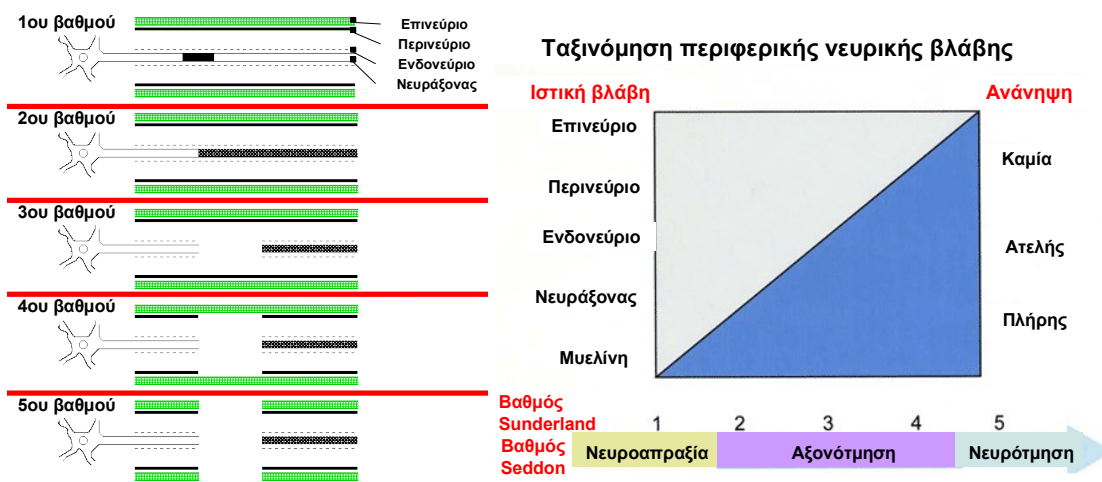
Η νευροαπραξία παρουσιάζεται όταν υπάρχει ένα εμπόδιο αγωγιμότητας στην περιοχή του τραυματισμού, αλλά δεν υπάρχει μακροσκοπική βλάβη στο νεύρο. Μπορεί να υπάρχει μία

απομυελινωτική βλάβη, αλλά δεν δημιουργείται Βαλλεριανή εκφύλιση περιφερικά της ζώνης τραυματισμού. Η πρόγνωση είναι εξαιρετική και μόλις το εμπόδιο αγωγιμότητας εξαλειφθεί, η νευρική λειτουργία προς το όργανο στόχο επανέρχεται σε φυσιολογικά επίπεδα. Ο χρόνος ανάνηψης μπορεί να κυμαίνεται από ώρες έως μήνες, ανάλογα με την έκταση και τη σοβαρότητα του τραυματισμού στο έλυτρο της μυελίνης. Η φυσική εξέταση δεν θα αποκαλύψει σημείο Tinel. Ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες θα δείξουν έλλειψη αγωγιμότητας κατά μήκος της περιοχής της βλάβης αλλά θα δείξουν φυσιολογική αγωγιμότητα περιφερικά της περιοχής της βλάβης. Το εύρημα αυτό είναι μοναδικό στην νευροαπραξία.<sup>(15)</sup>

Στη αξονότμηση, ο άξονας ή οι νευρικές ίνες έχουν υποστεί διατομή, αλλά το επινεύριο και το περινεύριο παραμένουν άθικτα. Βαλλεριανή εκφύλιση θα προκύψει περιφερικά του τραυματισμού, αλλά η αναγέννηση στο επιζών εγγύς κολόβωμα είναι ακόμη πιθανή και θα πρέπει να προκύψει με ένα ρυθμό 1 έως 4 χιλιοστά την ημέρα αναλόγως της σπουδαιότητας της βλάβης.<sup>(16)</sup>

Στη νευρότμηση, ολόκληρος ο νευρικός κορμός έχει υποστεί διατομή και η αξονική συνέχεια δεν μπορεί να αποκατασταθεί. Χωρίς χειρουργική παρέμβαση, αυτός ο τύπος βλάβης θα επουλωθεί σε ένα μη λειτουργικό νεύρωμα.

Το σχήμα ταξινόμησης του Sunderland είναι μία επέκταση της ταξινόμησης του Seddon σε πέντε κατηγορίες (εικ. 8) μετά την παρατήρηση ότι μερικοί ασθενείς με αξονότμηση ανένηψαν, ενώ άλλοι δεν ανένηψαν.<sup>(15,17)</sup> Αυτές οι καινούργιες κατηγορίες προστέθηκαν προκειμένου να περιγραφεί καλύτερα η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ενδονεύριο. Εάν το ενδονεύριο παραμένει άθικτο, το νεύρο έχει το δυναμικό να αναγεννηθεί προς το όργανο στόχο του.



**Εικόνα 8.** Το σχήμα ταξινόμησης του Sunderland είναι μία επέκταση της ταξινόμησης του Seddon σε πέντε κατηγορίες

Οι τραυματισμοί πρώτου βαθμού κατά Sunderland είναι οι ίδιοι με την νευροαπραξία του Seddon.

Ένας δευτέρου βαθμού τραυματισμός περιλαμβάνει διατομή του άξονα, αλλά η βασική μεμβράνη ή ενδονεύριο παραμένει άθικτο, το οποίο επιτρέπει την πιθανότητα ανάνηψης μετά την Βαλλεριανή εκφύλιση. Κατά την φυσική εξέταση θα διαπιστωθεί σημείο Tinel. Ο εξεταστής θα πρέπει να ξεκινήσει την επίκρουση περιφερικά της περιοχής τραυματισμού και να σημειώσει την πιο περιφερική επέκταση του σημείου Tinel. Αυτό το περιφερικό σημείο Tinel δεικνύει την περιοχή του αναγεννώμενου νευρικού κώνου. Η περιοχή του αρχικού τραύματος μπορεί να δείχνει ευαισθησία στην επίκρουση για αρκετούς μήνες, η οποία δεν θα

πρέπει να θεωρηθεί λανθασμένα ότι υποδηλώνει προωθούμενες νευρικές ίνες ή ένα μη λειτουργικό νεύρωμα χωρίς πρώτα να γίνει περιφερικός έλεγχος. Η ανάνηψη από δευτέρου βαθμού τραυματισμό θα πρέπει να είναι πλήρης εκτός και αν ο τραυματισμός είναι τόσο κοντά προς το όργανο στόχο ώστε μυϊκή ατροφία ή εκφύλιση της τελικής κινητικής πλάκας προκύψει εντός της περιόδου της νευρικής αναγέννησης.

Τρίτου βαθμού τραυματισμός περιλαμβάνει βλάβες στο ενδονεύριο με διατήρηση του περινεύριου. Με διάσπαση του ενδονεύριου, θα προκύψει σχηματισμός ουλής οπότε η πλήρης ανάνηψη δεν είναι πιθανή.

Τετάρτου βαθμού τραυματισμός περιλαμβάνει διατομή των δεσμίδων με διάσπαση του περινεύριου. Το νεύρο βρίσκεται σε συνέχεια αλλά ο σχηματισμός ουλής πιθανά αποτρέπει την αναγέννηση. Ένα σημείο Tinel μπορεί να είναι παρών στο σημείο του τραυματισμού αλλά δεν θα προχωρά περιφερικότερα συν το χρόνο.

Ένας τραυματισμός πέμπτου βαθμού προσδιορίζεται ως πλήρης διατομή του νεύρου και του επινεύριου και είναι ίδιος με την νευρότμηση του Seddon. Τα ευρήματα είναι παρόμοια με αυτά ενός τραυματισμού τετάρτου βαθμού. Δεν υπάρχει προώθηση του σημείου Tinel και δεν θα υπάρχει ένδειξη επανανεύρωσης στους ηλεκτροδιαγνωστικούς ελέγχους.

Ο Mackinnon<sup>(15)</sup> κατέστησε δημοφιλή έναν επιπρόσθετο τραυματισμό έκτου βαθμού, ο οποίος αναπαριστά ένα μικτό μοτίβο νευρικού τραυματισμού, το οποίο συμπεριλαμβάνει όλους τους βαθμούς τραυματισμού: νευροαπραξία, αξονότμηση, και νευρότμηση. Μερικές δεσμίδες εντός της ζώνης τραυματισμού μπορεί να ανανήψουν, ενώ άλλες δεν θα ανανήψουν. Αυτό το εύρημα περιπλέκει τη διάγνωση. Αυτό το μοτίβο τραυματισμού βρίσκεται συχνά σε περιπτώσεις ελκυσμού. Οι δυνάμεις ελκυσμού στο νεύρο αρχικά επιμηκύνουν το επινεύριο και το περινεύριο. Οι δεσμίδες στη συνέχεια διατείνονται, μειώνοντας την διατομή του νεύρου, το οποίο αυξάνει την ενδοδεσμιδική πίεση. Πριν την αξονική διατομή, το επινεύριο και το περινεύριο υφίστανται διατομή και διαχωρίζονται από το νεύρο. Οι άξονες τείνουν να υποστούν διατομή σε μία περιοχή αρκετών εκατοστών, με τις μεγαλύτερες δεσμίδες να σπάνε πρώτες.<sup>(16)</sup> Παράγονται μακρές περιοχές ίνωσης και ουλής, οι οποίες παρεμποδίζουν την αναγέννηση του νεύρου. Η επιτυχής επιδιόρθωση αυτών των τύπων τραυματισμού συχνά περιλαμβάνει διεγχειρητική ηλεκτρική νευρική διέγερση, προκειμένου να προσδιοριστεί ποιο τμήμα του νεύρου είναι ικανό για αυτόματη ανάνηψη και ποιο τμήμα του νεύρου θα χρειαστεί εκτομή, νευρικά μοσχεύματα, ή νευρομεταφορά. Στις περιπτώσεις αυτές, το οριστικό χειρουργείο συχνά αναβάλλεται έως τους 3 μήνες μέχρις ότου ο θεράπων μπορεί να προσδιορίσει το δυναμικό για νευρική ανάνηψη.

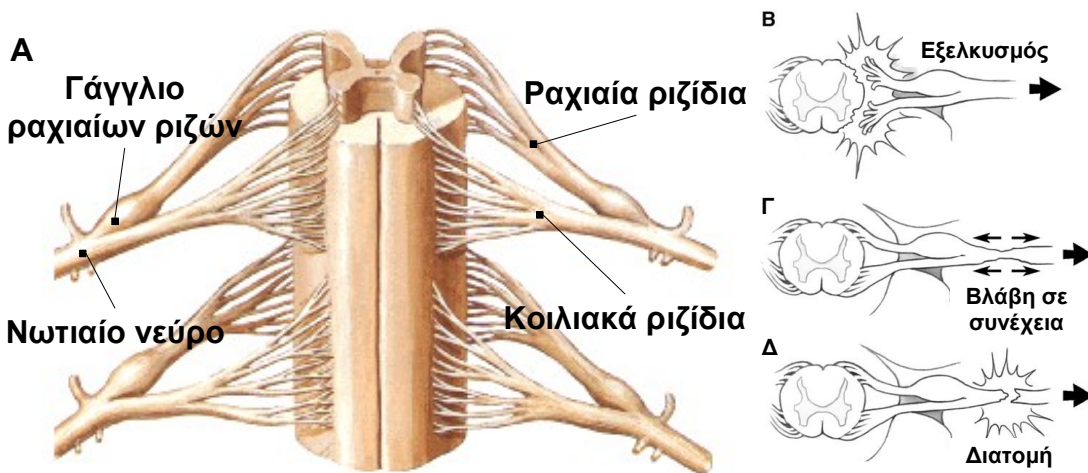
### ***β) Τοπογραφία νευρικής βλάβης***

Σε κάθε επίπεδο, κάθε ένα από τα νωτιαία νεύρα σχηματίζεται από την ένωση των ραχιαίων (αισθητικών) ριζιδίων και των κοιλιακών (κινητικών) ριζιδίων, τα οποία αναδύονται από το νωτιαίο μυελό και συγχωνεύονται στο νωτιαίο νεύρο καθώς περνούν δια των σπονδυλικών τρημάτων (εικ. 9A). Τα κυτταρικά σώματα των αισθητικών (ραχιαίων) νευρώνων βρίσκονται έξω από το νωτιαίο μυελό εντός των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών, ενώ τα κυτταρικά σώματα των κινητικών (κοιλιακών) νευρώνων βρίσκονται εντός του νωτιαίου μυελού.

Όταν ένας τραυματισμός προκαλεί διάσχιση των ριζιδίων από τον νωτιαίο μυελό εγγύτερα από τα γάγγλια των ραχιαίων ριζών, ο τραυματισμός ταξινομείται ως προγαγγλιακός ή εξελκυσμός ρίζας (εικ. 9B). Προγαγγλιακοί τραυματισμοί είναι δυνατόν να συμβούν κεντρικά, όπου το νεύρο διασχίζεται άμεσα από το νωτιαίο μυελό, ή περιφερικά (ενδομηνιγγική ρήξη), όπου ο τραυματισμός είναι εγγύς των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών αλλά υπολείμματα των ριζιδίων παραμένουν προσκολλημένα στο νωτιαίο μυελό. Σε

προγαγγλιακούς τραυματισμούς, έχει επέλθει διαχωρισμός των κινητικών νευρικών ινών από τα κυτταρικά σώματα στα κινητικά κύτταρα του προσθίου κέρατος. Ωστόσο οι αισθητικές ίνες και τα αισθητικά κυτταρικά σώματα εξακολουθούν να συνδέονται στα γάγγλια των ραχιαίων ριζών. Για το λόγο αυτό, τα αισθητικά νευρικά δυναμικά ενεργείας διατηρούνται σε ασθενείς με προγαγγλιακές βλάβες.

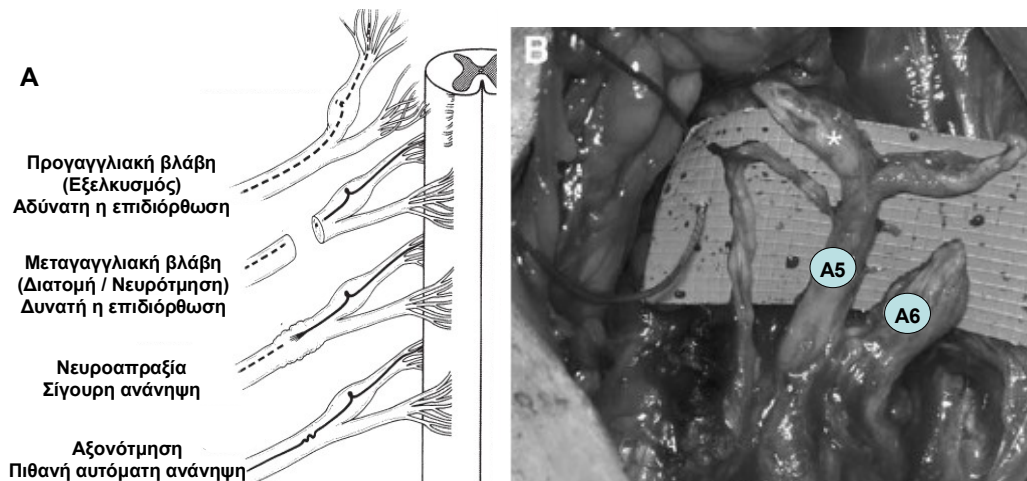
Όταν ένας τραυματισμός είναι περιφερικότερα των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών, καλείται μεταγαγγλιακός. Αυτός ο τύπος βλάβης μπορεί να προκαλέσει είτε διατομή της ρίζας (πλήρη διακοπή της συνέχειας) είτε διάταση (βλάβη σε συνέχεια που εξασθενεί και λεπταίνει τη ρίζα). Σε μεταγαγγλιακούς τραυματισμούς, τόσο τα κινητικά όσο και τα αισθητικά νευρικά κύτταρα έχουν υποστεί διατομή με αποτέλεσμα να υπάρχουν ανωμαλίες τόσο στα κινητικά όσο και στα αισθητικά νευρικά δυναμικά ενεργείας.<sup>(18)</sup>



**Εικόνα 9. Α].** Το νωτιαίο νεύρο δημιουργείται από τη συνεισφορά των ραχιαίων (αισθητικών) ριζιδίων και των κοιλιακών (κινητικών) ριζιδίων, τα οποία αναδύονται από το νωτιαίο μυελό και συγχωνεύονται στο νωτιαίο νεύρο καθώς εξέρχονται από το σπονδυλικό τμήμα. **Β].** Όταν προκαλείται τραυματισμός και τα ριζιδία διασχίζονται από τον νωτιαίο μυελό, η βλάβη ταξινομείται ως προγαγγλιακή, επειδή συμβαίνει εγγύτερα των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών. Αυτός ο τύπος τραυματισμού είναι επίσης γνωστός ως εξελκυσμός. **Γ & Δ].** Όταν η ρίζα τραυματίζεται (διάταση) ή χάνει τη συνέχεια της (διατομή) περιφερικότερα των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών, η βλάβη ταξινομείται ως μεταγαγγλιακή

Είναι φανερό ότι μεταγαγγλιακές βλάβες διατάσεως (σε συνέχεια) αντιστοιχούν σε βλάβες τύπου I κατά Sunderland, ενώ διαφόρου βαθμού διατομή αντιστοιχεί σε βλάβες τύπου II έως V κατά Sunderland. Οποιοδήποτε βαθμού βλάβη κατά Sunderland, καθώς και εξελκυσμός ρίζας (προγαγγλιακός τραυματισμός), μπορεί να προκληθεί στον ίδιο ασθενή (εικ. 10).





**Εικόνα 10. Α]** Μια σοβαρή βλάβη ελκυσμού στο βραχιόνιο πλέγμα, μπορεί να προκαλέσει νευρικές βλάβες ποικίλλουσας σοβαρότητας στο ίδιο πλέγμα. Αυτές περιλαμβάνουν εξελκυσμούς των νευρικών ριζών από το νωτιαίο μυελό (δεν μπορούν να επιδιορθωθούν), εξωτρηματική διατομή της ρίζας ή του πρωτεύοντος στελέχους (μπορεί να διορθωθεί χειρουργικά), και ενδονεύρια διατομή των δεσμίδων (κάποια αυτόματη νευρική ανάνηψη είναι δυνατή εντός μερικών εβδομάδων έως μερικά χρόνια ανάλογα με την απόσταση από το όργανο στόχο). **Β]** Κλινικό παράδειγμα μιας προαγγλιακής βλάβης (εξελκυσμός ρίζας) και μιας μετααγγλιακής βλάβης (διατομή ρίζας) στον ίδιο ασθενή. Η Α5 ρίζα έχει εξελκυστεί μαζί με τα ραχιαία και κοιλιακά της ριζίδια. Ο αστερίσκος δείχνει το γάγγλιο των ραχιαίων ριζών. Η Α6 ρίζα είναι κατώτερα και εμφανίζεται σε διατομή.

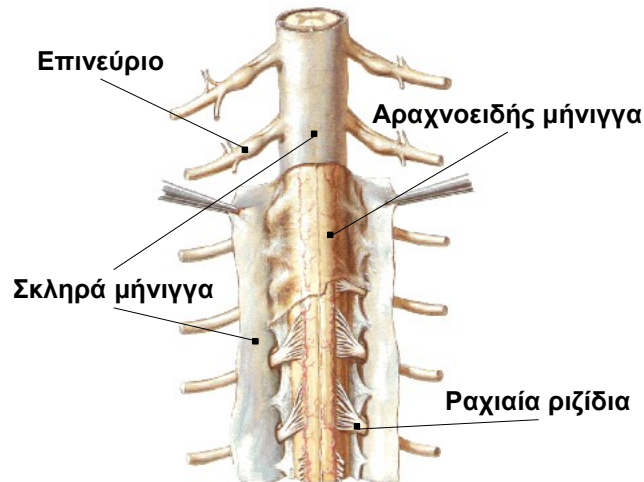
Οι συνέπειες που έχουν οι προαγγλιακοί έναντι των μετααγγλιακών τραυματισμών στην χειρουργική ανακατασκευή είναι τεράστιες. Για πρακτικούς λόγους, οι νευρικές συνδέσεις στους προαγγλιακούς τραυματισμούς δεν μπορούν να αποκατασταθούν, και για το λόγο αυτό εναλλακτικά νεύρα (π.χ. νευρομεταφορές) πρέπει να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να επανακινητοποιήσουν το τραυματισμένο άκρο. Μετααγγλιακές βλάβες μπορούν να αντιμετωπιστούν με άμεση χειρουργική επιδιόρθωση (νευροσυρραφή) ή τοποθέτηση παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων.

### γ) Ανατομικοί παράγοντες που επιδρούν στον τύπο της βλάβης

Η επιμέρους ανατομία των ριζιδίων, των νωτιαίων νεύρων και των νευρικών ελύτρων συνεισφέρει στον τύπο του τραυματισμού (προ έναντι μετααγγλιακού) που παρατηρείται.

Τα στρώματα των μηνίγγων βρίσκονται σε συνέχεια με τα νευρικά έλυτρα καθώς δημιουργούνται τα νωτιαία νεύρα (εικ. 11). Για παράδειγμα, η σκληρά μήνιγγα μετατρέπεται σε επινεύριο εντός του τρήματος και είναι σε συνέχεια με αυτό. Έτσι το εξωσπονδυλικό νεύρο έχει ένα προστατευτικό κάλυμμα εντός του τρήματος που δημιουργείται από την συγχώνευση της σκληράς μήνιγγας. Τόσο τα κοιλιακά όσο και τα ραχιαία ριζίδια που σχηματίζουν τα νωτιαία νεύρα είναι ενδοσπονδυλικά και στερούνται ελύτρου συνδετικού ιστού ή μήνιγγας. Αυτό το ανατομικό χαρακτηριστικό τα καθιστά ευπαθή σε ελκυσμό και επιρρεπή σε εξελκυσμό (απόσπαση) στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού. Σύμφωνα με τον Sunderland, τα κοιλιακά (κινητικά) ριζίδια είναι λεπτότερα και έχουν μικρότερη αντίσταση σε ελκυσμό από ότι τα ραχιαία (αισθητικά) ριζίδια. Για το λόγο αυτό, τα κοιλιακά ριζίδια είναι πιο επιρρεπή σε βλάβη ελκυσμού από ότι τα ραχιαία ριζίδια.





**Εικόνα 11.** Τα στρώματα των μηνίγγων βρίσκονται σε συνέχεια με τα νευρικά έλυτρα καθώς δημιουργούνται τα νωτιαία νεύρα. Τα ριζίδια είναι ενδοσπονδυλικά και στερούνται ελύτρου συνδετικού ιστού ή μήνιγγας.

Το νωτιαίο νεύρο μπορεί να κινείται ελεύθερα εντός του τμήματος επειδή δεν είναι προσκολλημένο σε αυτό. Οι ρίζες του βραχιονίου πλέγματος (οι πρόσθιοι κλάδοι των νωτιαίων νεύρων) κατέρχονται απότομα καθώς αναδύονται από τα αντίστοιχα τμήματα. Υπάρχουν ινώδεις προσκολλήσεις των Α4 έως Α7 ριζών στις εγκάρσιες σπονδυλικές αποφύσεις, οι οποίες προσκολλούν σταθερά τις ρίζες στις εγκάρσιες αποφύσεις με τη βοήθεια του επινεύριου ελύτρου, της προσπονδυλικής περιτονίας, και ινωδών προσφύσεων. Οι Α8 και Θ1 ρίζες δεν έχουν τέτοιες προσκολλήσεις συνδετικού ιστού. Αυτή η ανατομική διάταξη εξηγεί την υψηλότερη συχνότητα εξελκυσμού στις κατώτερες δύο ρίζες σε σύγκριση με τις ανώτερες τρεις ρίζες, οι οποίες υπόκεινται σε υψηλότερη συχνότητα εξωτρηματικών διατομών.<sup>(19, 20)</sup>



## **B) Αιτιολογία και ταξινόμηση τραυματισμών**

### **I) Αίτια τραυματισμού και δημογραφικά στοιχεία**

Οι τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος στον ενήλικα μπορούν να οφείλονται σε διάφορα αίτια, συμπεριλαμβανομένων των διατιτραίνοντων τραυμάτων, ιατρογενών τραυματισμών, πτώσεων και τροχαίων ατυχημάτων. Ωστόσο, η πλειονότητα των παραλύσεων του βραχιονίου πλέγματος είναι μετατραυματική και συνήθως προκαλείται από κλειστές κακώσεις συνεπεία τροχαίων ατυχημάτων υψηλής ταχύτητας. Βασιζόμενος σε εργασία σχεδόν δύο δεκαετιών με περισσότερους από 1000 ασθενείς με τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος, ο Narakas<sup>(21)</sup> δήλωσε ότι 70% των τραυματικών βλαβών του βραχιονίου πλέγματος οφείλεται σε τροχαία ατυχήματα και από αυτά, το 70% αφορούν μοτοσυκλέτες ή δίκυκλα. Επιπρόσθετα, 70% των δικυκλιστών θα έχουν και άλλους μείζονες τραυματισμούς.

Ο αριθμός των τραυματισμών του βραχιονίου πλέγματος που συμβαίνει κάθε χρόνο είναι δύσκολο να καθοριστεί. Ωστόσο, με την εφαρμογή προηγμένων τεχνικών ανάνηψης, που έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλότερη συχνότητα επιβίωσης μετά από τροχαία ατυχήματα υψηλής ταχύτητας, καθώς και με την έλευση περισσότερο ακραίων αθλητικών δραστηριοτήτων, ο αριθμός των σοβαρών τραυματισμών του βραχιονίου πλέγματος συνεχίζει να αυξάνεται σε αρκετά κέντρα σε όλο τον κόσμο.<sup>(22,23,24,25,26,27)</sup>

Η πλειονότητα αυτών των ασθενών είναι νέοι άρρενες, ηλικίας μεταξύ 15 και 25 ετών, που διανύουν την πιο παραγωγική περίοδο της ζωής τους.<sup>(27,28,29,30)</sup> Ο κοινωνικός και οικονομικός αντίκτυπος είναι σημαντικά υψηλός, καθώς μετά τον τραυματισμό, ο ασθενής αντιμετωπίζει μια μόνιμη ανικανότητα στο παράλυτο άκρο, που συνδυάζεται με έναν παρατεταμένο χρόνο ανάρρωσης. Πέραν της σημαντικής φυσικής ανικανότητας οι βλάβες του βραχιονίου πλέγματος συχνά οδηγούν σε θλίψη και ψυχολογική ταλαιπωρία με συνέπεια κοινωνικοοικονομική κακουχία.

### **II) Μηχανισμοί τραυματισμού**

Οι τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος μπορούν να προκληθούν από μία ευρεία ποικιλία καταστάσεων που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τους αιτιολογικούς μηχανισμούς ως ακολούθως (Πίνακας 1):

Πίνακας 1: Μηχανισμοί τραυματισμού βραχιονίου πλέγματος

<b>Κλειστοί τραυματισμοί</b>	Ελκυσμός
	Σύνθλιψη
	Συνδυασμένη βλάβη
<b>Ανοιχτοί τραυματισμοί</b>	Οξέα τέμνοντα όργανα
	Πυροβόλα όπλα
<b>Ακτινοβολία</b>	

#### **a) Κλειστοί τραυματισμοί**

Η περισσότερη παθολογία στους τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες οφείλεται σε κλειστό τραυματισμό. Ο συνήθως ευρισκόμενος αιτιολογικός

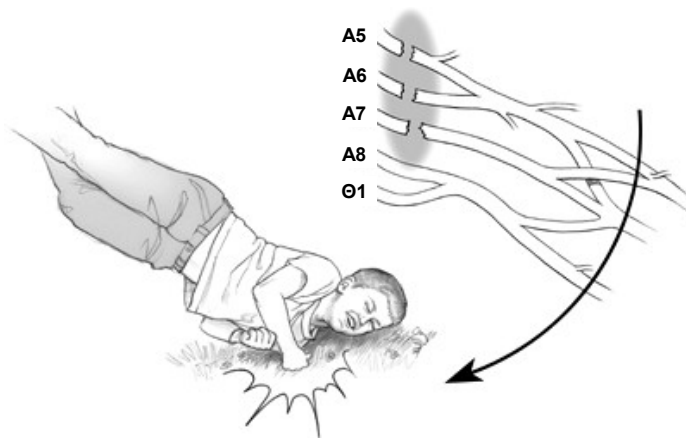
μηχανισμός νευρικής βλάβης είναι ο ελκυσμός και η σύνθλιψη. Σε μερικές περιπτώσεις, οι τραυματισμοί είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού ελκυσμού και σύνθλιψης. Προς το παρόν, ο ελκυσμός είναι ο πιο συχνά ευρισκόμενος μηχανισμός τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος. Στην πράξη όλες οι μαιευτικές και αρκετές τραυματικές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος οφείλονται σε ελκυσμό.<sup>(31)</sup> Σε μια σειρά τραυματισμών του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες, 95% των τραυματισμών οφείλονταν σε ελκυσμό.<sup>(32)</sup>

### **ι. Βλάβες ελκυσμού**

Οι βλάβες ελκυσμού είναι αποτέλεσμα ενός βίαιου διαχωρισμού ανάμεσα στον αυχένα και τον ώμο ή ανάμεσα στον βραχίονα και τον κορμό. Η παθολογία συμβαίνει ανάμεσα στα δύο σημεία όπου τα νεύρα είναι καθήλωμένα. Το εγγύς σημείο καθήλωσης είναι η συμβολή του νωτιαίου μυελού με τη νευρική ρίζα, και το περιφερικό σημείο είναι η νευρομυϊκή συμβολή.

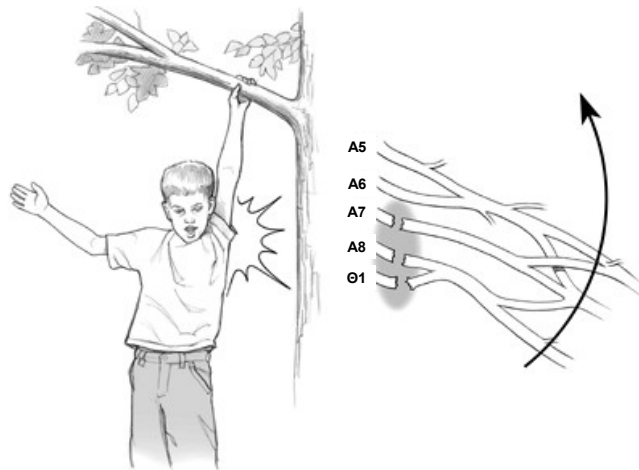
Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη σοβαρότητα της νευρικής βλάβης είναι η ενέργεια της πρόσκρουσης και η ταχύτητα εφαρμογής της δύναμης ελκυσμού, που σχετίζεται με το ποσό της ενέργειας που μεταδίδεται στο πλέγμα, και, σε μικρότερο βαθμό, η κατεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης και η σχέση του βραχίονα προς τον κορμό.<sup>(33)</sup> Μπορεί να προκληθεί εξελκυσμός των νευρικών ριζών από το νωτιαίο μυελό, διατομή (τύπου V κατά Sunderland) σε οποιοδήποτε επίπεδο, διάταση σε σημαντικό βαθμό αλλά διατήρηση της συνέχειας ή συνδυασμός.

Υψηλής ταχύτητας βλάβη ελκυσμού είναι συνολικά η πιο συχνή αιτία βλάβης του βραχιονίου πλέγματος σε σχεδόν όλες τις αναφορές και σχετίζεται με πιο σημαντική καταστροφή του πλέγματος.<sup>(34, 35)</sup> Η πλειονότητα των βλαβών ελκυσμού είναι αποτέλεσμα ατυχημάτων με δίκυκλα.<sup>(36)</sup> Σε μια σειρά 1.173 ενηλίκων ασθενών με βλάβες του βραχιονίου πλέγματος, 82% οφείλονταν σε ατυχήματα με δίκυκλο.<sup>(32)</sup> Ο ασθενής πέφτει από ένα ταχέως κινούμενο δίκυκλο, και προσγειώνεται στο κεφάλι και τον ώμο (εικ. 12). Αν και το κράνος σώζει τη ζωή του, κατά την σύγκρουση με το έδαφος, ο ώμος κατασπάται και ωθείται προς τα πίσω, ενώ η κεφαλή κάμπτεται βίαια προς την αντίθετη πλευρά. Η απότομη διεύρυνση της γωνίας αυχένα - ώμου προκαλεί ένα σημαντικό τραυματισμό ελκυσμού στην κλείδα και στις υποκείμενες δομές, συμπεριλαμβανομένων του βραχιονίου πλέγματος και των υποκλειδίων αγγείων. Εάν η κλείδα, η οποία είναι ο ισχυρότερος σύνδεσμος ανάμεσα στον ώμο και τον αυχένα, σπάσει, τότε όλη η βία ελκυσμού μεταδίδεται στο νευραγγειακό δεμάτιο. Αυτός ο μηχανισμός τραυματισμού προκαλεί την μεγαλύτερη βλάβη στις ανώτερες ρίζες (A5 – A7) ή στο άνω πρωτεύων στέλεχος. Αν η σύγκρουση είναι σφοδρή, τότε όλα τα επίπεδα υφίστανται βλάβη.<sup>(31)</sup> Υψηλής ταχύτητας τραυματισμοί ελκυσμού επίσης μπορούν να προκληθούν σε συγκρούσεις με ταχυλέμβιους, αυτοκινητιστικά ατυχήματα, και συγκρούσεις στο σκι.



**Εικόνα 12.** Τραυματισμός των ανώτερων τμημάτων του βραχιονίου πλέγματος συμβαίνει όταν η κεφαλή και ο αυχένας στρέφονται βίαια μακριά από τον ομόπλευρο ώμο. Τέτοιος τραυματισμός παρατηρείται σε ασθενή ο οποίος πέφτοντας από ένα δίκυκλο χτυπά στο έδαφος. Κατά τη διάρκεια αυτού του τραυματικού μηχανισμού, τα ανώτερα τμήματα του βραχιονίου πλέγματος βρίσκονται σε μέγιστο κίνδυνο για τραυματισμό. A5–A8, αυχενικά νεύρα πέντε έως οχτώ· Θ1, πρώτο θωρακικό νεύρο.

Ελκυσμός στο βραχιόνιο πλέγμα μπορεί επίσης να προκληθεί με βίαιη υπερ-απαγωγή του βραχίονα (βίαιη διεύρυνση της ωμοπλατιοβραχιόνιας γωνίας) και έλξη, όπως σε ένα τραυματισμό κρεμάσματος (εικ. 13).<sup>(37)</sup> Όταν ο βραχίονας απάγεται πάνω από το κεφάλι με σημαντική βία, μπορεί να προκύψει ελκυσμός εντός των κατώτερων στοιχείων του βραχιονίου πλέγματος (A8 έως Θ1 ρίζες ή κάτω πρωτεύον στέλεχος). Στην περίπτωση αυτή η κορακοειδής απόφυση λειτουργεί ως ένας προσωρινός μοχλός στην βίαιη υπερ-απαγωγή του ώμου.



**Εικόνα 13.** Τραυματισμός ελκυσμού με τον ώμο σε πλήρη απαγωγή και έλξη, όπως σε ένα τραυματισμό κρεμάσματος, τοποθετεί τα κατώτερα τμήματα του βραχιονίου πλέγματος σε κίνδυνο για βλάβη. A5–A8, αυχενικά νεύρα πέντε έως οχτώ· Θ1, πρώτο θωρακικό νεύρο.

Χαμηλής ταχύτητας τραυματισμός ελκυσμού έχει πολύ χαμηλότερη συχνότητα από ότι ο υψηλής ταχύτητας τραυματισμός ελκυσμού. Σε μια σειρά, μόνο 4% των ασθενών είχε αυτού του είδους τον τραυματισμό.<sup>(34)</sup> Ο τραυματικός μηχανισμός συνίσταται στην προς τα κάτω

έλξη ή κατάσπαση του ώμου. Αυτός ο τραυματισμός συνήθως προκαλείται είτε όταν ο ασθενής πέφτει από ύψος και προσγειώνεται στον ώμο του είτε όταν ένα βαρύ αντικείμενο πέφτει στον απροστάτευτο ώμο του ασθενούς. Στην περίπτωση εργατικού ατυχήματος, ο βραχιόνας του εργάτη μπορεί να πιαστεί και να τραβηχτεί από μία μηχανή, προκαλώντας μία διατακτική βλάβη στο πλέγμα. Στις αθλητικές δραστηριότητες, δεν είναι ασύνηθες για έναν παίκτη του ράγκμπι ή του αμερικάνικου ποδοσφαίρου, που συνηθίζει να παρεμποδίζει τον αντίπαλο χρησιμοποιώντας το κεφάλι και τον ώμο του, ή για έναν παίκτη του βόλεϊ που συνηθίζει να καρφώνει, να υποφέρει από παροδική παραισθησία στο άνω άκρο. Αυτοί οι χαμηλής ταχύτητας τραυματισμοί συνήθως προκαλούν μία μικρότερου βαθμού παθολογία στο βραχιόνιο πλέγμα. Προκαλούν χαμηλής ενεργείας διατακτικές βλάβες, οι οποίες δεν είναι τόσο σοβαρές ώστε να προκαλέσουν διατομή ή εξελκυσμό, και τυπικά προκαλούν περισσότερο ή λιγότερο αναστρέψιμες βλάβες, όπως νευροαπραξία<sup>(38)</sup> (τύπου I κατά Sunderland)<sup>(39)</sup> ή διαφόρου βαθμού αξονότμηση (τύπου II έως IV κατά Sunderland). Υπάρχουν πειραματικές αποδείξεις ότι οι τραυματισμοί χαμηλής ενεργείας μπορεί να επηρεάζουν την μικροκυκλοφορία του πλέγματος, προκαλώντας ισχαιμική βλάβη.<sup>(40)</sup>

Κακή τοποθέτηση του ασθενούς στο χειρουργικό τραπέζι κατά τη διάρκεια γενικής αναισθησίας μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό ελκυσμού στο βραχιόνιο πλέγμα.<sup>(37, 41, 42)</sup> Το άνω πρωτεύον στέλεχος μπορεί να τραυματιστεί όταν ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια ή σε πλάγια κατάκεκλιμένη θέση, λόγω παρατεταμένης έκτασης και πλαγίας κάμψης της κεφαλής προς τη μία πλευρά. Αυτή θέση αυξάνει τη γωνία ανάμεσα στην κεφαλή και τον προσβεβλημένο ώμο. Τοποθέτηση του ώμου πάνω σε αμμόσακο ή σε κύλινδρο μπορεί να φέρει το βραχιόνιο πλέγμα σε διάταση. Ανάρτηση του βραχίονα από το χειρουργικό τραπέζι στην πλάγια κατακεκλιμένη θέση μπορεί να θέσει σε διάταση το βραχιόνιο πλέγμα, ιδίως όταν ο βραχιόνας είναι σε υπερ-απαγωγή. Υπερβολική απαγωγή του βραχίονα είτε σε πρηνή είτε σε ύπτια θέση (π.χ., θέση για επέμβαση σπονδυλικής στήλης) επίσης προκαλεί διάταση στο βραχιόνιο πλέγμα.

## ii. Βλάβες σύνθλιψης

Το βραχιόνιο πλέγμα μπορεί να συμπιεσθεί ανάμεσα στην κλείδα και την πρώτη πλευρά. Η συμπίεση συμβαίνει όταν η τραυματική βία ενεργεί στον ώμο με κεφαλο-ουραία κατεύθυνση. Τα οστικά τεμάχια από τα κατάγματα των εγκαρσίων αυχενικών αποφύσεων μπορούν να συμπιέσουν τις αυχενικές νευρικές ρίζες, ενώ κάταγμα της κορακοειδούς απόφυσης μπορεί να συμπιέσει το έξω δευτερεύον στέλεχος και το μυοδερματικό νεύρο. Κάταγμα του αυχένα της ωμοπλάτης, κάταγμα του αυχένα του βραχιονίου, και πρόσθιο εξάρθρημα της βραχιονίου κεφαλής μπορούν να συμπιέσουν το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος και το μασχαλιαίο νεύρο. Κάταγμα της ωμοπλατιαίας άκανθας μπορεί να συμπιέσει το υπερπλάτιο νεύρο. Σε αυτοκινητιστικά ατυχήματα, η οξεία συμπίεση από τις ζώνες ασφαλείας μπορεί επίσης να προκαλέσει τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος. Χρόνια συμπίεση από την μεταφορά βαρέων αντικειμένων στους ώμους μπορεί να προκαλέσει προσωρινή βλάβη του βραχιονίου πλέγματος.

Ιατρογενείς τραυματισμοί συμπίεσης του βραχιονίου πλέγματος μπορούν να προκληθούν κατά τη διάρκεια του χειρουργείου αν οι προστατευτικές βάτες για τον ώμο δεν είναι σωστά τοποθετημένα όταν ο βραχιόνας βρίσκεται σε απαγωγή και ο ασθενής βρίσκεται σε υπερβολική θέση Trendelenburg.<sup>(37, 41, 42)</sup> Εάν οι προστατευτικές βάτες για τον ώμο τοποθετούνται επί τα έσω της ακρωμοκλειδικής άρθρωσης αντί άμεσα πάνω από την άρθρωση, οι βάτες πιέζουν το βραχιόνιο πλέγμα έναντι της πρώτης πλευράς. Συμπίεση του βραχιονίου πλέγματος μπορεί επίσης να συμβεί στην πλάγια κατακεκλιμένη θέση όταν ο

βραχίονας και ώμος βρίσκονται ανάμεσα στο θώρακα του ασθενούς και το χειρουργικό τραπέζι. Οι οστικές δομές του ώμου και του βραχίονα πιέζουν το πλέγμα έναντι του θωρακικού κλωβού.

### **iii. Βλάβες συνδυασμού ελκυσμού και σύνθλιψης**

Σύνθετο τραύμα με πολλαπλά κατάγματα των εγκαρσίων αυχενικών αποφύσεων, της κλείδας, της ωμοπλάτης, των πλευρών, και του εγγύς βραχιονίου μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό συνδυασμού σύνθλιψης και ελκυσμού στο βραχιόνιο πλέγμα. Η παθολογία συνήθως είναι διάχυτη, από τις νευρικές ρίζες έως τους τελικούς κλάδους, και διακοπή της συνέχειας του βραχιονίου πλέγματος μπορεί να υπάρξει σε περισσότερες από μία θέσεις. Αυτός ο τραυματισμός συνήθως συνδυάζεται με αγγειακή βλάβη.

#### **β) Ανοιχτός τραυματισμός**

Ανοιχτός τραυματισμός του βραχιονίου πλέγματος είναι πολύ λιγότερο συνήθης στην καθημερινή πρακτική. Σε μία σειρά, 4,3% των ασθενών υπόκεινταν σε ανοιχτό τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(34)</sup> Επείγουσα διερεύνηση στην περίπτωση ανοικτού τραύματος συνήθως δικαιολογείται μόνο μετά από περιπτώσεις αγγειακού τραυματισμού ή διατομής από οξύ και τέμνων όργανο.

Τραύμα λόγω επίθεσης με μαχαίρι στο λαιμό, στο στήθος, και στον ώμο μπορεί άμεσα να προκαλέσει βλάβη στο βραχιόνιο πλέγμα. Ο ανοιχτός τραυματισμός συνήθως εμπλέκει τμήμα μόνο του βραχιονίου πλέγματος. Ανεύρεση συνοδών αγγειακών και ενδοθωρακικών τραυματισμών είναι συνήθης. Τραυματισμοί του κάτω πρωτεύοντος στελέχους είναι περισσότερο πιθανό να σχετίζονται με αγγειακούς τραυματισμούς. Αυτό το είδος τραυματισμού με τέμνων όργανο που οδηγεί σε διατομή φέρει καλή πρόγνωση. Το τραυματισμένο βραχιόνιο πλέγμα μπορεί συνήθως να επιδιορθωθεί άμεσα με νευροσυρραφή ή τοποθέτηση νευρικών μοσχευμάτων εντός του πλέγματος.

Ιατρογενής τραυματισμός του βραχιονίου πλέγματος με τέμνον όργανο, μπορεί να συμβεί κατά τη διενέργεια περιοχικής αναισθησίας του βραχιονίου πλέγματος. Μερικές φορές, ένα άθικτο βραχιόνιο πλέγμα μπορεί να βλαβεί κατά τη διάρκεια προσπαθειών για αιμόσταση από αγγειακό τραυματισμό ή κατά την είσοδο μιας υποκλείδιας γραμμής. Επιπλέον ιατρογενείς τραυματισμοί έχουν αναφερθεί εξαιτίας πολλαπλών χειρουργικών επεμβάσεων, που περιλαμβάνουν μαστεκτομή, εκτομή πρώτης πλευράς, εξαίρεσης όγκου στην περιοχή του λαιμού και της υπερκλείδιας περιοχής και παράκαμψης υποκλείδιας - καρωτίδας.<sup>(43, 44, 45)</sup>

Τραυματισμοί από πυροβόλα όπλα στο βραχιόνιο πλέγμα, μπορεί να προκύψουν σε πολλαπλές στρατιωτικές και πολιτικές περιστάσεις.<sup>(46)</sup> Αυτού του είδους ο τραυματισμός μπορεί να συνοδεύεται από αγγειακές ή θωρακικές βλάβες που θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή. Τραυματισμοί από πυροβόλα όπλα θα πρέπει να θεωρούνται ξεχωριστή οντότητα από τους ανοιχτούς τραυματισμούς από οξύ και τέμνον όργανο, διότι υπάρχουν αρκετές σημαντικές διαφορές στην έκταση και το χαρακτήρα της βλάβης των νεύρων και των παρακείμενων ιστών. Ανοιχτοί τραυματισμοί που προκαλούνται από πυροβόλα όπλα συνήθως αντιμετωπίζονται καλύτερα συντηρητικά επειδή το νεύρο σε αυτούς τους τραυματισμούς σπάνια διατέμενεται.<sup>(30)</sup> Στους τραυματισμούς από πυροβόλο όπλο, η αιτία της ιστικής διάσπασης είναι η υψηλή ταχύτητα και η περιστροφή του βλήματος. Οι ιστοί αρχικά συνθλίβονται από την άμεση επαφή με το υψηλής ταχύτητας βλήμα και στη συνέχεια διατείνονται από την προσωρινή δημιουργία κοιλότητας.<sup>(47, 48, 49)</sup> Η ιστική διάσπαση

εξαρτάται από την μάζα του βλήματος, το σχήμα, την κατασκευή, και την ταχύτητα πρόσκρουσης.

Τραυματισμοί από πυροβόλα όπλα χαμηλής ταχύτητας βρίσκονται συνήθως σε πολιτικές καταστάσεις και αποτελούν το 27% των ασθενών σε μία σειρά.<sup>(34)</sup> Αυτός ο τύπος τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος, χωρίς καμία συνοδό αγγειακή βλάβη, φέρει καλή πρόγνωση. Περισσότεροι από 50% των ασθενών έχουν μια λειτουργικά σημαντική ανάνηψη χωρίς χειρουργική θεραπεία.

Τραυματισμοί από πυροβόλα όπλα υψηλής ταχύτητας έχουν μεγαλύτερη ιστική διείσδυση και έχουν ως αποτέλεσμα μία πιο εκτεταμένη και διάχυτη βλάβη. Είναι δύσκολο να καθοριστεί η έκταση της βλάβης των νευρικών ιστών στα αρχικά στάδια του τραυματισμού. Τραυματισμός από υψηλής ταχύτητας πυροβόλο όπλο συναντάται σε στρατιωτικές περιστάσεις είναι λιγότερο πιθανός στην πολιτική καθημερινότητα. Αυτόματη λειτουργική ανάνηψη είναι λιγότερο πιθανή σε αυτό τον τύπο τραυματισμού από ότι σε περιπτώσεις τραυματισμού με χαμηλής ταχύτητας πυροβόλο όπλο.

Τραυματισμός από κυνηγετικό όπλο συνήθως προκαλεί εκτεταμένη ιστική βλάβη και επιμόλυνση. Αυτός ο τύπος τραυματισμού φέρει επίσης μια μικρότερη πιθανότητα αυτόματης ανάνηψη από ότι τραυματισμός με πυροβόλο όπλο χαμηλής ταχύτητας.

### ***γ) Βλάβη από ακτινοβολία***

Σε γενικές γραμμές, τα περιφερικά νεύρα θεωρούνται ότι είναι σχετικά ακτινοάντοχα επειδή βρίσκονται βαθύτερα από ότι άλλοι ιστοί και έχουν χαμηλό μεταβολικό ρυθμό. Τραυματισμός του βραχιονίου πλέγματος από ακτινοβολία συνήθως προκύπτει σε ασθενείς αρκετά χρόνια μετά από ακτινοθεραπεία στον ομόπλευρο μαστό ή μασχάλη για την θεραπεία καρκίνου του μαστού.<sup>(50)</sup> Οι ασθενείς συνήθως παρουσιάζονται με επιδεινούμενα κινητικά και αισθητικά ελλείμματα, τα οποία μπορεί να προκαλούνται από την ακτινοβολία, τη συμπίεση λόγω υποτροπής της νεοπλασίας, ή και τα δύο. Η διερεύνηση με εξετάσεις και η προσεκτική κλινική εξέταση μπορούν να ξεκαθαρίσουν τη διάγνωση σε μερικούς ασθενείς, αλλά ένας αριθμός ασθενών παραμένει αδιάγνωστος μέχρι ένα μεταγενέστερο στάδιο. Η χειρουργική διερεύνηση είναι δύσκολη εξαιτίας της ινωτικής και ισχαιμικής φύσης των παρακείμενων ιστών. Παρά τα μη ικανοποιητικά αποτελέσματα, οι ασθενείς συνήθως επιμένουν στη χειρουργική διερεύνηση εξαιτίας του ανθεκτικού πόνου.

## **III) Επίπεδο βλάβης και είδος τραυματισμού**

Οι τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με το ανατομικό επίπεδο βλάβης του πλέγματος και τη σχέση προς την κλείδα. Χρησιμοποιώντας την κλείδα ως σημείο αναφοράς, η βλάβη μπορεί να εντοπιστεί σε 3 επίπεδα: υπερκλείδια (ριζίδια & πρόσθιοι κλάδοι σπονδυλικών νεύρων, ρίζες βραχιονίου πλέγματος, πρωτεύοντα στελέχη), υποκλείδια (υποδιαίρέσεις, δευτερεύοντα στελέχη, τελικοί κλάδοι), σε όλο το πλέγμα. Διπλού επιπέδου τραυματισμοί μπορούν να συμβούν και θα πρέπει να περιλαμβάνονται στη διαφορική διάγνωση.

Συγκεκριμένοι τύποι τραυματισμού είναι περισσότερο επικρατείς. Περίπου 70% με 75% των τραυματισμών εμφανίζονται στην υπερκλείδια περιοχή. Περίπου το 75% αυτών των τραυματισμών περιλαμβάνουν βλάβη σε όλες τις ρίζες (A5 – Θ1), ενώ 20% με 25% των τραυματισμών περιλαμβάνουν βλάβη στις νευρικές ρίζες A5 έως A7. Μόνο 2% με 35% των τραυματισμών έχουν μεμονωμένο υπερκλείδιο τύπο τραυματισμού στην A8 και Θ1.



Τραυματισμοί ολικού τύπου συνήθως περιλαμβάνουν διατομή της A5 & A6 ρίζας με εξελκυσμό της A7 – Θ1 ρίζας. Το υπόλοιπο 25% των τραυματισμών του βραχιονίου πλέγματος είναι υποκλειδίοι.

Αν και η κλινική σημασία αυτής της ταξινόμησης είναι μάλλον περιορισμένη εξαιτίας μιας ποικιλίας άλλων παραγόντων (όπως η έκταση της βλάβης, ο μηχανισμός του τραυματισμού, η βλάβη πολλαπλών επιπέδων) αυτή η ανατομική ταξινόμηση βοηθάει το χειρουργό του βραχιονίου πλέγματος να καθορίσει τον κατάλληλο τύπο χειρουργικής θεραπείας και πρόγνωσης για τον ασθενή.

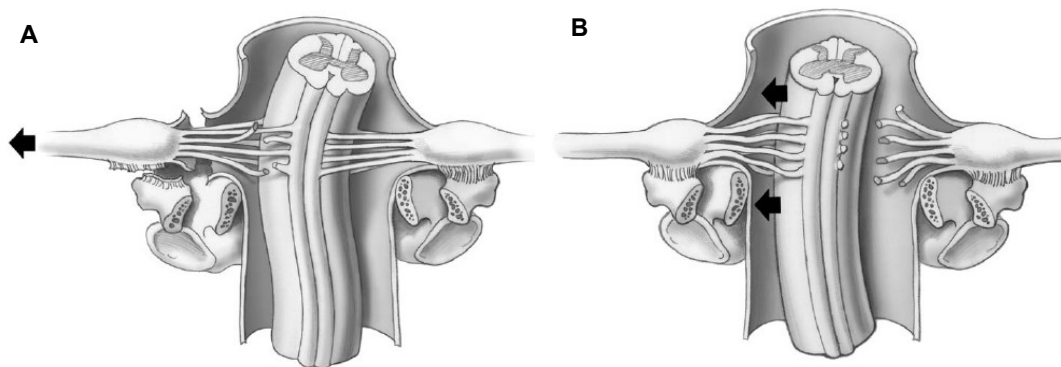
#### *a) Υπερκλειδίες βλάβες*

Τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος πιο συχνά επηρεάζουν την υπερκλειδία περιοχή από ότι την υποκλειδία. Οι ρίζες και τα πρωτεύοντα στελέχη τραυματίζονται συχνότερα σε σχέση με τις υποδιαίρεσεις, τα δευτερεύοντα στελέχη, ή τους τελικούς κλάδους. Οι υπερκλειδίες βλάβες διακρίνονται περαιτέρω σε δύο τύπους σε σχέση με τα γάγγλια των ραχιαίων ριζών: προγαγγλιακή βλάβη (εξελκυσμός) και μεταγαγγλιακή βλάβη (εικ. 9).

Οι εξελκυσμοί ριζών εμφανίζονται στο 75% των περιπτώσεων των υπερκλειδίων βλαβών. Πολλαπλοί εξελκυσμοί ριζών εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα κατά την πάροδο των τελευταίων 25 ετών. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί πρόκλησης εξελκυσμών: ο περιφερικός και ο κεντρικός. Ο περιφερικός μηχανισμός εξελκυσμού είναι πιο συχνός, ενώ ο κεντρικός μηχανισμός είναι σπάνιος και συνήθως το αποτέλεσμα άμεσου αυχενικού τραύματος (εικ. 14)

Ο περιφερικός μηχανισμός εμφανίζεται όταν οι δυνάμεις ελκυσμού στο βραχίονα υπερνικήσουν την ινώδη υποστήριξη γύρω από τα ριζίδια (εικ. 14A). Οι νευρικές ρίζες της A5, A6 και A7 ρίζας έχουν ισχυρές περιτονιακές συνδέσεις στη σπονδυλική στήλη και υφίστανται εξελκυσμό λιγότερο συχνά σε σχέση με τις A8 και Θ1 νευρικές ρίζες. Οι πρόσθιες ρίζες μπορεί να εξελκυστούν με ή χωρίς τα οπίσθια ριζίδια. Ο επισκληρίδιος σάκος μπορεί να υποστεί ρήξη, δημιουργώντας μία ψευδομηνιγγοκήλη, ακόμη και χωρίς πλήρη εξελκυσμό των ριζιδίων. Κατά τους περιφερικούς εξελκυσμούς ο επισκληρίδιος κώνος μετακινείται εντός του σπονδυλικού καναλιού.

Ο κεντρικός μηχανισμός εξελκυσμού ρίζας είναι το αποτέλεσμα της κατά μήκος ή εγκάρσιας κίνησης του νωτιαίου μυελού ως αποτέλεσμα σημαντικού αυχενικού τραύματος. Κάμψη και διάτμηση εντός του μυελικού καναλιού προάγει τον εξελκυσμό των ριζιδίων.<sup>(51)</sup> Η ρίζα παραμένει καθηλωμένη στο τρήμα και το επισκληρίδιο έλυτρο δεν υφίσταται ρήξη (εικ. 14B).



**Εικόνα 14.** A] Περιφερικός μηχανισμός εξελκυσμού. Οι περιφερικοί εξελκυσμοί πραγματοποιούνται όταν υπάρχει μία δύναμη ελκυσμού στο βραχίονα που οδηγεί σε διάσπαση της ινώδους υποστήριξης γύρω από τα ριζίδια. Το επισκληρίδιο έλυτρο μπορεί να

αποσπαστεί από το σπονδυλικό κανάλι, δημιουργώντας μία ψευδομηνιγγοκήλη. **B]** Κεντρικός μηχανισμός εξελκυσμού. Κεντρικοί εξελκυσμοί πραγματοποιούνται εξ αιτίας άμεσου αυχενικού τραύματος. Ο νωτιαίος μυελός μετακινείται εγκάρσια ή επιμήκως, προκαλώντας κάμψη και διάτμηση η οποία οδηγεί σε εξελκυσμό των νευρικών ριζιδίων.

### ***β) Υποκλείδιες βλάβες***

Οι περιφερικές υποκλείδιες βλάβες συνήθως προκαλούνται από βίαιο τραυματισμό στην ωμική ζώνη. Αυτές οι βλάβες μπορεί να σχετίζονται με ρήξη της μασχαλιαίας αρτηρίας. Εμβιομηχανικά για να προκληθεί διατομή σε ένα δευτερεύον στέλεχος, θα πρέπει αυτό να είναι σταθερά καθλωμένο και στα δύο του άκρα. Οι δύο κύριοι μηχανισμοί διατομής είναι το πρόσθιο έσω εξάρθρωμα στην γληνοβραχιόνια άρθρωση και ο ελκυσμός του βραχίονα με βίαη απαγωγή.<sup>(16)</sup> Τα νεύρα τραυματίζονται ανάμεσα στα δύο σημεία στα οποία είναι ή καθλωμένα, περιορισμένα από τις παρακείμενες δομές, ή όπου αυτά αλλάζουν κατεύθυνση. Το μασχαλιαίο, υπερπλάτιο, και μυοδερματικό νεύρο είναι επιρρεπή σε διατομή επειδή καθλώνονται εντός της γληνοβραχιόνιας περιοχής, στην ωμοπλάτια εντομή και τον κορακοβραχιόνιο μυ. Οι θεράποντες θα πρέπει πάντα να εξετάζουν την πιθανότητα μιας διπλής βλάβης του υπερπλάτιου νεύρου στην ωμοπλάτια εντομή και του μυοδερματικού νεύρου στο κορακοβραχιόνιο μυ. Διατομή του ωλένιου νεύρου στο επίπεδο του βραχιονίου ή του αγκώνα και ταυτόχρονη διατομή του μέσου νεύρου στο επίπεδο του αγκώνα είναι επίσης πιθανή.

## ***Γ] Κλινική εκτίμηση***

### **I) Ιστορικό**

Η εκτίμηση του ασθενούς με τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος ξεκινά με την πλήρη κατανόηση του αίτιου και του μηχανισμού της βλάβης. Το αίτιο (π.χ. τροχαίο ατύχημα, διατιτραίνων τραύμα, σύνθλιψη) και ο μηχανισμός της βλάβης είναι επιβοηθητικά στον καθορισμό της ανατομικής θέσης και της σοβαρότητας του τραυματισμού.

Η γνώση της ακριβούς στάσης του αυχένα και του βραχίονα τη στιγμή του τραυματισμού βοηθά σε μεγάλο βαθμό στην πρόβλεψη της θέσης της βλάβης του βραχιονίου πλέγματος. Η κατάσπαση του ώμου από την σπονδυλική στήλη όταν ο βραχίονας είναι σε προσαγωγή συνήθως οδηγεί σε βλάβη των ανωτέρων ριζών (εικ. 12). Ο πιο κοινός μηχανισμός βλάβης συνεπεία τραυματισμών από δίκυκλα είναι η πτώση επί του ώμου. Έκταση του βραχίονα σε 90° απαγωγή του ώμου θέτει σε μέγιστη τάση την A7 ρίζα του βραχιονίου πλέγματος, αλλά με αυξανόμενη βία, όλες οι νευρικές ρίζες μπορεί να βλαβούν. Ο λιγότερο συχνός μηχανισμός βλάβης είναι ο ελκυσμός του άνω άκρου σε μέγιστη απαγωγή, που συνήθως οδηγεί σε βλάβη των κατώτερων ριζών (εικ. 13).<sup>(35)</sup>

Επί διατιτραίνοντων τραυμάτων, πληροφορίες σχετικά με τον τύπο του όπλου και την ταχύτητα του βλήματος βοηθούν στην πρόβλεψη της πρόγνωσης της βλάβης του βραχιονίου πλέγματος.

Βλάβες του βραχιονίου πλέγματος συχνά υποδιαγιγνώσκονται επί παρουσίας τραυματισμού της ΑΜΣΣ ή κρανιοεγκεφαλικής κάκωσης.<sup>(52)</sup> Ο ασθενής θα πρέπει πάντα να ερωτάται σχετικά με αλλαγές στο επίπεδο συνείδησης, κινητική αδυναμία, και αισθητικό έλλειμμα ή παραισθησίες στα άλλα άκρα.

Το ιατρικό ιστορικό του ασθενούς είναι επίσης σημαντικό. Θεραπεία με ακτινοβολία στην περιοχή του αυχένα, του ανώτερου θώρακα και της μασχάλης μπορούν να οδηγήσουν σε μετακτινική νευρίτιδα του βραχιονίου πλέγματος ή σε ίνωση. Οι ασθενείς συνήθως παρουσιάζονται με ένα βραδέως εξελισσόμενο κινητικό και αισθητικό έλλειμμα το οποίο συνοδεύεται από πόνο.

Ιατρογενείς συμπιεστικές βλάβες στο βραχιόνιο πλέγμα μπορούν να συμβούν εξαιτίας κακής τοποθέτησης στο χειρουργικό τραπέζι.<sup>(37, 41, 42)</sup> Μια διασκαληνή ή μασχαλιαία περιοχική αναισθησία του βραχιονίου πλέγματος μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να προκαλέσει βλάβη σε ένα τμήμα του.

Τέλος η ηλικία είναι σημαντική μια και αποτελεί το μοναδικό πιο σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την επιτυχία της νευρικής ανάνηψης, με μία σημαντική αλλαγή μετά την ηλικία των 30 ετών.

### **II) Φυσική εξέταση**

Ένας ασθενής με τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος συχνά υφίσταται σημαντικό τραυματισμό και σε άλλες περιοχές. Αυτό το επιπλέον τραύμα μπορεί δυνητικά να καθυστερήσει τη διάγνωση οποιασδήποτε συνυπάρχουσας νευρικής βλάβης έως ότου ο ασθενής σταθεροποιηθεί και ανανήψει. Ένας υψηλός δείκτης υποψίας για βλάβη του βραχιονίου πλέγματος θα πρέπει να διατηρείται όταν εξετάζεται ένας ασθενής στο τμήμα επειγόντων, ο οποίος φέρει σημαντικό τραυματισμό στην ωμική ζώνη, στην πρώτη πλευρά ή στη μασχαλιαία αρτηρία. Συχνά, στο πλαίσιο των επειγόντων, ο ασθενής είναι

εξασθετισμένος ή κατασταλαμένος και επομένως είναι απαραίτητη μια περισσότερο προσεκτική παρατήρηση όταν ο ασθενής γίνεται περισσότερο κατανοητός.

Η αρχική φυσική εξέταση είναι ένα σημαντικό βήμα στον καθορισμό του ανατομικού επιπέδου της βλάβης, το οποίο θα καθοδηγήσει τον θεραπευτικό σχεδιασμό και την πρόγνωση. Περιλαμβάνει την μυοσκελετική εξέταση, την νευρολογική εξέταση (κινητική, αισθητική, συμπαθητική) και την αγγειακή εξέταση.

#### **α) Μυοσκελετική εξέταση**

Επειδή η πλειονότητα των τραυματισμών του βραχιονίου πλέγματος προκαλούνται από πτώσεις από δίκυκλα, μυοσκελετικοί τραυματισμοί ανευρίσκονται συχνά σε συνδυασμό με τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος. Περίπου 60% έως 75% των τραυματικών βλαβών του βραχιονίου πλέγματος σχετίζονται με κρανιοεγκεφαλική κάκωση, θωρακικό τραύμα, κατάγματα ή εξάρθρημα της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης ή του ομόπλευρου άνω άκρου και 20% σχετίζονται με αγγειακό τραυματισμό.<sup>(53,30)</sup> Εάν η βλάβη σχετίζεται με υψηλής ενέργειας τραυματισμό, θα πρέπει να διενεργείται μια λεπτομερής φυσική εξέταση για ανεύρεση κακώσεων που θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή ή τη βιωσιμότητα ενός από τα άκρα.

Εκδορές στον ώμο και την παρεία ομόπλευρα παρέχουν ισχυρή ένδειξη βλάβης ελκυσμού του βραχιονίου πλέγματος επί μοτοσυκλετιστικών ατυχημάτων (εικ. 15). Σύνθλιψη και εκχύμωση στην υπερπλάτια ή θωρακοδελτοειδή περιοχή δεικνύουν την θέση του τραυματισμού σε συμπιεστικές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος. Οι ακριβείς θέσεις εισόδου και εξόδου επί διατιτραίνοντων τραυμάτων του βραχιονίου πλέγματος επίσης βοηθούν τον θεράποντα στην τοπογραφική διάγνωση της βλάβης. Μετατραυματική αυχενική σκολίωση δευτεροπαθώς λόγω μαζικής παρααυχενικής μυϊκής παράλυσης μπορεί να παρατηρηθεί επί βλάβης του βραχιονίου πλέγματος με πλήρη εξελκυσμό των ριζών. Πτερυγοειδής ωμοπλάτη δείχνει βλάβη του μακρού θωρακικού νεύρου.



**Εικόνα 15.** Εκδορές στο θωρακικό τοίχωμα μπορούν να υποδείξουν το επίπεδο βλάβης του βραχιονίου πλέγματος. Εκδορές στην παρεία και τον πρόσθιο ώμο μετά από πτώση από δίκυκλο, αποτελούν ενδείξεις για μία σημαντική βλάβη του ανώτερου βραχιονίου πλέγματος.

Οι σχετικοί τραυματισμοί του άνω άκρου δύνανται να περιλαμβάνουν κάταγμα κλείδος, ακρωμιοκλειδική διάσταση, κάταγμα εγκάρσιας απόφυσης αυχενικού σπονδύλου, ωμοπλατιοθωρακικό διαχωρισμό, κάταγμα πρώτης πλευράς, κάταγμα ωμοπλάτης, κάταγμα βραχιονίου, και εξάρθρημα γληνοβραχιόνιας άρθρωσης.

Κατάγματα και εξάρθρημα περί την κλείδα αποτελούν κακό προγνωστικό σημείο και μπορούν περαιτέρω να βλάψουν το πλέγμα.<sup>(37)</sup> Επειδή η κλείδα είναι η μόνη συμπαγής δομή

που συνδέει την ωμική ζώνη με τον αυχένα, κατάγμα της επιτρέπει όλη τη δύναμη του ελκυσμού να διοχετευθεί προς τα υποκείμενα μαλακά μόρια (π.χ., βραχιόνιο πλέγμα και υποκλείδια αγγεία).

Κατάγματα των εγκάρσιων αυχενικών αποφύσεων βρίσκονται συχνά σε υψηλού επιπέδου διατομή ή εξελκυσμό των αντίστοιχων νευρικών ριζών. Ωμοπλατιοθωρακικός διαχωρισμός συχνά σχετίζεται με πολλαπλούς εξελκυσμούς ριζών και μείζονα αγγειακό τραυματισμό. Κάταγμα πρώτης πλευράς συχνά σχετίζεται με βλάβη των κατώτερων ριζών καθώς επίσης και με αγγειακές βλάβες.

Κάταγμα της κορακοειδούς απόφυσης συχνά βρίσκεται σε τραυματισμό του έξω δευτερεύοντος στελέχους, ενώ κατάγματα της ωμοπλάτης και του αυχένα του βραχιονίου συχνά σχετίζονται με βλάβες του ραχιαίου δευτερεύοντος στελέχους.

Τέλος η σταθερότητα της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης θα πρέπει να εκτιμάται. Εξάρθρωμα του ώμου μπορεί να προκύψει με τους ίδιους τύπους τραυματισμού που σχετίζονται με βλάβες του βραχιονίου πλέγματος από ελκυσμό. Κατώτερο ή οπίσθιο εξάρθρωμα είναι συχνό, και μπορεί να περιπλέκει τη βλάβη του βραχιονίου πλέγματος με απόσπαση του μασχαλιαίου νεύρου από το δελτοειδή μυ ή διατομή αυτού στην οπίσθια πορεία του γύρω από το βραχιόνιο οστό.

## **β) Νευρολογική εξέταση**

Οι οξείες περιπτώσεις συνήθως παρουσιάζονται ως πλήρης παράλυση, και η πρώτη φυσική εξέταση σπάνια έχει σταθερά ευρήματα στην πορεία του χρόνου. Για το λόγο αυτό, η εξέταση θα πρέπει να επαναλαμβάνεται συχνά και με μικρά χρονικά μεσοδιαστήματα. Συνήθως η οριστική διάγνωση μπορεί τεθεί το νωρίτερο 3 εβδομάδες μετά τον τραυματισμό, όταν επέλθει ανάνηψη από τη νευροαπραξία, αν και η μυϊκή ατροφία ή η κινητική ανάρρωση από παράλυση που σχετίζεται με αξονότμηση ή νευρότμηση θα καθυστερήσει για άλλους 3 ή 4 μήνες.

Η εξέταση του ασθενούς με βλάβη του βραχιονίου πλέγματος θα πρέπει να διενεργείται με έναν καθορισμένο και λεπτομερή τρόπο με στόχο την ανεύρεση της περιοχής των νευρικών βλαβών και το προσδιορισμό του βαθμού της βλάβης. Ο καθορισμός του επιπέδου της βλάβης, εάν είναι προγαγγλιακή ή μεταγαγγλιακή, είναι περισσότερο δύσκολος αλλά σημαντικός στην λήψη θεραπευτικών αποφάσεων και την διατύπωση πρόγνωσης.

### **ι) Κινητική εξέταση & έλεγχος τενόντιων αντανακλαστικών**

Μια λεπτομερής εξέταση του βραχιονίου πλέγματος και των τελικών του κλάδων μπορεί να πραγματοποιηθεί εντός λίγων λεπτών σε έναν ξύπνιο και συνεργαζόμενο ασθενή. Δεν είναι συνήθως απαραίτητο να εξετασθεί κάθε μεμονωμένος μυς. Απεναντίας, βοηθά περισσότερο να εκτιμηθούν λειτουργικές ομάδες μυών.

Το μέσο, ωλένιο, και κερκιδικό νεύρο μπορούν να εκτιμηθούν εξετάζοντας την κίνηση του καρπού και των δακτύλων. Πιο πάνω, η κάμψη και έκταση του αγκώνα μπορεί να εξετασθεί προκειμένου να καθοριστεί η λειτουργία του μυοδερματικού και του κερκιδικού νεύρου σε υψηλότερο επίπεδο. Εξέταση της απαγωγής του ώμου μπορεί να καθορίσει τη λειτουργία του μασχαλιαίου νεύρου, ενός κλάδου του ραχιαίου δευτερεύοντος στελέχους.

Μια βλάβη στο ραχιαίο δευτερεύον στελέχος μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του δελτοειδούς και των μυών που νευρώνονται από το κερκιδικό νεύρο. Για το λόγο αυτό, η εξέταση της έκτασης του καρπού, της έκτασης του αγκώνα, και της απαγωγής του ώμου μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό της κατάστασης του ραχιαίου δευτερεύοντος στελέχους. Ο πλατύς ραχιαίος νευρώνεται από το θωρακοραχιαίο νεύρο, το οποίο είναι

επίσης κλάδος του ραχιαίου δευτερεύοντος στελέχους. Η περιοχή αυτή μπορεί να ψηλαφηθεί στην οπίσθια μασχαλιαία πτυχή και μπορεί να γίνει αντιληπτή η σύσπαση όταν ζητείται από τον ασθενή να βήξει, ή να πιέσει τα χέρια του έναντι του ισχίου του.

Ο μείζων θωρακικός μυς νευρώνεται από το έσω και έξω θωρακικό νεύρο, που είναι το καθένα κλάδος, αντίστοιχα, του έσω και έξω δευτερεύοντος στελέχους. Το έξω θωρακικό νεύρο νευρώνει την κλειδική κεφαλή και το έσω θωρακικό νεύρο νευρώνει την στερνική κεφαλή του μείζονος θωρακικού μυός. Ολόκληρος ο μείζων θωρακικός μυς μπορεί να ψηλαφηθεί από άνω προς τα κάτω καθώς ο ασθενής προσάγει το βραχίονα του υπό αντίσταση.

Εγγύτερα του επιπέδου των δευτερευόντων στελεχών, το υπερπλάτιο νεύρο αποτελεί τελικό κλάδο του επιπέδου των πρωτευόντων στελεχών. Το νεύρο αυτό μπορεί να εξεταστεί με εκτίμηση της εξωτερικής στροφής και ανύψωσης στον ώμο. Συχνά, σε μία χρόνια κατάσταση, το οπίσθιο τμήμα του ώμου θα δείξει σημαντική ατροφία στην περιοχή του υπακάνθιου μυός. Ατροφία του υπερακάνθιου μυός είναι πιο δύσκολη να προσδιοριστεί κλινικά, επειδή ο τραπεζοειδή μυς καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα του μυός. Η απώλεια της κάμψης, στροφής, και απαγωγής του ώμου μπορεί επίσης να οφείλεται σε ένα σημαντικό τραυματισμό του στροφικού πετάλου ή τραυματισμό του δελτοειδούς. Η λειτουργία του μασχαλιαίου νεύρου και η ακεραιότητα του στροφικού πετάλου θα πρέπει να εκτιμάται όταν εξετάζεται η λειτουργία του ώμου επιπρόσθετα της λειτουργίας του υπερπλάτιου νεύρου.

Συγκεκριμένα ευρήματα στην φυσική εξέταση υποδηλώνουν προαγγλιακή βλάβη. Για παράδειγμα, μία βλάβη στο μακρό θωρακικό νεύρο ή στο ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης υποδηλώνουν ένα υψηλότερο (εγγύτερο) επίπεδο τραυματισμού επειδή και τα δύο νεύρα προέρχονται από επίπεδο ριζών (εικ. 3). Το μακρό θωρακικό νεύρο σχηματίζεται από τις A5 έως A7 ρίζες και δίνει νεύρωση στον πρόσθιο οδοντωτό. Το μήκος του νεύρου είναι περισσότερο από 20 εκατοστά, και είναι ευπαθές σε τραυματισμό καθώς κατέρχεται κατά μήκος του θωρακικού τοιχώματος. Τραυματισμός σε αυτό το νεύρο με επακόλουθη δυσλειτουργία του πρόσθιου οδοντωτού έχει ως αποτέλεσμα σημαντική πτερυγοειδή ωμοπλάτη καθώς ο ασθενής προσπαθεί να κάνει πρόσθια ανύψωση του βραχίονα. Το ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης προέρχεται από τις A4 και A5 ρίζες και δίνει νεύρωση στους ρομβοειδείς μύες και στον ανελκτήρ της ωμοπλάτης, συχνά σε επίπεδο τμήματος. Προσεκτική εξέταση θα δείξει ατροφία των ρομβοειδών και των παραωμοπλάτιων μυών επί τραυματισμού του. Ο ασθενής θα πρέπει να παρατηρείται από την πίσω πλευρά για να μπορεί πλήρως να εκτιμηθεί ο πρόσθιος οδοντωτός και οι ρομβοειδείς μύες.

Ο κινητικός έλεγχος θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει τα γειτονικά κρανιακά νεύρα. Για παράδειγμα, το παραπληρωματικό νεύρο το οποίο δίνει νεύρωση στον τραπεζοειδή μυ μπορεί περιστασιακά να τραυματιστεί με τραύμα του αυχένα ή του ώμου το οποίο επηρεάζει και το βραχιόνιο πλέγμα. Η ακεραιότητά του είναι σημαντική εξαιτίας της αυξημένης χρήσης του παραπληρωματικού νεύρου για νευρομεταφορά. Παράλυση του τραπεζοειδούς ή μερική παράλυση έχει ως αποτέλεσμα στροφή της ωμοπλάτης επιπρόσθετα της έλλειψης ικανότητας για απαγωγή του ώμου πέραν των 90°.

Έλεγχος των μυών των κάτω άκρων και των εν τω βάθει τενόντιων αντανακλαστικών απαιτείται επίσης, προκειμένου να ανιχνευθεί η παρουσία σημείων των μακρών φλοιονωτιαίων οδών, καθώς οι εξελκυσμοί ριζών του βραχιονίου πλέγματος μπορεί να συνοδεύονται με βλάβες του νωτιαίου μυελού.<sup>(54)</sup>

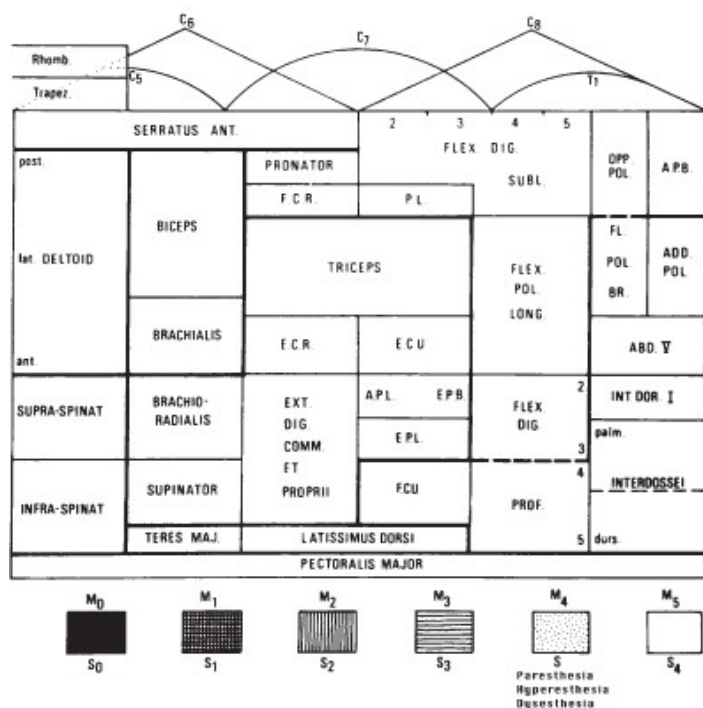
Διάφορα συστήματα καταγραφής των αποτελεσμάτων της φυσικής εξέτασης του τραυματισμένου βραχιονίου πλέγματος έχουν δημοσιευθεί. Μια τροποποίηση της διάταξης που προτάθηκε από τον Merle d'Aubigne χρησιμοποιείται συχνά προκειμένου να καταγραφεί η εκτίμηση των τραυματικών παραλύσεων του βραχιονίου πλέγματος των ενηλίκων (εικ. 16).

<sup>(55)</sup> Το σύστημα αυτό βοηθά το χειρουργό να καταγράψει με ακρίβεια τη φυσική εξέταση και

επομένως, αφενός τον βοηθά στην πρόβλεψη της θέσης της νευρικής βλάβης, αφετέρου τον καθιστά ικανό να ανιχνεύσει αλλαγές στην κινητική λειτουργία διευκολύνοντας τους μετέπειτα επανελέγχους. Τέτοια διαγράμματα αναπαριστούν την μέση ανατομική κατάσταση, ενώ παραλλαγές στην ανατομία του πλέγματος είναι συχνές. Για παράδειγμα, ένα προκαθλωμένο πλέγμα λαμβάνει σημαντική νεύρωση από την A4 ρίζα και ένα μετακαθλωμένο πλέγμα λαμβάνει νεύρωση από τη Θ2. Ασυνήθης κινητική ή αισθητική βλάβη, η οποία δεν κατανέμεται στην σωστή περιοχή των αυχενικών νευρικών ριζών και των περιφερικών νέρων, μπορεί να δείχνει ατελή νευρική βλάβη με κάποια ανάνηψη.

## LEFT BRACHIAL PLEXUS

NAME : CHRIST NAME : BORN ON : OCCUPATION :  
 ADDRESS : INSURANCE :  
 DATE & TYPE OF ACCIDENT :  
 DIAGNOSIS : VASCULAR LESIONS :  
 HORNER : EMG : MOBILITY OF DIAPHRAGM :  
 DATE OF EXAMINATION : MYELOGRAPHY :



**Εικόνα 16.** Κινητικά και αισθητικά ευρήματα πρέπει να καταγράφονται με ακρίβεια τόσο προεγχειρητικά όσο και μετεγχειρητικά. Οι περισσότεροι χειρουργοί βραχιονίου πλέγματος χρησιμοποιούν κάποια τροποποίηση της διάταξης που πρότεινε ο Merle d'Aubigne για την καταγραφή των δεδομένων.

Στα διαγράμματα αυτά για την ποσοτική καταγραφή της λειτουργικής ικανότητας των μυών του προσβεβλημένου άνω άκρου συνήθως χρησιμοποιείται το σύστημα βαθμονόμησης του Βρετανικού Συμβουλίου Ιατρικής Έρευνας (British Medical Research Council Grading System).<sup>(56)</sup> Σύμφωνα με αυτό ο υπό εξέταση μυς βαθμολογείται με μία κλίμακα από το 0 έως 5 χρησιμοποιώντας χειρωνακτικά μυϊκά τεστ (πίνακας 2). Ένας βαθμός MRC 5 αναφέρεται σε φυσιολογική μυϊκή δύναμη, ένας βαθμός MRC 3 αναφέρεται σε μυϊκή ισχύ

ικανή απλά να υπερνικά τη βαρύτητα, ενώ ένας βαθμός MRC 0 αναφέρεται σε ένα άτομο και χαλαρό μυ. Το ενεργητικό και παθητικό εύρος κίνησης θα πρέπει επίσης να καταγράφεται.

Πίνακας 2. Σύστημα βαθμονόμησης μυϊκής ισχύος του Βρετανικού Συμβουλίου Ιατρικής Έρευνας

0	Καμία μυϊκή σύσπαση
1	Εμφανής μυϊκή σύσπαση, αλλά όχι κίνηση στην άρθρωση
2	Κίνηση στην άρθρωση, αλλά όχι έναντι της βαρύτητας
3	Κίνηση έναντι της βαρύτητας, αλλά όχι έναντι επιπλέον αντίστασης
4	Κίνηση έναντι αντίστασης, αλλά λιγότερο από φυσιολογικά
5	Φυσιολογική μυϊκή ισχύς

### ii) Αισθητική εξέταση

Μία πλήρης αισθητική εξέταση θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει τόσο αντικειμενικές όσο και υποκειμενικές αισθητικές αλλαγές, και επομένως καταγραφή του πόνου, της θερμοκρασίας, της αφής, της παλαισθησίας, και της διάκρισης δύο σημείων. Η εξέταση αυτή θα πρέπει να ελέγχει διάφορες νευρικές κατανομές, ιδίως αυτόνομες ζώνες των τελικών κλάδων. Η αίσθηση των δερμοτομιών σε επίπεδο ριζών μπορεί να είναι αναξιόπιστη εξαιτίας της επικάλυψης από άλλα νεύρα ή από ανατομικές παραλλαγές.

Οποιοσδήποτε διαταραχές της υποκειμενικής ευαισθησίας που εκφράζονται με πόνο πρέπει να εκτιμώνται προσεκτικά. Σοβαρός καυστικός πόνος σε ένα αναισθητοποιημένο άκρο ο οποίος δεν έχει ακριβή κατανομή δεικνύει κάποιο βαθμό αναστολής των κεντρομόλων ερεθισμάτων, σχετίζεται ισχυρά με εξελκυσμούς των ριζών και φέρει κακή πρόγνωση. Αυτού του είδους ο πόνος λόγω αναστολής κεντρομόλων ερεθισμάτων (deafferentation pain) συνεπεία εξελκυσμού ρίζας συνήθως εμφανίζεται εντός λίγων εβδομάδων μετά τον τραυματισμό και αποτελεί ένα μείζον θεραπευτικό πρόβλημα. Πρόκειται για νευραλγικού (νευροπαθητικού) τύπου πόνο και σχετίζεται με τη συμμετοχή του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Η ακριβής παθογένεση αυτού του πόνου είναι δύσκολο να καθοριστεί, και μια μακροχρόνια παραμονή του μπορεί να αναμένεται.<sup>(57)</sup>

Χρήσιμο μέρος της αισθητικής εξέτασης αποτελεί η επίκρουση των νεύρων. Πόνος πάνω από ένα νεύρο, όταν παρατηρείται οξέως, δηλώνει διατομή. Όταν δεν υπάρχει καμία ευαισθησία στην επίκρουση πάνω από το βραχιόνιο πλέγμα τότε είναι πιθανή η παρουσία εξελκυσμού. Ένα σημείο Tinel το οποίο προωθείται δηλώνει μία βλάβη σε φάση ανάνηψης.

Τέλος μια πλήρης αισθητική εξέταση των κάτω άκρων θα πρέπει να πραγματοποιείται προκειμένου να ανιχνευθούν πιθανές συνυπάρχουσες κακώσεις του νωτιαίου μυελού. Το σύνδρομο Brown-Sequard μπορεί να προκληθεί σε συνδυασμό με μαζικό εξελκυσμό νευρικών ριζών. Η κλινική εξέταση ασθενών με αυτό το σύνδρομο παρουσιάζει διαχωριστικές αλλαγές στα κάτω άκρα. Τα ευρήματα στο ομόπλευρο κάτω άκρο περιλαμβάνουν μυϊκή σπαστικότητα επιπρόσθετα της απώλειας της αφής, παλαισθησίας και της αίσθησης της θέσης (κιναισθησίας). Το ετερόπλευρο κάτω άκρο παρουσιάζει απώλεια της αίσθησης του πόνου και της θερμοκρασίας.

### iii) Εξέταση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος

Η εξέταση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος αποτελεί επίσης μέρος της αρχικής νευρολογικής εξέτασης. Αγγειοκινητικές διαταραχές, κυάνωση, οίδημα των μαλακών μορίων,



και τροφικές αλλοιώσεις θα πρέπει να παρατηρούνται. Η εφίδρωση του προσβεβλημένου χεριού αποτελεί χρήσιμη πληροφορία σχετικά με την βλάβη του βραχιονίου πλέγματος. Ανιδρωσία αναισθητοποιημένων περιοχών δηλώνει μία μεταγαγγλιακή βλάβη. Η λειτουργία της εφίδρωσης μπορεί να ελεγχθεί με το τεστ νινυδρίνης.

Το συμπαθητικό γάγγλιο για την Θ1 ρίζα βρίσκεται σε εγγύτητα με την Θ1 ρίζα και παρέχει συμπαθητική ροή προς την κεφαλή και τον αυχένα. Εξαιτίας αυτής της στενής σχέσης, εξελκυσμός ή μία εγγύς βλάβη των κατώτερων ριζών τυπικά έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή του Θ1 συμπαθητικού γαγγλίου και οδηγεί στο σύνδρομο Horner, το οποίο αποτελείται από μύση (συστολή της κόρης), πτώση (κατάσπαση του βλεφάρου), κι ανιδρωσία (ξηροφθαλμία). Επομένως η παρουσία του συνδρόμου Horner ομόπλευρα αποτελεί ένα κακό προγνωστικό σημείο για αυτόματη ανάνηψη, μια και σχετίζεται με εξελκυσμό των Α8 και Θ1 ριζών (εικ. 17).<sup>(19)</sup> Μπορεί να εμφανιστεί άμεσα αλλά μερικές φορές δεν είναι έκδηλα εμφανές για 3 έως 4 ημέρες μετά τον τραυματισμό.



**Εικόνα 17.** Σύνδρομο Horner (\*): Με εξελκυσμό της Θ1 ρίζας, το πρώτο θωρακικό συμπαθητικό γάγγλιο τραυματίζεται. Το αποτέλεσμα είναι μύση (συστολή της κόρης), πτώση (κατάσπαση του βλεφάρου), ανιδρωσία (ξηροφθαλμία), και ενόφθαλμος (εμβύθιση του βολβού).

### γ) Αγγειακή εξέταση

Η περιφερική αγγειακή εξέταση του προσβεβλημένου άκρου θα πρέπει πάντα να γίνεται στην αρχική φυσική εξέταση και να συμπεριλαμβάνει ψηλάφηση των περιφερικών σφύξεων, ψηλάφηση για δονήσεις, ή ακρόαση για βόμβους. Μείζων αγγειακός τραυματισμός ανευρίσκεται σε συνδυασμό με βλάβες του βραχιονίου πλέγματος στο 10% έως 16% των περιπτώσεων. Είναι δυνατόν σε έναν σημαντικό τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος να προκληθεί ρήξη της μασχαλιαίας αρτηρίας. Προοδευτική απώλεια της κινητικής και αισθητικής λειτουργίας του προσβεβλημένου άκρου δηλώνει ένα επεκτεινόμενο αιμάτωμα ή ανεύρυσμα που πιέζει τις παρακείμενες νευρικές δομές.

Αγγειακός τραυματισμός μπορεί να υπάρχει σε συνδυασμό με βλάβη του βραχιονίου πλέγματος είτε λόγω ελκυσμού είτε λόγω διατιτραίνοντος τραύματος.<sup>(58)</sup> Η αγγειακή βλάβη συνήθως συνοδεύει μία κάτωθεν της κλειδός βλάβη ή εξελκυσμό των κατώτερων ριζών του βραχιονίου πλέγματος ή ακόμη σοβαρότερους τραυματισμούς, όπως ωμοπλατιοθωρακικούς διαχωρισμούς, και θα πρέπει να εκτιμάται και να αντιμετωπίζεται από έναν αγγειοχειρουργό είτε πριν είτε ταυτόχρονα με τη χειρουργική παρέμβαση για το βραχιόνιο πλέγμα.



## ***Δ] Παρακλινικός έλεγχος***

### **I) Απεικονιστικές μελέτες**

#### ***α) Απλή ακτινογραφία***

Συνοδό μυοσκελετικό τραύμα είναι σύνηθες σε τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος. Ο ακτινολογικός έλεγχος, εκτός του ότι αποσαφηνίζει το συνοδό σκελετικό τραύμα, μπορεί να δώσει ενδείξεις ύπαρξης συνοδού νευρολογικού τραυματισμού. Οι καθιερωμένες λήψεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν ακτινογραφίες του ώμου (προσθιοπισθία, μασχαλιαία λήψη), της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης και μια ακτινογραφία θώρακος σε όλους τους ασθενείς με τραυματικές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος.

Κάταγμα της κλείδας μπορεί να είναι ένας δείκτης τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος. Κάταγμα της ωμοπλάτης γύρω από την ωμοπλατιαία εντομή μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό στο υπερπλάτιο νεύρο. Κάταγμα της κορακοειδούς απόφυσης μπορεί να σχετίζεται με βλάβη στο έξω δευτερεύον στέλεχος ή στο μυοδερματικό νεύρο, και αποτελεί συχνή θέση βλάβης σε δεύτερο επίπεδο επί τραυματικών βλαβών του βραχιονίου πλέγματος διπλού επιπέδου.

Οι ακτινογραφίες της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης θα πρέπει να εξετάζονται για τυχόν κατάγματα των αυχενικών σπονδύλων, τα οποία θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο το νωτιαίο μυελό. Επιπρόσθετα η ύπαρξη καταγμάτων των εγκαρσίων αποφύσεων της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης αποτελούν ισχυρές ενδείξεις ενδοτρηματικών βλαβών των ριζών και υψηλής ενέργειας τραυματισμού.

Η ακτινογραφία θώρακος γίνεται για να καθοριστεί εάν υπάρχει διεύρυνση του ανωτέρου μεσοθωρακίου, που υποδηλώνει μείζων αγγειακή βλάβη. Κατάγματα της πρώτης ή δεύτερης πλευράς συνήθως συνοδεύουν βλάβες των υπερκείμενων κατώτερων ριζών ή του κάτω πρωτεύοντος στελέχους και αρτηριακό τραυματισμό, ενώ κατάγματα των κατώτερων πλευρών (ακόμη και παλαιά) συνοδεύουν βλάβες των μεσοπλευρίων νεύρων και πνευμονικό τραύμα, που διακινδυνεύουν τη χρήση των μεσοπλευρίων νεύρων ως δότες για νευρομεταφορές. Ανύψωση του ημιδιαφράγματος λόγω παράλυσης σε προσθιοπίσθιες θωρακικές ακτινογραφίες εισπνοής και εκπνοής αποτελεί δείκτη βλάβης του φρενικού νεύρου, αφενός παρεμποδίζοντας τη χρήση του για νευρομεταφορά, αφετέρου υποδηλώνει σοβαρό τραυματισμό των ανώτερων ριζών του πλέγματος.

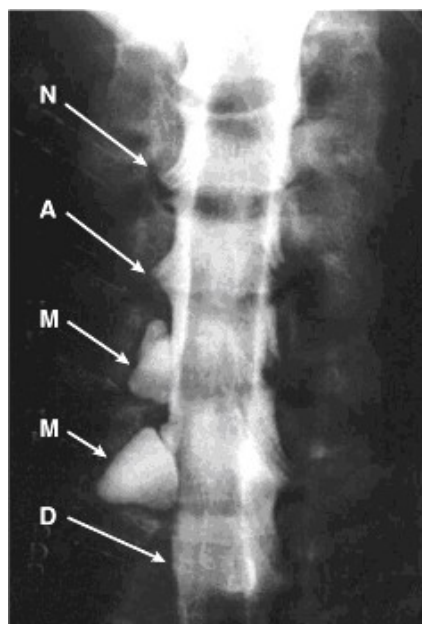
#### ***β) Μυελογραφία και αξονική τομογραφία με μυελογραφία***

Βλάβες του βραχιονίου πλέγματος από ελκυσμό μπορούν να οδηγήσουν σε εξελκυσμό των νευρικών ριζών και των μηνίγγων. Όταν υπάρχει εξελκυσμός μιας αυχενικής ρίζας, το έλυτρο της σκληράς μήνιγγας επουλώνεται με ανάπτυξη μιας ψευδομηνιγγοκήλης. Η μυελογραφία, που αποτελεί επεμβατική τεχνική, ενδείκνυται σε βλάβες του βραχιονίου πλέγματος από ελκυσμό που παρουσιάζονται με ένα επίμονο πλήρες ή μερικό νευρολογικό έλλειμμα. Αμέσως μετά τον τραυματισμό, υπάρχει συχνά ένας θρόμβος αίματος στην περιοχή του εξελκυσμού της νευρικής ρίζας, ο οποίος μπορεί να παρεκτοπίσει τη χρωστική της μυελογραφίας. Για το λόγο αυτό, η μυελογραφία θα πρέπει να πραγματοποιείται 3 με 4 εβδομάδες μετά τον τραυματισμό, ώστε να επιτρέψει ικανοποιητικό χρονικό διάστημα για διάλυση οποιουδήποτε θρόμβου αίματος και τον πλήρη σχηματισμό της ψευδομηνιγγοκήλης. Επιπλέον η μυελογραφία δεν θα πρέπει να πραγματοποιείται νωρίτερα από αυτό το χρονικό όριο διότι οι ρήξεις της σκληράς μήνιγγας δεν θα έχουν ακόμη επουλωθεί και η απεικόνιση

των ριζών του βραχιονίου πλέγματος θα συγκαλύπτεται από διαρροή του υλικού αντίθεσης από τις τραυματισμένες νευρικές ρίζες.

Στο παρελθόν, χρησιμοποιούταν ελαιώδες αντιθετικό υλικό με έγχυση δια οσφυονωτιαίας παρακέντησης.<sup>(59)</sup> Πρόσφατες βελτιώσεις στη μυελογραφία με υδατοδιαλυτό αντιθετικό υλικό επιτυγχάνουν καθαρότερη και πιο αξιόπιστη απεικόνιση των αυχενικών ριζών.<sup>(60)</sup> Η προεγχειρητική μυελογραφία μπορεί να πραγματοποιηθεί με έγχυση του αντιθετικού υλικού δια πλάγιας παρακέντησης στο διάστημα μεταξύ του A1 και A2 αυχενικού σπονδύλου.<sup>(61)</sup> Βλάβες στις ρίζες και τα ριζίδια απεικονίζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε μυελογράμματα που γίνονται με πλαγιά παρακέντηση δια του A1 - A2 διαστήματος από ότι με την τεχνική της οσφυονωτιαίας παρακέντησης.

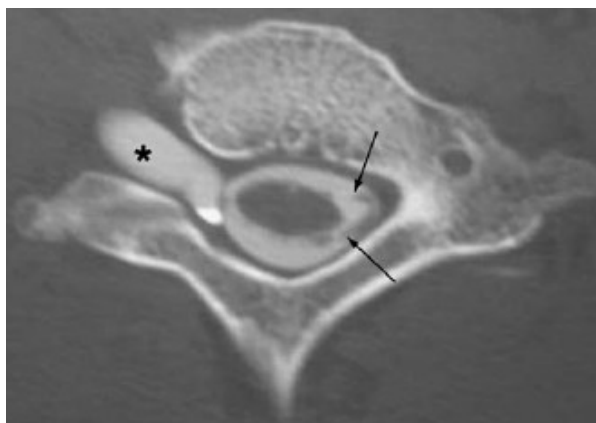
Διαφορετικοί τύποι τραυματισμού οδηγούν σε διαφορετικά μοτίβα όπως αυτά καταγράφονται σε μυελογραφία. Βασιζόμενοι στην τροποποιημένη μυελογραφική ταξινόμηση του Nagano, τα μυελογραφικά ευρήματα κατηγοριοποιούνται σε έξι κατηγορίες (εικ. 18).<sup>(60, 62)</sup> Η κατηγορία N αναφέρεται στη φυσιολογική σκιά του ελύτρου της ρίζας. Η κατηγορία A1 είναι μία ήπια ανώμαλη σκιά του ελύτρου της ρίζας με διακριτή σκιά της ρίζας και των ριζιδίων αλλά διαφορετική από αυτή της μη προσβεβλημένης πλευράς. Η κατηγορία A2 εμφανίζει μία εξάλειψη της κορυφής του ελύτρου της ρίζας με αναγνωρίσιμες και ορατές σκιές της ρίζας και των ριζιδίων. Η κατηγορία A3 είναι η εξάλειψη της κορυφής του ελύτρου της ρίζας χωρίς να είναι καθόλου ορατή η σκιά της ρίζας. Η κατηγορία D παρουσιάζει ένα έλλειμμα αντί της σκιάς του ελύτρου της ρίζας και η κατηγορία M αναφέρεται σε τραυματική μηνιγγοκήλη (ψευδομηνιγγοκήλη) με παρουσία μηνιγγικού εκκολπώματος.



**Εικόνα 18.** Μυελογραφία ασθενούς με τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος, που παρουσιάζει το τροποποιημένο σύστημα ταξινόμησης του Nagano. N, φυσιολογική σκιά του ελύτρου της ρίζας. A, ανώμαλη σκιά του ελύτρου της ρίζας, που βαθμονομείται από ήπια ανώμαλη σκιά του ελύτρου της ρίζας (A1) έως μη ορατή σκιά της ρίζας (A3). D, έλλειμμα αντί σκιάς του ελύτρου της ρίζας. M, τραυματική μηνιγγοκήλη (ψευδομηνιγγοκήλη).<sup>(61)</sup> Εάν μία ψευδομηνιγγοκήλη είναι παρούσα, υπάρχει μία μεγαλύτερη πιθανότητα εξελκυσμού της νευρικής ρίζας.

Η μυελογραφία όταν συνδυάζεται με αξονική τομογραφία (αξονική μυελογραφία) βελτιώνει την απεικόνιση των βλαβών του νωτιαίου μυελού και των νευρικών ριζών και μπορεί περαιτέρω να εκτιμήσει τα ευρήματα της απλής μυελογραφίας όσον αφορά στον καθορισμό του επιπέδου βλάβης.<sup>(60, 63, 64, 65, 66, 67, 68)</sup> Αφού πραγματοποιηθεί η μυελογραφία, η αξονική τομογραφία μπορεί να ληφθεί από το Α4 έως το Θ1 σπονδυλικό επίπεδο με αξονικές τομές 3 χιλιοστών. Επιπρόσθετες αξονικές τομές 1 χιλιοστού λαμβάνονται όταν έχει ανιχνευθεί ανώμαλη παθολογία ή όταν υπάρχει υψηλός δείκτης υποψίας στην αρχική σάρωση. Η γωνία σάρωσης προσανατολίζεται παράλληλα προς τους αυχενικούς μεσοσπονδύλιους δίσκους.

Η διάγνωση εξελκυσμού ρίζας με την αξονική μυελογραφία βασίζεται στην απουσία είτε του ενός (Ρ: μερικός εξελκυσμός) είτε και των δύο ριζιδίων - κοιλιακών και ραχιαίων - (Α: πλήρης εξελκυσμός) ή στην παρουσία μιας ψευδομηνιγγοκήλης (Μ: μηνιγγοκήλη) (εικ. 19). Όταν και τα κοιλιακά και τα ραχιαία ριζίδια απεικονίζονται στις αξονικές τομές να αναδύονται από το νωτιαίο μυελό και να πορεύονται προς το μεσοσπονδύλιο τμήμα, θεωρούνται ότι είναι άθικτα (Ν: φυσιολογικό). Ο καθορισμός της παρουσίας μιας εξελκυσμένης ή άθικτης ρίζας βοηθείται περαιτέρω με σύγκριση με την ετερόπλευρη άθικτη ρίζα. Όταν η ρίζα της άθικτης πλευράς δεν μπορεί να προσδιοριστεί, η προσβεβλημένη ρίζα ταξινομείται μόνο από την απλή μυελογραφία.



**Εικόνα 19.** Αξονική τομογραφία σε συνδυασμό με μυελογραφία μπορεί να είναι χρήσιμη στον καθορισμό του επιπέδου της νευρικής βλάβης. Επί παρουσίας ψευδομηνιγγοκήλης (\*), υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εξελκυσμού της νευρικής ρίζας. Τα βέλη στην αντίθετη πλευρά από αυτήν του εξελκυσμού δείχνουν τα φυσιολογικά περιγράμματα των ραχιαίων και κοιλιακών ριζιδίων της ετερόπλευρης μη τραυματισμένης πλευράς. Σημειώνεται ότι αυτά τα περιγράμματα λείπουν στην πάσχουσα πλευρά.

Η παρουσία μιας ψευδομηνιγγοκήλης καθιστά πιθανή την ύπαρξη εξελκυσμού ρίζας και αποτελεί επιβαρυντικό διαγνωστικό παράγοντα εξαιτίας τόσο της σοβαρότητας όσο και της ανατομικής θέσης των βλαβών στο επίπεδο των ριζών και των ριζιδίων (ραχιαίων και κοιλιακών). Σύμφωνα με τον Sunderland, τα κοιλιακά (κινητικά) ριζίδια είναι λεπτότερα και έχουν μικρότερη αντίσταση σε ελκυσμό από ότι τα ραχιαία (αισθητικά) ριζίδια. Για το λόγο αυτό, τα κοιλιακά ριζίδια είναι πιο επιρρεπή σε βλάβη ελκυσμού από ότι τα ραχιαία ριζίδια. Πέραν της παρουσίας μιας ψευδομηνιγγοκήλης άλλα ευρήματα τα οποία είναι συμβατά με σημαντικό τραυματισμό περιλαμβάνουν άδεια περιβλήματα ριζών και μετατόπιση του νωτιαίου μυελού μακριά από τη μέση γραμμή.

Εξελκυσμός νευρικής ρίζας μπορεί να υπάρχει επί φυσιολογικού μυελογράμματος, όπως και μία ψευδομηνιγγοκήλη είναι δυνατόν να υπάρχει με μία άθικτη νευρική ρίζα. Όταν γίνει συσχέτιση με διεγχειρητικά σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά και εξωμηνιγγική επισκόπηση, έχει βρεθεί 98% ειδικότητα και 95% ευαισθησία της αξονικής μυελογραφίας στην ανίχνευση ενός πλήρους εξελκυσμού ρίζας. Όταν συγκριθεί με ενδομηνιγγική επισκόπηση των ριζών, η διαγνωστική ακρίβεια ενός πλήρους εξελκυσμού ρίζας μειώνεται στο 75% έως 85% των περιπτώσεων.<sup>(67)</sup> Οι ατελείς εξελκυσμοί ριζών δεν ανιχνεύονται καλά από την αξονική μυελογραφία διότι μπορεί να μην συνοδεύονται από ψευδομηνιγγοκήλη. Η ερμηνεία μιας αξονική μυελογραφίας εμπεριέχει σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των παρατηρητών (interobserver variation), που μπορούν να μειώσουν την αξιοπιστία αυτής της διαγνωστικής διαδικασίας.

### **γ) Μαγνητική τομογραφία.**

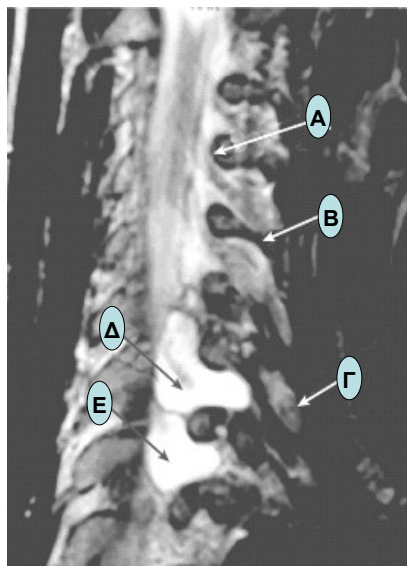
Η εφαρμογή της τεχνολογίας του μαγνητικού συντονισμού σε βλάβες του βραχιονίου πλέγματος εξακολουθεί να αναπτύσσεται και μπορεί να είναι χρήσιμη στην εκτίμηση του ασθενούς με υποψία εξελκυσμού νευρικής ρίζας.<sup>(61, 69, 70)</sup> Τα πλεονεκτήματα της μαγνητικής τομογραφίας περιλαμβάνουν την μη επεμβατικότητα και την έλλειψη ακτινοβολίας. Επιπρόσθετα, μπορεί να απεικονίσει περισσότερη έκταση του βραχιονίου πλέγματος, ενώ η αξονική μετά από μυελογραφία δείχνει μόνο τη βλάβη των νευρικών ριζών.

Η μαγνητική τομογραφία προσφέρει καλύτερη εικόνα των εξωτρηματικών δομών του βραχιονίου πλέγματος από οποιαδήποτε άλλη τεχνική απεικόνισης, ιδίως για μη οξείες καταστάσεις. Διαφορετικά είδη βλαβών που περιλαμβάνουν τραυματισμούς, σχηματισμό νευρώματος με συνοδό φλεγμονή ή οίδημα, όγκο, και παγίδευση, μπορούν να προσδιοριστούν κατά μήκος της πορείας του βραχιονίου πλέγματος. Η μαγνητική τομογραφία του βραχιονίου πλέγματος μπορεί να είναι χρήσιμη στην εκτίμηση μαζικής βλάβης στην περίπτωση μιας αυτόματης μη τραυματικής νευροπάθειας που επηρεάζει το βραχιόνιο πλέγμα, ή τους τελικούς του κλάδους. Τα ευρήματα της μαγνητικής τομογραφίας που σχετίζονται με ενδοτρηματικές βλάβες του πλέγματος περιλαμβάνουν αιματώματα στο σπονδυλικό κανάλι, άδεια περιβλήματα ριζών, και μετατόπιση του νωτιαίου μυελού μακριά από τη μέση γραμμή.

Μετά από την εργασία του Blair και συνεργατών<sup>(71)</sup>, πολλές αναφορές για την εμφάνιση του βραχιονίου πλέγματος στη μαγνητική τομογραφία έχουν δημοσιευθεί<sup>(67, 69, 72)</sup>, οι περισσότερες χρησιμοποιώντας στεφανιαίες τομές του βραχιονίου πλέγματος. Η μαγνητική απεικονίζει σε T1 ακολουθίες το λιπώδες περιεχόμενο της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού και των νευρικών ριζών (άδεια περιβλήματα) ενώ οι T2 ακολουθίες δεικνύουν το περιεχόμενο σε υγρό το οποίο είναι παρών σε μία ψευδομηνιγγοκήλη.

Η μαγνητική τομογραφία δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον καθορισμό των βλαβών σε επίπεδο ριζών, επειδή η μυελογραφία και η αξονική μυελογραφία μπορούν να απεικονίσουν με καθαρότητα τις βλάβες των ριζών. Η μαγνητική τομογραφία με αξονικές τομές των 3 χιλιοστών παρέχει ακριβή διάγνωση εξελκυσμού ρίζας σε μόνο 52% των περιπτώσεων όταν συγκρίνεται με ενδομηνιγγική επισκόπηση.<sup>(67)</sup> Το σημαντικό οίδημα που δημιουργείται κατά την οξεία φάση του τραυματισμού συχνά παρεμποδίζει την αποτελεσματική χρήση της μαγνητικής τομογραφίας στην πρώιμη μετατραυματική κατάσταση. Στον οξύ τραυματισμό η αξονική μετά από μυελογραφία παραμένει η χρήση σταθερά της ακτινολογικής εκτίμησης για εξελκυσμό νευρικής ρίζας. Η μαγνητική τομογραφία συνεχίζει να βελτιώνεται, ωστόσο, και μπορεί κάποια μέρα να εξαλείψει την ανάγκη για τις πιο επεμβατικές μυελογραφίες.

Πρόσφατα ο Doi και οι συνεργάτες εισήγαγαν μία καινούργια τεχνική μαγνητικής τομογραφίας με επικαλυπτόμενες στεφανιαίες - πλάγιες τομές (OCOS MRI)<sup>(61)</sup> και συμπέραναν ότι η τεχνική αυτή αποτελεί αξιόπιστη και αναπαραγώγιμη μέθοδο για την ανίχνευση εξελκυσμού ριζών χρησιμοποιώντας τόσο αναδρομικές όσο και προοπτικές μελέτες. Η εικόνα 20 δείχνει ένα παράδειγμα απεικονίσεων που λήφθησαν με αυτή την τεχνική.



**Εικόνα 20.** Μαγνητική τομογραφία ασθενούς με παράλυση βραχιονίου πλέγματος, που απεικονίζει τα φυσιολογικά και τα παθολογικά ευρήματα των ριζιδίων και των γαγγλίων: A5 (A) και A6 (B), φυσιολογική ανατομία (φυσιολογικό γάγγλιο)· A7 (Γ), μερική βλάβη (μειωμένος αριθμός ριζιδίων και παρεκτόπιση του γαγγλίου από το μεσοσπονδύλιο διάστημα)· και A8 (Δ) και Θ1 (Ε), μηνιγγοκήλη (απώλεια ριζιδίων και εξαφάνιση του γαγγλίου από το μεσοσπονδύλιο διάστημα)<sup>(61)</sup>

Η αντιστοίχιση των ευρημάτων της μαγνητικής τομογραφίας με αυτά της μυελογραφίας και της αξονικής μυελογραφίας εικονίζονται στον Πίνακα 3. Αν και η ακριβής παθολογική ανατομία κάθε κατηγορίας είναι διαφορετική, όλα συμβολίζουν εξελκυσμό ριζών (A, D, και M στη μυελογραφία, P, A, και M στην αξονική μυελογραφία, και R, A, και M στη μαγνητική τομογραφία). Οι ασθενείς που διαγιγνώσκονται με βλάβες πλήρους εξελκυσμού ή ύπαρξη μηνιγγοκήλης θα πρέπει να υποβάλλονται σε πρώιμη διαδικασία νευρομεταφορών αντί για χειρουργική επιδιόρθωση του βραχιονίου πλέγματος.

Πίνακας 3: Σύγκριση των κατηγοριών ταξινόμησης με μυελογραφία, αξονική μυελογραφία και μαγνητική τομογραφία

	Μυελογραφία	Αξονική μυελογραφία	Μαγνητική τομογραφία
<b>Φυσιολογικό</b>	N	N	N
<b>Εξελκυσμός</b>			
<b>Ατελής</b>	A (A1-A3)	P	R
<b>Πλήρης</b>	D	A	A
<b>Μηνιγγοκήλη</b>	M	M	M

#### δ) Αγγειογραφία

Στις τραυματικές κακώσεις του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες, η αγγειογραφία του άνω άκρου ενδείκνυται στην περίπτωση διατιτραίνοντων τραυμάτων με ή χωρίς ανώμαλα νευραγγειακά ευρήματα, μη διατιτραίνοντων τραυμάτων με ανώμαλα αγγειακά ευρήματα και μη διατιτραίνοντων τραυμάτων με αρχικά φυσιολογική νευραγγειακή εξέταση αλλά επακόλουθο εξελισσόμενο νευρολογικό έλλειμμα προς αποκλεισμό επεκτεινόμενου αιματώματος ή ανευρύσματος που πιέζει τις παρακείμενες νευρικές δομές (εικ. 21). Η αγγειογραφία είναι πολύ χρήσιμη στην ανίχνευση «σιωπηλών» αγγειακών βλαβών οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν κίνδυνο κατά τη διάρκεια της χειρουργικής διερεύνησης και ανακατασκευής των βλαβών του βραχιονίου πλέγματος. Η αγγειογραφία μπορεί επίσης να ενδείκνυται για επιβεβαίωση της βατότητας μιας προηγούμενης αγγειακής επιδιόρθωσης ή ανακατασκευής.



**Εικόνα 21.** Η αγγειογραφία έχει ένδειξη σε ασθενείς με μη φυσιολογική αγγειακή εξέταση προκειμένου να αποκλεισθεί αγγειακή βλάβη. Στην συγκεκριμένη βλάβη η αγγειογραφία δεικνύει απώλεια της συνέχειας της υποκλείδιας αρτηρίας .

## II) Ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες

Οι ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες είναι ένα απαραίτητο στοιχείο στην προεγχειρητική και διεγχειρητική λήψη αποφάσεων όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα και ερμηνεύονται σωστά. Οι ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες μπορούν να βοηθήσουν στην επιβεβαίωση της διάγνωσης, την εντόπιση της βλάβης, τον καθορισμό της σοβαρότητας της αξονικής απώλειας και της πληρότητας μιας βλάβης, να εξαλείψουν άλλες καταστάσεις από τη διαφορική διάγνωση, και να αποκαλύψουν υποκλινική ανάνηψη ή μη αναγνωρίσιμες υποκλινικές διαταραχές. Οι ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες για το λόγο αυτό χρησιμεύουν ως ένα σημαντικό βοηθητικό μέσο επιπρόσθετα ενός λεπτομερούς ιστορικού, της φυσικής εξέτασης, και των απεικονιστικών μεθόδων, χωρίς να αποτελούν υποκατάστατο αυτών. Όταν συνεκτιμώνται όλα τα ανωτέρω, μπορεί να ληφθεί απόφαση για το εάν θα πρέπει να προχωρήσει κανείς επεμβατικά.

Τόσο η ηλεκτρομυογραφία όσο και οι μελέτες νευρικής αγωγιμότητας είναι προτιμότερο να διενεργούνται 3 με 4 εβδομάδες μετά τον τραυματισμό επειδή η Βαλλεριανή εκφύλιση θα έχει εμφανισθεί μέχρι αυτό το χρονικό όριο. Διαδοχικές ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε συνδυασμό με επαναλαμβανόμενη φυσική εξέταση κάθε λίγους μήνες προκειμένου να πιστοποιήσουν και να ποσοτικοποιήσουν την συνεχιζόμενη επανανεύρωση ή απονεύρωση.



Ωστόσο, υπάρχουν εμφανείς περιορισμοί στις ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες. Το ηλεκτρομυογράφημα και οι μελέτες νευρικής αγωγιμότητας είναι τόσο αξιόπιστα όσο και η εμπειρία του ατόμου που πραγματοποιεί τις μελέτες και ερμηνεύει το αποτέλεσμα. Σίγουρα, το ηλεκτρομυογράφημα μπορεί να δώσει ένδειξη μιας πρώιμης ανάνηψης μυών (π.χ., την εμφάνιση αναπτυσσόμενων δυναμικών, τη μείωση του αριθμού των ινδικών δυναμικών, ή την εμφάνιση ή τον αυξημένο αριθμό των δυναμικών κινητικών μονάδων). Αυτά τα ευρήματα μπορεί να προηγούνται κλινικά εμφανούς ανάνηψης για διάστημα εβδομάδων έως μηνών. Όμως, ηλεκτρομυογραφική ανάνηψη δεν ισούται πάντα με κλινικά αντίστοιχη ανάνηψη, είτε από την άποψη της ποιότητας της αναγέννησης είτε από την άποψη της έκτασης της ανάνηψης. Απλά υποδηλώνει ότι κάποιες αγνώστου αριθμού ίνες έχουν φτάσει στους μύες και έχουν εγκαθιδρύσει συνδέσεις με την τελική κινητική πλάκα. Αντίστροφα, ηλεκτρομυογραφική απόδειξη επανανεύρωσης ίσως να μην μπορεί να προσδιοριστεί σε πλήρεις βλάβες, παρά την προοδευτική αναγέννηση, όταν τα τελικά όργανα στόχοι είναι αρκετά περιφερικότερα. επειδή αυτά λόγω του μεγάλου χρονικού μεσοδιαστήματος έχουν εντωμεταξύ ατροφήσει.

### ***α) Ηλεκτρομυογράφημα***

Το ηλεκτρομυογράφημα δίνει αντικειμενική πληροφορία για την κινητική δυσλειτουργία, ιδίως όταν η κλινική εξέταση της κινητικής λειτουργίας είναι δύσκολη. Σε μετατραυματικές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος, το εύρος του σύνθετου μυϊκού δυναμικού ενεργείας είναι γενικά χαμηλό.

Το ηλεκτρομυογράφημα ελέγχει τους μύες σε ηρεμία και σε δραστηριότητα. Στην ηρεμία, ο φυσιολογικός μυς είναι ηλεκτρομυογραφικά σιωπηρός, ενώ ο ατελώς ή πλήρως απονευρωμένος μυς παράγει χαμηλά ηλεκτρικά δυναμικά (ινδικά δυναμικά). Μειωμένη στρατολόγηση δυναμικών κινητικής μονάδας στην προσπάθεια μπορεί να φανεί άμεσα μετά την εμφάνιση αδυναμίας εξαιτίας τραυματισμού του κατώτερου κινητικού νευρώνα. Επιπρόσθετα όταν τραυματίζεται ο νευράξονας, η εκφύλιση του περιφερικού τμήματος λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ημερών έως εβδομάδων. Καθώς η Βαλλεριανή εκφύλιση του κινητικού νευράξονα προχωρά, η επίδραση του νεύρου πάνω στο μυ χάνεται, και εμφανίζονται απονευρωτικά (ινδικά) δυναμικά στην ηρεμία στους εγγύς μύες το νωρίτερο εντός 10 έως 14 ημερών μετά τον τραυματισμό και εντός 3 έως 6 εβδομάδων μετά τον τραυματισμό σε πιο περιφερικούς μύες.

Το ηλεκτρομυογράφημα χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας μετά τον τραυματισμό προκειμένου να καθορίσει εάν η βλάβη είναι μια βλάβη σε συνέχεια (μερική βλάβη). Η παρουσία ενεργών κινητικών μονάδων (δυναμικών ενεργείας) στην εκούσια προσπάθεια και λίγων ινιδώσεων στην ηρεμία, παρά την ύπαρξη πλήρης παράλυσης, δηλώνει μερική βλάβη και έχει καλή πρόγνωση σε σύγκριση με την απουσία κινητικών μονάδων και πολλαπλών ινιδώσεων.

Το ηλεκτρομυογράφημα μπορεί επίσης να δώσει πληροφορίες για το επίπεδο της βλάβης σε σχέση με τα γάγγλια των ραχιαίων ριζών. Αμέσως αφού αφήσουν τα μεσοσπονδύλια τρήματα, οι κοιλιακοί κλάδοι των Α5 έως Θ1 ριζών ενώνονται για να δημιουργήσουν το βραχιόνιο πλέγμα, και οι ραχιαίοι κλάδοι των αντίστοιχων ριζών πορεύονται οπισθίως προκειμένου να νευρώσουν τα εν τω βάθει στρώματα των αυχενικών παρασπονδυλικών μυών και του δέρματος (εικ. 2). Σε μία προγαγγλιακή βλάβη του βραχιονίου πλέγματος, απονευρωτικά δυναμικά μπορούν να ανιχνευθούν με εξέταση με βελόνες στα βαθύτερα στρώματα των αυχενικών παρασπονδυλικών μυών το νωρίτερο στις 3 εβδομάδες μετά τον τραυματισμό.<sup>(73)</sup> Μεταγαγγλιακή βλάβη υποδηλώνεται εάν δυναμικά απονεύρωσης παρουσιάζονται στους μύς που νευρώνονται από το περιφερικό τμήμα του βραχιονίου

πλέγματος αλλά οι αυχενικοί παρασπονδυλικοί μύες δεν δείχνουν ινδικά δυναμικά στις 3 εβδομάδες (φυσιολογικοί αυχενικοί παρασπονδυλικοί μύες). Αν ένα δυναμικό απονεύρωσης εμφανίζεται τόσο στους παραυχενικούς όσο και στους περιφερικούς μύες, η βλάβη μπορεί να είναι είτε προγαγγλιακή είτε συνδυασμένη προγαγγλιακή και μεταγαγγλιακή.

Προς την ίδια κατεύθυνση καθορισμού του επιπέδου της βλάβης μπορεί να βοηθήσει ο ηλεκτρομυογραφικός έλεγχος των εγγύς μυών, οι οποίοι νευρώνονται από κινητικούς κλάδους που αναδύονται σε επίπεδο ρίζας (π.χ., ρομβοειδείς, πρόσθιος οδοντωτός).

### ***β) Μελέτες νευρικής αγωγιμότητας***

Μελέτες νευρικής αγωγιμότητας πραγματοποιούνται μαζί με το ηλεκτρομυογράφημα. Τα αισθητικά νευρικά δυναμικά ενεργείας είναι σημαντικά στην εντόπιση μιας βλάβης ως προγαγγλιακής ή μεταγαγγλιακής.

Σε μια προγαγγλιακή βλάβη, οι κινητικές ίνες της τραυματισμένης ρίζας υφίστανται Βαλλεριανή εκφύλιση. Αυτή η εκφύλιση προκαλείται από την απώλεια της συνέχειας μεταξύ των κινητικών ιών και των αντίστοιχων κινητικών νευρώνων στο πρόσθιο κέρασ του νωτιαίου μυελού. Ωστόσο, η Βαλλεριανή εκφύλιση δεν συμβαίνει στις αισθητικές ίνες επειδή η συνέχεια μεταξύ των αισθητικών ιών και των αισθητικών νευρώνων στα γάγγλια των ραχιαίων ριζών ακόμη διατηρείται.

Για το λόγο αυτό, μετά από προγαγγλιακές βλάβες, η αισθητική νευρική αγωγιμότητα είναι ακόμη φυσιολογική, ενώ η κινητική νευρική αγωγιμότητα είναι απύσα. Άθικτη αισθητική νευρική αγωγιμότητα, όταν κλινικά ο ασθενής είναι αναισθητός στο αντίστοιχο δερμοτόμιο, είναι συμβατή με προγαγγλιακό τραυματισμό (εξελκυσμό ρίζας). Απώλεια τόσο της αισθητικής όσο και της κινητικής αγωγιμότητας μπορεί να είναι αποτέλεσμα μιας μεταγαγγλιακής βλάβης ή ενός συνδυασμού προγαγγλιακής και μεταγαγγλιακής βλάβης.<sup>(74)</sup>

Εξαιτίας της επικαλυπτόμενης αισθητικής νευρώσεως, ο θέρापων χρειάζεται να είναι προσεκτικός όσον αφορά στην εντόπιση ενός συγκεκριμένου νεύρου με προγαγγλιακή βλάβη όταν βασίζεται μόνο στα αισθητικά δυναμικά ενεργείας και μόνο.

### ***γ) Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά.***

Τα σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά είναι μία μέτρηση του σωματοαισθητικού μονοπατιού από ένα περιφερικό νεύρο προς τον αισθητικό φλοιό. Ένα ηλεκτρικό ερέθισμα εφαρμόζεται πάνω από το σημείο του Erb ή σε ένα περιφερειακό νεύρο, π.χ. το μέσο ή το ωλένιο νεύρο στον καρπό ή σε ένα δακτυλικό νεύρο. Εάν τα αισθητικά μονοπάτια είναι άθικτα, ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο τριχωτό της κεφαλής πάνω από τη φλοιική περιοχή αντιπροσώπευσης στον ετερόπλευρο αισθητικό φλοιό καταγράφουν ένα σήμα. Στη συνέχεια για περισσότερο ακριβή εντόπιση η φλοιική περιοχή αντιπροσώπευσης μπορεί να διαιρεθεί σε ένα μικρότερο τμήμα, οπότε μόνο τα ηλεκτρόδια που υπέρκεινται αυτής της περιοχής πραγματοποιούν καταγραφή.

Όταν ένα φυσιολογικό σωματοαισθητικό προκλητό δυναμικό μετριέται, ένας σημαντικός αριθμός τόσο κεντρικών όσο και περιφερικών αισθητικών ιών πρέπει να είναι λειτουργικός. Επομένως, θετικές καταγραφές παρέχουν ένδειξη ότι οι ρίζες είναι σε συνέχεια με το νωτιαίο μυελό. Επί απουσίας προκλητής απάντησης, θα πρέπει να υπάρχει μία σημαντική βλάβη κατά μήκος του μονοπατιού. Ωστόσο, αρνητικές καταγραφές από μόνες τους δεν μπορούν να διαφοροποιήσουν ανάμεσα σε εξελκυσμό, διατομή, ή βλάβη σε συνέχεια. Η απουσία σωματοαισθητικών προκλητών δυναμικών με φυσιολογικό νευρικό δυναμικό ενεργείας σε ένα κλινικά μη λειτουργικό νεύρο είναι ισχυρή ένδειξη μιας προγαγγλιακής βλάβης εξελκυσμού.<sup>(74, 75)</sup>

#### **δ) Διεγχειρητικές ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες**

Οι διεγχειρητικές ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες είναι ένα απαραίτητο μέρος του χειρουργείου του βραχιονίου πλέγματος όσον αφορά στην καθοδήγηση για την λήψη αποφάσεων. Ο συνδυασμός αυτών των τεχνικών μπορεί να μεγιστοποιήσει την πληροφορία που μπορεί να συγκεντρώσει κανείς πριν οδηγηθεί στη λήψη χειρουργικών αποφάσεων. Η χρήση νευρικών δυναμικών ενεργείας και σωματοαισθητικών προκλητών δυναμικών τείνει να είναι η συνήθης πρακτική με περιστασιακή χρήση των σύνθετων μυικών δυναμικών ενεργείας.

Η χρήση των νευρικών δυναμικών ενεργείας επιτρέπει στο χειρουργό να ελέγξει ένα νεύρο άμεσα κατά μήκος μιας βλάβης, το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό της επανανεύρωσης αρκετούς μήνες πριν τις συμβατικές ηλεκτρομυογραφικές τεχνικές και καθορίζει εάν η βλάβη είναι τύπου νευραπραξίας (παρόντα νευρικά δυναμικά ενεργείας) ή αξονόμησης (απόντα νευρικά δυναμικά ενεργείας). Η παρουσία ενός νευρικού δυναμικού ενεργείας κατά μήκος μιας βλάβης δηλώνει διατήρηση των νευραξόνων ή σημαντική αναγέννηση. Μελέτες σε πειραματόζωα δηλώνουν ότι η παρουσία ενός νευρικού δυναμικού ενεργείας δηλώνει την βιωσιμότητα χιλιάδων νευραξόνων παρά εκατοντάδων όπως φαίνονται με άλλες τεχνικές.<sup>(76)</sup>

Η παρουσία ενός νευρικού δυναμικού ενεργείας προλέγει την ικανοποιητική ανάνηψη μετά από νευρόλυση και μόνο, χωρίς την ανάγκη χρήσης επιπρόσθετων τεχνικών (π.χ., εκτομή του νευρώματος και τοποθέτηση μοσχευμάτων). Περισσότεροι από 90% των ασθενών με διατήρηση των νευρικών δυναμικών ενεργείας θα κερδίσουν κλινικά χρήσιμη ανάνηψη.

Τα νευρικά δυναμικά ενεργείας μπορούν έμμεσα να βοηθήσουν στη διάκριση ανάμεσα σε προ και μεταγαγγλιακή βλάβη. Μια πιο γρήγορη ταχύτητα αγωγής με μεγάλο εύρος και μικρό λανθάνοντα χρόνο επί σοβαρής κλινικά νευρολογικής απώλειας δηλώνει μία προγαγγλιακή βλάβη. Μια επίπεδη ένδειξη δηλώνει ότι δεν πραγματοποιείται επαρκής αναγέννηση. Το εύρημα αυτό θα μπορούσε να είναι συμβατό είτε με μία μεταγαγγλιακή βλάβη η οποία είναι επιδιόρθωσιμη ή με μια συνδυασμένη προ και μεταγαγγλιακή βλάβη η οποία είναι μη επιδιόρθωσιμη. Στη δεύτερη περίπτωση, διατομή του νεύρου έως το επίπεδο του τρήματος δεν θα αποκάλυπτε καλή δεσμιδική σύσταση.<sup>(44)</sup>

Διεγχειρητικά σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά επίσης χρησιμοποιούνται. Η παρουσία ενός σωματοαισθητικού προκλητού δυναμικού δηλώνει συνέχεια ανάμεσα στο περιφερικό νευρικό σύστημα και το κεντρικό νευρικό σύστημα μέσω της ύπαρξης ραχιαίων ριζιδίων. Μία θετική απάντηση καθορίζεται από την ακεραιότητα μερικών εκατοντάδων άθικτων ινών. Η πραγματική κατάσταση των κοιλιακών ριζιδίων δεν μπορεί να ελεγχθεί άμεσα με αυτή την τεχνική. Απεναντίας, συνάγεται από την κατάσταση των αισθητικών νευρώνων, αν και δεν υπάρχει πάντα πλήρης συσχέτιση ανάμεσα στους εξελκυσμούς των ραχιαίων και των κοιλιακών ριζιδίων. Τα σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά απουσιάζουν σε μεταγαγγλιακές ή συνδυασμένες προ και μεταγαγγλιακές βλάβες. Τα κινητικά προκλητά δυναμικά μπορούν να εκτιμήσουν την ακεραιότητα του κινητικού μονοπατιού διά των κοιλιακών ριζιδίων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί διακρανιακή ηλεκτρική διέγερση και πρόσφατα έχει γίνει αποδεκτή στις Ηνωμένες Πολιτείες.<sup>(77)</sup>

Τα σύνθετα μυικά δυναμικά ενεργείας δεν είναι χρήσιμα στις πλήρεις περιφερικές βλάβες εξαιτίας του απαιτούμενου χρόνου για επανανεύρωση στους περιφερικούς μύες. Τα σύνθετα μυικά δυναμικά ενεργείας είναι χρήσιμα σε βλάβες μερικού τύπου όπου το μέγεθός τους είναι ανάλογο προς τον αριθμό των λειτουργικών αξόνων.

Όλες αυτές οι τεχνικές έχουν πεπερασμένα όρια και τεχνικές δυσκολίες, αλλά όταν πραγματοποιούνται από πεπειραμένους νευρολόγους ή ηλεκτροφυσιολόγους, μπορούν να βοηθήσουν την καθοδήγηση της θεραπείας.



## ***E] Προεγχειρητικός σχεδιασμός και λήψη αποφάσεων***

Μετά από τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος οποιοσδήποτε συνδυασμός εξελκυσμού, διατομής, ή διάτασης (βλάβη σε συνέχεια) μπορεί προκύψει. Συχνά η ακριβής διάγνωση καθυστερεί ή αγνοείται καθώς ο θεράπων ιατρός περιμένει κάποια ανάνηψη. Ένα προοδευτικό σημείο Tincl δηλώνει την πιθανότητα νευρολογικής ανάνηψης. Ωστόσο ο θεράπων θα πρέπει να συνδυάζει αυτό το φυσικό εύρημα με αυτά των ηλεκτροδιαγνωστικών μελετών και των απεικονιστικών εξετάσεων προκειμένου να εκτιμήσει την έκταση της νευρικής βλάβης ώστε να επιτρέψει για άμεση χειρουργική παρέμβαση όταν υπάρχει ένδειξη. Όταν στοιχεία του βραχιονίου πλέγματος έχουν υποστεί διατομή ή εξελκυσμό, κάποια αυτόματα ανανεύρωση μπορεί να προκύψει, αλλά η πρόωμη μικροχειρουργική ανακατασκευή βελτιώνει το λειτουργικό αποτέλεσμα

Ο θεράπων θα πρέπει πάντα να έχει υπόψη ότι οι μύες θα αρχίσουν να υφίστανται ατροφία και να χάνουν τις κινητικές τελικές πλάκες άμεσα μετά την πρόκληση του εγγύς τραυματισμού. Έγκαιρη διάγνωση και επί ενδείξεων πρόωμη χειρουργική παρέμβαση ο καλύτερος τρόπος για να μεγιστοποιηθεί η λειτουργική επιστροφή.

### **I) Ενδείξεις για χειρουργείο**

#### ***α) Ανοικτοί τραυματισμοί***

Διερεύνηση του βραχιονίου πλέγματος ενδείκνυται σε ασθενείς με πλήρες ή μερικό νευρολογικό έλλειμμα μετά από διατιτραίνων τραυματισμό.

Ένα τραύμα από νήσσαν ή τέμνων όργανο (π.χ., συνεπεία επίθεσης με μαχαίρι) στην περιοχή του λαιμού ή του ώμου μπορεί άμεσα να τραυματίσει το βραχιόνιο πλέγμα. Ιατρογενής οξύς τραυματισμός στο βραχιόνιο πλέγμα μπορεί να προκληθεί κατά την αφαίρεση λεμφαδένων ή ογκόμορφης εξεργασίας στην περιοχή του λαιμού ή την υπερκλείδια περιοχή, αφαίρεση αυχενικής ή πρώτης πλευράς για τη θεραπεία του συνδρόμου θωρακικής εξόδου, και αγγειακής ανακατασκευής των υποκλείδιων ή μασχαλαίων αγγείων. Σε περίπτωση συνδυασμένου διατιτραίνοντος τραυματισμού των υποκλείδιων αγγείων και του βραχιονίου πλέγματος, η νευρική επιδιόρθωση ή ανακατασκευή θα πρέπει να διενεργείται στον ίδιο χρόνο με την αγγειακή επέμβαση προκειμένου να αποφευχθεί ιατρογενής αγγειακή βλάβη σε μετέπειτα νευρικές επεμβάσεις. Σε γενικές γραμμές, οι τραυματισμοί στο βραχιόνιο πλέγμα με οξύ όργανο έχουν καλή πρόγνωση. Το τραυματισμένο πλέγμα μπορεί συνήθως να αντιμετωπιστεί με άμεση νευροσυρραφή ή παρεμβολή νευρικών μοσχευμάτων.

Σε τραυματισμούς από πυροβόλα όπλα, άμεση διερεύνηση του βραχιονίου πλέγματος ενδείκνυται μόνο όταν υπάρχει σύγχρονη μείζονα αγγειακή βλάβη. Το θεραπευτικό πλάνο για τραυματισμούς από πυροβόλα όπλα δεν είναι το ίδιο με αυτό για τους τραυματισμούς από οξέα όργανα εξαιτίας των σημαντικών διαφορών στη φύση και την έκταση της ιστικής βλάβης. Τραυματισμοί από χαμηλής ταχύτητας πυροβόλα όπλα έχουν καλή πρόγνωση. Λειτουργική ανάνηψη συμβαίνει στην πλειονότητα των ασθενών χωρίς χειρουργική θεραπεία. Τραυματισμοί από πυροβόλα όπλα υψηλής ταχύτητας και από κυνηγετικά όπλα προκαλούν εκτεταμένη ιστική βλάβη και έχουν μικρότερη πιθανότητα αυτόματης ανάρρωσης. Η χειρουργική διερεύνηση θα πρέπει να διενεργείται στους πρώτους λίγους μήνες εάν δεν υπάρχει κανένα σημείο αυτόματης λειτουργικής ανάνηψης.

## ***β) Κλειστοί τραυματισμοί***

Υψηλής ταχύτητας βλάβη ελκυσμού λόγω πτώσης από δίκυκλο είναι η συχνότερη αιτία τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(34)</sup> Αυτού του είδους ο τραυματισμός συνήθως προκαλεί σημαντική βλάβη στις νευρικές ρίζες.

Η διερεύνηση του βραχιονίου πλέγματος και η χειρουργική επιδιόρθωση ή ανακατασκευή ενδείκνυται σε ασθενείς οι οποίοι δεν έχουν αυτόματη ανάνηψη μετά από τρεις μήνες. Ο χρόνος αυτός χορηγείται για την ανάνηψη του νευρικού ιστού που έχει υποστεί χαμηλού βαθμού τραυματισμό, την υποχώρηση του οιδήματος των γύρω ιστών, και την ολοκλήρωση των διαγνωστικών διερευνήσεων.

Σε πλήρη παράλυση του βραχιονίου πλέγματος με ισχυρή ακτινολογική και ηλεκτροδιαγνωστική απόδειξη εξελκυσμού πολλαπλών ή όλων των ριζών, πρώιμη χειρουργική αντιμετώπιση (6 εβδομάδες έως 3 μήνες μετά τον τραυματισμό) ενδείκνυται επειδή η πιθανότητα αυτόματης ανάνηψης είναι λιγότερο πιθανή.<sup>(78)</sup>

Τραυματισμός από χαμηλής ταχύτητας ελκυσμό θα πρέπει απλά να παρατηρείται και αρχικά να αντιμετωπίζεται με συντηρητικά μέσα. Τραυματισμοί χαμηλής ταχύτητας συνήθως έχουν καλύτερη πρόγνωση. Η χειρουργική διερεύνηση ενδείκνυται αν δεν παρατηρείται εντός 3 μηνών καμία αυτόματη ανάνηψη ή πρόοδος του σημείου Tinel.

## ***γ) Τραυματισμός από ακτινοβολία.***

Χειρουργική διερεύνηση ενδείκνυται σε ορισμένες περιπτώσεις βλάβης του βραχιονίου πλέγματος μετά από ακτινοβολία όταν υπάρχει επιδεινούμενο νευρολογικό έλλειμμα και ανθιστάμενος πόνος. Η χειρουργική διερεύνηση είναι δύσκολη εξαιτίας της ισχαιμικής και ινωτικής κατάστασης των γύρω ιστών. Τα αποτελέσματα από την άποψη της ύφεσης του πόνου και της λειτουργικής βελτίωσης δεν είναι εγγυημένα. Ο κίνδυνος να υποβαθμιστεί η υπάρχουσα λειτουργία του μέλους θα πρέπει να σοβαρά να λαμβάνεται υπόψη.

## **II) Χρόνος του χειρουργείου**

Επείγουσα χειρουργική παρέμβαση, θα πρέπει να πραγματοποιείται μόνο σε τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος (κλειστό ή ανοικτό) που συνοδεύεται από τραυματισμό των υποκλειδίων ή μασχαλιαίων αγγείων. Με την ολοκλήρωση της επείγουσας αγγειακής ανακατασκευής από τον αγγειοχειρουργό θα πρέπει να διενεργείται διερεύνηση του πλέγματος για να πιστοποιηθεί ο βαθμός της βλάβης, έτσι ώστε η νευροσυρραφή ή η τοποθέτηση νευρικών μοσχευμάτων να μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς τον κίνδυνο μιας ιατρογενούς αγγειακής βλάβης. Εάν η άμεση ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος δεν είναι δυνατή, το κατεστραμμένο τμήμα του βραχιονίου πλέγματος θα πρέπει να αναγνωρίζεται, και τα νευρικά κολοβώματα θα πρέπει να σημαδεύονται και να τοποθετούνται μακριά από την θέση της αγγειακής ανακατασκευής, ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος αγγειακής βλάβης σε επόμενη επέμβαση νευρικής ανακατασκευής.

Τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος με νήσσοντα ή τέμνοντα όργανα θα πρέπει να διερευνώνται άμεσα, διότι τελικοτελική νευροσυρραφή είναι συνήθως δυνατή και δίνει πολύ καλά αποτελέσματα.

Αντίθετα κλειστές συνθλιπτικές βλάβες θα πρέπει να διερευνώνται καθυστερημένα (πρώιμα, πριν το τρίμηνο ή όψιμα, μετά το τρίμηνο) , για να οριοθετηθεί με σαφήνεια η έκταση της νευρικής βλάβης, ούτως ώστε κατά την απαραίτητη διατομή να προσδιοριστούν

με ακρίβεια τα υγιή όρια.<sup>(79)</sup> Στην περίπτωση αυτή η χρήση παρεμβαλλόμενων νευρικών μοσχευμάτων είναι συνήθης.

Πρώιμο χειρουργείο (6 εβδομάδες έως 3 μήνες) θα πρέπει να πραγματοποιείται σε πλήρη παράλυση του βραχιονίου πλέγματος με ολικό εξελκυσμό των ριζών συνήθως επί υψηλής ενεργείας τραυματισμό.

Επί ατελούς παράλυσης του βραχιονίου πλέγματος (πχ. ανωτέρου τύπου) ή επί πλήρους παράλυσης του βραχιονίου πλέγματος χωρίς ένδειξη εξελκυσμού ρίζας (συνήθως επί χαμηλής ενεργείας τραυματισμό), η διερεύνηση θα πρέπει να γίνεται όταν δεν υπάρχει κανένα σημείο κλινικής ανάνηψης ή όταν η αρχική ανάνηψη φτάσει σε ένα στάσιμο επίπεδο (plateau) μετά από μία περίοδο παρατήρησης των 4 έως 5 μηνών. Το καλύτερο κλινικό σημείο βελτίωσης και επαρκούς νευρικής αναγέννησης είναι ένα σημείο Tinell το οποίο συνεχώς προοδεύει.

Το αποτέλεσμα της χειρουργικής νευρικής επιδιόρθωσης και ανακατασκευής μειώνεται σημαντικά μετά από το χρονικό διάστημα των 6 μηνών ανάμεσα στον τραυματισμό και το χειρουργείο. Καθυστερημένες επιδιορθώσεις φέρουν απώλεια 1-2% της νευρικής λειτουργίας για κάθε εβδομάδα πέραν της τρίτης εβδομάδος μετά τον τραυματισμό. Έξι μήνες μετά από τον τραυματισμό, θα πρέπει να αναλογίζεται κανείς σοβαρά άλλες θεραπευτικές επιλογές, όπως αρθροδέσεις, τενοντομεταφορές, μεταφορές μυών.

### **III) Είδος νευρικής ανακατασκευής ανάλογα με το επίπεδο και τη σοβαρότητα της βλάβης**

Το θεμελιώδες στοιχείο στη διάγνωση είναι ο διαχωρισμός ανάμεσα σε προγαγγλιακές και μεταγαγγλιακές βλάβες λόγω της διαφορετικής πρόγνωσης και του διαφορετικού τρόπου χειρουργικής αντιμετώπισης. Η οριστική διάκριση γίνεται μόνο την ώρα του χειρουργείου με επισκόπηση του νωτιαίου μυελού ή με ιστολογική εξέταση των κορυφών των εξελκυσμένων ριζιδίων. Σήμερα ωστόσο, πέρα των ενδείξεων από τη φυσική εξέταση έχουμε επιπλέον όπλα υπό τη μορφή της απεικόνισης και των ηλεκτροφυσιολογικών μελετών που κάνουν την προεγχειρητική διάγνωση περισσότερο ακριβή.

Προγαγγλιακοί τραυματισμοί είναι δυνατόν να συμβούν κεντρικά, όπου το νεύρο διασχίζεται άμεσα από το νωτιαίο μυελό και που ουσιαστικά αποτελεί βλάβη του κεντρικού νευρικού συστήματος, ή περιφερικά (ενδομηνιγγική ρήξη), όπου ο τραυματισμός είναι εγγύς των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών άλλα υπολείμματα των ριζιδίων παραμένουν προσκολλημένα στο νωτιαίο μυελό. Για πρακτικούς λόγους, οι νευρικές συνδέσεις στους προγαγγλιακούς τραυματισμούς δεν μπορούν να αποκατασταθούν, και για το λόγο αυτό υπάρχει γενική ομοφωνία ότι εναλλακτικά νεύρα (νευρομεταφορές) πρέπει να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να επανανευρώσουν το τραυματισμένο άκρο.

Τα τελευταία χρόνια μερικοί συγγραφείς έχουν προτείνει μία μάλλον επιθετική προσέγγιση με χρήση αυχενικής πεταλεκτομής στην προσπάθεια να επιδιορθώσουν προγαγγλιακές βλάβες είτε με νευροσυρραφή επί περιφερικών βλαβών είτε με άμεση εμφύτευση των εξελκυσμένων ριζών στον νωτιαίο μυελό επί κεντρικών βλαβών.

<sup>(80, 81, 82, 83, 84)</sup> Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτών των τεχνικών δεν είναι ακόμη σταθερά και ειδικά για την τεχνική της επανεμφύτευσης των εξελκυσμένων ριζιδίων πολλοί διερωτώνται για πιθανές επιπλοκές στο νωτιαίο μυελό.

Σε αντίθεση με τις προγαγγλιακές βλάβες οι μεταγαγγλιακές βλάβες γενικά επιδέχονται επιδιόρθωση. Πλήρεις διατομές μπορούν να αντιμετωπιστούν με άμεση νευροσυρραφή ή τοποθέτηση παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων. Βλάβες σε συνέχεια αντιμετωπίζονται μόνο με νευρόλυση εάν κατά τις διεγχειρητικές ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες αποδειχθεί διατήρηση

των νευραξόνων ή σημαντική αναγέννηση, ειδάλλως με εκτομή του νευρώματος και τοποθέτηση παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων.

#### ***α) Προεγχειρητικές ενδείξεις υπέρ προγαγγλιακών τραυματισμών***

Η κλινική εξέταση, ο απεικονιστικός έλεγχος και οι ηλεκτροδιαγνωστικές μελέτες μπορούν να παρέχουν στοιχεία που υποστηρίζουν την υποψία ενός προγαγγλιακού τραυματισμού.

Η φυσική εξέταση μπορεί να παρέχει ενδείξεις ότι ο τραυματισμός έχει συμβεί τουλάχιστον κοντά στο επίπεδο των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών (στο επίπεδο των τρημάτων). Αυτές οι ενδείξεις μπορεί να περιλαμβάνουν πτερυγοειδή ωμοπλάτη με αδυναμία των ρομβοειδών (ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης) ή/και του προσθίου οδοντωτού μυός (μακρό θωρακικό νεύρο) ή το εύρημα του συνδρόμου Horner (Θ1 συμπαθητικό γάγγλιο). Η ύπαρξη καυσαλγίας επίσης δεικνύει προγαγγλιακή βλάβη.

Ακτινογραφίες θώρακος μπορεί να δείχνουν ένα ανυψωμένο ημιδιάφραγμα, λόγω δυσλειτουργίας του φρενικού νεύρου, ενώ ακτινογραφίες της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης μπορεί να δείχνουν κατάγματα των εγκαρσίων αποφύσεων. Αξονική μετά από μυελογραφία ή μαγνητική τομογραφία μπορεί να δείχνουν ψευδομηνιγγοκήλες και απουσία νευρικών ριζιδίων.

Στους προγαγγλιακούς τραυματισμούς, οι μελέτες αισθητικής αγωγιμότητας συχνά διατηρούνται όταν, κλινικά, ο ασθενής δεν έχει αίσθηση, επειδή το αισθητικό νευρικό κυτταρικό σώμα παραμένει άθικτο εντός των γαγγλίων των ραχιαίων ριζών. Επιπρόσθετα, ινδώσεις στους αυχενικούς παρασπονδυλικούς μύες, οι οποίοι νευρώνονται από τους ραχιαίους κύριους κλάδους, που αναδύονται στην έξοδο των μεσοσπονδύλιων χρημάτων, θα μπορούσε επίσης να υπαινιχτεί έναν προγαγγλιακό τραυματισμό.

#### ***β) Προεγχειρητικές ενδείξεις υπέρ μεταγαγγλιακών τραυματισμών και συνήθεις θέσεις βλάβης***

Απουσία των ανωτέρω ενδείξεων καθώς και η παρουσία σημείου Tinell συνηγορούν υπέρ μεταγαγγλιακής βλάβης.

Η ανατομική διάταξη του βραχιονίου πλέγματος το προδιαθέτει σε τραυματισμούς σε θέσεις όπου είναι σχετικά καθηλωμένο στους παρακείμενους ιστούς. Αυτές οι θέσεις μπορούν να δημιουργηθούν όταν κλάδοι αναδύονται από μεγαλύτερες νευρικές δομές, ή όταν τα νεύρα καθηλώνονται από μαλακά μόρια (π.χ., μύες, σύνδεσμοι, τένοντες) ή οστικές δομές.

Ένα από τα πιο γνωστά σημεία καθήλωσης είναι αυτό του σημείου του Erb, όπου το υπερπλάτιο νεύρο εκφύεται από το ανώτερο πρωτεύον στέλεχος. Επειδή το ανώτερο πρωτεύον στέλεχος είναι σχετικά καθηλωμένο, και το υπερπλάτιο νεύρο καθώς και οι υποδιαίρέσεις του ανώτερου πρωτεύοντος στελέχους είναι σχετικά ελεύθερα, το σημείο αυτό αποτελεί μία συχνή θέση διατομής.

Το υπερπλάτιο νεύρο είναι επίσης καθηλωμένο στην υπερπλάτια εντομή, και με μετατόπιση της ωμοπλάτης εξαιτίας του τραυματισμού, το υπερπλάτιο νεύρο μπορεί να υποστεί διατομή και σε αυτή τη θέση επίσης.

Η κλείδα μπορεί επίσης να συνεισφέρει σε τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος στο επίπεδο των υποδιαίρέσεων των πρωτευόντων στελεχών.

Το μασχαλιαίο νεύρο, καθώς περνά οπισθίως μετά την έκφυση του από το ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος, καθηλώνεται από τα μαλακά μόρια, και υφίσταται συχνά διατομή σε αυτή τη θέση. Επιπρόσθετα, το μασχαλιαίο νεύρο μπορεί να τραυματιστεί εντός του τετράπλευρου χώρου.



Υποκλείδιες βλάβες έχουν καλύτερη πρόγνωση από τις υπερκλείδιες. Απεναντίας, μια μεμονωμένη βλάβη στις A8 και Θ1 ρίζες σε έναν ενήλικα αντιμετωπίζεται καλύτερα με πρώιμες μεταφορές τενόντων. Το πρόβλημα σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ότι η απόσταση ανάμεσα στην περιοχή του τραυματισμού και τους ενδογενείς μυς του χεριού είναι μεγάλη, οπότε η επανανεύρωση δεν θεωρείται τόσο πιθανή.

#### **IV) Λειτουργικές προτεραιότητες στην ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος.**

Μία πλήρης λειτουργική ανάνηψη είναι ο απώτατος στόχος στη θεραπεία των τραυματικών βλαβών του βραχιονίου πλέγματος. Ωστόσο, στους περισσότερους από τους ασθενείς, ο στόχος αυτός δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω της σοβαρότητας των τραυματισμών και του περιορισμού των δοτών νευρικών ινών. Οι κλασσικές προτεραιότητες της λειτουργικής ανακατασκευής σε ολική βλάβη του βραχιονίου πλέγματος έχουν τεθεί ως εξής:<sup>(78)</sup>

1. Κάμψη του αγκώνα (μυοδερματικό νεύρο)
2. Σταθεροποίηση του ώμου, απαγωγή και έξω στροφή (υπερπλάτιο νεύρο ± μασχαλιαίο νεύρο) ± βραχιονοθωρακική σύλληψη με προσαγωγή του βραχίονα έναντι του θώρακα (θωρακικό νεύρο)
3. Αίσθηση στο χέρι στην κατανομή του μέσου νεύρου (A6 και A7 ρίζες ή έξω δευτερεύον στέλεχος) ± κάμψη του καρπού και των δακτύλων (μέσο νεύρο)
4. Έκταση του αγκώνα, του καρπού και των δακτύλων (κερκιδικό νεύρο)
5. Λειτουργία των ενδογενών μυών

Οι ανωτέρω προτεραιότητες έχουν ιεραρχηθεί με τη συγκεκριμένη σειρά βάση λειτουργικής σπουδαιότητας, πιθανότητας ανάκτησης λειτουργίας από τη νευρική ανακατασκευή (οι εγγύς μύες επανανευρώνονται με μεγαλύτερη επιτυχία από ότι οι περιφερικοί μύες), και βαθμού δυσκολίας στην επίτευξη λειτουργίας με δευτερογενείς επεμβάσεις (π.χ. αρθροδέσεις, τενοντομεταφορές) ή με δυναμικούς νάρθηκες.

Η σχετική προτεραιότητα της ενεργητικής απαγωγής έναντι της προσαγωγής του ώμου εξαρτάται από τη φιλοσοφία του κάθε χειρουργού. Η προσαγωγή του ώμου παρέχει μια αύξηση στη δύναμη σύλληψης μεταξύ βραχίονα και κορμού, αλλά η ισχυρή απαγωγή του ώμου μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερο εύρος κίνησης για το βραχίονα και το αντιβράχιο και θεωρείται από τους περισσότερους συγγραφείς ως πιο απαραίτητη λειτουργία για ένα χρήσιμο βραχίονα.

Το μασχαλιαίο νεύρο μπορεί να αγνοηθεί στις πιο σοβαρές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος, επειδή απλή παράλυση του μασχαλιαίου νεύρου δεν οδηγεί σε σημαντική παράλυση της λειτουργίας του ώμου.

Προσπάθεια να επανανευρωθούν οι μύες του αντιβραχίου συνήθως αποφεύγεται, επειδή η πιθανότητα ανάνηψης τους είναι ελάχιστη και κατ' ουσίαν άχρηστη για εκούσια κάμψη των δακτύλων. Ωστόσο η αισθητική επανανεύρωση του μέσου νεύρου μπορεί να είναι σημαντική από άποψη της αισθητικότητας των δακτύλων.

Τέλος, η αποκατάσταση της έκτασης του αγκώνα είναι σημαντική γιατί μπορεί να σταθεροποιήσει τον αγκώνα χωρίς να απαιτείται σύγχρονη χρήση του ετερόπλευρου χεριού και έτσι να επιτρέψει την επίτευξη ενός χρήσιμου δραγμού.



## **ΣΤ) Χειρουργική αντιμετώπιση**

### **I) Ιστορική αναδρομή**

Η γνώση για το βραχιόνιο πλέγμα ανάγεται στο δεύτερο αιώνα, όταν ο Γαληνός με ακρίβεια περιέγραψε την ανατομία του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(85)</sup> Αρχικά, το βραχιόνιο πλέγμα εθεωρείτο απλώς ως ένα τμήμα του περιφερικού νευρικού συστήματος και αντιμετωπιζόταν αναλόγως για σχεδόν δύο χιλιετίες. Στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, ο τραυματισμός του βραχιονίου πλέγματος απέκτησε ξεχωριστή κλινική οντότητα και διαχωρίστηκε από τις άλλες περιφερικές νευρικές βλάβες.<sup>(57)</sup>

Στις αρχές του 19ου αιώνα, αρκετά πριν να αναπτυχθούν τεχνικές και εξοπλισμός μικροχειρουργικής, διάφοροι χειρουργοί δημοσίευσαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα ανακατασκευής του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(86)</sup> Σύντομα μετά, άλλοι παρουσίασαν φτωχά αποτελέσματα και υψηλή συχνότητα επιπλοκών<sup>(87)</sup>, με αποτέλεσμα να υπάρξουν πενιχρές δημοσιεύσεις σχετικά με την ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος έως τη δεκαετία του 1970 και 1980, όταν χειρουργοί άρχισαν να εφαρμόσουν τις τεχνικές δεσμιδικών νευρικών μοσχευμάτων όπως περιγράφηκαν από τον Millesi<sup>(88,89)</sup> για μαιευτικές και τραυματικές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος. Αυτοί οι πρωτοπόροι καθιέρωσαν ενδείξεις και τεχνικές για ανακατασκευή του πλέγματος και παρουσίασαν καλύτερη ανάνηψη στους χειρουργημένους ασθενείς από ότι σε αυτούς οι οποίοι απλώς παρατηρήθηκαν χωρίς χειρουργική ανακατασκευή.<sup>(19, 55, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99)</sup>

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990, πρόοδος σημειώθηκε στις διαγνωστικές τεχνικές και νέες χειρουργικές μέθοδοι παρουσιάστηκαν. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 παρουσιάστηκε η πολύ επιθετική ανακατασκευή που χρησιμοποιούσε δότες εκτός πλέγματος για επανανεύρωση των ελεύθερων αγγειούμενων μυϊκών μεταφορών.

Πλήρης ανάνηψη της λειτουργίας μετά από ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος παραμένει ανέφικτη αλλά πιθανόν δεν θα είναι μόνιμα έτσι. Οι εντυπωσιακές πρόοδοι των τελευταίων ετών έχουν σημαντικά βελτιώσει τα χειρουργικά αποτελέσματα, και οι μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις είναι πολλά υποσχόμενες.

### **II) Χειρουργική τεχνική**

#### ***a) Προετοιμασία ασθενούς και τοποθέτηση.***

Ο ασθενής θα πρέπει να πληροφορείται για την χειρουργική επέμβαση, το ποσοστό επιτυχίας, το μετεγχειρητικό πρόγραμμα αποκατάστασης, και το μακρό χρόνο ανάρρωσης.

Η επέμβαση πραγματοποιείται κάτω από γενική αναισθησία με διασωλήνωση χωρίς όμως χρήση μακρών δρώντων μυοχαλαρωτικών, ώστε να μην παρεμποδίζεται ο διεγχειρητικός έλεγχος των νεύρων με τη χρήση νευροδιεγέρτη. Ο ασθενής τοποθετείται ύπτια στο χειρουργικό τραπέζι με το άνω τμήμα του σώματος σε ήπια ανάρροπη θέση (εικ. 22Α). Επί ενδείξεων ο ασθενής τοποθετείται σε μία τροποποιημένη θέση καρέκλας παραλίας προκειμένου να διευκολυνθεί η οπίσθια προσπέλαση του ώμου ή του βραχίονα. Ένα διπλωμένο χειρουργικό πεδίο τοποθετείται πίσω από την ομόπλευρη ωμοπλάτη. Η κεφαλή στρέφεται κατά το ήμισυ της διαδρομής προς τη μη πάσχουσα πλευρά με τον αυχένα σε ήπια έκταση. Ένα ογκώδες διπλωμένο χειρουργικό πεδίο τοποθετείται επίσης πίσω από τον γλουτό σε περίπτωση που είναι επιθυμητή η λήψη γαστροκνημίου νευρικού μοσχεύματος.



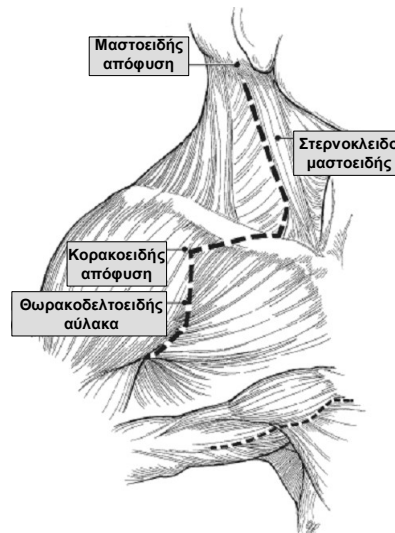
**Εικόνα 22.** Τοποθέτηση ασθενούς στο χειρουργικό τραπέζι

Η προετοιμασία κι η τοποθέτηση των χειρουργικών πεδίων θα πρέπει να επιτρέπει εκτεταμένη έκθεση του αυχένα, του ώμου, του θώρακα, και της μασχάλης. Ο προσβεβλημένος βραχίονας σκεπάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να του επιτρέπεται να κινείται ελεύθερα. Και τα δύο κάτω άκρα προετοιμάζονται για την λήψη των γαστροκνήμιων νεύρων, στην περίπτωση που απαιτηθούν νευρικά μοσχεύματα (εικ. 22B). Πνευματικές ίσχειμες περιδέσεις εφαρμόζονται και στους δύο μηρούς αλλά δεν φουσκώνονται.

Η χρήση ενός οπτικού βοηθήματος (πχ, χειρουργικό μικροσκόπιο ή μεγεθυντικές λούπες) κρίνεται επιβεβλημένη.

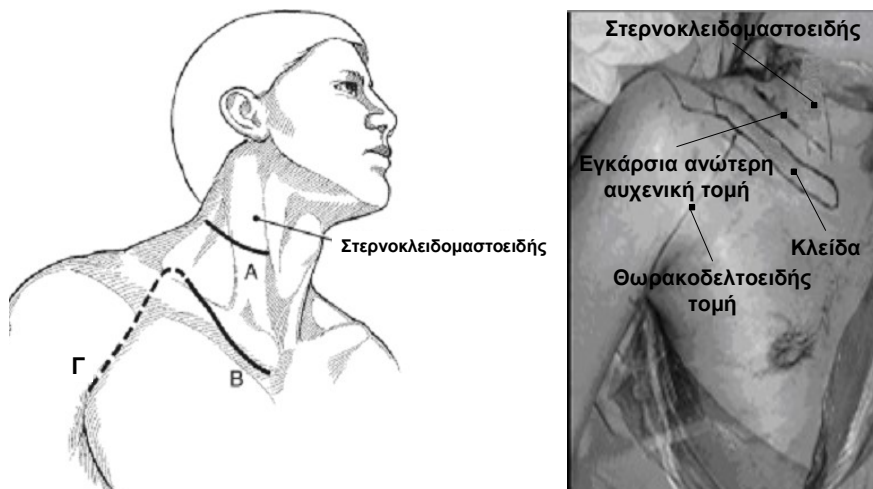
### ***β) Χειρουργικές προσπελάσεις***

Το υπερκλείδιο βραχιόνιο πλέγμα μπορεί να προσεγγισθεί μέσω μιας τομής που παραλληλίζεται με το οπίσθιο όριο του στερνοκλειδομαστοειδούς μυός, ξεκινώντας από ένα σημείο 3 δακτύλων κάτω από τη μαστοειδή απόφυση (εικ. 23). Η προσπέλαση αυτή μπορεί να συνδυαστεί με μία τομή παράλληλα της κλείδας έως την κορακοειδή απόφυση και μιας πιο κάτω στη θωρακοδελτοειδή αύλακα για προσπέλαση του υποκλείδιου βραχιονίου πλέγματος. Το κατώτερο άκρο της τομής μπορεί να επεκταθεί κατά μήκος της πρόσθιας μασχαλιαίας πτυχής προς την έσω πλευρά του ανωτέρου βραχίονα εάν αυτό απαιτείται για διερεύνηση περιφερικών βλαβών.



**Εικόνα 23.** Σχεδιασμός κλαστικών τομών για προσπέλαση ολόκληρου του βραχιονίου πλέγματος από το επίπεδο των ριζών έως τους τελικούς κλάδους

Για κοσμητικούς λόγους, πολλοί συγγραφείς προτιμούν να προσπελάσουν το υπερκλείδιο βραχιόνιο πλέγμα δια μιας εγκάρσιας τομής που τοποθετείται επί δερματικής πτυχής αρκετά δάκτυλα πάνω από την κλείδα (εικ. 24).



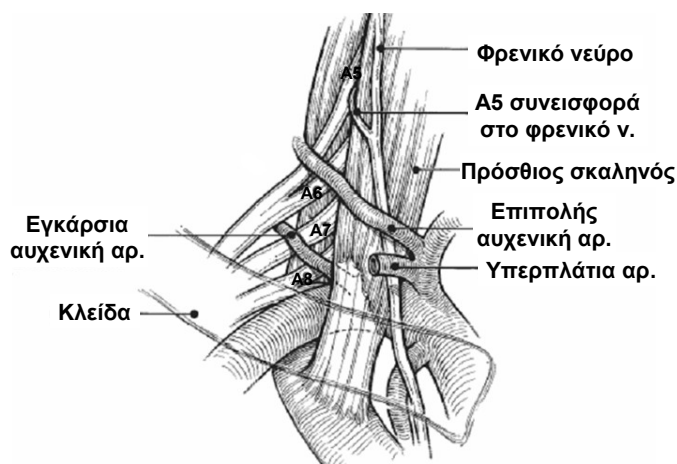
**Εικόνα 24.** Σχεδιασμός κοσμητικών τομών για διερεύνηση του βραχιονίου πλέγματος. Α, εγκάρσια ανώτερη αυχενική τομή για διερεύνηση των Α4-Α6 ριζών. Β, εγκάρσια κατώτερη αυχενική τομή για διερεύνηση των Α7-Θ1 ριζών και υποκλείδιων βλαβών. Γ, Θωρακοδελτοειδής τομή για διερεύνηση περιφερικών βλαβών.

### ι) Υπερκλείδια περιοχή

Το μυώδες πλάτυσμα τέμνεται κατά μήκος της δερματικής τομής. Ο δερματικός κρημνός, συμπεριλαμβανομένου του μυώδους πλατύσματος, ανασηκώνεται με προσοχή. Η έξω σφαγίτιδα φλέβα αναγνωρίζεται, διατηρείται και έλκεται προς την άκρη του πεδίου. Το όριο του στερνοκλειδομαστοειδούς μύος προσδιορίζεται και η κλειδική κεφαλή του είτε έλκεται επί τα έσω ή απελευθερώνεται (και επιδιορθώνεται στο τέλος). Η προσπέλαση συνεχίζεται

προς την προσκαληνή περιοχή. Το επιπολής στρώμα της εν τω βάθει αυχενικής περιτονίας ανοίγεται. Το υπερκλείδιο λιπώδες σώμα διατέμνεται και κινητοποιείται επί τα έξω. Ο ωμοϋοειδής μυς είτε έλκεται, είτε σημαδεύεται και διατέμνεται για μετέπειτα επανασύνδεση. Τα εγκάρσια αυχενικά αγγεία ανευρίσκονται καθώς χιάζουν το πλέγμα στο οπίσθιο τρίγωνο. Τα αγγεία αυτά απολινώνονται και διατέμνονται. Νεύρα από το αυχενικό πλέγμα μπορεί να φανούν κατά την επιφανειακή διερεύνηση, και μπορούν να ακολουθηθούν μέχρι την προέλευση τους από την A3 και A4 ρίζα. Αυτοί κλάδοι θα πρέπει να διατηρηθούν κατά το δυνατόν για να παρεμποδίσουν την πιθανή δημιουργία ενός επώδυνου νευρώματος, εάν διαταθούν. Εάν η καρωτιδική αρτηρία ή η έσω σφαγιτίδα φλέβα αποκαλυφθούν, τότε η προσπέλαση έχει ξεφύγει επί τα έσω.

Ο πρόσθιος και μέσος σκαληνός μυς αποκαλύπτονται. Το φρενικό νεύρο θα πρέπει να προσδιοριστεί στην πρόσθια επιφάνεια του προσθίου σκαληνού μυός (εικ. 25) και να κινητοποιηθεί εγγύς με προσοχή μια και αποτελεί βοηθητικό ορόσημο στην αναγνώριση της A5 ρίζας αλλά και πιθανό δότη για νευρομεταφορά. Το φρενικό νεύρο επίσης χρησιμοποιείται ως επί τα έσω περιμετρικό όριο της περιοχής διερεύνησης του βραχιονίου πλέγματος. Η χειρουργική ανατομή δεν θα πρέπει να διενεργείται επί τα έσω του νεύρου, προκειμένου να προληφθεί ιατρογενής τραυματισμός σε ζωτικές δομές του αυχένα. Το φρενικό νεύρο πορεύεται προς τα κάτω και έσω, παράλληλα προς τις μυϊκές ίνες, και αποτελεί το μόνο κύριο νεύρο που έχει αυτή την πορεία. Το νεύρο αυτό συνήθως είναι λειτουργικό, και μπορεί να διεγερθεί διεγχειρητικά με χρήση νευροδιεγέρτη. Ωστόσο, επί σοβαρών βλαβών του βραχιονίου πλέγματος ανευρίσκονται συνδυασμένες βλάβες του φρενικού νεύρου και του βραχιονίου πλέγματος. Το φρενικό νεύρο ακολουθείται εγγύς, και στο έξω όριο του προσθίου σκαληνού μυός, προσδιορίζεται η συμμετοχή από την A5 ρίζα. Μόλις προσδιοριστεί η A5 και κινητοποιηθεί, προσδιορίζεται η A6 ρίζα. Η A5 ρίζα είναι συνήθως μικρότερη από ότι η A6 ρίζα. Η A6 ρίζα είναι κατώτερη, περισσότερο επί τα έσω και εν τω βάθει, και λιγότερο κάθετη σε κατεύθυνση (εικ. 25).



**Εικόνα 25.** Βοηθητικό ορόσημο στην αναγνώριση της A5 ρίζας αποτελεί το φρενικό νεύρο

Η A5 και A6 ρίζα στη συνέχεια ενώνονται για να σχηματίσουν το ανώτερο πρωτεύων στέλεχος. Το ανώτερο πρωτεύων στέλεχος μπορεί να ακολουθηθεί περιφερικά για να αποκαλύψει το υπερπλάτιο νεύρο καθώς και την πρόσθια και οπίσθια υποδιαίρεση του. Η κλείδα μπορεί να κινητοποιηθεί εάν είναι απαραίτητη οπισθοκλειδική προσπέλαση, με έλξη

προς τα κάτω. Η υπερπλάτια αρτηρία και φλέβα θα πρέπει να απολινώνονται και ο υποκλείδιος μυς να διατέμνεται.

Για εγγύς προσπέλαση των ριζών, ο πρόσθιος σκαληνός μυς διατέμνεται. Αυτό το βήμα επιτρέπει την προσπέλαση στο επίπεδο των τρημάτων. Ειδικά εργαλεία (Leksell rongeurs) μπορούν να βοηθήσουν στην απομάκρυνση της κορυφής των εγκάρσιων σπονδυλικών αποφύσεων για εγγύτερη προσπέλαση, εάν αυτό θεωρηθεί απαραίτητο. Θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθεί βλάβη στην σπονδυλική αρτηρία εντός του τρήματος των εγκάρσιων αποφύσεων. Φλεβική αιμορραγία θα πρέπει επίσης να ελέγχεται. Εγγύς κλάδοι για το ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης (A5±A4) και το μακρό θωρακικό νεύρο (A5 έως A7) μπορεί να αποκαλυφθούν. Προσπέλαση της κάτω επιφάνεια της A6 μπορεί να αποκαλύψει το μακρό θωρακικό νεύρο προτού αυτό περάσει δια του μέσου σκαληνού μυός.

Το μέσο πρωτεύον στέλεχος και η A7 βρίσκονται περισσότερο επί τα έσω και εν τω βάθει και είναι πιο οριζόντια σε κατεύθυνση σε σχέση με το ανώτερο πρωτεύον στέλεχος (εικ. 25). Η εγκάρσια αυχενική αρτηρία συχνά χιάζει την A7 ρίζα και μπορεί να χρειαστεί να απολινωθεί.

Η A8 και Θ1 ρίζα είναι περισσότερο κατώτερες και εν τω βάθει προς την A7 ρίζα. Βρίσκονται σε στενή σχέση με την υποκλείδια αρτηρία. Κινητοποίηση ή οστεοτομία της κλείδας απαιτείται για καλύτερη αποκάλυψη αυτών των δύο ριζών. Όταν αποκαλύπτεται το κατώτερο πρωτεύον στέλεχος, η υποκλείδια αρτηρία (οπίσθια του πρόσθιου σκαληνού μυός) και η υποκλείδια φλέβα (πρόσθια του πρόσθιου σκαληνού μυός) θα πρέπει να προσδιορίζονται και να κινητοποιούνται. Αυτά τα νευρικά στοιχεία αγκαλιάζουν την πρώτη πλευρά, έτσι θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διάρκεια της εγγύς τους προσπέλασης ώστε να αποφευχθεί ο τραυματισμός στον υπεζωκότα. Η έκφυση της σπονδυλικής αρτηρίας θα πρέπει να προφυλάσσεται κατά τη διάρκεια της προσπέλασης των κατωτέρων νευρικών στοιχείων. Ο θωρακικός πόρος μπορεί να είναι ευπρόσβλητος, ιδίως σε προσπελάσεις της αριστερής πλευράς.

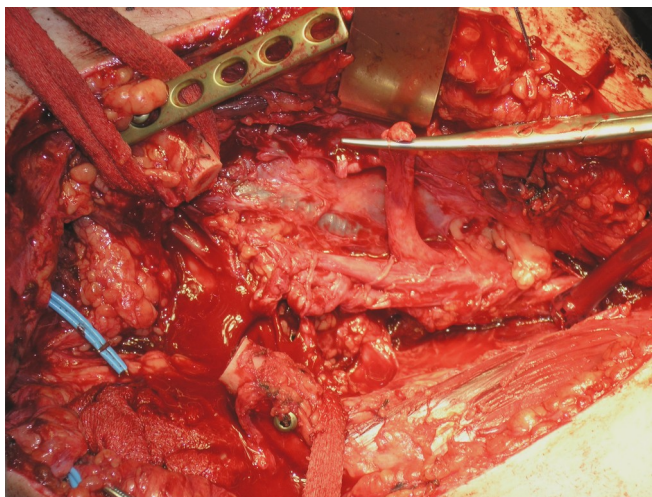
Το παραπληρωματικό νεύρο μπορεί να προσδιοριστεί ένα εκατοστό πάνω από το σημείο όπου το μείζον ωτιαίο νεύρο περιελίσσεται γύρω από τον στερνοκλειδομαστοειδή (κοντά στην περιοχή όπου ιατρογενής βλάβη σε αυτό μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια βιοψιών λεμφαδένων του οπίσθιου τριγώνου). Για το λόγο αυτό δεν συνιστάται ο προσδιορισμός αυτού ως μέρος των τυπικών υπερκλείδιων προσπελάσεων του βραχιονίου πλέγματος. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το παραπληρωματικό νεύρο για νευρομεταφορά, ωστόσο, είναι προτιμότερο να προσδιοριστεί πιο περιφερειακά, κατά μήκος του έσω χείλους του τραπεζοειδούς μυός, πάνω από την κλείδα. Στην περιοχή αυτή, το νεύρο ανευρίσκεται πιο εύκολα και είναι πιο κοντά στο σημείο όπου είναι επιθυμητή η διατομή του, εν τω βάθει του κατώτερου ορίου του τραπεζοειδή. Ένα μακρό τμήμα του νεύρου μπορεί να ληφθεί (π.χ., αρκετά μακρύ για να εκτείνεται αρκετά εκατοστά κάτω από την κλείδα). Επιπρόσθετα, οι εγγύς κλάδοι του προς τον άνω και μέσο τραπεζοειδή διατηρούνται.

## **υ) Οπισθοκλείδια περιοχή**

Η κλείδα μπορεί να κινητοποιηθεί προς τα κάτω με ένα αμβλύ άγκιστρο (ή με βρόγχο γάζας) επί εγγύς προσπέλασης του βραχιονίου πλέγματος (ή προς τα πάνω επί περιφερικής προσπέλασης). Μία σήραγγα δημιουργείται από το οπίσθιο τρίγωνο του αυχένα κάτω από την κλείδα προς την θωρακοδελτοειδή περιοχή με τη χρήση του δακτύλου. Το έξω τμήμα της έκφυσης του μείζονος θωρακικού μυός απελευθερώνεται από την κλείδα. Ο υποκλείδιος μυς διατέμνεται και σημαδεύεται. Το μεσαίο τμήμα της κλείδας απελευθερώνεται από τους περιβάλλοντες μαλακούς ιστούς.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίδεται σε έναν ασθενή με ένα πορρωθέν κάταγμα κλείδας. Η αμβλεία διατομή κάτωθεν της κλειδός μπορεί να είναι δύσκολη εξαιτίας της ίνωσης των μαλακών μορίων. Ο κίνδυνος μιας μείζονος αγγειακής ή υπεζωκοτικής βλάβης θα πρέπει να συνεκτιμάται.

Σε μεμονωμένες περιπτώσεις στις οποίες ευρεία προσπέλαση των υποδιαίρέσεων των πρωτεύοντων στελεχών είναι απαραίτητη, προτείνεται η χρήση οστεοτομίας της κλείδας. Μία πλάκα ανακατασκευής χαμηλού προφίλ διαμορφώνεται στο περίγραμμα της κλείδας και γίνονται τρυπανισμοί των οπών πριν την οστεοτομία της κλείδας, γιατί αυτή η τεχνική βελτιώνει την πόρωση (εικ. 26).



**Εικόνα 26.** Προτρυπανισμοί των οπών και εν συνεχεία οστεοτομία της κλείδας

### **iii) Υποκλείδια περιοχή**

Η διερεύνηση κάτωθεν της κλείδας γίνεται χρησιμοποιώντας το θωρακοδελτοειδές διάστημα (ανάμεσα στον δελτοειδή και τον μείζονα θωρακικό μυ). Το διάστημα μεταξύ των μυών προσδιορίζεται πιο εύκολα εγγύς, και αυτό μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο επί χειρουργείου αναθεώρησης. Η κεφαλική φλέβα κινητοποιείται και έλκεται επί τα εκτός. Ένα τμήμα της κλειδικής κατάφυσης του μείζονος θωρακικού και του δελτοειδούς μυός μπορεί να απελευθερωθεί για να διευκολύνει την προσπέλαση. Απελευθέρωση ολόκληρης της κατάφυσης του μείζονος θωρακικού συνήθως δεν είναι απαραίτητη, αλλά εάν αυτό κριθεί αναγκαίο για ευρεία προσπέλαση, συστήνεται να αφήνεται ένα μικρό τμήμα του τένοντα πίσω ώστε να μπορεί να γίνει η επιδιόρθωση πάνω σε αυτό στο πέρας του χειρουργείου.

Το θωρακοδελτοειδές διάστημα εμβαθύνεται. Ο έλασσον θωρακικός μυς αποκαλύπτεται καθώς εκφύεται από την κορακοειδή και εισέρχεται στις πλευρές. Σημαδεύεται και τέμνεται δια του τένοντα του, αν και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί απλά να υποστεί έλξη. Το υποκλείδιο βραχιόνιο πλέγμα και τα μείζονα αγγεία αποκαλύπτονται ακριβώς κάτω από το λιπώδες στρώμα.

Το έξω δευτερεύον στέλεχος προσδιορίζεται πρώτο. Μπορεί να ακολουθηθεί μέχρι το μυοδερματικό νεύρο (αν και αυτός ο κλάδος μπορεί να εκφύεται περισσότερο περιφερικά και, σε μερικές περιπτώσεις, να μην είναι ορατός σε μία συνήθη υποκλείδια προσπέλαση) καθώς και τη συμμετοχή του έξω δευτερεύοντος στελέχους στο μέσο νεύρο. Η μασχαλιαία αρτηρία βρίσκεται περισσότερο επί τα έσω και θα πρέπει να κινητοποιείται και να προστατεύεται.



Μικροί κλάδοι μπορεί να χρειαστούν απολίνωση. Ο θωρακοακρωμιακός κλάδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγγειακή επιδιόρθωση μιας μεταφοράς ελεύθερου μυός.

Το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος και οι τελικοί του κλάδοι μπορούν να προσδιοριστούν περισσότερο εν τω βάθει αφού το έξω δευτερεύον στέλεχος, το μυοδερματικό νεύρο, και ο κλάδος του για τον κορακοβραχιόνιο μυ έχουν υποστεί νευρόλυση και η μασχαλιαία αρτηρία έχει κινητοποιηθεί επαρκώς. Η απελευθέρωση του κορακοβραχιονίου τένοντα μπορεί να βελτιώσει την προσπέλαση του μασχαλιαίου νεύρου.

Το έσω δευτερεύον στέλεχος μπορεί να προσδιοριστεί επί τα έσω της μασχαλιαίας αρτηρίας. Οι τελικοί κλάδοι του έσω δευτερεύοντος στελέχους μπορούν στη συνέχεια να προσδιοριστούν με ευκολία. Το «Μ» (που σχηματίζεται από τους τελικούς κλάδους του έσω και έξω δευτερεύοντος στελέχους) είναι δυνατόν να αποκαλυφθεί σε όλο του το εύρος. Το μέσο νεύρο σχηματίζεται ακριβώς κάτω από το επίπεδο της κορακοειδούς.

Η προσπέλαση του υποκλειδίου βραχιονίου πλέγματος είναι συνήθως αρκετά εύκολη κάτω από συνθήκες ρουτίνας όταν ο τραυματισμός έχει συμβεί στην υποκλείδια περιοχή. Όταν το υποκλείδιο βραχιόνιο πλέγμα βρίσκεται σε ουλή είτε από τον τραυματισμό είτε από προηγούμενο χειρουργείο (π.χ., αγγειακή επιδιόρθωση), ωστόσο, η προσπέλαση μπορεί να είναι δύσκολη.

#### **iv) Έσω προσπέλαση των νευρικών κλάδων στον εγγύς βραχίονα.**

Πολλαπλοί τελικοί κλάδοι μπορούν να προσδιοριστούν γρήγορα με μία ξεχωριστή μικρή επιμήκη τομή στον εγγύς έσω βραχίονα. Το βήμα αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο, ιδίως όταν πραγματοποιούνται νευρομεταφορές (π.χ., η μεταφορά Oberlin).<sup>(100,101)</sup>

Εναλλακτικά, μπορεί να πραγματοποιηθεί επέκταση της θωρακοδελτοειδούς τομής στον εγγύς βραχίονα. Το έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου και το ωλένιο νεύρο μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν. Το μέσο νεύρο αποτελεί τη μεγαλύτερη νευρική δομή σε αυτή την προσπέλαση και βρίσκεται εν τω βάθει της βραχιόνας αρτηρίας. Το μυοδερματικό νεύρο μπορεί να βρεθεί ανάμεσα στο δικέφαλο και τον κορακοβραχιόνιο μυ. Οι κλάδοι του προς τον δικέφαλο, βραχιόνιο, και το έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου μπορούν επίσης να απομονωθούν.<sup>(102)</sup>

#### **v) Οπίσθια υποπλάτεια προσπέλαση**

Η οπίσθια προσπέλαση κάτωθεν της ωμοπλάτης, η οποία έγινε δημοφιλής από τον Kline<sup>(103,104)</sup>, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν απαιτείται πολύ εγγύς προσπέλαση, ιδίως για τις A7 έως Θ1 ρίζες. Μπορεί να είναι ιδιαίτερος χρήσιμη για συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως περιπτώσεις αναθεώρησης (π.χ., μετά υπερκλείδια προσπέλαση για χειρουργείο θωρακικής εξόδου) ή όγκους που περιλαμβάνουν κατώτερα στοιχεία του πλέγματος.

Ο ασθενής τοποθετείται σε πρηνή αντι-Trendelenburg θέση με κυλίνδρους κάτω από το στήθος και εγκάρσια κάτω από τους ώμους. Το άνω άκρο της προσβεβλημένης πλευράς θα πρέπει να μπορεί να κινείται ελεύθερα έτσι ώστε να μην περιορίζει την κινητοποίηση της ωμοπλάτης. Μία χαλαρού σχήματος S παραωμοπλάτια τομή πραγματοποιείται ανάμεσα στο έσω χείλος της ωμοπλάτης και στις ακανθώδεις θωρακικές αποφύσεις και επεκτείνεται έως την μεσότητα του αυχένα. Ο τραπεζοειδής μυς διατέμνεται. Οι ρομβοειδείς και, μερικές φορές, ο ανελκτήρας της ωμοπλάτης, διατέμνονται και σημαδεύονται, και στη συνέχεια διατέμνεται ο οπίσθιος οδοντωτός. Ένα άγκιστρο θωρακοτομής τοποθετείται ανάμεσα στην ωμοπλάτη και τους παρασπονδυλικούς μύες. Οι πλευρές αποκαλύπτονται. Οι σκαληνοί μύες αποχωρίζονται από την κατάφυση στην πρώτη πλευρά. Η πρώτη πλευρά απομακρύνεται κοντά στην πλευροσπονδυλική συμβολή. Τα νευρικά στοιχεία και τα υποκλείδια αγγεία

προσδιορίζονται. Θα πρέπει να ληφθεί προσοχή να αποφευχθεί βλάβη στο παραπληρωματικό, μακρό θωρακικό, και ραχιαίο νεύρο της ωμοπλάτης (το φρενικό νεύρο βρίσκεται πρόσθια). Πολύ εγγύς προσπέλαση μπορεί να επιτευχθεί με διενέργεια τρηματεκτομών και ακόμη υφολικών πεταλεκτομών, όταν χρειάζεται. Αυτή η προσπέλαση επίσης επιτρέπει καλή αποκάλυψη των υποδιαίρέσεων των πρωτεύοντων στελεχών.

Λεπτομερής προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην ανατομική σύγκλιση του τραύματος. Ο χειρουργός θα πρέπει να ελέγχει για πιθανό πνευμονοθώρακα και να τον αντιμετωπίζει ανάλογα.

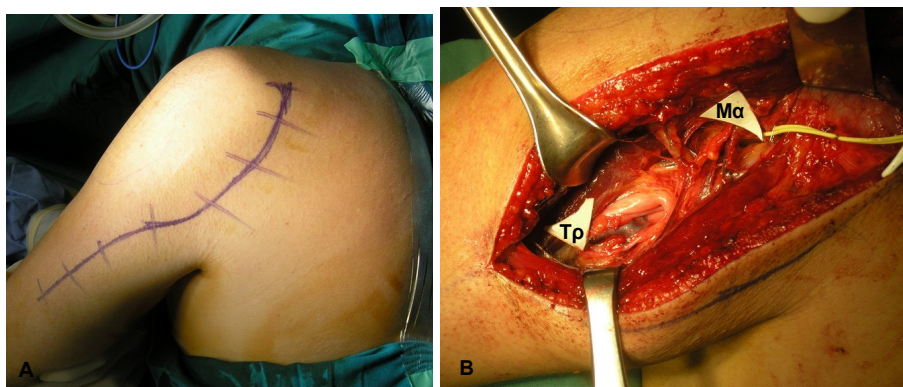
## νι) Οπίσθια προσπέλαση στο υπερπλάτιο νεύρο

Το υπερπλάτιο νεύρο μπορεί να αποκαλυφθεί οπισθίως όταν η θέση της βλάβης είναι στην περιοχή της υπερπλάτιας εντομής. Αυτή η προσπέλαση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον ασθενή σε ημιπλάγια θέση, όταν πραγματοποιείται ως τμήμα μιας πρόσθιας προσπέλασης του βραχιονίου πλέγματος (ή του υπερπλάτιου νεύρου), ή σε πρηνή θέση, όταν χρησιμοποιείται αποκλειστικά για βλάβη παγίδευσης του υπερπλάτιου νεύρου. Τομή 6 έως 8 εκατοστών πραγματοποιείται ένα εκατοστό άνωθεν της ωμοπλάτιας άκανθας. Η οπίσθια τομή επικεντρώνεται στο επίπεδο της κορακοειδούς απόφυσης, η οποία μπορεί να ψηλαφηθεί πρόσθια. Ο τραπεζοειδής μυς μπορεί να διαχωριστεί κατά μήκος των ινών του ή μπορεί να αποχωριστεί από την ωμοπλάτια άκανθα. Το λιπώδες σώμα αποκαλύπτεται. Ο ατροφικός υπερακάνθιος μυς ανασπάται προς τα κάτω. Το υπερπλάτιο νεύρο πορεύεται λοξά διά του εγκάρσιου ωμοπλάτιου συνδέσμου.

## νι) Οπίσθια προσπέλαση στο μασχαλιαίο και κερκιδικό νεύρο

Η οπίσθια προσπέλαση του μασχαλιαίου και του κερκιδικού νεύρου μπορεί να είναι χρήσιμη όταν επαρκής περιφερική αποκάλυψη αυτών των νεύρων δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από την πρόσθια προσπέλαση. Αυτή η προσπέλαση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν πραγματοποιείται η νευρική μεταφορά ενός κλάδου του τρικέφαλου προς το μασχαλιαίο νεύρο (εικ. 27). Όταν υπάρχει το ενδεχόμενο αυτής της προσπέλασης, θα πρέπει να τοποθετείται ένα ογκώδες χειρουργικό πεδίο κάτω από τον ασθενή, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί μία πιο πλάγια προσπέλαση.

Μία επιμήκης τομή πραγματοποιείται κατά μήκος της οπίσθιας επιφάνειας του εγγύς βραχίονα, η οποία εκτείνεται προς το έξω όριο της ωμοπλάτης. Ο δελτοειδής έλκεται πρόσθια. Το διάστημα ανάμεσα στην μακρά και την έξω κεφαλή του τρικέφαλου αναπτύσσεται. Το ανώτερο έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου μπορεί να είναι χρήσιμο ως οδηγό σημείο εάν φανεί στην επιπολής προσπέλαση και ακολουθηθεί εν τω βάθει προς το μασχαλιαίο νεύρο. Το μασχαλιαίο νεύρο και οι κλάδοι του (καθώς και η οπίσθια παλίνδρομη βραχιόνιος αρτηρία) μπορούν να προσδιοριστούν καθώς το νεύρο αναδύεται από τον τετράπλευρο χώρο, άνωθεν του μείζονος στρογγύλου. Το κερκιδικό νεύρο και οι κλάδοι του (και η εν τω βάθει βραχιόνιος αρτηρία) μπορούν να φανούν κάτωθεν του μείζονος στρογγύλου. <sup>(105,106)</sup>



**Εικόνα 27. Α].** Οπίσθια προσπέλαση για μεταφορά κλάδου του τρικεφάλου προς το μασχαλιαίο νεύρο. **Β].** Αναγνώριση του κλάδου του τρικέφαλου προς την έξω κεφαλή (Τρ) και αναγνώριση του μασχαλιαίου νεύρου (Μα)

### **III) Μέθοδοι επιδιόρθωσης και ανακατασκευής**

#### ***α) Νευρόλυση***

Το αληθινό όφελος αυτής της μεθόδου επί του συνόλου των βλαβών σε συνέχεια, ακόμη και με απόδειξη εξωτερικής συμπίεσης, παραμένει υπό αμφισβήτηση, εξαιτίας αβέβαιων και μη σταθερών αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό, βλάβες σε συνέχεια αντιμετωπίζονται με νευρόλυση μόνο εφόσον διεγχειρητικά υπάρχει απόδειξη αγωγιμότητας μετά από άμεση νευροδιέγερση. Σε αντίθετη περίπτωση γίνεται εκτομή του νευρώματος και αποκατάσταση με παρεμβολή μοσχευμάτων.

Εξωτερική νευρόλυση ενδείκνυται σε βλάβες πρώτου και δεύτερου βαθμού κατά Sunderland με ένδειξη εξωτερικής συμπίεσης από ουλώδη ιστό (π.χ., σκληρή υφή κατά την ψηλάφηση, απώλεια της επιμήκους αγγείωσης κατά την επισκόπηση). Αυτή πραγματοποιείται με μικροχειρουργική διατομή του περιβάλλοντος ινώδους ιστού προκειμένου να απελευθερωθεί ο άθικτος νευρικός ιστός εντός του επινευρίου. Ωστόσο, μια ενδονεύριος ίνωση ή διατομή του ενδοδεσμιδικού ιστού μπορεί να μην είναι δυνατόν να ανιχνευτεί κάτω από το προφανώς άθικτο επινεύριο με το να πραγματοποιεί κανείς μόνο εξωτερική νευρόλυση.

Αφού ολοκληρωθεί η εξωτερική νευρόλυση, επί υποψίας περαιτέρω βλάβης πραγματοποιείται εσωτερική νευρόλυση με επιμήκως διάσχιση του ινωτικού επινευρίου. Εάν ανευρεθούν φυσιολογικές δεσμίδες, δεν χρειάζεται περαιτέρω διατομή. Εάν είναι παρούσα δεσμιδική και ενδοδεσμιδική ίνωση, το επινεύριο και ο ινώδης ιστός μεταξύ των δεσμίδων αφαιρούνται. Μετά από αυτή τη διαδικασία, εάν η δεσμιδική ακεραιότητα παραμένει αμφίβολη, το τμήμα θα πρέπει να αφαιρείται και να τοποθετείται μόσχευμα.

Η ενδονεύρια νευρόλυση ενέχει τον κίνδυνο απαγγείωσης των δεσμίδων, που μπορεί να οδηγήσει σε υποτροπή της ίνωσης.

#### ***β) Άμεση νευροσυρραφή***

Η άμεση νευροσυρραφή ενδείκνυται σε ανοιχτούς τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος από οξεία όργανα. Η μέθοδος δίνει ένα πολύ καλό αποτέλεσμα όταν υπάρχει οξεία και καθαρή διατομή. Ο σωστός προσανατολισμός των δεσμιδικών ομάδων και η απευθείας συρραφή μπορεί με ευκολία να πραγματοποιηθεί εάν η βλάβη αντιμετωπισθεί άμεσα μετά τον τραυματισμό. Η κόλλα ινικής παρέχει καλύτερο ιστολογικό αποτέλεσμα, αλλά τα λειτουργικά αποτελέσματα είναι στατιστικά τα ίδια όπως με επιδιόρθωση με ράμματα.

Υπάρχουν δύο τεχνικές νευρικής επιδιόρθωσης: η επινεύρια (επιδιόρθωση του επινευρίου με τεχνική χωρίς τάση) και η δεσμιδική (επιδιόρθωση των περινεύριων ελύτρων). Η δεσμιδική επιδιόρθωση δεν έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τα λειτουργικά αποτελέσματα κλινικά ή πειραματικά.

Δυστυχώς, στις περισσότερες από τις μελέτες, λίγοι μόνον ασθενείς υφίστανται τραυματισμό από τέμνων όργανο με αποτέλεσμα η άμεση επιδιόρθωση σπανίως να είναι δυνατή χωρίς υπερβολική έλξη. Για το λόγο αυτό συχνά είναι απαραίτητη η χρήση νευρικών μοσχευμάτων, ιδίως εάν το έλλειμμα είναι μεγαλύτερο από 2,5 εκατοστά.

#### ***γ) Έμμεση νευροσυρραφή με παρεμβαλλόμενα νευρικά μοσχεύματα***

Ο πιο κοινός μηχανισμός τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος είναι ο ελκυσμός. Αυτό το είδος τραυματισμού συνήθως προκαλεί εξελκυσμό ριζών ή διατομή των στοιχείων του

πλέγματος. Άμεση νευροσυρραφή συνήθως είναι αδύνατη εξαιτίας της φύσης της διατομής του νευρικού ιστού. Διατομή σε οποιοδήποτε επίπεδο του βραχιονίου πλέγματος δημιουργεί σχηματισμό νευρώματος. Τα τραυματισμένα νευρικά κολοβώματα πρέπει να εξαιρούνται μέχρι παρατήρησης υγιούς νευρικού ιστού και η συνέχεια αποκαθίσταται με παρεμβαλλόμενα νευρικά μοσχεύματα (εικ. 28). Τα κύτταρα του Schwann στο νευρικό μόσχευμα επιβιώνουν και τελικά αντικαθίσταται από κύτταρα που μεταναστεύουν από το κάθε άκρο του μοσχεύματος.

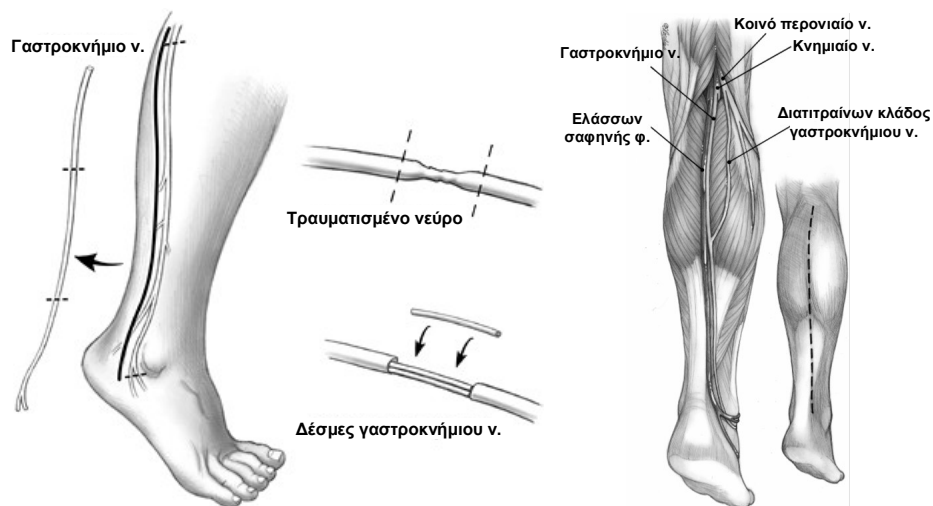


**Εικόνα 28.** Στην περίπτωση μεταγαγγλιακών διατομών όπου ανευρίσκονται βιώσιμα και λειτουργικά εγγύς κολοβώματα η αποκατάσταση της συνέχειας μπορεί να γίνει με παρεμβολή νευρικών μοσχευμάτων. Στο σχήμα απεικονίζεται μία μεταγαγγλιακή βλάβη του άνω και μέσου πρωτεύοντος στελέχους με χρήση παρεμβαλλόμενων νευρικών μοσχευμάτων για αποκατάσταση της συνέχειας προς το έξω και ραχιαίο δευτερεύον στέλεχος καθώς και στο υπερπλάτιο νεύρο.

Η εκλογή του δότη νεύρου για λήψη μοσχεύματος εξαρτάται από την διαθεσιμότητα και τις απαιτήσεις του κάθε ασθενούς.<sup>(89)</sup> Οι συνήθως χρησιμοποιούμενοι δότες νευρικών μοσχευμάτων περιλαμβάνουν τους παρακάτω:

### ι) Γαστροκνήμιο νεύρο

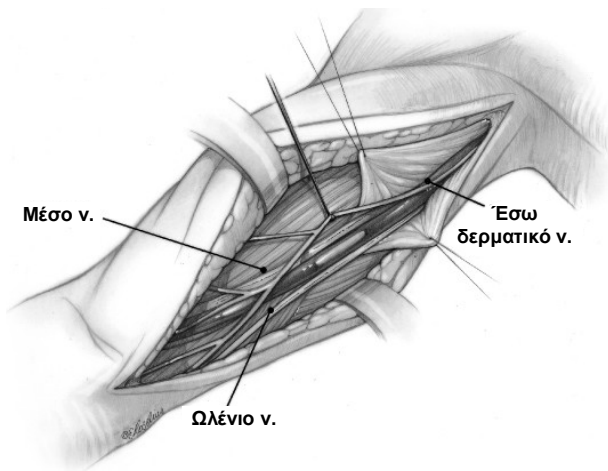
Το γαστροκνήμιο νεύρο και των δύο κάτω άκρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί (εικ. 29). Η τομή στο δέρμα γίνεται από το οπίσθιο όριο του έξω σφυρού έως το μέσο τμήμα της ιγνυακής κοιλότητας. Εναλλακτικά, πολλαπλές μικρές εγκάρσιες τομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποφευχθούν άσχημες επιμήκεις ουλές. Στους ενήλικες, έως 30 με 36 εκατοστά γαστροκνημίου νεύρου είναι δυνατόν να ληφθούν από το κάθε κάτω άκρο. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η επαναγγείωση, το γαστροκνήμιο νεύρο καθαρίζεται προσεκτικά απ όλους τους περιβάλλοντες ιστούς, διατηρώντας μόνο το επινεύριο.



**Εικόνα 29.** Το γαστροκνήμιο νεύρο λαμβάνεται από την οπίσθια έξω επιφάνεια του κατώτερου κάτω άκρου. Έως 30 με 35 εκατοστά μοσχεύματος μπορούν εύκολα να ληφθούν και να χρησιμοποιηθούν για παρεμβαλλόμενο νευρικό μόσχευμα.

#### ii) Ομόπλευρο έσω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου

Το νεύρο λαμβάνεται δια μιας επιμήκουσ τομής στην έσω επιφάνεια του βραχίονα από την έκφυση του στο έσω δευτερεύον στέλεχος δίπλα στο ωλένιο νεύρο έως κάτω στον αγκώνα. (εικ. 30)



**Εικόνα 30.** Το έσω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου λαμβάνεται δια μιας επιμήκουσ τομής στην έσω επιφάνεια του βραχίονα

#### iii) Ομόπλευρο έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου

Ο δερματικός τελικός κλάδος του μυοδερματικού νεύρου χρησιμοποιείται όταν το μυοδερματικό νεύρο έχει υποστεί ανεπανόρθωτη βλάβη, όταν η επιδιόρθωσή του περιορίζεται στην αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα, ή όταν απαιτείται μόσχευμα μικρού μήκους. Το νεύρο διέρχεται επί τα εκτός του τένοντα του δικεφάλου. Λαμβάνεται δια μιας έξω επιμήκουσ τομής στον κατώτερο βραχίονα με προσπέλαση στο μεσοδιάστημα

ανάμεσα στον δικέφαλο και τον πρόσθιο βραχιόνιο μυ. Περίπου 15 εκατοστά μπορούν να ληφθούν

#### **iv) Ομόπλευρο επιπολής κερκιδικό νεύρο**

Το επιπολής κερκιδικό νεύρο είναι η δερματική συνέχεια του κερκιδικού νεύρου στο αντιβράχιο. Μπορεί να ληφθεί δια μιας επιμήκους τομής κατά μήκος της πρόσθιας έξω πλευράς του αντιβραχίου πάνω από το βραχιονοκερκιδικό μυ. Εναλλακτικά λαμβάνεται μέσω ξεχωριστών τομών στον καρπό και στον αγκώνα με ήπια έλξη του από την τομή του αγκώνα αφού έχει διαταμεί περιφερικά, με μια μέθοδο η οποία έχει το πλεονέκτημα να το απογυμνώνει από τα περισσότερα περιβλήματα του. Περίπου 25 έως 30 εκατοστά είναι δυνατόν να ληφθούν.

#### **v) Ομόπλευρο ωλένιο νεύρο**

Σε ασθενείς με πλήρη εξελκυσμό των κατώτερων ριζών, δεν υπάρχει καμία πιθανότητα αυτόματης ανάνηψης του ωλενίου νεύρου. Επιπρόσθετα, η πιθανότητα επιτυχούς αποκατάστασης της λειτουργίας των ενδογενών μυών μετά από νευρική ανακατασκευή είναι ελαχιστότατη. Για το λόγο αυτό το ωλένιο νεύρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νευρικό μόσχευμα. Σε περίπτωση ελεύθερου νευρικού μοσχεύματος, το επινεύριο περίβλημα του ωλενίου νεύρου θα πρέπει να διατέμνεται επιμήκως και να αφαιρείται. Το νεύρο ανατέμνεται με προσοχή υπό μεγέθυνση σε δεσμιδικές ομάδες, που χρησιμοποιούνται σαν ξεχωριστά νευρικά μοσχεύματα για καλύτερη επαναγγείωση.

#### **vi) Αγγειούμενα νευρικά μοσχεύματα**

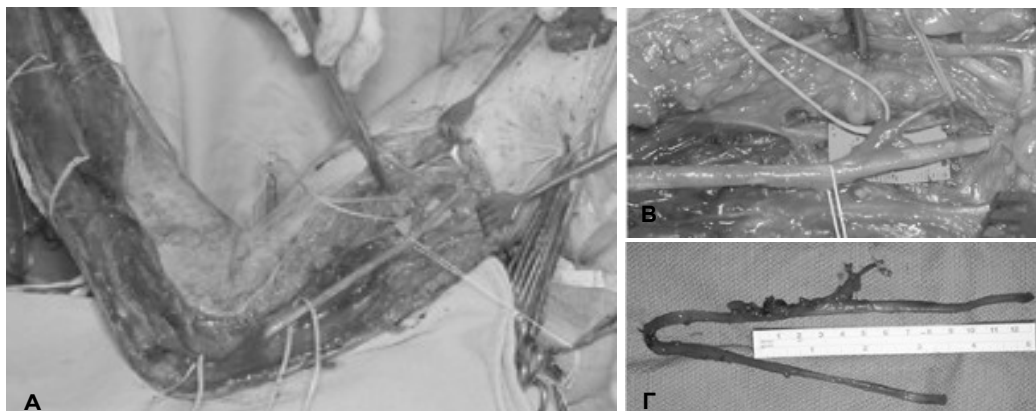
Προκειμένου να βελτιωθεί το αποτέλεσμα των νευρικών μοσχευμάτων, ιδίως σε περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται μακρύ νευρικό μόσχευμα και το ιστικό υπόστρωμα στη λήπτρια περιοχή είναι σε μεγάλο βαθμό ουλοποιημένο με πτωχή αγγείωση, έχει προταθεί η τεχνική του ελεύθερου αγγειούμενου νευρικού μοσχεύματος. Το 1976, οι Taylor και Ham προκάλεσαν σημαντικό ενδιαφέρον στην εφαρμογή αυτής της τεχνικής για επιδιόρθωση βλαβών του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(107)</sup> Από τότε, διάφορες πειραματικές και κλινικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί. Ωστόσο, οι ενδείξεις για τη χρήση αγγειούμενων νευρικών μοσχευμάτων στη χειρουργική αποκατάσταση του βραχιονίου πλέγματος παραμένουν αντικείμενο διχογνωμιών. Η νευρική ανάνηψη φαίνεται ότι είναι πιο γρήγορη, αλλά η λειτουργική ανάνηψη δεν φαίνεται να είναι σημαντικά καλύτερη από τις συνήθεις τεχνικές με μοσχεύματα.

Μία από τις ενδείξεις η οποία είναι ευρέως αποδεκτή για τη χρήση αγγειούμενων νευρικών μοσχευμάτων στην ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος είναι η μεταφορά του ημίσεως της ετερόπλευρης Α7 προς την ομόπλευρη πλευρά. Στις περιπτώσεις αυτές, το χάσμα ανάμεσα στα νευρικά άκρα είναι συνήθως μεγαλύτερο από 20 εκατοστά.

Τα δότρια νεύρα τα οποία έχουν περιγραφεί για αγγειούμενα νευρικά μοσχεύματα περιλαμβάνουν και το ωλένιο νεύρο, το επιπολής κερκιδικό νεύρο, το γαστροκνήμιο νεύρο, το επιπολής περνιαίο νεύρο, και το σαφηνές νεύρο.<sup>(108)</sup>

Η καλύτερη ένδειξη για τη χρήση του αγγειούμενου ωλενίου νευρικού μοσχεύματος σε χειρουργείο του βραχιονίου πλέγματος είναι ένας προγαγγλιακός τραυματισμός (εξελκυσμός) της Α8 και Θ1 ρίζας. Σε τέτοια περίπτωση, δεν υπάρχει καμία πιθανότητα αυτόματης ανάνηψης, και το αποτέλεσμα της νευρικής μεταφοράς για αποκατάσταση της κινητικής και αισθητικής λειτουργίας του ωλενίου νεύρου γενικά έχει υπάρξει πολύ πτωχό. Το ωλένιο

νεύρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αγγειούμενο έμμισχο μόσχευμα βασιζόμενο στην ανώτερη ωλένια παλίνδρομη αρτηρία στον εγγύς βραχίονα ή ως ελεύθερο αγγειούμενο μόσχευμα χρησιμοποιώντας τα ωλένια αγγεία ως μίσχο όπως περιγράφηκε το 1981, από τους Terzis και Breidenbach<sup>(108)</sup> (εικ. 31). Προτού ληφθεί το ελεύθερο αγγειούμενο ωλένιο νευρικό μόσχευμα, είναι απαραίτητο να επαληθευθεί η βατότητα της κερκιδικής αρτηρίας. Το ωλένιο νεύρο στο αντιβράχιο μπορεί να ληφθεί δια μιας έσω επιμήκους τομής εκτεινόμενης από τη μασχάλη έως την ωλένια παλαμιαία πλευρά του καρπού.



**Εικόνα 31.** Το ωλένιο νεύρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αγγειούμενο έμμισχο νευρικό μόσχευμα καθώς επίσης και ως ελεύθερο αγγειούμενο νευρικό μόσχευμα. Το ωλένιο νεύρο απομονώνεται κατά μήκος της πορείας του (Α), και ο αγγειακός μίσχος που βασίζεται στην ανώτερη παλίνδρομο αρτηρία προσδιορίζεται και προστατεύεται (Β). Ένα ελεύθερο αγγειούμενο ωλένιο νευρικό μόσχευμα μεγαλύτερο από 20 εκατοστά μπορεί να ληφθεί και να χρησιμοποιηθεί για να γεφυρώσει σημαντικά νευρικά ελλείμματα (Γ).

#### *δ) Νευρομεταφορά (νευρική εμφύτευση)*

##### **ι) Γενική θεώρηση**

Η νευρομεταφορά είναι μία σκόπιμη μεταφορά ενός λειτουργικού αλλά λιγότερου σημαντικού νεύρου σε ένα περιφερικό, αλλά περισσότερο σημαντικό, απονευρωμένο κινητικό ή αισθητικό τελικό όργανο. Θεωρητικά, περιγράφονται πέντε τύποι νευρομεταφοράς, αλλά μόνο η νευρονευρική και η νευρομυϊκή νευρομεταφορά έχουν χρησιμοποιηθεί στην αντιμετώπιση των τραυματικών βλαβών του βραχιονίου πλέγματος.  
(109, 110, 111, 112, 113)

Προγαγγλιακός τραυματισμός με εξελκυσμό ριζών του βραχιονίου πλέγματος δεν μπορεί να επιδιορθωθεί με νευροσυρραφή. Ωστόσο, η νευρική ανακατασκευή μπορεί να πραγματοποιηθεί με νευρομεταφορά για αποκατάσταση της μυϊκής λειτουργίας.<sup>(97)</sup> Εναλλακτικά, οι νευρομεταφορές χρησιμοποιούνται με αυξανόμενο ρυθμό για επιτάχυνση της ανάνηψης, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο για επανανεύρωση, με το να μειώνουν την απόσταση ανάμεσα στην θέση της νευρικής επιδιόρθωσης και του τελικού οργάνου στόχου.

Υπάρχει αρκετή διαθέσιμη βιβλιογραφία όσον αφορά στις νευρικές μεταφορές για βλάβες του βραχιονίου πλέγματος, η οποία έχει πρόσφατα εκτενώς αναλυθεί με μετα-αναλύσεις.<sup>(114)</sup> Ιδανικά, οι νευρικές μεταφορές θα πρέπει να πραγματοποιούνται πριν το εξάμηνο μετά τον τραυματισμό, αλλά μπορεί να ενδείκνυνται περισσότερο από την τοποθέτηση μοσχευμάτων



(εξαιτίας του μικρότερου χρονικού πλαισίου) σε περιπτώσεις πέραν από το προτιμώμενο χρονικό πλαίσιο του εξαμήνου.

## υ) Δότες νευρομεταφορών

Οι νευρομεταφορές περιλαμβάνουν 2 κύριες κατηγορίες: τις εκτός του πλέγματος και τις εντός του πλέγματος.

Νευρομεταφορά εκτός του πλέγματος είναι η μεταφορά ενός νεύρου που δεν αποτελεί τμήμα του βραχιονίου πλέγματος προς το πλέγμα για την νύρωση ενός εξελκυσμένου νεύρου. Υπάρχει μια ποικιλία τέτοιων δοτών (εικ. 32), με πιο συχνά χρησιμοποιούμενους το παραπληρωματικό νεύρο (11<sup>ο</sup> κρνιακό νεύρο) <sup>(91, 34, 115, 116, 117, 118)</sup> και τα μεσοπλεύρια νεύρα (κινητικά και αισθητικά) <sup>(110, 119, 120, 99, 121, 122)</sup>. Στη δεκαετία του 1990, περιγράφηκε η χρήση του φρενικού νεύρου <sup>(123, 124, 118, 125, 126, 127)</sup> και της ετερόπλευρης A7 (ή του ημίσεως της ετερόπλευρης A7) <sup>(128, 129, 130, 131, 132)</sup> σε μία προσπάθεια να διευρυνθεί η δεξαμενή των δοτών εκτός του πλέγματος και να βελτιωθούν τα αποτελέσματα. Μερικοί έχουν κάνει επίσης αναφορά στη χρήση άλλων δοτών, συμπεριλαμβανομένων των εν τω βάθει κινητικών κλάδων του αυχενικού πλέγματος <sup>(93, 133, 109)</sup> και του υπογλώσσου νεύρου (12<sup>ο</sup> κρνιακό νεύρο) <sup>(134, 135, 136, 137)</sup>. Άλλα λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενα δότρια νεύρα περιλαμβάνουν το μείζον οφθαλμικό νεύρο, τους κλάδους του ανελκτήρα της ωμοπλάτης, και τα ετερόπλευρα θωρακικά νεύρα. <sup>(138, 139)</sup> Οι περισσότερες νευρομεταφορές γίνονται για αποκατάσταση της κινητικής λειτουργίας και μόνο ελάχιστες για καθαρά αισθητική λειτουργία.



**Εικόνα 32.** Ανατομικές σχέσεις των διαθέσιμων δότριων νεύρων εκτός του πλέγματος.

Πριν την διενέργεια των εκτός του πλέγματος νευρομεταφορών θα πρέπει προεγχειρητικά να αναζητηθούν παράγοντες που πιθανολογούν βλάβη του ενδεχόμενου δότη με έλεγχο π.χ. για κατάγματα πλευρών (μεσοπλεύρια νεύρα), ανύψωση ημιδιαφράγματος (φρενικό νεύρο) ή παράλυση του τραπεζοειδούς με στροφή της ωμοπλάτης (παραπληρωματικό νεύρο).

Νευρομεταφορά εντός του πλέγματος είναι οι μεταφορά μιας ρίζας του βραχιονίου πλέγματος (σπονδυλικού νεύρου) ή ενός περισσότερο περιφερικού τμήματος του πλέγματος το οποίο φέρει άθικτες συνδέσεις με το νωτιαίο μυελό σε ένα περισσότερο σημαντικό απονευρωμένο νεύρο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ένα εγγύς νευρικό στοιχείο το οποίο έχει υποστεί διατομή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη σύνδεση των εγγύς κολοβωμάτων της Α5 ή Α6 ρίζας στο μυοδερματικό, υπερπλάτιο, μασχαλιαίο νεύρο ή ακόμα στο μέσο νεύρο.<sup>(140,138,139,141)</sup> Πιο πρόσφατα, η χρήση μιας δεσμίδας ενός λειτουργικού ωλένιου νεύρου (μεταφορά Oberlin) σε ασθενείς με άθικτη Α8 και Θ1 ρίζα προς μεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο έχει επιτρέψει μια ταχύτατη και ισχυρή επιστροφή της κάμψης του αγκώνα.<sup>(100,101,142,143)</sup> Άλλες λιγότερο συχνά πραγματοποιούμενες μεταφορές εντός του πλέγματος περιλαμβάνουν μεταφορά δεσμίδων του μέσου νεύρου προς τον κινητικό κλάδο του δικεφάλου<sup>(144)</sup>, κλάδου του κερκιδικού (μακρά κεφαλή του τρικεφάλου) προς το μασχαλιαίο νεύρο<sup>(106,145,146)</sup> και πρόσφατα η ομόπλευρη Α7 ρίζα.<sup>(147)</sup> Επίσης λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενοι δότες αποτελούν το μακρό θωρακικό νεύρο<sup>(134,139,148)</sup>, τα θωρακικά νεύρα (έσω & έξω), το θωρακοραχιαίο νεύρο ή οι κατώτεροι κλάδοι του υπερπλάτιου νεύρου. Νευρομυϊκή νευρομεταφορά (άμεση εμφύτευση των κινητικών νευρικών δεσμίδων μέσα στον απονευρωμένο μυ), μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από πηγές εντός του πλέγματος.<sup>(138,149,139)</sup>

Ο μέσος αριθμός των εμμύελων νευραξόνων στα δότρια νεύρα ποικίλει. Οι αριθμοί των εμμύελων νευραξόνων στα διάφορα δότρια νεύρα καταγράφεται στον Πίνακα 4. Τα νούμερα αυτά βασίζονται σε μελέτες από τους Narakas<sup>(134,148)</sup>, Slingsluff et al<sup>(150)</sup>, Bonnel<sup>(151)</sup>, Bonnel και Rabischong<sup>(152)</sup>, Terzis and Papakonstantinou<sup>(153)</sup>, και άλλους συγγραφείς. Τυπικά, το παραπληρωματικό νεύρο έχει κατά προσέγγιση 1700 νευράξονες, το φρενικό νεύρο έχει κατά προσέγγιση 800 νευράξονες, ένα μεσοπλεύριο νεύρο έχει προσεγγιστικά 1300 κινητικούς νευράξονες, και η ετερόπλευρη Α7 έχει κατά προσέγγιση 23781 νευράξονες.<sup>(138)</sup> Ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των εμμύελων νευραξόνων ανά επιθυμούμενη λειτουργία, με όσο το δυνατόν ελάχιστη νοσηρότητα στη δότρια περιοχή. Πολλαπλές σειρές αναφέρουν μια αποδεκτή νοσηρότητα της ετερόπλευρης Α7 ρίζας και του φρενικού νεύρου, αλλά μακροχρόνιες μελέτες δεν είναι ακόμα διαθέσιμες.

**Πίνακας 4:** Αριθμοί εμμύελων νευραξόνων στα δότρια νεύρα

Δότριο νεύρο	Αριθμός εμμύελων νευραξόνων
Α7	23781 (εύρος 16000–40000)
Υπογλώσσιο	5000–6000
Φρενικό	800–1756
Παραπληρωματικό	1500–1700 (ή 2145)
Τμήμα ωλενίου	1600
Μακρό θωρακικό	1600–1800
Μονό μεσοπλεύριο	800–1300
Εν τω βάθει κινητικοί κλάδοι αυχενικού πλέγματος	893 (έως 3400–4000)
Κλάδοι προς τους θωρακικούς μύες	400-600/κλάδο

Η ανατομία και η χειρουργική προσπέλαση των διαθέσιμων δότριων νεύρων έχει περιγραφεί εκτενώς.<sup>(138,139,100)</sup>

Το παραπληρωματικό το νεύρο (το 11° κρανιακό νεύρο) αναδύεται από δύο ξεχωριστές προελεύσεις: την κρανιακή και του νωτιαίου μυελού. Μόνο το τμήμα από το νωτιαίο μυελό χρησιμοποιείται για την νευρομεταφορά στο βραχιόνιο πλέγμα. Το τμήμα αυτό του νεύρου

είναι κατά κύριο λόγο κινητικό στη φύση του. Νευρώνει το στερνοκλειδομαστοειδή και τον τραπεζοειδή μυ. Το νεύρο διατέμνεται όσο το δυνατόν περιφερικότερα, όπου διεισδύει βαθιά για να δώσει νεύρωση στο κατώτερο τμήμα του τραπεζοειδή. Η τεχνική αυτή διατηρεί όλους τους κλάδους προς το στερνοκλειδομαστοειδή και τους εγγύς κλάδους για τον τραπεζοειδή (ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απονεύρωση του τραπεζοειδούς, ενός μυός ο οποίος επίσης νευρώνεται εν μέρει από το αυχενικό πλέγμα). Σε αυτό το επίπεδο, το παραπληρωματικό νεύρο συνήθως περιέχει κατά προσέγγιση 1700 εμμύελους νευράξονες.

Το φρενικό νεύρο προέρχεται κυρίως από την A4 νευρική ρίζα, με επιπρόσθετους κλάδους προερχόμενους από τις A3 και A5 νευρικές ρίζες. Ο κύριος όγκος του φρενικού νεύρου σχηματίζεται σε ένα σημείο στο ενδιάμεσο ανάμεσα στην κάτω γνάθο και την κλείδα. Πορεύεται στον αυχένα κατά μήκος του πρόσθιου σκαληνού προτού εισέλθει στο θώρακα και το μεσοθωράκιο. Το φρενικό νεύρο φέρει προσαγωγές ίνες στο διάφραγμα και απαγωγές ίνες από το περικάρδιο, υπεζωκότα, και περιτόναιο.

Πριν σκεφτεί κανείς την μεταφορά του φρενικού νεύρου, θα πρέπει να εκτιμηθεί η διαφραγματική και πνευμονική λειτουργία. Βλάβη της κίνησης του ημιδιαφράγματος αποτελεί μία απόλυτη αντένδειξη νευρομεταφοράς του φρενικού νεύρου. Σε ασθενείς που υπόκεινται σε σοβαρό θωρακικό τραυματισμό με πολλαπλά κατάγματα πλευρών, η μεταφορά του φρενικού θα πρέπει να καθυστερεί έως ότου τα κατάγματα έχουν παρωθεί επαρκώς. Η μεταφορά του φρενικού και των μεσοπλευρίων στο ίδιο χειρουργείο θα πρέπει να αποφεύγεται. Προσεκτική μακροπρόθεσμη επανεκτίμηση είναι απαραίτητη προκειμένου να προσδιοριστούν όποια πνευμονικά επισυμβάματα από αυτή την τεχνική. Αναφέρεται ότι μετεγχειρητικά, περίπου το 1/3 των ασθενών έχουν φυσιολογική διαφραγματική κίνηση, με φυσιολογικό αναπνευστικό λειτουργικό έλεγχο, ενώ 2/3 των ασθενών παρουσιάζουν μειωμένη πνευμονική λειτουργία με μείωση της ζωτικής χωρητικότητας κατά ένα μέσο όρο 10%.<sup>(154)</sup> Ωστόσο η ζωτική χωρητικότητα βαθμιαία επιστρέφει στο προεγχειρητικό επίπεδο μετά από 6 έως 24 μήνες.

Τα μεσοπλευρία νεύρα περιέχουν περίπου 3000 με 4000 εμμύελες ίνες (κινητικές και αισθητικές), και κάθε μεσοπλευρίο νεύρο φέρει ένα διαφορετικό αριθμό κινητικών και αισθητικών ιών.<sup>(155)</sup> Το τρίτο και τέταρτο μεσοπλευρίο νεύρο περιέχουν έναν σημαντικό αριθμό κινητικών ιών (~ 1300). Η μέθοδος μεταφοράς των μεσοπλευρίων νεύρων όπως έχει προταθεί από τους Tsuyama and Hara<sup>(99)</sup> είναι ιδιαίτερα πρακτική και δίνει πολύ καλά αποτελέσματα. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, το τρίτο και τέταρτο μεσοπλευρίο νεύρο μεταφέρονται άμεσα στο μυοδερματικό νεύρο κοντά στο κινητικό του σημείο χωρίς τη χρήση νευρικού μοσχεύματος.

Το 1986, ο Gu πρώτος μετέφερε την A7 ρίζα από την ετερόπλευρη πλευρά προκειμένου να αντιμετωπίσει μια πλήρη παράλυση του βραχιονίου πλέγματος με μηχανισμό εξελκυσμού.<sup>(156)</sup> Το 1991 ο Brunelli παρατήρησε ότι μεμονωμένος εξελκυσμός της A7 νευρικής ρίζας δημιουργούσε μόνο ελάχιστου βαθμού νοσηρότητα στο προσβεβλημένο άκρο.<sup>(157)</sup> Θεωρητικά, αυτή η χειρουργική επέμβαση βοηθάει σε σημαντικό βαθμό τους χειρουργούς στο να λύσουν το πρόβλημα της ανεπάρκειας των δότριων νευραξόνων επειδή η A7 ρίζα περιέχει 16000 έως 40000 ίνες. Οι περισσότεροι συγγραφείς χρησιμοποιούν μόνο το ήμισυ της ετερόπλευρης A7 προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν το λειτουργικό έλλειμμα στη δότρια πλευρά. Επιπλέον το μέγεθος του προκύπτοντος κολοβώματος (ήμισυ της A7) ταιριάζει ικανοποιητικά με το αγγειούμενο ωλένιο μόσχευμα στο οποίο συνδέεται. Σε γενικές γραμμές, οι περισσότεροι συγγραφείς προτιμούν να οδηγούν την ετερόπλευρη A7 προς στο μέσον νεύρο αλλά επίσης έχει χρησιμοποιηθεί αυτή η τεχνική προς το κερκιδικό ή το μυοδερματικό νεύρο. Η νευρομεταφορά της ετερόπλευρης A7 μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ασθενείς οι οποίοι έχουν υποστεί πλήρη εξελκυσμό όλων των ριζών του βραχιονίου

πλέγματος με ταυτόχρονη βλάβη του παραπληρωματικού νεύρου, των μεσοπλεύριων νεύρων, του φρενικού νεύρου και του αυχενικού πλέγματος. Δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ασθενείς με αμφοτερόπλευρες βλάβες του βραχιονίου πλέγματος.

Σύμφωνα με τον Brunelli<sup>(158)</sup>, το αυχενικό πλέγμα, έχει οχτώ κλάδους: 4 κινητικούς και 4 αισθητικούς. Οι κινητικοί κλάδοι περιέχουν ένα μέσο όρο 4090 νευραξόνων και οι αισθητικοί, 3250. Η σύγχρονη συνδυασμένη νευρομεταφορά κινητικών κλάδων από το αυχενικό πλέγμα και του παραπληρωματικού νεύρου θα πρέπει να σχεδιάζεται προσεκτικά προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος απονεύρωσης των ωμοπλατιοθωρακικών μυών. Αρκετοί συγγραφείς θεωρούν το αυχενικό πλέγμα σαν ένα καλό δότη αισθητικών νευραξόνων παρά σαν έναν αξιόπιστο δότη κινητικών νευραξόνων.<sup>(154)</sup>

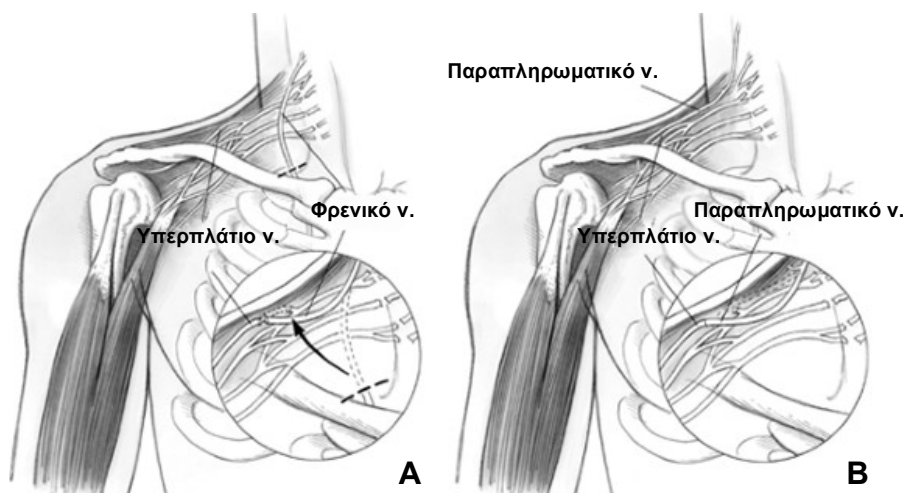
Το μακρό θωρακικό νεύρο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξελκυσμό ανώτερου τύπου επειδή προέρχεται από τις ανώτερες ρίζες. Μόνο ένας ή δύο από τους τελικούς του κλάδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να αποφευχθεί η πλήρης παράλυση του προσθίου οδοντωτού, που οδηγεί σε ένα μείζονα διαχωρισμό της ωμοπλατιοθωρακικής κίνησης.

Ο Malessy<sup>(137)</sup> ανέφερε τη χρήση νευρομεταφορών του υπογλώσσιου νεύρου στο υπερπλάτιο και μυοδερματικό νεύρο προκειμένου να αντιμετωπίσει τραυματισμούς εξελκυσμού του βραχιονίου πλέγματος. Ωστόσο, τα αποτελέσματα μετά από νευρομεταφορά του υπογλώσσιου νεύρου είναι αμφίβολα.<sup>(136,137)</sup> Εκούσιος έλεγχος δεν επιτυγχάνεται ποτέ, και η σύσπαση του μυός στόχου μπορεί να πραγματοποιείται μόνο με κίνηση της γλώσσας.

Για τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος ανώτερου τύπου υπάρχουν και άλλοι πιθανοί δότες. Πολύ συγγραφείς συνηγορούν υπέρ της χρήσης του έσω θωρακικού νεύρου ή του θωρακοραχιαίου νεύρου για νευρομεταφορές σε βλάβες εξελκυσμού ανώτερου τύπου με καλά αποτελέσματα.<sup>(114)</sup> Πρόσφατα, ο Leechavengvongs<sup>(106)</sup> ανέφερε εξαιρετικά αποτελέσματα με νευρομεταφορά κλάδου του κερκιδικού για την μακρά κεφαλή του τρικέφαλου προς στο μασχαλιαίο νεύρο.

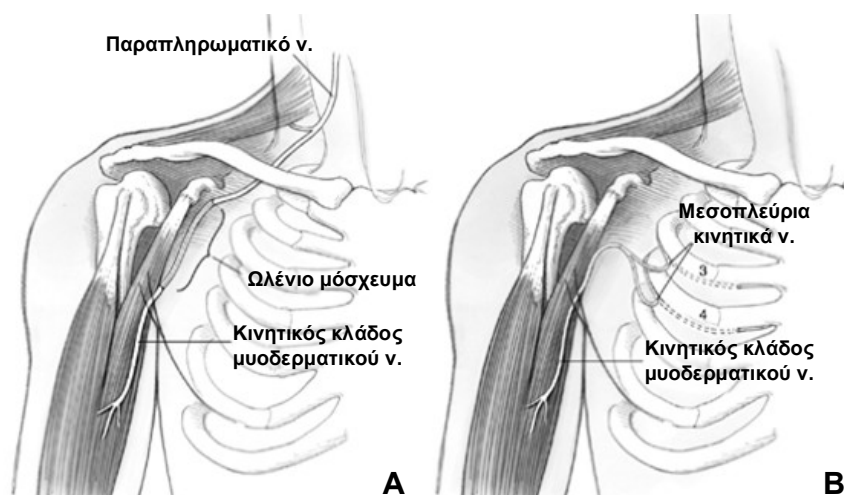
### ιι) Στρατηγική νευρομεταφορών

Νευρομεταφορά για απαγωγή του ώμου μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με μεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου ή του φρενικού νεύρου στο υπερπλάτιο νεύρο. Το όφελος αυτών των δύο μεταφορών είναι ότι δεν χρειάζονται επιπρόσθετα παρεμβαλλόμενα νευρικά μοσχεύματα, και ότι είναι δυνατή μια άμεση νευροσυρραφή (εικ. 33). Αν είναι διαθέσιμοι επιπρόσθετοι νευρικοί δότες, νευρομεταφορά προς το μασχαλιαίο νεύρο (ή νευρικό μόσχευμα από την A5) ενδείκνυται για να δοθεί περαιτέρω σταθερότητα και απαγωγή στον ώμο.



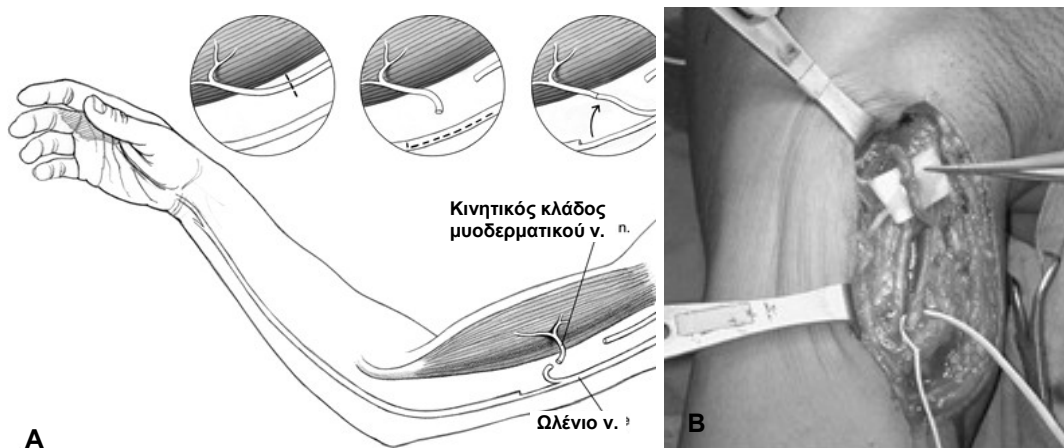
**Εικόνα 33.** Αποκατάσταση της απαγωγής του ώμου μπορεί να πραγματοποιηθεί με νευρομεταφορά στο υπερπλάτιο νεύρο είτε του φρενικού νεύρου (Α) ή του παραπληρωματικού νεύρου (Β).

Νευρομεταφορά προς το μυοδερματικό νεύρο για κάμψη του αγκώνα μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας μεσοπλεύρια νεύρα άμεσα (εικ. 34) ή το παραπληρωματικό νεύρο μέσω παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος. Διαχωρίζοντας τον κινητικό κλάδο προς το δικέφαλο από το έξω δερματικό νεύρο του αντιβραχίου με ένα ανάδρομο τρόπο, ο μέγιστος αριθμός κινητικών νευραξόνων μπορεί να μεταφερθεί άμεσα προς τον δικέφαλο μυ. Αυτή η τεχνική επίσης βοηθά σε κέρδος μήκους για τη μεταφορά, που εξαλείφει την ανάγκη για παρεμβαλλόμενα μοσχεύματα στην περίπτωση των μεσοπλεύριων νεύρων και μειώνει το μήκος του μοσχεύματος για το παραπληρωματικό νεύρο. Το φρενικό νεύρο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με παρεμβαλλόμενο μόσχευμα προς το μυοδερματικό νεύρο.



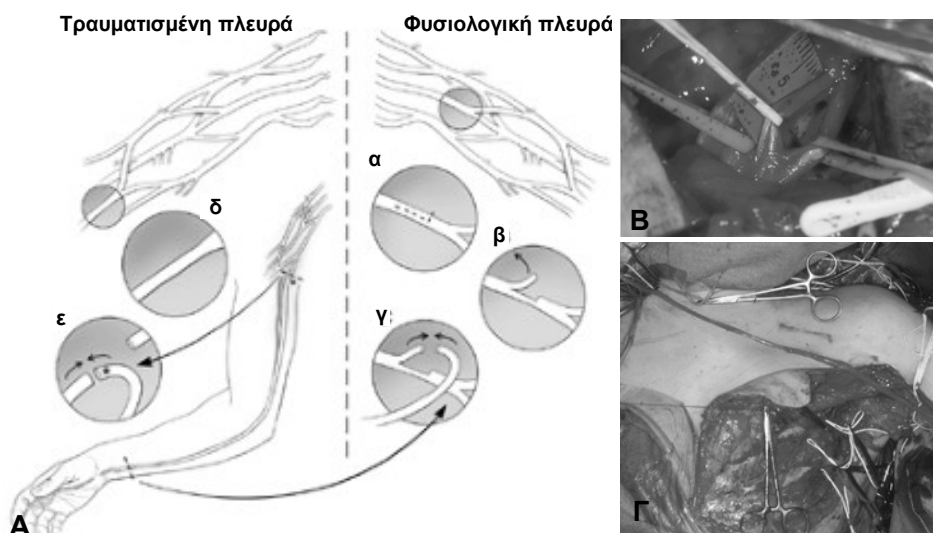
**Εικόνα 34.** Νευρομεταφορά στο δικέφαλο μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση του παραπληρωματικού νεύρου με ένα παρεμβαλλόμενο μόσχευμα (Α), του φρενικού νεύρου με μόσχευμα, ή των μεσοπλεύριων κινητικών νεύρων (Β).

Στην περίπτωση ενός τραυματικού εξελκυσμού του ανώτερου πλέγματος, δύο δημοφιλείς επιλογές υπάρχουν για ανακατασκευή της κάμψης του αγκώνα. Το έσω θωρακικό νεύρο μπορεί να μεταφερθεί προς το μυοδερματικό νεύρο ή τον κλάδο του δικεφάλου. Στη δεύτερη επιλογή, μια δεσμίδα από το ωλένιο νεύρο (μεταφορά Oberlin) μπορεί να μεταφερθεί προς τον κινητικό κλάδο του δικεφάλου με εξαιρετικά αποτελέσματα (εικ. 35).<sup>(100)</sup> Αυτή η τεχνική είναι μια εξαιρετική εναλλακτική λύση. Η επέμβαση μπορεί να γίνει χωρίς μόνιμο λειτουργικό έλλειμμα του δότριου ωλένιου νεύρου. Ο χρόνος λειτουργικής ανάνηψης του δικεφάλου είναι μικρότερος από ότι σε άλλες τεχνικές νευρομεταφοράς.



**Εικόνα 35. Α:** Όταν το ωλένιο νεύρο είναι φυσιολογικό (πχ, τραυματισμός του ανώτερου πλέγματος ο οποίος φείδεται τραυματισμού της ογδής αυχενικής και πρώτης θωρακικής ρίζας), μία δεσμίδα του μπορεί να μεταφερθεί προς τον κινητικό κλάδο του δικεφάλου προκειμένου να επιτευχθεί η κάμψη του αγκώνα. **Β:** Ένα κλινικό παράδειγμα που απεικονίζει τις δεσμίδες από το ωλένιο νεύρο που μεταφέρονται προς τον κινητικό κλάδο του δικεφάλου.

Ολόκληρη ή το ήμισυ της ετερόπλευρης A7 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω ενός αγγειούμενου ωλένιου νευρικού μοσχεύματος (στην περίπτωση ενός πλήρους εξελκυσμού του βραχιονίου πλέγματος) ή μέσω γαστροκνήμιων νευρικών μοσχευμάτων προκειμένου να φέρει έναν μεγάλο αριθμό κινητικών νευραξόνων στην τραυματισμένη πλευρά.<sup>(128,132)</sup> Όταν χρησιμοποιείται με αγγειούμενο ωλένιο νευρικό μόσχευμα, ολόκληρη ή το ήμισυ της A7 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να νευρώσει το μέσο νεύρο με την ελπίδα να επιτευχθεί προστατευτική αίσθηση στην κατανομή του μέσου νεύρου και χρήσιμη καμπτική λειτουργία στα δάχτυλα (εικ. 36).



**Εικόνα 36.** Η μεταφορά ολόκληρης ή του ημίσεως της ετερόπλευρης A7 μέσω αγγειούμενου ωλένιου νευρικού μοσχεύματος (σε περιπτώσεις πλήρους εξελκυσμού όλων των ριζών) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φέρει ένα μεγάλο αριθμό κινητικών νευραξόνων στην προσβεβλημένη πλευρά. **Α:** Η μεταφορά του ημίσεως της ετερόπλευρης A7 μπορεί επιτυχώς να χρησιμοποιηθεί με αγγειούμενο ωλένιο νευρικό μόσχευμα για να επανανευρώσει

το μέσο νεύρο για αίσθηση και κάμψη των δακτύλων. Η φυσιολογική A7 ρίζα αποκαλύπτεται και διατέμνεται μερικώς (α), επιτρέποντας την ανάπτυξη ενός εγγύς βασιζόμενου δεσμιδικού δεματίου (β). Το τραυματισμένο ετερόπλευρο ωλένιο νεύρο διατέμνεται περιφερικά (δ) και φέρεται προς την περιοχή της μερικώς διατηρημένης φυσιολογικής A7, όπου υφίσταται νευροσυρραφή προς το εγγύς βασιζόμενο A7 δεσμιδικό δεμάτιο (γ). Το εγγύς ωλένιο νεύρο διατέμνεται, και το περιφερικό άκρο υφίσταται νευροσυρραφή προς το μέσο νεύρο (ε). Β: Ένα κλινικό παράδειγμα της φυσιολογικής πλευράς του έβδομου αυχενικού νεύρου το οποίο διατέμνεται σε δύο μισά. Το ήμισυ το οποίο οδηγεί στη μικρότερη κινητική λειτουργία της άκρας χειρός όταν αυτό ερεθίζεται είναι αυτό το οποίο χρησιμοποιείται. Γ: Ένα αγγειομένο ωλένιο νεύρο το οποίο εκτείνεται κατά μήκος του θώρακα προς την ετερόπλευρη A7 λαμβάνεται και κινητοποιείται.

### **ε) Τελικοπλάγια νευροσυρραφή**

Η τελικοπλάγια νευροσυρραφή είναι κατ' ουσίαν παραλλαγή μιας νευρομεταφοράς.<sup>(159)</sup> Σε αυτή την τεχνική, το περιφερικό κολόβωμα ενός ανεπανόρθωτα τραυματισμένου νεύρου εμφυτεύεται σε ένα υγιές νεύρο χωρίς ωστόσο να παραβλάπτεται η λειτουργία του υγιούς νεύρου. Ιδίως για νευρομεταφορές εντός του πλέγματος, η κύρια ένδειξη είναι η διατήρηση της ακεραιότητας των δοτών εντός του πλέγματος, όταν αυτοί δεν είναι δυνατόν να θυσιαστούν. Η μέθοδος κυρίως χρησιμοποιείται για αισθητική επανανεύρωση (αποκατάσταση αισθητικών κλάδων του μέσου νεύρου χρησιμοποιώντας υγιές ωλένιο) και, προς το παρόν, σπάνια χρησιμοποιείται από τους περισσότερους χειρουργούς του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(160)</sup> Ωστόσο, αναφορές στη χρήση τελικοπλάγιας τεχνικής στην κινητική ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος είναι επίσης ανερχόμενες.<sup>(142, 161)</sup> Οι σύγχρονες ενδείξεις περιλαμβάνουν ενίσχυση του λήπτριου νεύρου σε περιπτώσεις ανακατασκευής του από αμφίβολης ποιότητας δότες, σε περιπτώσεις μερικής βλάβης ή σε περίπτωση ανακατασκευής του από δότες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για παροχή νεύρωσης και σε άλλους λήπτες.

### **στ) Μεταφορά ελεύθερου λειτουργικού μυός.**

Οι μεταφορές λειτουργικών μυών είτε έμμισχων είτε ελευθέρων αποτελούν σήμερα ένα σημαντικό εργαλείο στην αποκατάσταση ασθενών με τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(26, 162)</sup> Στη δεύτερη περίπτωση ο ελεύθερος μυς μπορεί να δεχτεί νεύρωση με χρήση νευρομεταφοράς (π.χ. της ετερόπλευρης A7 ή των μεσοπλεύριων νεύρων).

Μεταφορές ελευθέρων λειτουργικών μυών χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως μέρος μιας πρωτοπαθούς ή δευτεροπαθούς ανακατασκευής προκειμένου να αποδώσουν διάφορες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της κάμψης του αγκώνα, της έκτασης του καρπού, και της κάμψης και έκτασης των δακτύλων.<sup>(163, 27, 164)</sup> Πιο συγκεκριμένα, ενδείκνυνται για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα σε ασθενείς με καθυστερημένη εμφάνιση (αυτοί οι οποίοι παρουσιάζονται μετά 6 έως 9 μήνες). Διπλές μεταφορές ελευθέρων μυών παρέχουν τη δυνατότητα λειτουργίας σύλληψης και αποδέσμευσης στο χέρι με ενεργητική κάμψη και έκταση του αγκώνα όταν συνδυάζονται με νευρικές μεταφορές ή μοσχεύματα για αποκατάσταση της κίνησης του ώμου, της αίσθησης του χεριού, και της λειτουργίας του τρικέφαλου.<sup>(26, 27, 162)</sup>

### **ζ) Μελλοντικές τάσεις**

Πρόσφατα προτάθηκε η τεχνική επανεμφύτευσης των εξελκυσμένων ριζών πίσω στον νωτιαίο μυελό με υποσχόμενα αποτελέσματα στο εργαστήριο.<sup>(80, 82, 81)</sup> Ωστόσο, οι προκαταρκτικές κλινικές μελέτες δείχνουν ότι αυτή η μέθοδος παραμένει σε πειραματικό στάδιο, μια και τα κλινικά αποτελέσματα δεν είναι ακόμη οριστικά.<sup>(165, 84, 166, 167)</sup> Επιπλέον, πολλοί διερωτώνται για πιθανές επιπλοκές στο νωτιαίο μυελό. Προς το παρόν, η νευρομεταφορά παραμένει η καλύτερη αντιμετώπιση για εξελκυσμό ριζών.

Η θεραπεία με νευροτροφικούς παράγοντες αποτελεί μία παράλληλη γραμμή έρευνας που μπορεί επίσης να βοηθήσει στη βελτίωση των αποτελεσμάτων των χειρουργείων εντός της σπονδυλικής στήλης για επιδιόρθωση εξελκυσμού νευρικών ριζών.<sup>(168, 169, 170, 171)</sup>

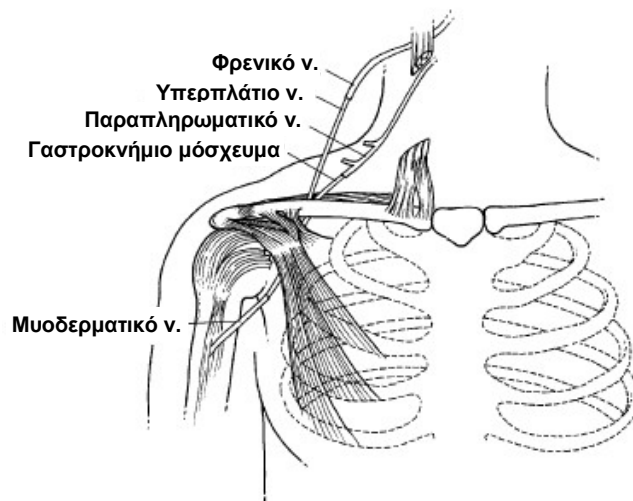
#### **IV) Στρατηγική συνδυασμένης ανακατασκευής με επιδιόρθωση του πλέγματος, τοποθέτηση μοσχευμάτων και υποστήριξη με νευρικές μεταφορές.**

Μεταγαγγλιακές βλάβες σε συνέχεια θα πρέπει να ελέγχονται διεγχειρητικά με νευροδιεγέρτη για ύπαρξη αγωγιμότητας. Επί απουσίας αγωγιμότητας, παλαιότερα, γινόταν προσπάθεια ανακατασκευής όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων του βραχιονίου πλέγματος χωρίς τη χρήση νευρικών μεταφορών από δότες εκτός του πλέγματος (π.χ., παραπληρωματικό νεύρο, μεσοπλεύρια νεύρα, φρενικό νεύρο). Ωστόσο, τα περιορισμένα τελικά αποτελέσματα, ιδίως επί τραυματισμού από ελκυσμό, έχουν οδηγήσει σε αναθεώρηση αυτής της στρατηγικής με επιπλέον προσθήκη και νευρικών μεταφορών από δότες εκτός του πλέγματος. Είναι σημαντικό να πραγματοποιείται επιδιόρθωση εντός του πλέγματος σε συνδυασμό με νευρικές μεταφορές εκτός του πλέγματος στον ίδιο ασθενή όποτε αυτό είναι δυνατό. Ο σκοπός μιας τέτοιας προσέγγισης «επικάλυψης» είναι να μεγιστοποιήσει την είσοδο των νευραξόνων προς τις απονευρωμένες δομές.<sup>(172)</sup> Η σύγχρονη προτιμώμενη στρατηγική ανακατασκευής του βραχιονίου πλέγματος σε βλάβες ανώτερου ή ολικού τύπου συνοψίζονται στους πίνακες 5 και 6 και στα παραδείγματα των εικόνων 37 και 38.<sup>(79, 154)</sup>

**Πίνακας 5:** Στρατηγική ανακατασκευής για βλάβες ανώτερου τύπου (A5 & A6 ρίζες ή A5-A7 ρίζες)

I. Εάν τα ευρήματα από την νευροδιέγερση δηλώνουν αγωγιμότητα πραγματοποιείται νευρόλυση
II. Εάν τα ευρήματα από την νευροδιέγερση δεν δηλώνουν αγωγιμότητα και ανευρίσκονται διεγχειρητικά δεσμιδικές δομές στις εγγύς διατομές των αυχενικών ριζών πραγματοποιείται άμεση επιδιόρθωση συνεπικουρούμενη από νευρομεταφορά στο υπερπλάτιο (π.χ. του παραπληρωματικού) επί εξελκυσμού της A5 ρίζας ή στο μυοδερματικό (π.χ. του φρενικού / μεσοπλεύριων / δέσμης του ωλενίου) επί εξελκυσμού της A6 ρίζας
III. Εάν τα ευρήματα από την νευροδιέγερση δηλώνουν προγαγγλιακή βλάβη ή η διατομή των A5 και A6 ριζών δηλώνει συνδυασμένη προ και μεταγαγγλιακή βλάβη πραγματοποιούνται νευρομεταφορές από δότες εκτός του πλέγματος (παραπληρωματικό, αυχενικοί κινητικοί κλάδοι, μεσοπλεύρια νεύρα, φρενικό) ή δότες από το κατώτερο πλέγμα (δέσμη του ωλενίου, έσω θωρακικό, δέσμη μέσου, κλάδος τρικεφάλου)

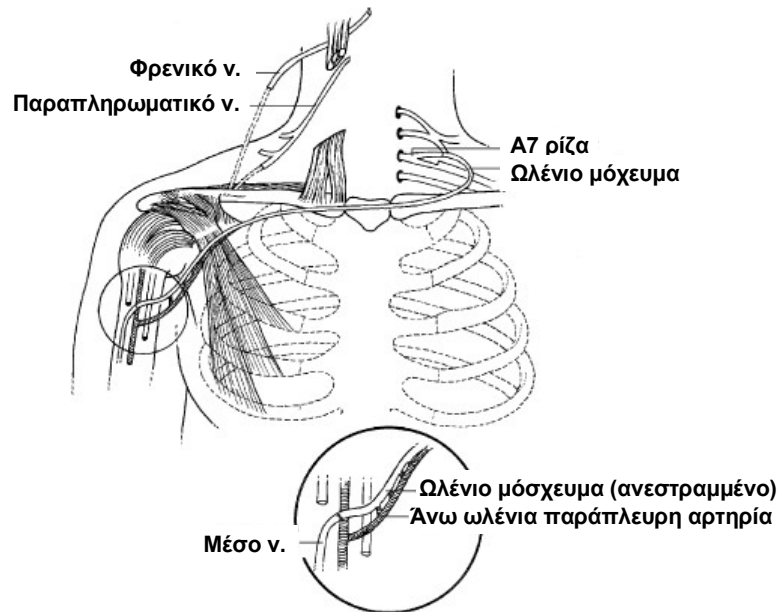




**Εικόνα 37.** Επί εξελκυσμού ριζών ανωτέρου τύπου μια αξιόπιστη στρατηγική νευρομεταφορών περιλαμβάνει άμεση μεταφορά του φρενικού στο υπερπλάτιο νεύρο και μεταφορά του παραπληρωματικού στο μυοδερματικό νεύρο με παρεμβολή γαστροκνημίου νευρικού μοσχεύματος

**Πίνακας 6:** Στρατηγική ανακατασκευής για βλάβες ολικού τύπου (A5 –Θ1 ρίζες)

I. Εάν τα ευρήματα από την νευροδιέγερση δηλώνουν αγωγιμότητα πραγματοποιείται νευρόλυση (σπάνια αλλά υπαρκτή κατάσταση)
II. Εάν τα ευρήματα από την νευροδιέγερση δεν δηλώνουν αγωγιμότητα και ανευρίσκονται διεγχειρητικά δεσμιδικές δομές στις εγγύς διατομές των αυχενικών ριζών πραγματοποιείται άμεση επιδιόρθωση συνεπικουρούμενη από νευρομεταφορά στο υπερπλάτιο (π.χ. του παραπληρωματικού), στο μυοδερματικό (π.χ. του φρενικού ή των μεσοπλεύριων) και στην οπίσθια υποδιαίρεση του άνω ή μέσου πρωτεύοντος στελέχους (π.χ. αυχενικών κινητικών κλάδων)
III. Επί εξελκυσμού και των 5 ριζών πραγματοποιούνται νευρομεταφορές από δότες εκτός του πλέγματος στο υπερπλάτιο (π.χ. του παραπληρωματικού), στο μυοδερματικό (π.χ. του φρενικού ή των μεσοπλεύριων) και στην οπίσθια υποδιαίρεση του άνω πρωτεύοντος στελέχους (π.χ. αυχενικών κινητικών κλάδων), στο μέσο νεύρο (π.χ. ημιτερόπλευρη A7 ρίζα) για παλαμιαία αίσθηση και κάμψη του καρπού και των δακτύλων, στον κλάδο του κερκιδικού για τον τρικέφαλο (π.χ. μεσοπλεύρια νεύρα). Σε δεύτερο χρόνο δότες εκτός του πλέγματος (π.χ. μεσοπλεύρια νεύρα / ημιτερόπλευρη A7 ρίζα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς μια ελεύθερη μεταφορά μυός (π.χ. ισχνού προσαγωγού).



**Εικόνα 38.** Επί εξελκυσμού ριζών ολικού τύπου μια στρατηγική πολλαπλών νευρομεταφορών που χρησιμοποιεί το φρενικό, το παραπληρωματικό και το ήμισυ της ετερόπλευρης A7 ρίζας παρέχει στον ασθενή ένα πλαίσιο για να πετύχει λαβή τύπου γάντζου.

Σε όψιμες (>1 έτος) περιπτώσεις πλήρους εξελκυσμού όλων των ριζών από την A5 έως τη Θ1, αρκετοί συγγραφείς έχουν εγκαταλείψει αυτόν τον αλγόριθμο των πολλαπλών νευρομεταφορών εξαιτίας φτωχών αποτελεσμάτων.<sup>(154)</sup> Αντιθέτως, προτείνουν μια τροποποίηση που περιλαμβάνει μία επέμβαση ελεύθερου μυός δύο σταδίων.<sup>(162,26,27)</sup> Το πρώτο στάδιο αποτελείται από μεταφορά ενός ελεύθερου μυός χρησιμοποιώντας τη νευρομεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου για συνδυασμένη κάμψη του αγκώνα και έκταση των δακτύλων. Το στάδιο αυτό συνδυάζεται με μεταφορά του ημίσεως της ετερόπλευρης A7 ρίζας στο μέσο νεύρο για παλαμιαία αίσθηση. Το δεύτερο στάδιο μεταφοράς άλλου ελεύθερου μυός θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αργότερα χρησιμοποιώντας το πρόσθιο μεσόστεο νεύρο ή τα μεσοπλεύρια νεύρα για κάμψη των δακτύλων. Εάν αποκτηθεί ανάνηψη, μια τρίτη επέμβαση θα μπορούσε να σχεδιαστεί για να επιτρέψει αντίθεση του αντίχειρα και στατική κάμψη των μετακαρποφαλαγγικών αρθρώσεων.



## **Z) Μετεγχειρητική φροντίδα**

Η αποκατάσταση των ασθενών που υπόκεινται σε τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος είναι απαραίτητη. Η ανακατασκευή αυτών των σημαντικών τραυματισμών συνήθως περιλαμβάνει πολλαπλά στάδια με παρατεταμένη μετεγχειρητική πορεία. Ο ασθενής θα πρέπει να συνεργάζεται για ολόκληρη την παρατεταμένη περίοδο αποκατάστασης και θα πρέπει να κατανοήσει ότι ακόμα και το πιο επιτυχημένο χειρουργείο θα προσφέρει μόνο ένα λειτουργικό, αλλά όχι φυσιολογικό, άνω άκρο. Εντατική φυσικοθεραπεία και ψυχολογική στήριξη με δημιουργία κινήτρων είναι απαραίτητα για να είναι ικανός ο ασθενής για συνεργασία σύμφωνα με τις προ- και μετεγχειρητικές συστάσεις και να επιτευχθεί πρόωμη επιστροφή του στην κοινωνία.

Οι στρατηγικές ανακατασκευής θα πρέπει να συνεκτιμούν την ψυχολογική κατάσταση του ασθενούς καθώς και τα κίνητρα, την ικανότητα και την θέληση του ασθενούς να επανεκπαιδεύσει τους μύες οι οποίοι μπορεί να έχουν επανανευρωθεί από «ξένους» κινητικούς δότες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, είναι σημαντικό να ενθαρρύνεται ο ασθενής να ξεκινήσει να εργάζεται. Έχει παρατηρηθεί ότι οι ασθενείς που δεν εργάζονται έχουν λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι ασθενείς αυτοί συνήθως είναι καταθλιπτικοί και συνεχίζουν να έχουν πόνο, δημιουργώντας ένα φαύλο κύκλο, με τον ασθενή να μην αποδέχεται περαιτέρω ανακατασκευή προκειμένου να βελτιώσει τη λειτουργία του παράλυτου άκρου.<sup>(141)</sup>

Η φυσιοθεραπεία πραγματοποιείται για να διατηρηθεί και να αυξηθεί το εύρος της κίνησης, να καθυστερήσει ο ρυθμός της μυϊκής ατροφίας, και να επανεκπαιδεύτουν οι μυες όταν έχει πιστοποιηθεί επανανεύρωση μετά από χειρουργεία ανακατασκευής.<sup>(173)</sup>

Το χειρουργημένο μέλος ακινητοποιείται σε μία επίδεση Velpeau και ένα ακινητοποιητή ώμου για 3 με 4 εβδομάδες. Η μετεγχειρητική φυσιοθεραπεία ξεκινά μετά 4 εβδομάδες με παθητική κίνηση όλων των αρθρώσεων του άνω άκρου προκειμένου να διατηρηθεί η κινητικότητα των αρθρώσεων. Μέγιστη παθητική κίνηση στον ώμο αποφεύγεται για 6 εβδομάδες. Ηλεκτρική διέγερση εφαρμόζεται στους παράλυτους μύες μέχρι να παρατηρηθεί κλινικά κινητική ανάνηψη. Ο ασθενής εκτιμάται τακτικά, και αν υπάρχουν πρόωμα σημάδια κινητικής ανάνηψη, ξεκινούν ενεργητικές μυϊκές ασκήσεις. Η εκπαίδευση με βιοανάδραση είναι χρήσιμη για τους ασθενείς προκειμένου να έχουν καλύτερο έλεγχο των επανανευρωμένων μυών σε περίπτωση ανταγωνιστικής συν-συσπάσεως.

Όλοι οι ασθενείς που υφίστανται νευρομεταφορές χρειάζονται επαγωγικές ασκήσεις (ασκήσεις κινήτρου). Για παράδειγμα, μετά από μεταφορά των μεσοπλευρίων ή του φρενικού νεύρου, οι ασθενείς θα πρέπει να παροτρύνονται προς διενέργεια ασκήσεων, όπως τρέξιμο, περπάτημα, ή άνοδο πλαγιάς προκειμένου να αποκτήσουν βαθιά αναπνοή. Καθώς η ανάνηψη προοδεύει, συχνές ασκήσεις των επανανευρωμένων μυών παρέχουν μια εσωτερική νευρική υποκίνηση, η οποία είναι πάντα ανώτερη από την εξωτερική ηλεκτρική διέγερση. Αναλόγως, υπό αντίσταση ασκήσεις εύρους κίνησης στον ώμο, οι οποίες παρακινούν τη σύσπαση του τραπεζοειδούς (ασκήσεις ανύψωσης ή προς τα πίσω έκτασης) είναι σημαντικές μετά το χειρουργείο προκειμένου να επανεκπαιδευθεί το παραπληρωματικό νεύρο, καθώς και ασκήσεις πίεσης της γλώσσας έναντι της σκληράς υπερώα επί νευρομεταφοράς του υπογλώσσιου νεύρου και ασκήσεις συλλήψεως του δότριου χεριού υπό αντίσταση επί μεταφοράς της ετερόπλευρης A7 ρίζας. Αυτές οι ασκήσεις ονομάζονται επαγωγικές ασκήσεις επειδή προκαλούν την πυροδότηση του μεταφερόμενου νεύρου, διεγείροντας τη σύσπαση του επανανευρωμένου μυός.

Η αντιμετώπιση του πόνου αποτελεί επίσης σημαντικό στόχο κατά την μετεγχειρητική αποκατάσταση.<sup>(174, 175)</sup> Έλλειψη πόνου μετεγχειρητικά επιτρέπει στους ασθενείς να

εστιαστούν στην αποκατάσταση του άκρου και να βελτιώσουν την επιδεξιότητα τους και τη συνολική τους λειτουργία. Η συχνότητα του πόνου μετά από τραυματισμό του βραχιονίου πλέγματος ποικίλει σε διάφορες σειρές, αλλά συνήθως αποτελεί πρόβλημα για το 10-20% του συνόλου των ασθενών, και σχεδόν 40% των ασθενών με βλάβες εξελκυσμού, ιδίως όταν υπάρχει συμμετοχή των κατώτερων ριζών (A8 και Θ1) εξαιτίας του υψηλού τους περιεχομένου σε αισθητικές ίνες.<sup>(176)</sup> Συνήθως ο πόνος λόγω αναστολής κεντρομόλων ερεθισμάτων (deafferentation pain) συνεπεία εξελκυσμού ρίζας, βελτιώνεται μετεγχειρητικά με αποκατάσταση της αισθητικότητας. Η επιστροφή προσαγωγών ερεθισμάτων, έστω και προστατευτικών, δραματικά εμποδίζει τα προσαγωγά μονοπάτια του πόνου.<sup>(177,178)</sup> Παραμονή μετεγχειρητικά σημαντικού πόνου θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με απλά αναλγητικά, ναρκωτικά αναλγητικά, τρικυκλικά αντικαταθλιπτικά, αντιψυχωσικά και συμπαθητικά μπλοκ ή επεμβάσεις εκτομής της ζώνης εισόδου των ραχιαίων γαγγλίων.  
(153,179)

# Ειδικό μέρος



## *A/ Υλικό και μέθοδος*

### **I) Δημογραφικά στοιχεία και προεγχειρητικά ευρήματα**

Σε μια περίοδο 9,5 ετών (Μάρτιος 1998 έως Αύγουστος 2007), 78 ενήλικες ασθενείς με μετατραυματική παράλυση του βραχιονίου πλέγματος χειρουργήθηκαν στην κλινική μας για αποκατάσταση της λειτουργίας στο παράλυτο άκρο.

Στη μελέτη δεν συμπεριλήφθηκαν μαιευτικοί τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος σε παιδιά, διότι η διαχείριση των ασθενών αυτών διαφέρει σε αρκετές απόψεις από αυτή των ενηλίκων.

Είκοσι ένας ασθενείς παρουσιάστηκαν στο τμήμα μας όψιμα μετά τον τραυματισμό (> 2 έτη). Εξαιτίας της απώλειας των μυών, λόγω παρατεταμένης απονεύρωσης, μόνο δευτεροπαθείς επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την όψιμη ομάδα, που περιλάμβαναν μυϊκές μεταφορές, τενοντομεταφορές, και οστικές επεμβάσεις, πχ αρθρόδεση του καρπού.

Διερεύνηση του βραχιονίου πλέγματος πραγματοποιήθηκε σε 57 ασθενείς, οι οποίοι προσήλθαν για χειρουργική αντιμετώπιση νωρίτερα των 12 μηνών μετά τον τραυματισμό. Ο μέσος χρόνος απονεύρωσης ήταν 4,7 μήνες (εύρος 1 έως 12 μήνες). Η πρωταρχική επέμβαση έγινε εντός 6 μηνών στο 82% των ασθενών (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Χρόνος πρωταρχικής επέμβασης

Χρόνος επέμβασης	Ασθενείς	%
≤6 μήνες	47	82
6 μήνες – 1 έτος	10	18
<b>Σύνολο</b>	<b>57</b>	<b>100</b>

Είκοσι δύο ασθενείς υποβλήθηκαν σε περισσότερες από μια επεμβάσεις νευρικής ανακατασκευής (Πίνακας 2) κατά μέσο όρο 25 μήνες μετά την αρχική επέμβαση (εύρος 2,3 μήνες – 66 μήνες, πχ επί νευρομεταφοράς της ετερόπλευρης A7 σε ελεύθερο μυ).

Πίνακας 2: Επεμβάσεις νευρικής ανακατασκευής

Επεμβάσεις	Ασθενείς	%
1	35	61
2	17	30
3	5	9
<b>M.O: 1,47</b>	<b>57</b>	<b>100</b>

Ο μέσος όρος ηλικίας των ασθενών αυτών ήταν 28,5 έτη (εύρος, 15-55 έτη), και η μεγάλη πλειοψηφία ήταν άντρες με αναλογία 13:1 ως προς τις γυναίκες (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Δημογραφικά στοιχεία ασθενών

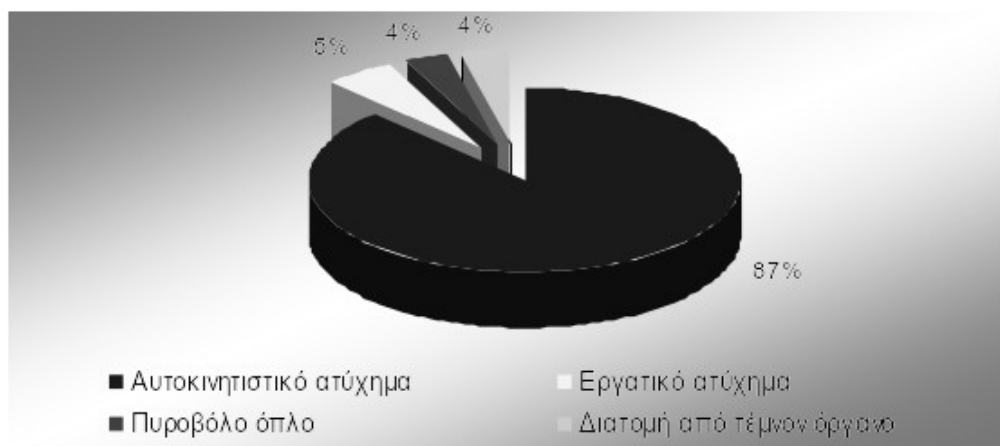
Ηλικία	Άντρες	Γυναίκες	Σύνολο
≤30 ετών	34	3	37
>30 ετών	19	1	20
M.O ηλικίας	28,7	22,5	28,5



Η πιο συχνή αιτία τραυματισμού ήταν τροχαίο ατύχημα (87%), και ειδικότερα ατυχήματα με μοτοσυκλέτες (45 ασθενείς), δηλώνοντας μια υψηλής ενεργείας βλάβη με μηχανισμό ελκυσμού ή σύνθλιψης (Πίνακας 4). Οι υπόλοιποι των ασθενών (13%) είχαν βλάβη του βραχιονίου πλέγματος μετά από εργατικό ατύχημα που προκάλεσε ελκυσμό του άνω άκρου (3 ασθενείς), λόγω τραύματος από πυροβόλο όπλο (2 ασθενείς), και διατομή από τέμνον όργανο (2 ασθενείς).

Πίνακας 4: Αιτίες τραυματισμού βραχιονίου πλέγματος

Αιτίες τραυματισμού	Ασθενείς	%
Τροχαίο ατύχημα	50	87
Εργατικό ατύχημα	3	5
Πυροβόλο όπλο	2	4
Διατομή από τέμνον όργανο	2	4
<b>Σύνολο</b>	<b>57</b>	<b>100</b>



Η δεξιά πλευρά αφορούσε στο 56% των ασθενών (32 ασθενείς). Η πλειοψηφία των ασθενών με υψηλής ενέργειας τραυματισμό είχαν συνοδές κακώσεις, κυρίως γύρω από την ωμική ζώνη (Πίνακας 5). Σε 11 ασθενείς χρειάστηκε άμεση χειρουργική παρέμβαση για αντιμετώπιση μείζονος αγγειακής βλάβης του άνω άκρου, συνήθως της υποκλείδιας αρτηρίας (7 ασθενείς). Ως αποτέλεσμα η επέμβαση νευρικής ανακατασκευής πραγματοποιήθηκε σε ήδη χειρουργημένη περιοχή. Κρανιοεγκεφαλική κάκωση με νοσηλεία στη μονάδα εντατικής θεραπείας ήταν αναγκαία σε 9 ασθενείς.

Πίνακας 5: Συνοδές κακώσεις

Συνοδές κακώσεις	Ασθενείς	%
Κατάγματα / εξάρθρηματα	34	60
Αγγειακή βλάβη	11	19
Κρανιοεγκεφαλική κάκωση	9	16
Θωρακικός τραυματισμός	17	30
Κοιλιακός τραυματισμός	11	19
Άλλο	7	12
<b>Σύνολο</b>	<b>57</b>	<b>---</b>



Απλές ακτινογραφίες της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης και του άνω άκρου πραγματοποιούνταν επί ενδείξεων για αποκάλυψη συμπαρομαρτούντων καταγμάτων. Ακτινογραφίες θώρακος σε εισπνοή και εκπνοή και ακτινοσκοπικές μελέτες αποκάλυπταν εάν το διάφραγμα (φρενικό νεύρο) είχε παραλύσει, το οποίο αποτελούσε ένδειξη βλάβης ανωτέρου πλέγματος. Αγγειογραφία του άνω άκρου γινόταν επιλεγμένα σε ασθενείς οι οποίοι προγραμματίζονταν για μεταφορές ελεύθερου μυός ή που είχαν ιστορικό αγγειακής βλάβης και ανακατασκευής με τη χρήση μοσχεύματος.

Προκειμένου να αποκλειστεί εξελκυσμός των ριζών αρκετοί ασθενείς ελέγχθηκαν με μαγνητική τομογραφία στο δικό μας νοσοκομείο, ενώ μερικοί ασθενείς που παραπέμφθηκαν σε εμάς από άλλα κέντρα είχαν προβεί σε αξονική τομογραφία ή μυελογραφία μετά από αξονική τομογραφία.

## II) Διεγχειρητικά ευρήματα

Η τελική διάγνωση για την έκταση του τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος γινόταν διεγχειρητικά την ώρα της διερεύνησης. Αν και υπήρχαν ψευδώς θετικά και ψευδώς αρνητικά ευρήματα ακόμα και στις πιο εξειδικευμένες εξετάσεις (μυελογραφία μετά από αξονική τομογραφία), συνήθως οι μελέτες αυτές παρείχαν αξιόπιστη πληροφορία για κάθε ρίζα του πλέγματος και για το εάν ήταν πιθανός εξελκυσμός ή βλάβη κοντά στο νατιαίο μυελό.

Παρότι υπήρχε σημαντική ή πλήρης απώλεια της λειτουργίας προεγχειρητικά, τα αντίστοιχα νευρικά στοιχεία του βραχιονίου πλέγματος ήταν σε συνέχεια σε 5 ασθενείς κατά την διερεύνηση την ώρα του χειρουργείου (Πίνακας 6). Ο συνδυασμός εξελκυσμού και διατομής και / ή βλάβης σε συνέχεια ήταν το κύριο γνώρισμα σε 35 ασθενείς.

Πίνακας 6: Τύπος βλάβης βραχιονίου πλέγματος

Τύπος βλάβης	Ασθενείς	%
Εξελκυσμός	8	14
Διατομή	9	16
Σε συνέχεια	5	9
Συνδυασμός	35	61
<b>Σύνολο</b>	<b>57</b>	<b>100</b>

Σε 43 ασθενείς η βλάβη εντοπιζόταν στην υπερκλείδια περιοχή ή ήταν εκτεταμένη περιλαμβάνοντας και την υποκλείδια περιοχή. Μόνο 14 ασθενείς (25%) είχαν μία αμιγώς υποκλείδια βλάβη (Πίνακας 7).

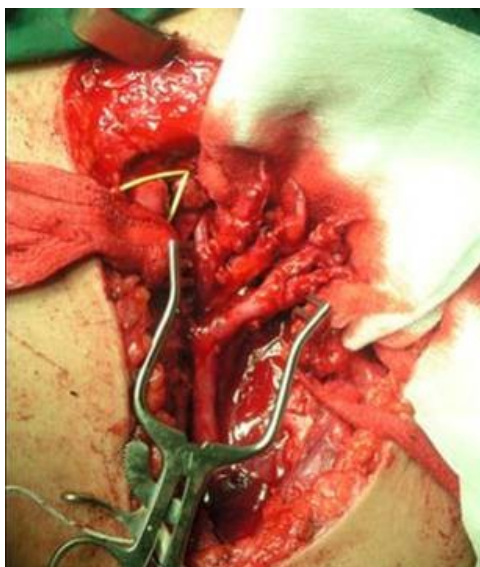
Πίνακας 7: Εντόπιση βλάβης βραχιονίου πλέγματος

Εντόπιση βλάβης	Ασθενείς	%
Υπερκλείδια	35	61
Υποκλείδια	14	25
Συνδυασμός	8	14
<b>Σύνολο</b>	<b>57</b>	<b>100</b>

Από τους 43 τραυματισμούς που ενέπλεκαν και το επίπεδο των ριζών (υπερκλείδια περιοχή), 38 είχαν το στοιχείο του εξελκυσμού, εκ των οποίων 8 ήταν αμιγώς προγαγγλιακοί, ενώ 30 συνδυάζονταν με διατομή και / ή βλάβη σε συνέχεια. (Πίνακας 8) (εικ. 1).

Πίνακας 8: Τύπος βλάβης επί τραυματισμού σε επίπεδο ριζών

Τύπος βλάβης	Ασθενείς	%
Προγαγγλιακή βλάβη	8	19
Μεταγαγγλιακή βλάβη	5	11
Συνδυασμός	30	70
<b>Σύνολο</b>	<b>43</b>	<b>100</b>

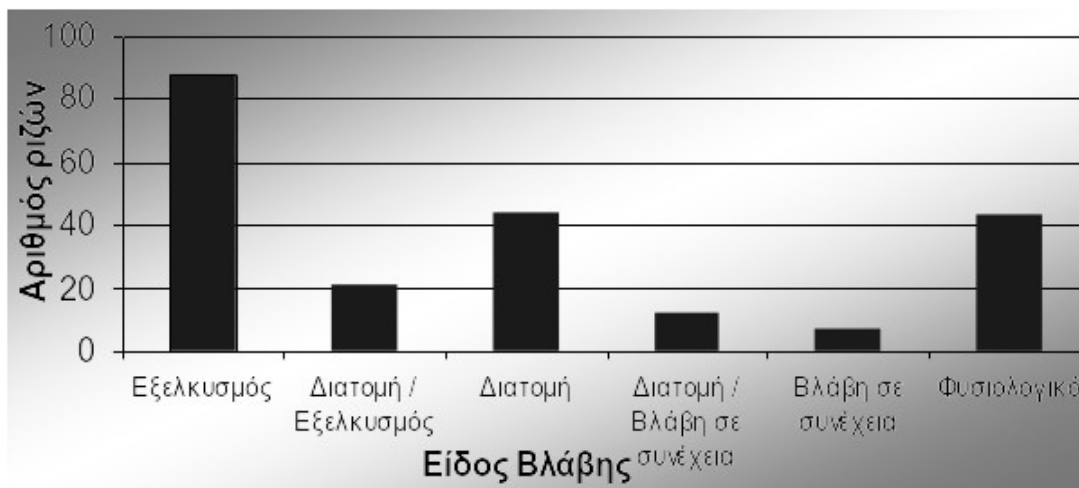


**Εικόνα 1.** Υπερκλείδια βλάβη του βραχιονίου πλέγματος με εξελκυσμό των ριζών

Για να περιγραφεί ποσοτικά η σοβαρότητα του τραυματισμού των ριζών χρησιμοποιήθηκε το σύστημα βαθμονόμησης που προτάθηκε από την Terzis<sup>(141)</sup> (Πίνακας 9). Σύμφωνα με αυτό η διεγχειρητική εκτίμηση των βλαβών εκφράζεται σε ένα συνολικό βαθμό σοβαρότητας, που αναπαριστά το άθροισμα του βαθμού σοβαρότητας για κάθε ρίζα ξεχωριστά. Ο συνολικός βαθμός σοβαρότητας για ένα φυσιολογικό βραχιόνιο πλέγμα είναι 25 (5x5). Όσο χαμηλότερος είναι ο συνολικός βαθμός σοβαρότητας, τόσο χειρότερος είναι ο τραυματισμός.

Πίνακας 9: Βαθμός σοβαρότητας βλάβης ρίζας

Τύπος βλάβης	Βαθμός	A5	A6	A7	A8	Θ1	Σύνολο ριζών
Εξελκυσμός	0	11	23	19	18	17	88
Διατομή / Εξελκυσμός	1	2	6	12	1	-	21
Διατομή	2	28	10	2	2	2	44
Διατομή / Βλάβη σε συνέχεια	3	2	2	2	2	4	12
Βλάβη σε συνέχεια	4	-	1	2	2	2	7
Φυσιολογικό	5	-	1	6	18	18	43



**Διάγραμμα 1.** Αριθμός νευρικών ριζών με διαφόρου βαθμού σοβαρότητας βλάβη για ασθενείς με τραυματισμό σε επίπεδο ριζών

Ο μέσος συνολικός βαθμός σοβαρότητας των ασθενών ήταν 9, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των ασθενών είχε σοβαρές βλάβες (Πίνακας 10). Τα 3/5 των τραυματισμών που ενέπλεκαν το επίπεδο των ριζών ήταν ολικού ή σχεδόν ολικού τύπου (5 ή 4 ρίζες).

Πίνακας 10: Αριθμός εμπλεκόμενων ριζών επί τραυματισμού σε επίπεδο ριζών

Εμπλεκόμενες ρίζες	Ασθενείς	%	Μ.Ο. Συνολικού βαθμού σοβαρότητας
5	24	56	4,6
4	1	2	13
3	13	30	13,6
2	4	10	16,5
1	1	2	22
<b>Σύνολο</b>	<b>43</b>	<b>100</b>	<b>9,1</b>

Επί προγαγγλιακού τραυματισμού, βλάβη ολικού τύπου με εξελκυσμό και των 5 ριζών, χωρίς ύπαρξη διαθέσιμης ρίζας αφορούσε σε 3 ασθενείς (Πίνακας 11). Για αυτούς τους ασθενείς χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά νευρομεταφορές με δότες εκτός του πλέγματος. Αντιθέτως στις υπόλοιπες περιπτώσεις ήταν δυνατές επιδιορθώσεις εντός του πλέγματος είτε με δότες από τα κολοβώματα των ριζών που είχαν υποστεί διατομή είτε από μεταφορά περιφερικότερων κλάδων του κατώτερου υγιούς πλέγματος (π.χ. Oberlin)

Πίνακας 11: Κατανομή ριζών με βλάβη εξελκυσμού

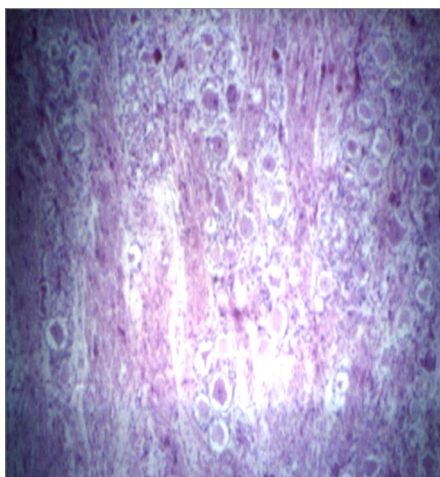
	Ασθενείς	%
Εξελκυσμός 1 ρίζας	6	16
Εξελκυσμός 2 ριζών	12	32
Εξελκυσμός 3 ριζών	4	10
Εξελκυσμός 4 ριζών	13	34
Εξελκυσμός 5 ριζών	3	8
<b>Σύνολο</b>	<b>38</b>	<b>100</b>

Κατά τη διάρκεια του χειρουργείου γινόταν άμεσος ερεθισμός των ύποπτων εγγύς τμημάτων του βραχιονίου πλέγματος με τη χρήση νευροδιεγέρτη στα 0,5, 1 και 2 mAmp και σημειωνόταν αντίστοιχα η περιφερική μυϊκή σύσπαση. Αυτό ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο επί βλαβών σε συνέχεια για τις οποίες θα έπρεπε να ληφθεί απόφαση εάν θα αντιμετωπιζόνταν μόνο με νευρόλυση ή με εκτομή του νευρώματος και παρεμβολή μοσχεύματος ή με νευρομεταφορά.

Εάν σημειωνόταν περιφερική μυϊκή σύσπαση στη διέγερση της βλάβης σε συνέχεια χρησιμοποιώντας 0,5 mAmp, τότε υπήρχε μία άθικτη ή μερικώς τραυματισμένη νευρική δομή. Στην περίπτωση αυτή η εγγύς νευρική δομή δεν διατεμόταν, για διενέργεια νευρόλυσης ή ανεύρεσης χρήσιμων δεσμιδικών δομών, εκτός εάν η επισκόπηση δήλωνε την πιθανότητα μιας επιδιορθώσιμης βλάβης.

Εάν σημειωνόταν περιφερική μυϊκή σύσπαση μόνο στη διέγερση των 1 ή 2 mAmp, τότε τα νευρικά στοιχεία βρίσκονταν σε στάδιο αναγέννησης και για το λόγο αυτό δεν διατέμονταν και διενεργούταν μόνο νευρόλυση.

Εάν δεν υπήρχε περιφερική μυϊκή σύσπαση ακόμη και με διέγερση των 2 mAmp, τότε γινόταν εκτομή της βλάβης σε συνέχεια και προσπάθεια ανεύρεσης χρήσιμων δεσμιδικών δομών στα εγγύς κολοβώματα, οι οποίες θα μπορούσαν να γίνουν δότες νευραζόνων σε παρεμβαλλόμενα νευρικά μοσχεύματα. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονταν ταχείες βιοψίες των εγγύς κολοβωμάτων και στέλνονταν στο παθολογοανατομικό εργαστήριο για να καθοριστεί η παρουσία νευραζόνων σε αντιδιαστολή με το σχηματισμό ουλώδους ιστού και την παρουσία γαγγλιακών κυττάρων. Για την πραγματοποίηση νευρομεταφορών χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι ρίζες οι οποίες στην έκθεση του παθολογοανατομικού αναφερόταν ότι ήταν πλήρεις νευραζόνων, με ή χωρίς ελάχιστο ουλώδη ιστό και σαφώς χωρίς γαγγλιακά κύτταρα (εικ. 2).



**Εικόνα 2.** Ιστολογική εικόνα ταχείας βιοψίας από εγγύς κολοβώμα ρίζας. Η ύπαρξη γαγγλιακών κυττάρων και άφθονου ουλώδους ιστού αποκλείει τη χρήση του κολοβώματος ως δότη νευραζόνων.

### III) Είδος νευρικής ανακατασκευής

Σε 12 ασθενείς ήταν δυνατή νευρική επιδιόρθωση με νευροσυρραφή με ή χωρίς τη χρήση παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος. Νευρομεταφορές πραγματοποιήθηκαν σε 53 ασθενείς (Πίνακας 12). Οι επεμβάσεις αυτές συνδυάζονταν με νευρόλυση των υπόλοιπων εν συνεχεία

νευρικών δομών, όπου αυτό κρινόταν απαραίτητο (πχ σκληρή υφή κατά την ψηλάφηση, απώλεια της επιμήκους αγγείωσης κατά την επισκόπηση, βαθμός απάντησης σε διεγχειρητική νευροδιέγερση).

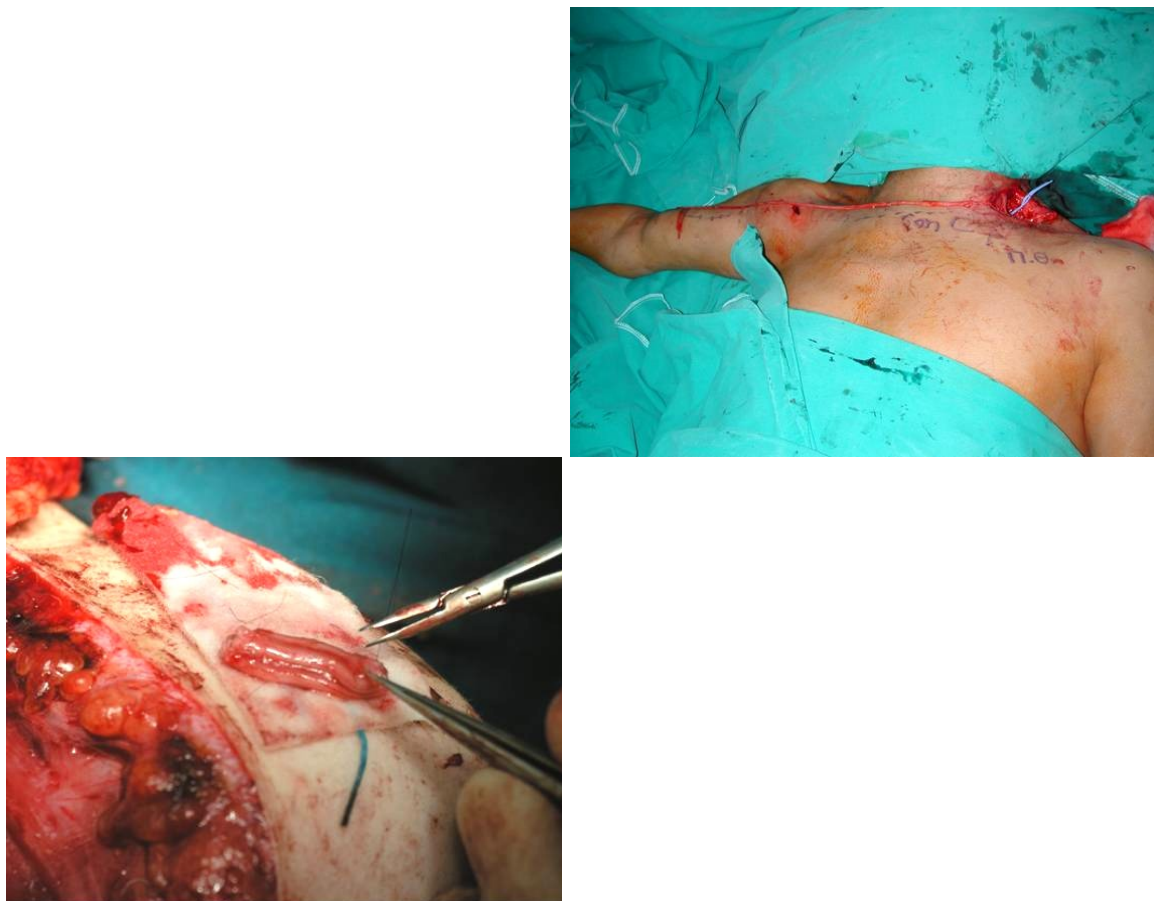
Πίνακας 12: Είδος νευρικής ανακατασκευής

<b>Είδος νευρικής ανακατασκευής</b>	<b>Ασθενείς</b>	<b>%</b>
Αμιγής νευροσυρραφή	4	7
Αμιγής νευρομεταφορά	45	79
Συνδυασμός	8	14
<b>Σύνολο</b>	<b>57</b>	<b>100</b>

Για την πραγματοποίηση των νευρικών ανακατασκευών χρησιμοποιήθηκαν παρεμβαλλόμενα μοσχεύματα στο 68% των περιπτώσεων (Πίνακας 13). Το γαστροκνήμιο νεύρο χρησιμοποιήθηκε στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ενώ το σαφηνές χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε επεμβάσεις δευτέρου χρόνου (πχ νευρομεταφορά της ετερόπλευρης A7) όταν το γαστροκνήμιο νεύρο είχε ήδη χρησιμοποιηθεί (εικ. 3).

Πίνακας 13: Είδος νευρικής ανακατασκευής

<b>Παρεμβαλλόμενο μόσχευμα</b>	<b>Νευροσυρραφή</b>	<b>Νευρομεταφορά</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>%</b>
Γαστροκνήμιο	19	106	125	62
Σαφηνές	-	8	8	4
Αισθητικό υπερκλείδιο		3	3	1
Έσω δερματικό του αντιβραχίου		3	3	1
Τελικοτελική συρραφή		65	65	32
<b>Σύνολο</b>	<b>19</b>	<b>185</b>	<b>204</b>	<b>100</b>



**Εικόνα 3. Α]** Μόσχευμα γαστροκνήμιου νεύρου διαμορφωμένο σε 4 δέσμες. **Β]** Σαφηνές μόσχευμα προ της σύνδεσής του με την ετερόπλευρη A7 ρίζα

Νευροσυρραφές εντός του πλέγματος με ή χωρίς τη βοήθεια μοσχευμάτων ήταν δυνατές σε 12 ασθενείς και αφορούσαν συνήθως είτε σε διατομές με τέμνον όργανο είτε σε περιφερικές (υποκλείδιες) διατομές του βραχιονίου πλέγματος. (Πίνακας 14).

Πίνακας 14: Νευροσυρραφές με ή χωρίς παρεμβαλλόμενα μοσχεύματα

Δότης νευραξόνων	Λήπτης νευραξόνων	Ασθ.	%	Νευροσυρραφές	%
Ρίζες (A5,A6)	Πρωτεύον στέλεχος (Άνω)	2	17	2	11
Πρωτεύον στέλεχος (άνω)	Δευτερεύον στέλεχος (έξω, οπίσθιο)	3	25	5	26
Δευτερεύον στέλεχος	Μυοδερματικό, μασχαλιαίο, κερκιδικό, μέσο, ωλένιο	4	33	9	47
Τελικοί κλάδοι (μέσο, μυοδερματικό)	Τελικοί κλάδοι (μέσο, μυοδερματικό)	3	25	3	16
<b>Σύνολο</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>19</b>	<b>100</b>

Οι κύριοι στόχοι των νευρομεταφορών ήταν: το υπερπλάτιο / μασχαλιαίο νεύρο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου (48 ασθενείς), το μυοδερματικό / κερκιδικό νεύρο για αποκατάσταση της λειτουργίας του αγκώνα (46 ασθενείς), το μέσο νεύρο για αποκατάσταση της αίσθησης και λειτουργίας του χεριού (24 ασθενείς) ή ελεύθερος μυς για



αποκατάσταση λειτουργίας του αγκώνα ή του χεριού (11 ασθενείς) (Πίνακας 15). Στις περισσότερες περιπτώσεις (43 ασθενείς) είχαν περισσότερες από μία νευρομεταφορές (4 νευρομεταφορές κατά μέσο όρο), στην ίδια ή σε διαδοχικές επεμβάσεις, για συνολική αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου, του αγκώνα και του χεριού.

Πίνακας 15: Στόχοι νευρομεταφορών

Νεύρο στόχος	Ασθενείς	%	Νευρομεταφορές	%
Υπερπλάτιο	41	77	42	23
Μασχαλιαίο	24	45	30	16
Μυοδερματικό	45	85	70	38
Κερκιδικό	6	11	10	5
Μέσο	23	43	25	14
Ελεύθερος μυς	11	21	11	6
Θωρακοραχιαίο	1	2	1	1
Συνδυασμός	43	81	175	95
<b>Σύνολο</b>	<b>53</b>	<b>---</b>	<b>185</b>	<b>---</b>

Ο συνηθέστερος συνδυασμός νευρομεταφορών (38/53 ασθενείς) περιλάμβανε ως στόχους το υπερπλάτιο και το μυοδερματικό για σύγχρονη αποκατάσταση του ώμου και του αγκώνα (Πίνακας 16).

Πίνακας 16: Ασθενείς με συνδυασμένες νευρομεταφορές

	Υπερπλάτιο	Μασχαλιαίο	Μυοδερματικό	Κερκιδικό	Μέσο	Ελεύθερος μυς
<b>Υπερπλάτιο</b>	-	17	38	5	20	11
<b>Μασχαλιαίο</b>	17	-	20	4	14	5
<b>Μυοδερματικό</b>	38	20	-	5	23	11
<b>Κερκιδικό</b>	5	4	5	-	4	2
<b>Μέσο</b>	20	14	23	4	-	7
<b>Ελεύθερος μυς</b>	11	5	11	2	7	-

Κατά την πρωταρχική αντιμετώπιση στην πλειονότητα των περιπτώσεων (64%) για την πραγματοποίηση νευρομεταφορών χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός δοτών τόσο εντός όσο και εκτός του πλέγματος (Πίνακας 17). Αποκλειστικά δότες εντός του πλέγματος χρησιμοποιήθηκαν μόνο σε 10 ασθενείς κυρίως με διατομές ανωτέρου τύπου και ύπαρξη διαθέσιμων ριζών.

Πίνακας 17: Προέλευση δοτών νευρομεταφορών στην πρώτη επέμβαση

Δότης	Ασθενείς	%
Εντός του πλέγματος	10	19
Εκτός του πλέγματος	9	17
Συνδυασμός	34	64
<b>Σύνολο</b>	<b>53</b>	<b>100</b>

Από τους 22 ασθενείς που υποβλήθηκαν σε επανεπέμβαση στους 21 πραγματοποιήθηκαν νευρομεταφορές, ενώ σε 1 ασθενή έγινε σε δεύτερο χρόνο αποκατάσταση του μέσου νεύρου

με νευροσυρραφή με παρεμβαλλόμενο μόσχευμα. Στο σύνολο αυτών των νευρομεταφορών χρησιμοποιήθηκαν δότες εκτός του πλέγματος (μεσοπλεύρια νεύρα σε 12 ασθενείς, ετερόπλευρη A7 σε 11 ασθενείς), εκτός από 2 ασθενείς στους οποίους έγινε μεταφορά Oberlin για ενίσχυση του μυοδερματικού (Πίνακας 18).

Πίνακας 18: Προέλευση δοτών νευρομεταφορών σε επανεπεμβάσεις

Δότης	Ασθενείς	%
Εντός του πλέγματος	1	5
Εκτός του πλέγματος	19	90
Συνδυασμός	1	5
<b>Σύνολο</b>	<b>21</b>	<b>100</b>

Η γενική αρχή είναι να χρησιμοποιηθούν δότες εντός του πλέγματος, το οποίο είναι εφικτό επί βλάβης διατομής/σε συνέχεια ή επί βλάβης του ανωτέρου πλέγματος, όπου η λειτουργία του χεριού είχε διασωθεί, με δυνατότητα άμεσης μεταφοράς κατά Oberlin μια δέσμης του ωλένιου νεύρου (κλάδος προς ωλένιο καμπτήρα του καρπού) προς τον κλάδο του μυοδερματικού νεύρου προς τον δικέφαλο (Πίνακας 19). Στους περισσότερους τραυματισμούς που συνεπάγονταν και εξελκυσμό, χρησιμοποιήθηκε η A5 ρίζα ως η μόνη η οποία είχε διασωθεί ή ως η ρίζα η οποία είχε την καλύτερη πυκνότητα νευραξόνων (26 ασθενείς), ενώ σε λιγότερες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε η A6 ρίζα ως δότης νευραξόνων για νευρομεταφορά. Ο κλάδος του κερκιδικού για την έσω ή μακρά κεφαλή του τρικεφάλου χρησιμοποιήθηκε σε 3 ασθενείς για άμεση νευρομεταφορά στο μασχαλιαίο. Το μακρό θωρακικό χρησιμοποιήθηκε σε 1 ασθενή για τελικοπλάγια μεταφορά στο μασχαλιαίο.

Επί ελλείψεως διαθέσιμων ριζών, συνήθως το παραπληρωματικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε για να δώσει νευράξονες στο υπερπλάτιο νεύρο, το φρενικό νεύρο προς το μυοδερματικό νεύρο και αυχενικοί κινητικοί κλάδοι προς το μασχαλιαίο. Αυτοί οι δότες εκτός του πλέγματος καθώς και τα μεσοπλεύρια νεύρα (μεταφορά προς το κερκιδικό, μέσο νεύρο ή ελεύθερο μυ) ή η ετερόπλευρη A7 (μεταφορά προς ελεύθερο μυ) σε επεμβάσεις δευτέρου χρόνου ήταν ιδιαίτερα χρήσιμοι στις περιπτώσεις καθολικής βλάβης του βραχιονίου πλέγματος όπου δότες εντός του πλέγματος δεν ήταν πλέον διαθέσιμοι.

Κατά τη διάρκεια της διερεύνησης το φρενικό νεύρο διεγείρονταν με νευροδιεγέρτη, και η ακεραιότητά του εκτιμούταν όσο το δυνατόν εγγύτερα προς την έξοδο του από το αυχενικό πλέγμα και τον κλάδο του από την A5 ρίζα. Εάν η αντίδραση του διαφράγματος ήταν ισχυρή μετά από διέγερση 2 mAmp στο φρενικό νεύρο, τότε το νεύρο θεωρείτο ένας πολύτιμος δότης νευραξόνων για νευρομεταφορά. Το φρενικό νεύρο ανατέμνεται όσο το δυνατόν περιφερικότερα, ακριβώς πριν την είσοδο του στη θωρακική κοιλότητα. Αυτό επιτρέπει ελαχιστοποίηση του μήκους του νευρικού μόσχευματος που απαιτείται για να συνδέσει το χάσμα ανάμεσα στο φρενικό και το νεύρο στόχο (πχ μυοδερματικό), και γι αυτό το λόγο αυξάνει την πιθανότητα μιας επιτυχούς νευρομεταφοράς.

Η χρήση των μεσοπλεύριων νεύρων είναι μια συνήθης προσέγγιση, ιδίως σε σειρές Ασιατικών πληθυσμών. Στη δικιά μας πρακτική, μέσω μιας καμπύλης τομής στη μέση μασχαλιαία γραμμή, πραγματοποιείται διερεύνηση των άνω μεσοπλεύριων νεύρων (Θ5 έως Θ7). Κάθε νεύρο ανατέμνεται δια του μεσοπλεύριου μυ, και ο κινητικός του κλάδος προσδιορίζεται με έναν ηλεκτρικό νευροδιεγέρτη. Ο κινητικός κλάδος βρίσκεται βαθύτερα από ότι ο αισθητικός κλάδος, και ακολουθεί το κατώτερο χείλος της ανώτερης πλευράς μαζί με τα μεσοπλεύρια αγγεία. Η προσπέλαση φτάνει πέρα από τη μεσοκλειδική γραμμή, και το περιφερειακό τμήμα του κινητικού κλάδου διατέμνεται ακριβώς πριν τους τελικούς του κλάδους. Η προσπέλαση επίσης προχωρά εγγύς, προκειμένου να ληφθεί το μέγιστο μήκος

του νεύρου. Αυτή η προσπέλαση επιτρέπει ικανοποιητικό μήκος των νεύρων προκειμένου να φτάσουν εύκολα στο στόχο (πχ κερκιδικό νεύρο), μέσω υποδόριας διόδου στη μασχάλη. Τα μεσοπλεύρια νεύρα συναρμολογούνται στο κεντρικό τμήμα του νεύρου στόχου.

Πίνακας 19: Δότες νευρομεταφορών στο σύνολο των επεμβάσεων

	<b>Δότης</b>	<b>Ασθ.</b>	<b>%</b>	<b>Νευρομεταφορές</b>	<b>%</b>
<b>Εντός του πλέγματος</b>	A5	26	58	46	61
	A6	7	16	11	14
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)	4	9	6	8
	Ωλένιος κλάδος (Oberlin)	9	20	9	12
	Κερκιδικό (κλάδος έσω / μακράς κεφαλής τρικεφάλου)	3	7	3	4
	Μακρό θωρακικό νεύρο	1	2	1	1
	<b>Σύνολο</b>	<b>45</b>	<b>---</b>	<b>76</b>	<b>100</b>
<b>Εκτός του πλέγματος</b>	Παραπληρωματικό	38	88	38	35
	Φρενικό	32	74	32	29
	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	12	28	14	13
	Μεσοπλεύρια	12	28	14	13
	Ετερόπλευρη A7	11	26	11	10
	<b>Σύνολο</b>	<b>43</b>	<b>---</b>	<b>109</b>	<b>100</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>53</b>		<b>185</b>	

Νευρομεταφορά στο υπερπλάτιο νεύρο πραγματοποιήθηκε στην πλειονότητα των περιπτώσεων άμεσα από τους τελικούς κλάδους του παραπληρωματικού νεύρου (31 ασθενείς) ή διαμέσου παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων από δότες εντός του πλέγματος ( A5, A6 ) σε 7 ασθενείς, ενώ σε 3 ασθενείς χρησιμοποιήθηκαν κινητικοί κλάδοι του αυχενικού πλέγματος (Πίνακας 20). Σε έναν ασθενή χρησιμοποιήθηκε διπλός δότης (A5 & παραπληρωματικό).

Πίνακας 20: Νευρομεταφορές προς το υπερπλάτιο νεύρο

	<b>Δότης</b>	<b>Ασθενείς</b>	<b>%</b>	<b>Νευρομεταφορές</b>	<b>%</b>
<b>Εντός του πλέγματος</b>	A5	5	13	5	12
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)	1	2	1	2
<b>Εντός του πλέγματος</b>	Παραπληρωματικό	30	73	30	72
	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	3	8	3	7
	Φρενικό	1	2	1	2
<b>Συνδυασμός</b>	A5 & Παραπληρωματικό	1	2	2	5
<b>Σύνολο</b>		<b>41</b>	<b>100</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

Η ανακατασκευή του μασχαλαίου έγινε με νευρομεταφορές είτε απευθείας προς αυτό (21 ασθενείς) είτε προς το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος (3 ασθενείς). Στις περισσότερες των περιπτώσεων (14 ασθενείς) η A5 ρίζα χρησιμοποιήθηκε διαμέσου 2 παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων, ενώ δότες εκτός του πλέγματος χρησιμοποιήθηκαν σε 9 ασθενείς (Πίνακας 21). Σε 3 ασθενείς με μεμονωμένη βλάβη του μασχαλαίου χρησιμοποιήθηκε ο κλάδος του

κερκιδικού προς την έσω ή μακρά κεφαλή του τρικεφάλου. Σε 2 ασθενείς η λειτουργία του μασχαλιαίου νεύρου ενισχύθηκε με τελικοπλάγια μεταφορά του μακρού θωρακικού και του φρενικού αντίστοιχα για την κάθε περίπτωση. Σε όλες τις περιπτώσεις δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ανακατασκευή του κλάδου για τον ελάσσονα στρογγύλο, προκειμένου να επιτευχθεί εξωτερική στροφή στον ώμο.

Πίνακας 21: Νευρομεταφορές προς το μασχαλιαίο νεύρο

	Δότης	Ασθενείς	%	Νευρομεταφορές	%
Εντός του πλέγματος	A5	14	58	14	48
	A6	1	4	1	3
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)	1	4	1	3
	Κερκιδικό (κλάδος έσω / μακράς κεφαλής τρικεφάλου)	3	13	3	10
	Μακρό θωρακικό νεύρο	1	4	1	3
	<b>Σύνολο</b>		<b>20</b>		<b>20</b>
Εκτός του πλέγματος	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	6	25	6	20
	Φρενικό	4	17	4	13
	<b>Σύνολο</b>	<b>9</b>		<b>10</b>	
<b>Σύνολο</b>		<b>24</b>	<b>---</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Σε 5 ασθενείς με διαθέσιμους δότες τόσο εντός του πλέγματος όσο και εκτός του πλέγματος ήταν εφικτή συνδυασμένη νευρομεταφορά (Πίνακας 22). Στους υπόλοιπους 19 ασθενείς (79%), πραγματοποιήθηκε μονή νευρομεταφορά

Πίνακας 22: Συνδυασμένες νευρομεταφορές προς το στο μασχαλιαίο νεύρο

	Δότης 1	Δότης 2	Δότης 3	Ασθενείς	Νευρομεταφορές
Συνδυασμός εντός και εκτός του πλέγματος	A5	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος		3	6
	A6	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος		1	2
	A5	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	Φρενικό	1	3
<b>Σύνολο</b>				<b>5</b>	<b>11</b>

Δότες εντός του πλέγματος χρησιμοποιήθηκαν σε 28 ασθενείς με νευρομεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο (Πίνακας 23). Η A5 ρίζα ήταν η πιο συχνά διασωσμένη και επομένως χρησιμοποιούμενη ως δότης εντός του πλέγματος. Σε 9 ασθενείς με ανώτερου τύπου βλάβη του πλέγματος, όπου η λειτουργία του χεριού είχε διασωθεί, ο κλάδος του ωλένιου νεύρου που νευρώνει τον ωλένιο καμπτήρα του καρπού συνδέθηκε άμεσα με τον κλάδο του μυοδερματικού νεύρου προς τον δικέφαλο.

Η νευρομεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο πραγματοποιήθηκε στα 3/4 των περιπτώσεων (73%) με νευρικά μοσχεύματα από δότες εκτός του πλέγματος είτε κατ' αποκλειστικότητα (17 ασθενείς) είτε σε συνδυασμό με δότες εντός του πλέγματος (16 ασθενείς) (Πίνακας 24).

Το φρενικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε στην πλειονότητα αυτών των περιπτώσεων (27 ασθενείς). Η προτίμηση για νευρομεταφορά του φρενικού προς το μυοδερματικό νεύρο βασίζεται στην σταθερά καλή κάμψη του αγκώνα που επιτυγχάνεται με αυτή τη νευρομεταφορά.

Σε 7 ασθενείς, ο περιφερικός κλάδος του παραπληρωματικού νεύρου χρησιμοποιήθηκε. Η συνήθης πρακτική ήταν να χρησιμοποιείται ο περιφερικός κλάδος του παραπληρωματικού νεύρου για άμεση νευρομεταφορά στο υπερπλάτιο νεύρο, προκειμένου να επανανευρωθεί ο υπερακάνθιος και ο υποπλάτιος ώστε να επιτευχθεί απαγωγή και έξω στροφή στον ώμο. Στους 4 ασθενείς όπου ο περιφερικός κλάδος του παραπληρωματικού νεύρου χρησιμοποιήθηκε για νευρομεταφορά προς το μυοδερματικό νεύρο, το υπερπλάτιο νεύρο ήταν σε συνέχεια με το άνω πρωτεύων στέλεχος, και για το λόγο αυτό νευρόλυση ήταν επαρκής, ενώ σε 3 ασθενείς, το υπερπλάτιο νεύρο συνδέθηκε μέσω μοσχευμάτων με την Α5 ρίζα.

Πίνακας 23: Νευρομεταφορές προς το μυοδερματικό νεύρο

	Δότης	Ασθ.	%	Νευρομεταφορές	%
<b>Εντός του πλέγματος</b>	A5	15	33	15	21
	A6	6	13	6	9
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)	1	2	1	1
	Ωλένιος κλάδος (Oberlin)	9	20	9	13
	<b>Σύνολο</b>	<b>28</b>	<b>62 (28/45)</b>	<b>31</b>	<b>44</b>
<b>Εκτός του πλέγματος</b>	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	4	9	4	6
	Παραπληρωματικό	7	16	7	10
	Φρενικό	27	60	27	39
	Μεσοπλεύρια	1	2	1	1
	<b>Σύνολο</b>	<b>33</b>	<b>73 (33/45)</b>	<b>39</b>	<b>56</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>45</b>	<b>---</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

Προκειμένου να εξασφαλιστούν τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην κάμψη του αγκώνα, καταβαλλόταν προσπάθεια το μυοδερματικό νεύρο να δεχτεί συνδυασμένη νευρώση. Αυτό ήταν εφικτό στους μισούς ασθενείς (23/45), σε 16 εκ των οποίων ήταν διαθέσιμοι δότες τόσο εντός του πλέγματος όσο και εκτός του πλέγματος, (Πίνακας 24)

Πίνακας 24: Νευρομεταφορές προς το στο μυοδερματικό νεύρο χρησιμοποιώντας διπλό ή τριπλό δότη

	Δότης 1	Δότης 2	Δότης 3	Ασθ.	Νευρομεταφορές
<b>Συνδυασμός εντός και εκτός του πλέγματος</b>	A5	Φρενικό		9	18
	A6	Φρενικό		4	8
	A5	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος		2	4
	A6	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	Φρενικό	1	3
<b>Εντός του πλέγματος</b>	A5 (προς έξω δευτερεύον)	Ωλένιος κλάδος (Oberlin)		1	2

	στέλεχος)				
	A5	A6		1	2
<b>Εκτός του πλέγματος</b>	Φρενικό	Παραπληρωματικό		4	8
	Φρενικό	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος		1	2
<b>Σύνολο</b>				<b>23</b>	<b>47</b>

Η ανακατασκευή του κερκιδικού έγινε σε 6 ασθενείς. Κατά το πρωταρχικό χειρουργείο χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμένες νευρομεταφορές προς το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος (2 ασθενείς) για ταυτόχρονη μεταφορά ινών και προς το μασχαλιαίο νεύρο (Πίνακας 25). Στον ένα ασθενή χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της A5, φρενικού και αυχενικού κινητικού κλάδου και είχε ικανοποιητικό τελικό αποτέλεσμα. Στον δεύτερο ασθενή χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός της A5 και αυχενικού κινητικού κλάδου, χωρίς ωστόσο ικανοποιητικό λειτουργικό αποτέλεσμα οπότε ο ασθενής επαναχειρουργήθηκε για ενίσχυση του κερκιδικού. Σε δεύτερο χρόνο επανεπεμβάσεις χρησιμοποιήθηκαν νευρομεταφορές απευθείας προς αυτό (5 ασθενείς) ώστε να ενισχυθεί αποκλειστικά η λειτουργία του τρικεφάλου και ως δότες χρησιμοποιήθηκαν μόνο μεσοπλεύρια νεύρα.

Πίνακας 25: Νευρομεταφορές προς το στο κερκιδικό νεύρο

Δότης	Ασθενείς	%	Νευρομεταφορές	%
A5	2	33	2	20
Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	2	33	2	20
Φρενικό	1	17	1	10
Μεσοπλεύρια	5	83	5	50
<b>Σύνολο</b>	<b>6</b>	<b>---</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

Προσπάθεια ανακατασκευής του μέσου νεύρου έγινε σε 23 ασθενείς με νευρομεταφορές είτε απευθείας προς αυτό (20 ασθενείς) είτε προς το έξω δευτερεύον στέλεχος (3 ασθενείς). Δότες εντός του πλέγματος χρησιμοποιήθηκαν στην πλειοψηφία των περιπτώσεων (17 ασθενείς) και αφορούσαν στην πρωταρχική επέμβαση (Πίνακας 26). Σε 8 ασθενείς χρησιμοποιήθηκαν δότες εκτός του πλέγματος είτε στην πρωταρχική επέμβαση (3 ασθενείς) είτε σε επανεπέμβαση οπότε και χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά τα μεσοπλεύρια νεύρα (5 ασθενείς). Σε 2 ασθενείς έγινε συνδυασμένη νευρομεταφορά από δότες τόσο εντός όσο και εκτός πλέγματος (A5 & αυχενικός κινητικός κλάδος, ανώτερο πρωτεύων στέλεχος & φρενικό αντίστοιχα).

Πίνακας 26: Νευρομεταφορές προς το στο μέσο νεύρο

Δότης	Ασθενείς	%	Νευρομεταφορές	%
A5	11	48	11	44
A6	3	13	3	12
Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)	3	13	3	12
Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	1	4	1	4
Φρενικό	1	4	1	4
Μεσοπλεύρια	6	26	6	24
<b>Σύνολο</b>	<b>23</b>	<b>---</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

Επιλεγμένα τμήματα της ετερόπλευρης A7 ρίζας (τμήμα του πρόσθιου κλάδου του μέσου πρωτεύοντος στελέχους για τη νύρωση του μείζονος θωρακικού μυός, όπως επιβεβαιώνεται με διεγχειρητική νευροδιέγερση) χρησιμοποιήθηκαν για να νευρώσουν ελεύθερες μυικές μεταφορές (πλατύς ραχιαίος, ισχνός προσαγωγός) που πραγματοποιήθηκαν για να αποκατασταθεί η κάμψη του αγκώνα ή η κάμψη των δακτύλων σε 11 ασθενείς .

Το θωρακοραχιαίο νεύρο ανακατασκευάστηκε σε 1 ασθενή χρησιμοποιώντας την A5 ρίζα. Η μυϊκή ισχύς που επιτεύχθηκε ήταν M4+ και ο πλατύς ραχιαίος μεταφέρθηκε για να ενισχύσει την έκταση του αγκώνα.

Μετεγχειρητικά, ο βραχίονας ακινητοποιείται σε έναν προκατασκευασμένο νάρθηκα απαγωγής για 6 βδομάδες, και στη συνέχεια ο ασθενής παροτρύνεται για έναρξη φυσιοθεραπείας, που περιλαμβάνει κινησιοθεραπεία με παθητική κίνηση όλων των αρθρώσεων και ηλεκτρική διέγερση των μυών χρησιμοποιώντας ένα χαμηλού παλμού ηλεκτροδιεγέρτη για 20 λεπτά, πέντε φορές την ημέρα.





## ***B/ Αποτελέσματα***

Μετεγχειρητικά τα αποτελέσματα εκτιμήθηκαν ανά τρίμηνο για έλεγχο της προοδευτικής ανάκτησης της μυϊκής ισχύος, ενώ η τελική εκτίμηση της λειτουργικής επανόδου συνήθως πραγματοποιούταν στη διετία. Η μόνη εξαίρεση αφορούσε στους ασθενείς στους οποίους έγινε μεταφορά της ετερόπλευρης A7 ρίζας σε ελεύθερο μυ για τους οποίους η οριστική ανάνηψη της λειτουργίας συνήθως απαιτούσε την παρέλευση τουλάχιστον 3 ετών.<sup>(180)</sup> Ο ελάχιστος χρόνος επανελέγχου ήταν οι 10 μήνες ενώ ο μέσος όρος ήταν τα 4,7 έτη.

Η μετεγχειρητική λειτουργική εκτίμηση για κάθε στόχο βαθμονομήθηκε με το σύστημα βαθμονόμησης του Βρετανικού Συμβουλίου Ιατρικής Έρευνας (British Medical Research Council Grading System)<sup>(56)</sup>, όπως έχει επεκταθεί με ενδιάμεσους βαθμούς + και - (π.χ., M2, M2+, M3-, M3). Βαθμός μυϊκής ισχύος M0 έως M2 αποτελούσε πτωχό αποτέλεσμα, M2+ έως M3 μέτριο, M3+ έως M4 καλό, και M4 ή M4+ αποτελούσε άριστο αποτέλεσμα (Πίνακας 1). Τα αποτελέσματα της μυϊκής βαθμονόμησης στη συνέχεια εκφράστηκαν σε απόλυτους αριθμούς προκειμένου να αποθηκευτούν σε στατιστικό λογισμικό για να πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση, πχ M3 = 3, M3+ = 3,33, M4- = 3,66, και M4 = 4. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με ANOVA.

Πίνακας 1: Κλίμακα βαθμονόμησης μετεγχειρητικού λειτουργικού αποτελέσματος

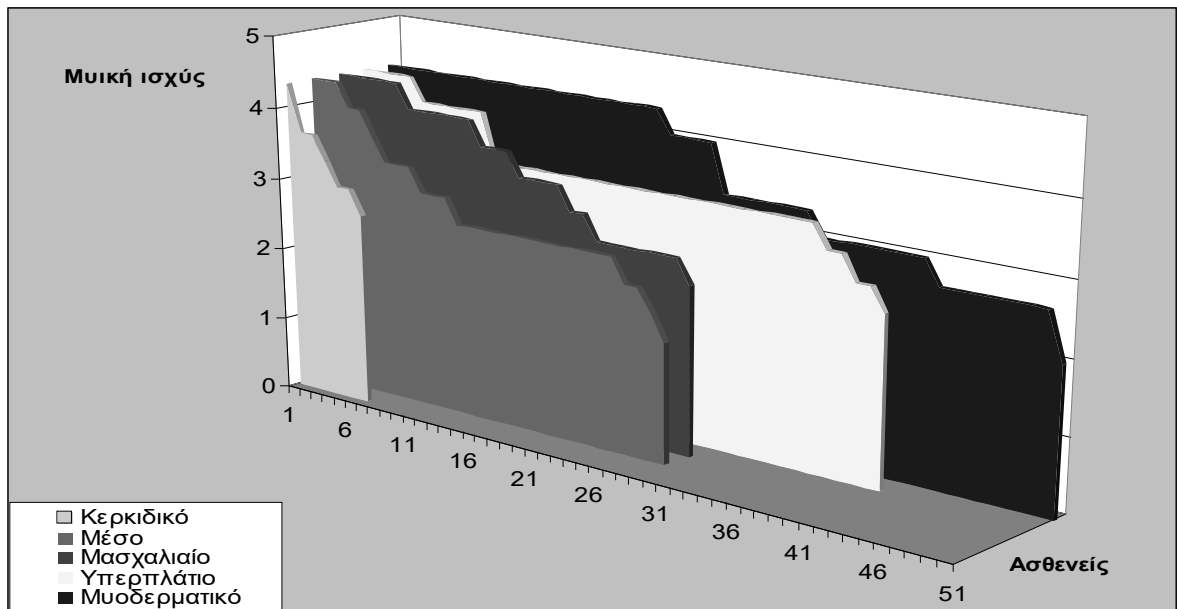
<b>Κλίμακα</b>	<b>Μυϊκή ισχύς</b>
Άριστο	M4, M4+
Καλό	M3+, M4-
Μέτριο	M2+, M3
Πτωχό	M0 έως M2

## **I) Συνολικά αποτελέσματα – Θετικοί & αρνητικοί προγνωστικοί παράγοντες**

Λειτουργικά αποτελέσματα καθορίζονται σε ασθενείς με ανάνηψη τουλάχιστον βαθμού M3+ στην κλίμακα MRC (περισσότερο από ενάντια στη βαρύτητα). Μια γενική εικόνα των αποτελεσμάτων επί του συνόλου των νευρικών στόχων που επιδιορθώθηκαν με νευροσυρραφές ή/και νευρομεταφορές δίνεται στον Πίνακα 2. Η προεγχειρητική μυϊκή ισχύς βελτιώθηκε σημαντικά μετά το χειρουργείο: με εξαίρεση το μέσο νεύρο η μέση μετεγχειρητική μυϊκή βαθμονόμηση ήταν άνω του M3+. Η προεγχειρητική μυϊκή ισχύς βελτιώθηκε σημαντικά μετά το χειρουργείο ( $p \leq 0,05$ ). Η μέση μετεγχειρητική μυϊκή βαθμονόμηση ήταν  $3,45 \pm 0,68$

Πίνακας 2: Μυική ισχύς επί 57 ασθενών με νευροσυρραφές ή/και νευρομεταφορές

	Προεγχειρητικά		Μετεγχειρητικά				Συνολική μυική ισχύς	
	Μυική ισχύς		Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3			
Στόχος	Ασθ.	Μ.Ο.	Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Μ.Ο.	Εύρος
Υπερπλάτιο	41	0	11	25	5		3,48	2,33-4,33
Μασχαλιαίο	29	0	12	7	10		3,49	2,33-4,33
Μυοδερματικό	51	0	27	7	16	1	3,65	2-4,33
Κερκιδικό	7	0	1	3	3		3,38	2,66-4,33
Μέσο	29	0	5	4	18	2	2,98	1,66-4,33
Ωλένιο	1	0	1				4,33	4,33
Θωρακοραχιαίο	1	0	1				4,33	4,33
<b>Σύνολο στόχων</b>	<b>159</b>	<b>0</b>	<b>57</b>	<b>47</b>	<b>52</b>	<b>3</b>	<b>3,45</b>	<b>1,66-4,33</b>



Τα καλύτερα αποτελέσματα με στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) επιτεύχθηκαν σε νέους ασθενείς ( $\leq 30$  ετών), χωρίς συνοδές κακώσεις, με υποκλειδίες βλάβες σε διατομή ή σε συνέχεια ή υπερκλειδίες βλάβες με βαθμό σοβαρότητας περισσότερο από 5 (Πίνακας 3 & 4). Για τους 2 ασθενείς, όπου ο μηχανισμός τραυματισμού περιλάμβανε διατομή από τέμνων όργανο (γυαλί, μαχαίρι), το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό ( $>M3$ ) για όλους τους στόχους που επιδιορθώθηκαν.

Χειρότερα αποτελέσματα με στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) επιτεύχθηκαν σε πιο ηλικιωμένους ασθενείς ( $> 30$  ετών), με συνοδές κακώσεις (ιδίως ΚΕΚ ή αγγειακή βλάβη), με εκτεταμένες βλάβες άνωθεν και κάτωθεν της κλειδός, με βλάβες εξελκυσμού ή υπερκλειδίες βλάβες με βαθμό σοβαρότητας λιγότερο από 6 (χαλαρό άνω άκρο με καθολική απώλεια κατανομής A5-Θ1 ριζών), πιθανών ενοχοποιώντας τον πιο σοβαρό μηχανισμό τραυματισμού. Ειδικότερα για τους ασθενείς οι οποίοι είχαν υποστεί κρανιοεγκεφαλική κάκωση κατά τη διάρκεια των ατυχημάτων τους και οι οποίοι εισήχθησαν σε μονάδα εντατικής θεραπείας τα πτωχά αποτελέσματα πιθανών να οφείλονται στο συνακόλουθο τραυματισμό του κεντρικού

νευρικού συστήματος και την έλλειψη συνεργασίας αυτών των ασθενών κατά τη διάρκεια της μετεγχειρητικής αποκατάστασης.

Υπάρχει μια τάση ( $p>0,05$ ) να επιτυγχάνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα σε μεγαλύτερο ποσοστό όταν ο ασθενής είναι άρρεν, όταν χειρουργείται εντός 6 μηνών μετά τον τραυματισμό του και όταν η ανακατασκευή του κάθε στόχου συνδυάζει δότες τόσο εντός όσο και εκτός του πλεγματος χωρίς την χρήση παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος (Πίνακας 3 & 4).

Πίνακας 3: Θετικοί και αρνητικοί παράγοντες για ικανοποιητικό (>M3) τελικό αποτέλεσμα

Παράγοντας		Ασθ.	Στόχοι	>M3	≤M3	M.O.	p
Ηλικία	≤30	37	113	78	35	3,53	0,03
	>30	20	46	26	20	3,26	
Φύλο	Άρρεν	53	144	96	48	3,48	0,09
	Θήλυ	4	15	8	7	3,17	
Χρόνος απονεύρωσης	≤6 μήνες	47	131	86	45	3,46	0,59
	>6 μήνες	10	28	18	10	3,39	
Συνοδές κακώσεις	Ναι	36	98	53	45	3,23	<0,01
	Όχι	21	61	51	10	3,81	
Σύγχρονη ΚΕΚ	Ναι	9	26	9	17	2,92	<0,01
	Όχι	48	133	95	38	3,56	
Αγγειακή βλάβη	Ναι	11	29	13	16	3,09	<0,01
	Όχι	46	130	91	39	3,53	
Περιοχή βλάβης	Υπερκλείδια	35	108	68	40	3,44	0,13
	Υποκλείδια	14	31	23	8	3,63	
	Συνδυασμός	8	20	13	7	3,25	
Είδος βλάβης	Εξελκυσμός	8	18	10	8	3,35	0,05
	Διατομή	9	27	19	8	3,68	
	Σε συνέχεια	5	9	8	1	3,85	
	Συνδυασμός	35	105	67	38	3,38	
Βαθμός σοβαρότητας	>10	21	60	41	19	3,51	0,02
	6-10	5	20	14	6	3,56	
	<5	17	53	29	24	3,19	
Είδος δότη	Εντός του πλέγματος	-	69	45	24	3,47	0,78
	Εκτός του πλέγματος	-	65	44	21	3,41	
	Συνδυασμός	-	25	15	10	3,50	
Είδος συρραφής	Τελικοτελική	-	65	50	15	3,52	0,29
	Παρεμβολή μοσχεύματος	-	94	54	40	3,40	

Πίνακας 4: Επιμέρους αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τις υποκατηγορίες του πίνακα 3 με αύξουσα σειρά του στατιστικού

Παράγοντας	Ομάδα Α	Τάση	Ομάδα Β	p
Περιοχή βλάβης	Υποκλείδια	*>>	Συνδυασμός	0,05
	Υπερκλείδια	<	Υποκλείδια	0,15
	Υπερκλείδια	>	Συνδυασμός	0,25
Είδος βλάβης	Εξελκυσμός	*<<	Σε συνέχεια	0,04
	Διατομή	*>>	Συνδυασμός	0,04
	Σε συνέχεια	*>>	Συνδυασμός	0,04
	Εξελκυσμός	<<	Διατομή	0,10
	Διατομή	<	Σε συνέχεια	0,48
	Εξελκυσμός	<	Συνδυασμός	0,87
Βαθμός σοβαρότητας	>10	*>>	<5	0,01
	6-10	*>>	<5	0,03
	>10	>	6-10	0,77
Είδος δότη	Εκτός του πλέγματος	<	Συνδυασμός	0,51
	Εντός του πλέγματος	>	Εκτός του πλέγματος	0,56
	Εντός του πλέγματος	<	Συνδυασμός	0,86

\*: στατιστική σημαντικότητα με επίπεδο 0,05

Το μήκος καθώς και οι δέσμες των παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων φαίνεται επίσης να διαδραματίζουν κάποιο ρόλο. Λόγω ελλειπόν στοιχείων στα πρακτικά των χειρουργιών δεν ήταν δυνατή η συγκέντρωση αυτών των στοιχείων για το σύνολο των ασθενών όπου έγινε χρήση παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων (94 στόχοι). Για τους ασθενείς για του οποίους ήταν δυνατή η συγκέντρωση αυτών των στοιχείων τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5 και 6. Αν και δεν επιβεβαιώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά, εντούτοις διαφαίνεται έντονη τάση για καλύτερα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιούνται πάνω από 2 δέσμες, ενώ το μήκος του παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος δεν φαίνεται να επηρεάζει το αποτέλεσμα με ισχυρή τάση.

Πίνακας 5: Μήκος παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων για ικανοποιητικό ( $\geq M3$ ) τελικό αποτέλεσμα

	Αριθμός στόχων	Μ.Ο. μυικής ισχύος	Μ.Ο. μήκους	Εύρος	p
Ικανοποιητικά αποτελέσματα ( $>M3$ )	18	3,84	8,44	1-17	0,63
Μη ικανοποιητικά αποτελέσματα ( $\leq M3$ )	14	2,66	9,21	3-15	

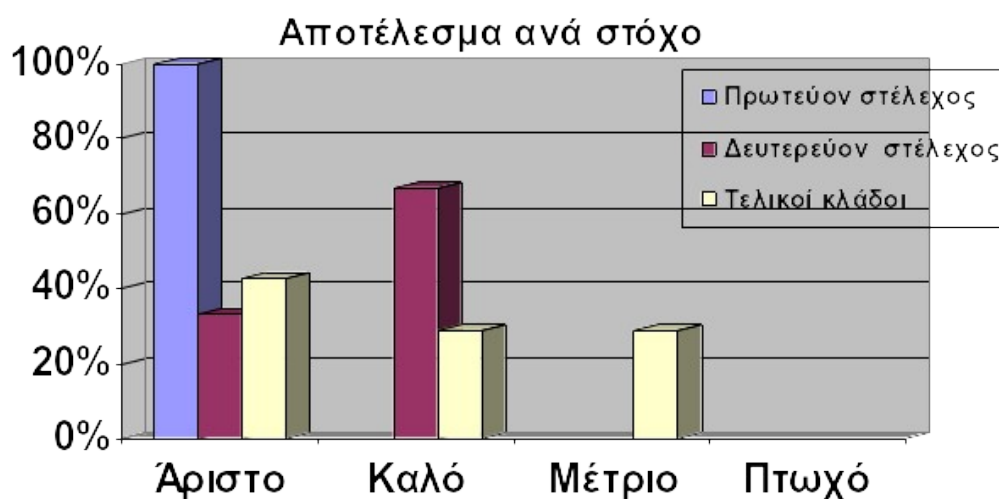
Πίνακας 6: Δέσμες παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων για ικανοποιητικό ( $\geq M3$ ) τελικό αποτέλεσμα

	Αριθμός στόχων	Μ.Ο. μυικής ισχύος	Μ.Ο. δεσμών	Εύρος	p
Ικανοποιητικά αποτελέσματα ( $>M3$ )	34	3,89	2,38	1-7	0,27
Μη ικανοποιητικά αποτελέσματα ( $\leq M3$ )	23	2,70	2,04	1-4	

Τα αποτελέσματα των νευροσυρραφών εντός του πλέγματος με ή χωρίς τη βοήθεια μοσχευμάτων ήταν τα πιο ικανοποιητικά, με το σύνολο σχεδόν των ασθενών (83%) να επιτυγχάνουν χρήσιμη λειτουργία (M3+ ή περισσότερο) (Πίνακας 7). Μόνο δύο ασθενείς με βλάβη στο έξω δευτερεύον στέλεχος ανέκτησαν μη χρήσιμη λειτουργία (M3 στο μυοδερματικό και M3- στο μέσο νεύρο).

Πίνακας 7: Νευροσυρραφές με ή χωρίς παρεμβαλλόμενα μοσχεύματα

Δότης νευραξόνων	Λήπτης νευραξόνων	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
Ρίζες (A5,A6)	Πρωτεύον στέλεχος (Ανω)	2		-	-	2	4,12	3,92-4,33
Πρωτεύον στέλεχος (άνω)	Δευτερεύον στέλεχος (έξω, οπίσθιο)	1	2	-	-	3	3,72	3,33-4,17
Δευτερεύον στέλεχος	Μυοδερματικό, μασχαλιαίο, κερκιδικό, μέσο, ωλένιο	1	1	2		4	3,41	2,83-4,33
Τελικοί κλάδοι (μέσο, μυοδερματικό)	Τελικοί κλάδοι (μέσο, μυοδερματικό)	2	1	-	-	3	4,11	3,66-4,33
<b>Σύνολο</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>3,78</b>	<b>2,83-4,33</b>

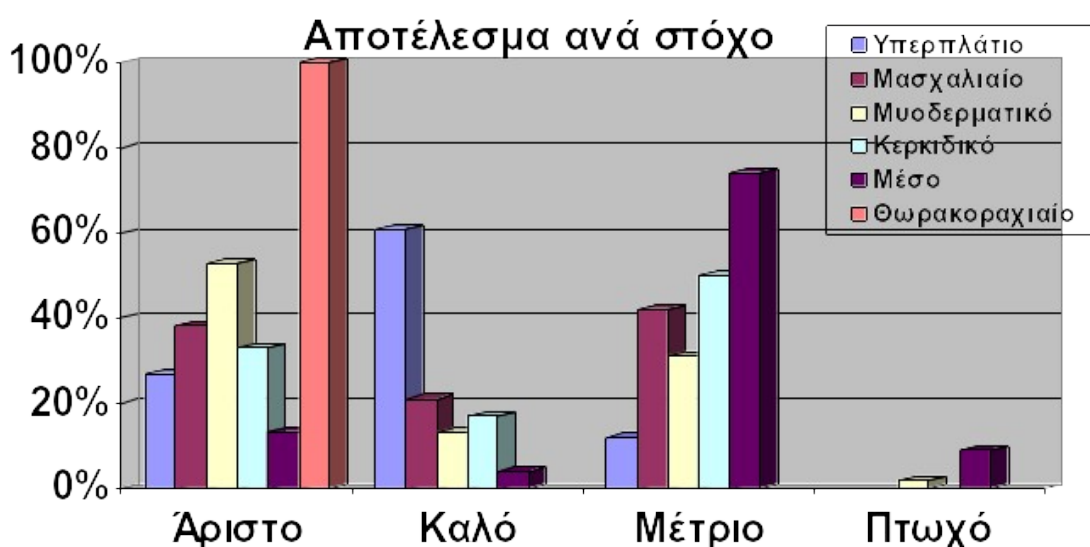


Τα αποτελέσματα των νευρομεταφορών με ή χωρίς τη βοήθεια μοσχευμάτων ήταν λιγότερο ικανοποιητικά σε σχέση με αυτά των νευροσυρραφών (Πίνακας 8). Η πιο επιτυχημένες νευρομεταφορές αφορούσαν στο υπερπλάτιο και το μυοδερματικό με λειτουργικά αποτελέσματα (M3+ ή περισσότερο) στο 88% και 67% των ασθενών αντίστοιχα. Λιγότερο επιτυχείς ήταν οι νευρομεταφορές στο μασχαλιαίο και το κερκιδικό. Οι νευρομεταφορές προς το μέσο νεύρο έδωσαν λειτουργικά αποτελέσματα μόλις σε 17% των

ασθενών. Για το λόγο αυτό αυτές οι μεταφορές δεν αποσκοπούν τόσο στην επανάκτηση χρήσιμης λειτουργίας όσο προστατευτικής αισθητικότητας στην κατανομή του μέσου νεύρου.

Πίνακας 8: Μυική ισχύς επί 53 ασθενών με νευρομεταφορές

Στόχος	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
	Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
Υπερπλάτιο	11	25	5	-	41	3,48	2,33-4,33
Μασχαλιαίο	9	5	10	-	24	3,40	2,33-4,33
Μυοδερματικό	24	6	14	1	45	3,64	2-4,33
Κερκιδικό	2	1	3	-	6	3,33	2,66-4,33
Μέσο	3	1	17	2	23	2,81	1,66-4,33
Θωρακοραχιαίο	1	-	-	-	1	4,33	4,33



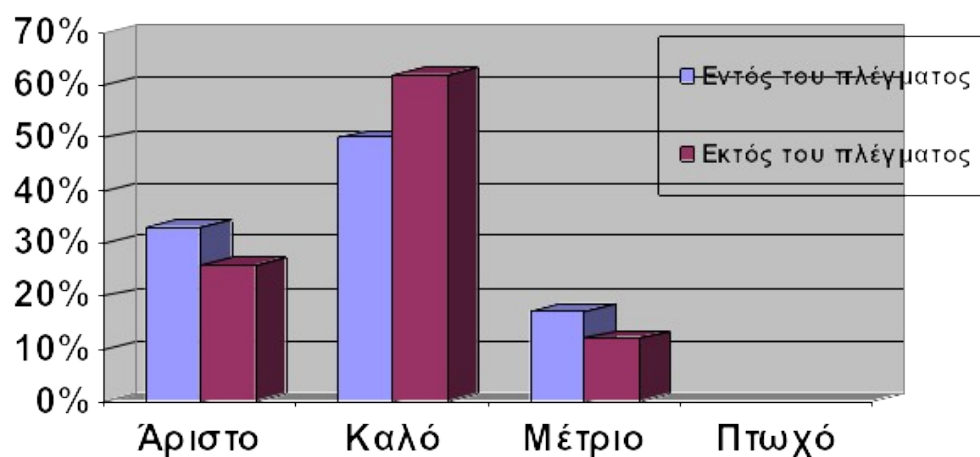
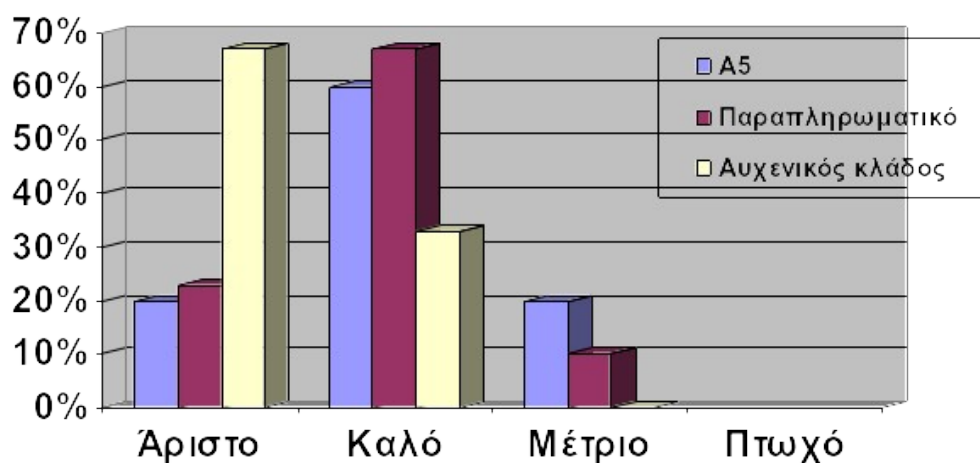
## II) Αποτελέσματα νευρομεταφορών σε συγκεκριμένο στόχο

### α) Υπερπλάτιο νεύρο

Πιο αναλυτικά όσον αφορά στο υπερπλάτιο νεύρο τα αποτελέσματα φαίνεται ότι είναι εφάμιλλα για νευρομεταφορές από δότες εντός και εκτός του πλέγματος, με ένα συνολικό ποσοστό 88% να επιτυγχάνει χρήσιμη (περισσότερο από M3) λειτουργία (Πίνακας 9). Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν περισσότερο στην απαγωγή και λιγότερο στην έξω στροφή (συνεισφορά υπακάνθιου) (εικ. 4). Το 83% των ασθενών με δότες εντός του πλέγματος πέτυχαν λειτουργία της τάξης του M4- έναντι του 88% των ασθενών με δότες εκτός του πλέγματος που πέτυχαν λειτουργία ενδιάμεσα της τάξης του M3+/M4-. Σε έναν ασθενή που έγινε συνδιασμένη νευρομεταφορά το αποτέλεσμα ήταν επίσης λειτουργικό (M3+). Μη λειτουργικά αποτελέσματα παρουσίασε το 12% των ασθενών και ήταν της τάξης ενδιάμεσα σε M3-/M3. Οι 3 αυτοί ασθενείς υποβλήθηκαν σε μεταφορά του τραπεζοειδούς για ενίσχυση της αδύναμης απαγωγής.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα νευρομεταφορών προς το υπερπλάτιο νεύρο

	Δότης	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
Εντός του πλέγματος	A5	1	3	1	-	5	3,33	2,33-4,33
	Άνω πρωτεύων στέλεχος	1	-	-	-	1	4,00	4
	<b>Σύνολο</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>3,44</b>	<b>2,33-4,33</b>
Εκτός του πλέγματος	Παραπληρωματικό	7	20	3	-	30	3,47	2,66-4,33
	Αυχενικός κλάδος	2	1	-	-	3	3,78	3,33-4
	Φρενικό	-	-	1	-	1	3,00	3,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>9</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>34</b>	<b>3,49</b>	<b>2,66-4,33</b>
Συνδυασμός	A5 & Παραπληρωματικό	-	1	-	-	1	3,33	3,33
<b>Σύνολο</b>		<b>11</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>41</b>	<b>3,48</b>	<b>2,33-4,33</b>





**Εικόνα 4.** Ασθενής 18 ετών με παράλυση βραχιονίου πλέγματος ολικού τύπου συνεπεία τροχαίου. Η αποκατάσταση του υπερπλάτιου νεύρου έγινε με άμεση νευρομεταφορά του παραπληρωματικού. Έξι μήνες μετεγχειρητικά ο ασθενής ανέκτησε ισχυρή απαγωγή 90° και εν μέρει αποκατάσταση της έξω στροφής

Τα αποτελέσματα της συγκριτικής στατιστικής ανάλυσης για το υπερπλάτιο νεύρο φαίνονται στον πίνακα 10 με αύξουσα σειρά του στατιστικού p. Όλα τα p είναι μεγαλύτερα του 0,05 που αποτελεί το επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλώνοντας ότι οποιεσδήποτε διαφορές ανάμεσα σε κάθε συνδυασμό της Ομάδας A με την Ομάδα B δεν είναι στατιστικά σημαντικές, και επομένως οι επιμέρους δότες είναι εξίσου αξιόπιστοι.

Πίνακας 10: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το υπερπλάτιο νεύρο

Ομάδα A	Τάση	Ομάδα B	p
Παραπληρωματικό	<	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	0,26
A5	<	Κινητικός κλάδος αυχενικού πλέγματος	0,36
A5	<	Παραπληρωματικό	0,54
Μονός δότης εντός του πλέγματος	<	Μονός δότης εκτός του πλέγματος	0,83

### **β) Μασχαλιαίο νεύρο**

Όσον αφορά στο μασχαλιαίο νεύρο, επί 24 ασθενών στους οποίους διενεργήθηκε νευρομεταφορά οι 14 (58%) πέτυχαν χρήσιμη (περισσότερο από M3) λειτουργία της τάξης ενδιάμεσα σε M3+/M4- (Πίνακας 11). Η νευρομεταφορά κλάδου του κερκιδικού στο μασχαλιαίο νεύρο σε 3 ασθενείς έδωσε σταθερά χρήσιμη λειτουργία της τάξης ενδιάμεσα σε M4-/M4 και στους 3 ασθενείς (100%) (εικ. 5). Μη λειτουργικά αποτελέσματα παρουσίασε το 42% των ασθενών και ήταν της τάξης ενδιάμεσα σε M3-/M3.





**Εικόνα 5.** Ασθενής 35 ετών με κάκωση βραχιονίου πλέγματος ανωτέρου τύπου στον οποίο η αποκατάσταση του μασχαλιαίου νεύρου έγινε με άμεση νευρομεταφορά κλάδου του κερκιδικού προς την έσω κεφαλή. Έξι μήνες μετεγχειρητικά ο ασθενής ανέκτησε ισχυρή απαγωγή  $>90^\circ$ , χωρίς κλινικά σημαντική λειτουργική έκπτωση στον τρικέφαλο.

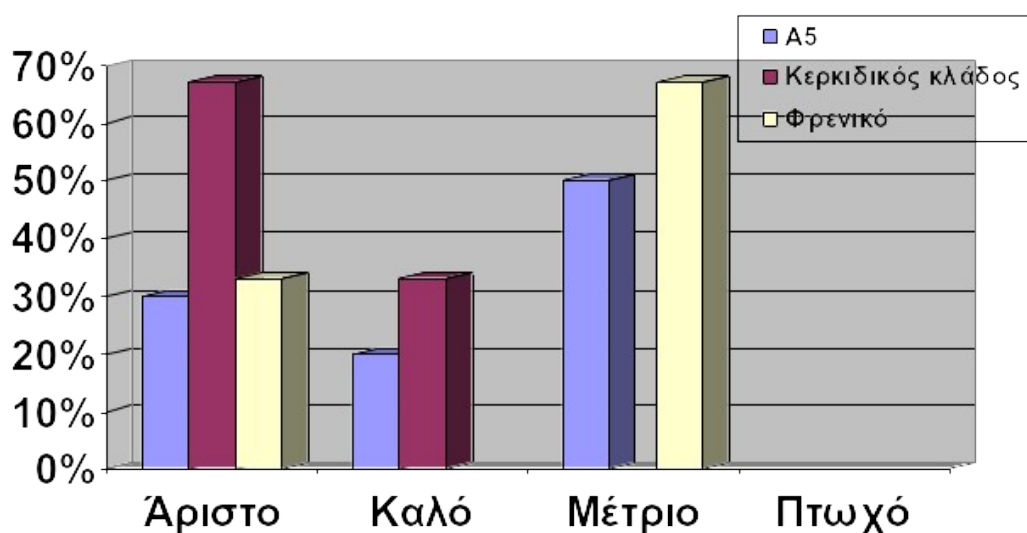
Σύγχρονη ανακατασκευή τόσο του υπερπλάτιου νεύρου όσο και του μασχαλιαίου νεύρου (17 ασθενείς) έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην απαγωγή του ώμου ( $>60^\circ$ ), ενώ ανακατασκευή του κλάδου του μασχαλιαίου για τον ελάσσονα στρογγύλο έδωσε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην έξω στροφή (εικ. 6).

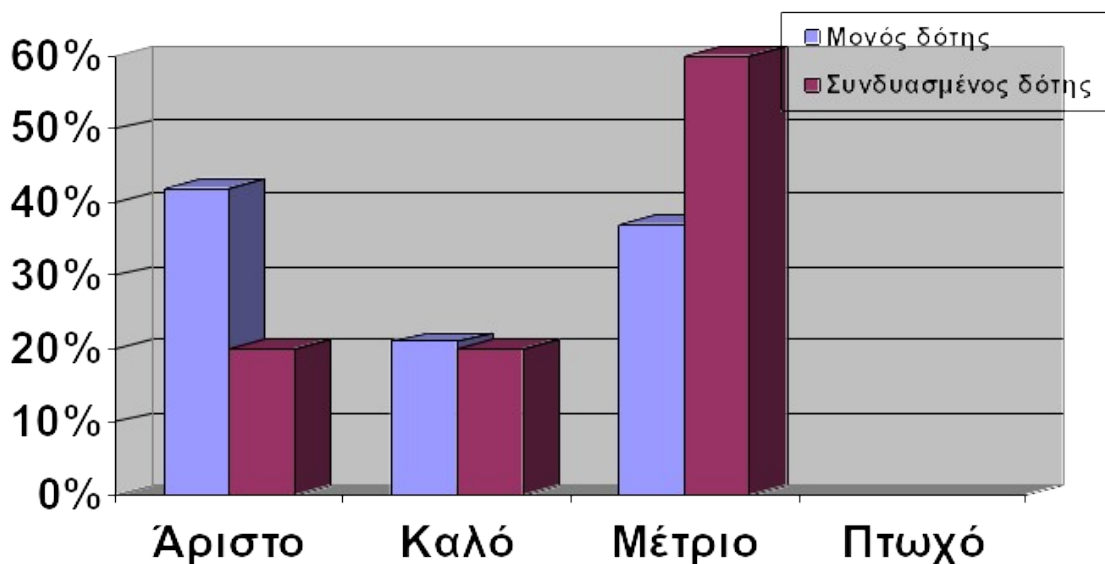
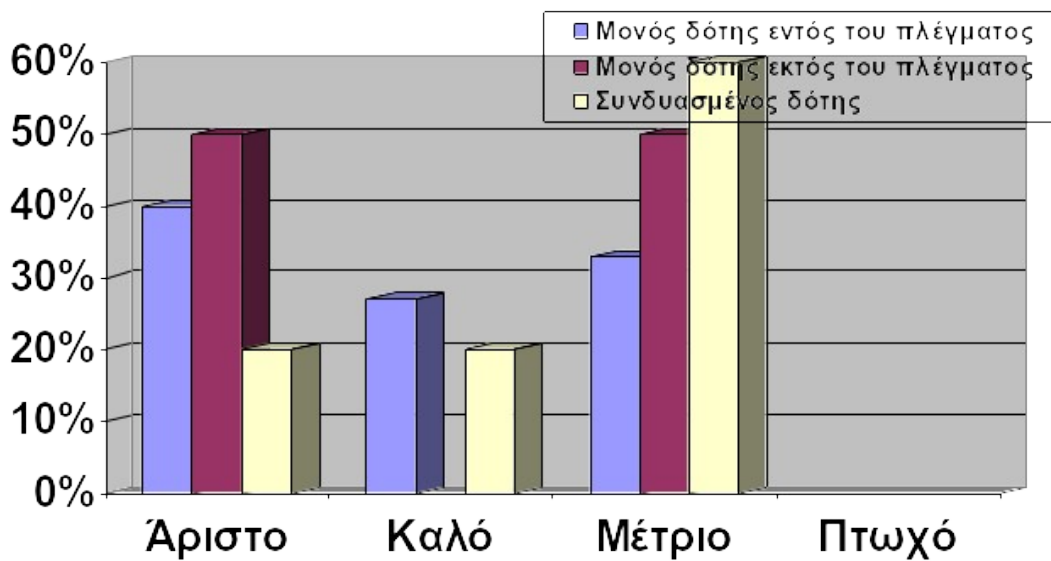


**Εικόνα 6.** Ασθενής 19 ετών με κάκωση βραχιονίου πλέγματος ανωτέρου τύπου στον οποίο έγινε σύγχρονη αποκατάσταση τόσο του υπερπλάτιου νεύρου με άμεση νευρομεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου όσο και του μασχαλιαίου νεύρου με άμεση νευρομεταφορά του φρενικού νεύρου. Ένα έτος μετεγχειρητικά ο ασθενής ανέκτησε ισχυρή απαγωγή  $>90^\circ$  και ισχυρή έξω στροφή.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα νευρομεταφορών προς το μασχαλιαίο νεύρο

	Δότης	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
<b>Μονός εντός του πλέγματος</b>	A5	3	2	5	-	10	3,23	2,33-4,33
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)	1	-	-	-	1	4,33	4,33
	Κερκιδικός κλάδος (έσω / μακρά κεφαλή τρικεφάλου)	2	1	-	-	3	3,89	3,33-4,33
	Μακρό θωρακικό (τελικοπλάγια)	-	1	-	-	1	3,33	3,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>15</b>	<b>3,44</b>	<b>2,33-4,33</b>
<b>Μονός εκτός του πλέγματος</b>	Αυχενικός κλάδος	1	-	-	-	1	4	4
	Φρενικό	1	-	2	-	3	3,33	2,66-4,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>3,50</b>	<b>2,66-4,33</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>8</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>19</b>	<b>3,45</b>	<b>2,33-4,33</b>
<b>Συνδυασμένοι</b>	A5 & Αυχενικός κλάδος	1	-	2	-	3	3,22	2,66-4
	A6 & Αυχενικός κλάδος	-	-	1	-	1	2,66	2,66
	A5 & Αυχενικός κλάδος & Φρενικό	-	1	-	-	1	3,66	3,66
	<b>Σύνολο</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>3,20</b>	<b>2,66-4</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>9</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>24</b>	<b>3,40</b>	<b>2,33-4,33</b>





Τα αποτελέσματα της συγκριτικής στατιστικής ανάλυσης για το μασχαλιαίο νεύρο φαίνονται στον πίνακα 12 με αύξουσα σειρά του στατιστικού  $p$ . Όλα τα  $p$  είναι μεγαλύτερα του 0,05 που αποτελεί το επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλώνοντας ότι οποιεσδήποτε διαφορές ανάμεσα σε κάθε συνδυασμό της Ομάδας A με την Ομάδα B δεν είναι στατιστικά σημαντικές, και επομένως οι επιμέρους δότες είναι εξίσου αξιόπιστοι. Ωστόσο παρατηρείται ότι η νευρομεταφορά του κλάδου του κερκιδικού (προς την έσω ή μακρά κεφαλή του τρικεφάλου) τείνει να έχει καλύτερα αποτελέσματα, ιδίως σε σύγκριση με την A5 και θα έδινε στατιστικά σημαντικά διαφορά εάν το επίπεδο εμπιστοσύνης ήταν το 0,19 αντί για το 0,05. Αυτό θα μπορούσε ίσως να ερμηνευθεί από την άμεση νευρομεταφορά του κλάδου του κερκιδικού έναντι της έμμεσης μέσω παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος της A5 ρίζας.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το μασχαλιαίο νεύρο

Ομάδα A	Τάση	Ομάδα B	$p$
A5	<<	Κερκιδικός κλάδος	0,19

Φρενικό	<	Κερκιδικός κλάδος	0,39
Μονός δότης	>	Συνδυασμένος δότης	0,47
A5	<	Φρενικό	0,84
Μονός δότης εντός του πλέγματος	<	Μονός δότης εκτός του πλέγματος	0,89

### γ) Μυοδερματικό νεύρο

Οκτώ από τους δέκα ασθενείς με νευρομεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο από μονό δότη εντός του πλέγματος, απέκτησαν χρήσιμη λειτουργία του δικεφάλου (M3+ έως M4+) (Πίνακας 13) και μπορούσαν να σηκώσουν ένα βάρος 3 κιλών πέραν των 90° κάμψης του αγκώνα. Το 86% των νευρομεταφορών στο μυοδερματικό νεύρο χρησιμοποιώντας κλάδους του ωλένιου νεύρου έδωσαν χρήσιμη μυϊκή ισχύ στον δικέφαλο της τάξεως ενδιάμεσα σε M4/M4+ (εικ. 7). Αντίθετα όταν στις νευρομεταφορές χρησιμοποιήθηκε μονός δότης εκτός του πλέγματος, λειτουργικά αποτελέσματα (M3+ ή περισσότερο) επιτεύχθηκαν μόνο στο 58% των περιπτώσεων με το υπόλοιπο 42% (5 ασθενείς) να ανακτά λειτουργία λιγότερο και από επιπέδου M3.



**Εικόνα 7.** Ασθενής 19 ετών με κάκωση βραχιονίου πλέγματος ανωτέρου τύπου στον οποίο έγινε αποκατάσταση του μυοδερματικού νεύρου με άμεση νευρομεταφορά κλάδου του ωλένιου νεύρου (μέθοδος Oberlin). Ένα έτος μετεγχειρητικά ο ασθενής ανέκτησε ισχυρή ισχυρή κάμψη του αγκώνα πέραν των 90° κατά την άρση βάρους 3 κιλών, χωρίς κλινικά σημαντική λειτουργική έκπτωση τους νευρούμενους από το ωλένιο μύες.

Στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός κινητικών δοτών (23 ασθενείς) για την επανανεύρωση του δικεφάλου, ο μέσος όρος του επιπέδου της μυϊκής ισχύος στις περιπτώσεις όπου ανακτήθηκε χρήσιμη λειτουργία (14 ασθενείς) ήταν σταθερά της τάξεως ενδιάμεσα σε M4/M4+. Παρόλα αυτά 9 στους 23 ασθενείς με συνδυασμένη μεταφορά δεν ανέκτησαν χρήσιμη λειτουργία, αντικατοπτρίζοντας πιθανώς τη συμβολή αρνητικών προγνωστικών παραγόντων (κάπνισμα 4 ασθενείς, ΚΕΚ με δυσκολία συμμετοχής σε πρόγραμμα αποκατάστασης 2 ασθενείς, απόπειρα αυτοκτονίας με μειωμένα κίνητρα αποκατάστασης 1 ασθενής).

Υπήρξαν 2 ασθενείς με πτωχά αποτελέσματα. Ο πρώτος ασθενής πέτυχε μυϊκή ισχύ της τάξης του M2 μετά από μεταφορά της A5 & A6 ρίζας και υποβλήθηκε τελικά σε μεταφορά ελευθέρου μυός σε δεύτερο χρόνο για αποκατάσταση λειτουργίας του δικεφάλου με τελικό αποτέλεσμα M3. Ο δεύτερος ασθενής επίσης πέτυχε μυϊκή ισχύ της τάξης του M2 μετά από μεταφορά της A5 ρίζας & του φρενικού νεύρου. Στον ασθενή αυτό ο οποίος είχε

τραυματισμό ανωτέρου τύπου με διάσωση των A8 και Θ1 ριζών μεταφέρθηκε σε δεύτερο χρόνο κλάδος του ωλενίου νεύρου (μεταφορά Oberlin) για ενίσχυση του μυοδερματικού με τελικό αποτέλεσμα μυικής ισχύος της τάξης του M4+.

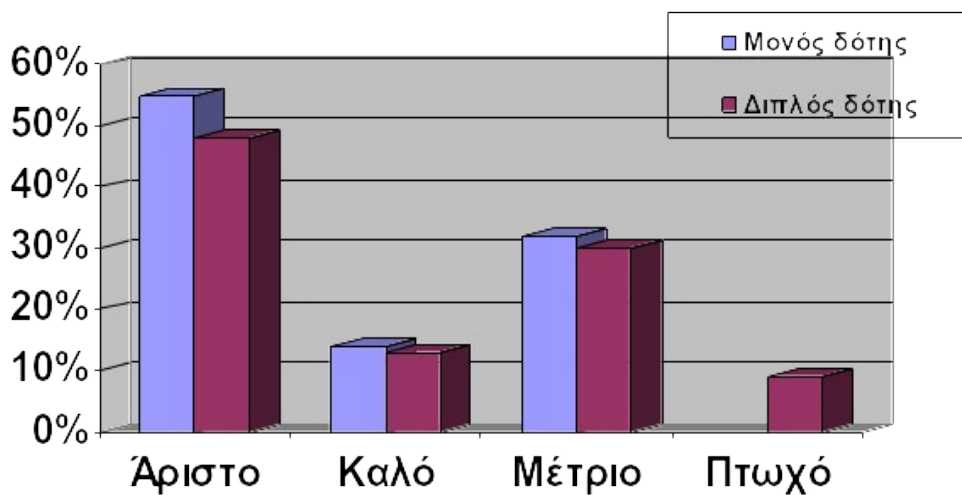
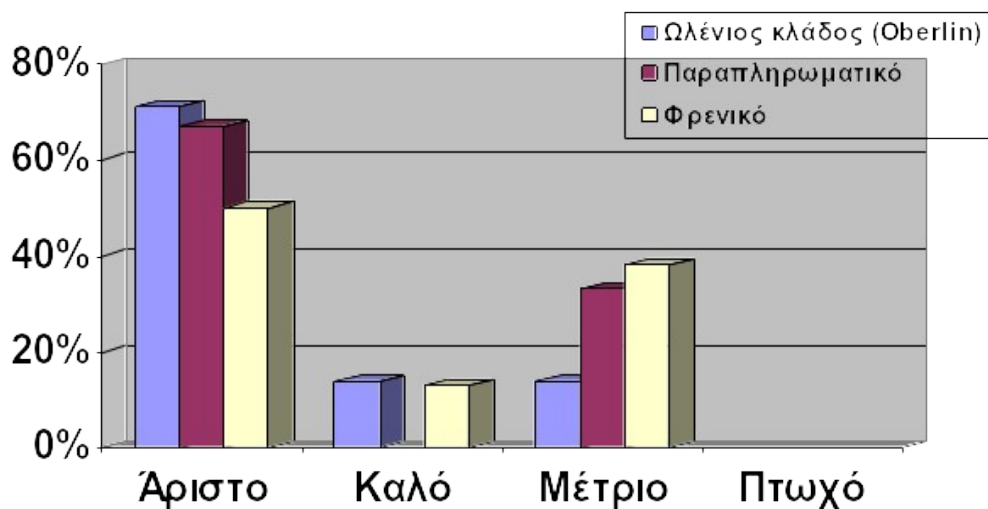
Πίνακας 13: Αποτελέσματα νευρομεταφορών προς το μυοδερματικό νεύρο

Μονός δότης								
	Δότης	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
Εντός του πλέγματος	A5	-	1	1	-	2	3	2,66-3,33
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5&A6)	1	-	-	-	1	4,33	4,33
	Ωλένιος κλάδος (Oberlin)	5	1	1	-	7	4	3-4,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>3,83</b>	<b>2,66-4,33</b>
Εκτός του πλέγματος	Παραπληρωματικό	2	-	1	-	3	3,66	2,66-4,33
	Φρενικό	4	1	3	-	8	3,58	2,66-4,33
	Μεσοπλεύρια	-	-	1	-	1	3	3
	<b>Σύνολο</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>3,55</b>	<b>2,66-4,33</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>12</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>22</b>	<b>3,68</b>	<b>2,66-4,33</b>

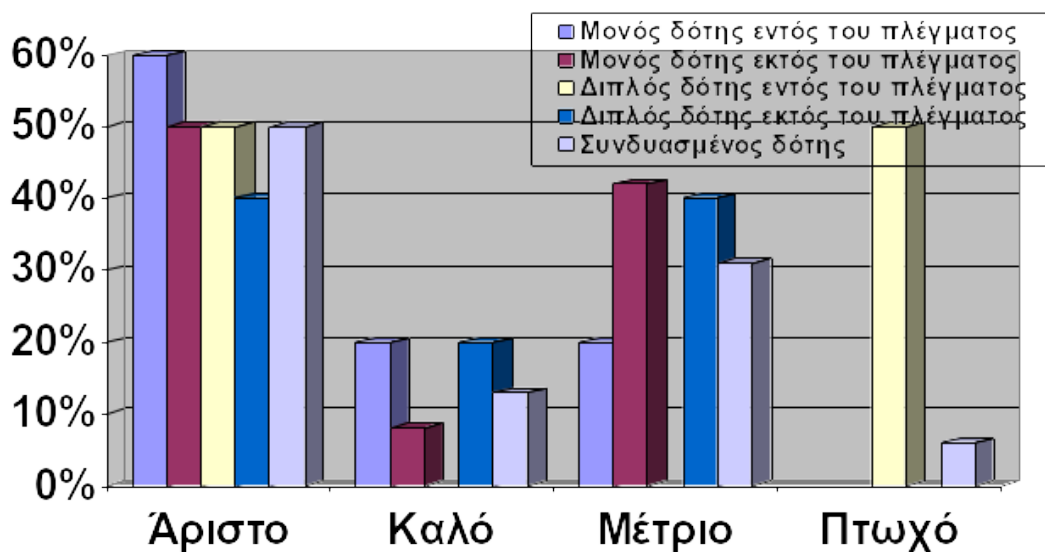
Διπλός δότης								
	Δότης	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
Εντός του πλέγματος	A5 & A6	-	-	-	1	1	2	2
	Ωλένιος κλάδος (Oberlin) & A5 (προς έξω δευτερεύον στέλεχος)	1	-	-	-	1	4,33	4,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3,17</b>	<b>2-4,33</b>
Εκτός του πλέγματος	Παραπληρωματικό & Φρενικό	2	1	1	-	4	3,75	3-4,33
	Φρενικό & αυχενικός κλάδος	-	-	1	-	1	2,66	2,66
	<b>Σύνολο</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>5</b>	<b>3,53</b>	<b>2,66-4,33</b>
Συνδυασμός	A5 & Φρενικό	3	1	4	1*	9	3,26	2-4,33
	A6 & Φρενικό	2	1	1	-	4	3,58	3-4
	A5& αυχενικός κλάδος	2	-	-	-	2	4,33	4,33
	A5 & Φρενικό & αυχενικός κλάδος	1	-	-	-	1	4,33	4,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>3,54</b>	<b>2-4,33</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>11</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>3,50</b>	<b>2-4,33</b>

Συνολικά αποτελέσματα νευρομεταφορών προς το μυοδερματικό νεύρο

	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
	Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	Μ.Ο.	Εύρος
Μονός δότης	12	3	7	-	22	3,68	2,66-4,33
Διπλός δότης	11	3	7	2	23	3,50	2-4,33
<b>Σύνολο</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>45</b>	<b>3,59</b>	<b>2-4,33</b>
<b>Επανεπέμβαση:</b> Ωλένιος κλάδος (Oberlin) επί μεταφοράς A5 & Φρενικού*	1	-	-	-	-	4,33	4,33
<b>Τελικό σύνολο</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>3,64</b>	<b>2-4,33</b>







Τα αποτελέσματα της συγκριτικής στατιστικής ανάλυσης για το μυοδερματικό νεύρο φαίνονται στον πίνακα 14 με αύξουσα σειρά του στατιστικού  $p$ . Όλα τα  $p$  είναι μεγαλύτερα του 0,05 που αποτελεί το επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλώνοντας ότι οποιεσδήποτε διαφορές ανάμεσα σε κάθε συνδυασμό της Ομάδας Α με την Ομάδα Β δεν είναι στατιστικά σημαντικές, και επομένως οι επιμέρους δότες είναι εξίσου αξιόπιστοι. Ωστόσο παρατηρείται ότι η νευρομεταφορά κατά Oberlin τείνει να έχει καλύτερα αποτελέσματα, που στην περίπτωση σύγκρισης με την Α5 ρίζα θα έδινε στατιστικά σημαντική διαφορά εάν το επίπεδο εμπιστοσύνης ήταν το 0,08 αντί για το 0,05. Αυτό θα μπορούσε ίσως να ερμηνευθεί από την άμεση νευρομεταφορά του κλάδου του ωλενίου έναντι της έμμεσης μέσω παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος της Α5 ρίζας. Πιθανών επίσης κάποιοι κινητικοί δότες εκτός του πλέγματος να συνεισφέρουν περισσότερο στην τελική λειτουργία σε σύγκριση με άλλους, πχ το παραπληρωματικό νεύρο τείνει να δίνει καλύτερα αποτελέσματα από ότι το φρενικό νεύρο. Ωστόσο, και λόγω των μικρών αριθμών, η στατιστική ανάλυση δεν επιτρέπει την εξαγωγή μιας στατιστικά σημαντικής διαφοράς για αυτή την σύγκριση.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το μυοδερματικό νεύρο

Ομάδα Α	Τάση	Ομάδα Β	$p$
Ωλένιος κλάδος (Oberlin)	>>	Α5	0,08
Ωλένιος κλάδος (Oberlin)	>	Φρενικό	0,18
Α5	<	Φρενικό	0,34
Μονός δότης εντός του πλέγματος	>	Μονός δότης εκτός του πλέγματος	0,37
Παραπληρωματικό	<	Ωλένιος κλάδος (Oberlin)	0,40
Α5	<	Παραπληρωματικό	0,41
Μονός δότης	>	Διπλός δότης	0,45
Διπλός δότης εντός του πλέγματος	<	Διπλός δότης συνδυασμένος	0,57
Διπλός δότης εντός του πλέγματος	<	Διπλός δότης εκτός του πλέγματος	0,68
Παραπληρωματικό	>	Φρενικό	0,88
Διπλός δότης εκτός του πλέγματος	≈	Διπλός δότης συνδυασμένος	0,98

#### δ) Κερκιδικό νεύρο

Κατά το πρωταρχικό χειρουργείο νευρομεταφορές προς το οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος έδωσαν λειτουργικά αποτελέσματα (M4-) στο κερκιδικό στη 1 εκ των 2 περιπτώσεων (Πίνακας 15). Η δεύτερη οδηγήθηκε σε επανεπέμβαση με μεταφορά των μεσοπλεύριων πέραν της προηγούμενης μεταφοράς της A5 ρίζας και ενός αυχενικού κλάδου στο οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος. Συνολικά οι δεύτερου χρόνου επανεπεμβάσεις με νευρομεταφορές των μεσοπλεύριων νεύρων οδήγησαν σε ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε μόνο σε 2 εκ των 5 ασθενών (εικ. 8).

Πίνακας 15: Αποτελέσματα νευρομεταφορών προς το στο κερκιδικό νεύρο

	Δότης	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	M.O.	Εύρος
Επεμβάσεις α χρόνου (προς οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος )	A5 & Αυχενικός κλάδος & Φρενικό	1	-	-	-	1	3,66	3,66
	A5 & Αυχενικός κλάδος	-	-		1*	1	2	2
Επεμβάσεις β χρόνου (προς κερκιδικό)	Μεσοπλεύρια	1	-	3	-	4	3,25	2,66-4,33
	<b>Σύνολο</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3,11</b>	<b>2-4,33</b>
<b>Επανεπέμβαση:</b>	Μεσοπλεύρια επί μεταφοράς A5 & αυχενικού κλάδου*		1			1	3,33	3,33
<b>Τελικό σύνολο</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>3,33</b>	<b>2,66-4,33</b>



**Εικόνα 8.** Ασθενής 22 ετών με κάκωση βραχιονίου πλέγματος ολικού τύπου στην οποία έγινε αποκατάσταση του κλάδου του κερκιδικού νεύρου προς τον τρικέφαλο με νευρομεταφορά 3 μεσοπλεύριων νεύρων σε επέμβαση δεύτερου χρόνου 9 μήνες μετά την πρωταρχική επέμβαση. Ένα έτος μετεγχειρητικά η ασθενής ανέκτησε ισχυρή ισχυρή έκταση του αγκώνα.



Τα αποτελέσματα της συγκριτικής στατιστικής ανάλυσης για το κερκιδικό νεύρο φαίνονται στον πίνακα 16. Το στατιστικό p είναι αρκετά μεγαλύτερο του 0,05 που αποτελεί το επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλώνοντας ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα της μεσοπλεύριων νεύρων έναντι της μεταφοράς άλλων δοτών, και επομένως οι επιμέρους δότες είναι εξίσου αξιόπιστοι.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το κερκιδικό νεύρο

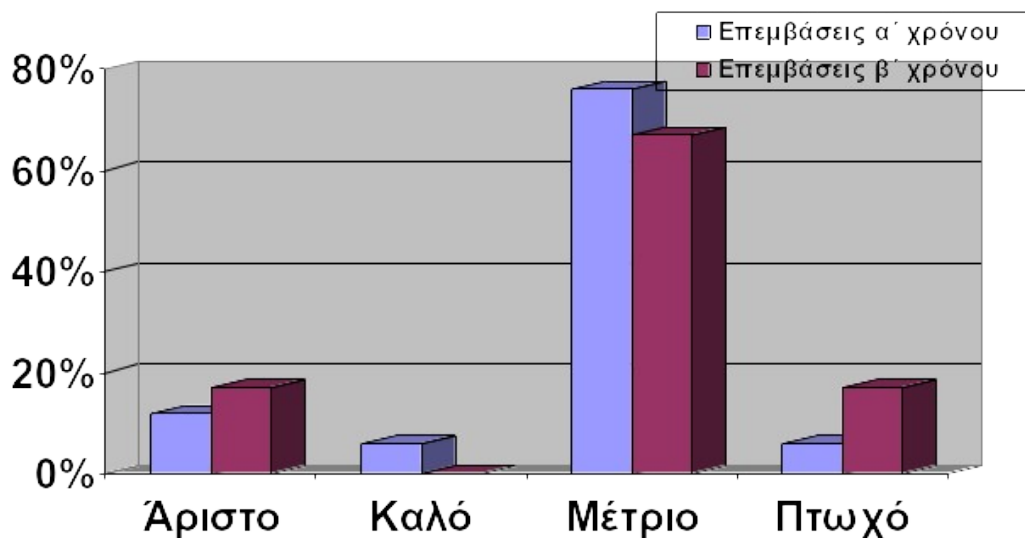
Ομάδα Α	Τάση	Ομάδα Β	p
Μεσοπλεύρια νεύρα	>	Άλλοι δότες	0,63

#### ε) Μέσο νεύρο

Η ανακατασκευή του μέσου νεύρου γενικά έδωσε πτωχά αποτελέσματα όσον αφορά στην κινητική ανάνηψη (Πίνακας 17). Τα καλύτερα αποτελέσματα εμφανίστηκαν στους ασθενείς με αποκατάσταση του μέσου νεύρου στην πρωταρχική επέμβαση χρησιμοποιώντας δότες εντός του πλέγματος (εικ. 9).

Πίνακας 17: Αποτελέσματα νευρομεταφορών προς το στο μέσο νεύρο

	Δότης	Μυική ισχύς >M3		Μυική ισχύς ≤M3		Συνολική μυική ισχύς		
		Άριστο	Καλό	Μέτριο	Πτωχό	Ασθ.	M.O.	Εύρος
Επεμβάσεις α' χρόνου	A5	2		8		10	2,86	2,33-4,33
	A6		1	2		3	3	2,66-3,33
	Άνω πρωτεύων στέλεχος (A5 & A6)			1	1	2	2,33	1,66-3
	Άνω πρωτεύων στέλεχος & αυχενικός κλάδος			1		1	3	3
	A5 & Φρενικό			1		1	2,66	2,66
	<b>Σύνολο</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>2,82</b>
Επεμβάσεις β' χρόνου	Μεσοπλεύρια	1		4	1	6	2,77	2-4
<b>Σύνολο</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>2,81</b>	<b>1,66-4,33</b>



**Εικόνα 9.** Ασθενής 29 ετών με κάκωση βραχιονίου πλέγματος ολικού τύπου στον οποίο έγινε αποκατάσταση του μέσου νεύρου με νευρομεταφορά της Α6 ρίζας κατά την πρωταρχική επέμβαση. Ένα έτος μετεγχειρητικά ο ασθενής ανέκτησε μέρος της καμπτικής λειτουργίας των δακτύλων.

Τα αποτελέσματα της συγκριτικής στατιστικής ανάλυσης για το μέσο νεύρο φαίνονται στον πίνακα 18. Το στατιστικό  $p$  είναι αρκετά μεγαλύτερο του 0,05 που αποτελεί το επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλώνοντας ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα της πρωταρχικής επέμβασης ή της μεταφοράς των μεσοπλευριων νεύρων.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το μέσο νεύρο

Ομάδα Α	Τάση	Ομάδα Β	$p$
Πρωταρχική επέμβαση	>	Επέμβαση σε β' χρόνο	0,88

Ειδικά για τους ασθενείς στους οποίους έγινε μεταφορά της ετερόπλευρης Α7 ρίζας σε ελεύθερο μυ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάνηψη της λειτουργίας συνήθως απαιτεί την παρέλευση τουλάχιστον 3 ετών προκειμένου να φτάσει σε plateau.<sup>(180)</sup> Από τους 4 ασθενείς

που έχουν χρόνο επανελέγχου τουλάχιστον 3 έτη χρήσιμη λειτουργία στον ελεύθερο μυ ( $\geq M3$ ) έχει επιτευχθεί στους 3.

Το θωρακοραχιαίο νεύρο ανακατασκευάστηκε σε 1 ασθενή χρησιμοποιώντας την A5 ρίζα. Η μυϊκή ισχύς που επιτεύχθηκε ήταν M4+ και ο πλατύς ραχιαίος μεταφέρθηκε για να ενισχύσει την έκταση του αγκώνα.

### III) Αισθητικότητα & Πόνος

Η προστατευτική αισθητικότητα στο άνω άκρο βελτιώθηκε μετεγχειρητικά (Πίνακας 19) με 6 στους 10 ασθενείς να επιτυγχάνουν προστατευτική αισθητικότητα στην περιοχή της άκρας χείρας, επιτρέποντας την αναγνώριση της θέσης του άκρου στο χώρο για αποφυγή τραυματισμών. Αυτή η επιστροφή των προσαγωγών ερεθισμάτων, έστω και προστατευτικών, οδήγησε σε σημαντική βελτίωση του προεγχειρητικού πόνου στους 6 από τους 9 ασθενείς με ύπαρξη έντονου προεγχειρητικού πόνου, με σημαντικότερη ύφεση στις βλάβες εξελκυσμού (μείωση κατά 35% κατά μέσο όρο). Οι 6 αυτοί ασθενείς ανέφεραν μετεγχειρητικά την απουσία πόνου ή την παρουσία πόνου μόνο σε άτακτα χρονικά διαστήματα. Παραμένων πόνος χωρίς βελτίωση καταγράφηκε μόνο σε 3 ασθενείς, οι οποίοι είχαν υποστεί βλάβη εξελκυσμού. Τόσο η βελτίωση στην αισθητικότητα όσο και η βελτίωση στον πόνο αποτελούσαν πρώιμα ευρήματα, πριν την ανάκτηση της μυϊκής ισχύος.

Πίνακας 19: Προστατευτική αισθητικότητα

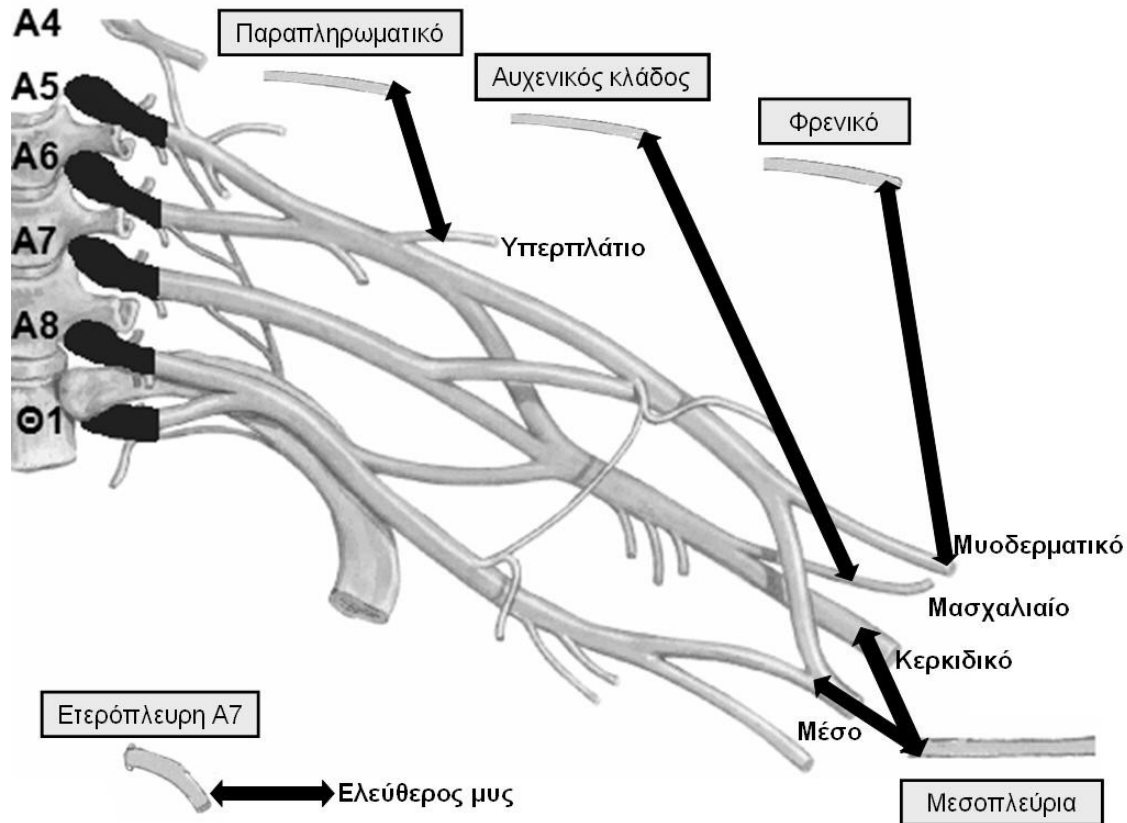
Ανατομική περιοχή	Ασθενείς	%
Βραχίονας	54	95
Αντιβράχιο	45	79
Άκρα χείρα	34	60



## Γ) Ενδιαφέρουσες περιπτώσεις - Στρατηγική χειρουργικού σχεδιασμού για βλάβες διαφορετικών επιπέδων

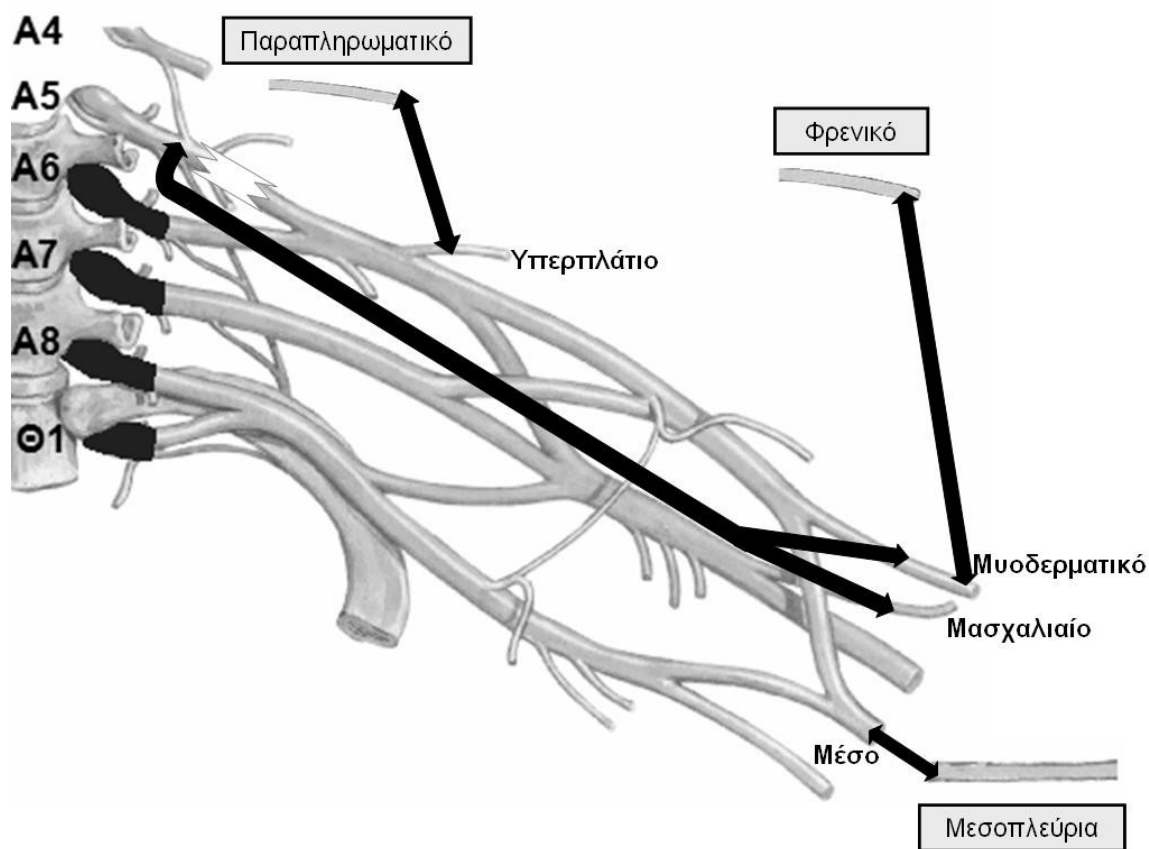
### Ι) Υπερκλείδιες βλάβες

#### 1. Ολικού τύπου βλάβη με εξέλκυσμό όλων των ριζών.



Π.Δ. Ασθενής 28 ετών. Δεν υπάρχουν διαθέσιμες ρίζες εντός του πλέγματος. Στην περίπτωση αυτή, το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο και αυχενικός κινητικός κλάδος στο μασχαλιαίο νεύρο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Το φρενικό νεύρο μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό νεύρο για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα. Δύο μεσοπλεύρια νεύρα (3<sup>ο</sup> & 4<sup>ο</sup>) χρησιμοποιήθηκαν σε δεύτερο χρόνο για μεταφορά στο κερκιδικό νεύρο ώστε να παρέχουν έκταση του αγκώνα και 3 μεσοπλεύρια νεύρα (5<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup>, 7<sup>ο</sup>) για μεταφορά στο μέσο νεύρο ώστε να παρέχουν κυρίως προστατευτική αισθητικότητα στο χέρι και δευτερευόντως για αποκατάσταση της κάμψης του καρπού και των δακτύλων. Η ετερόπλευρη Α7 μεταφέρθηκε σε επόμενη επέμβαση για νεύρωση ελεύθερου μύος για υποκατάσταση της λειτουργίας του εν τω βάθει καμπτήρα των δακτύλων.

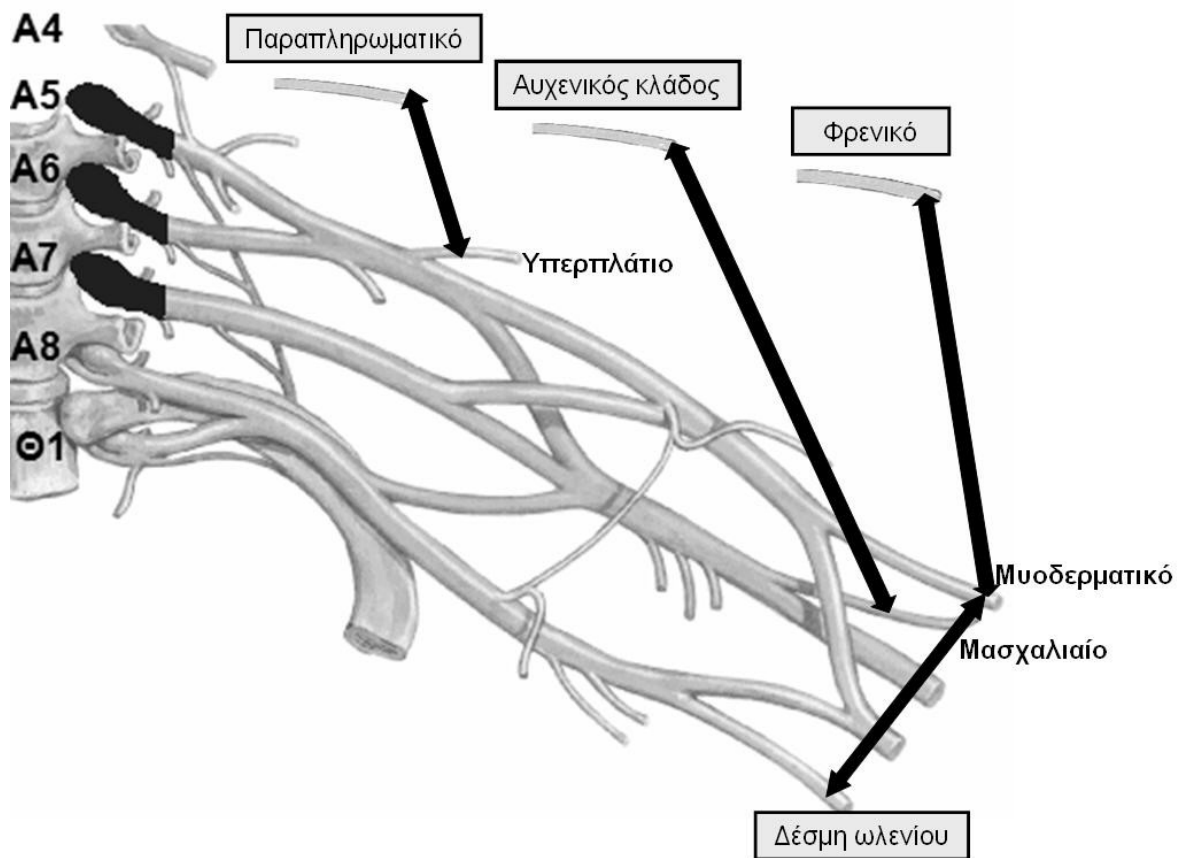
## 2. Εξελκυσμός 4 ριζών ( A6 έως Θ1 ριζών)



Β.Κ. Ασθενής 23 ετών. Μόνο η A5 έχει υποστεί διατομή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι το κολόβωμα της A5 ρίζας είναι υγιές, ένα τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό νεύρο για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα και το υπόλοιπο τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μασχαλαίο νεύρο για αποκατάσταση του δελτοειδή. Το φρενικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε ως δεύτερος δότης (εκτός του πλέγματος) για περεταίρω ενίσχυση της μεταφοράς προς το μυοδερματικό νεύρο. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Τα μεσοπλεύρια νεύρα χρησιμοποιήθηκαν σε β χρόνο για μεταφορά στο μέσο νεύρο ώστε να παρέχουν κυρίως προστατευτική αισθητικότητα στο χέρι και δευτερευόντως για αποκατάσταση της κάμψης του καρπού και των δακτύλων.

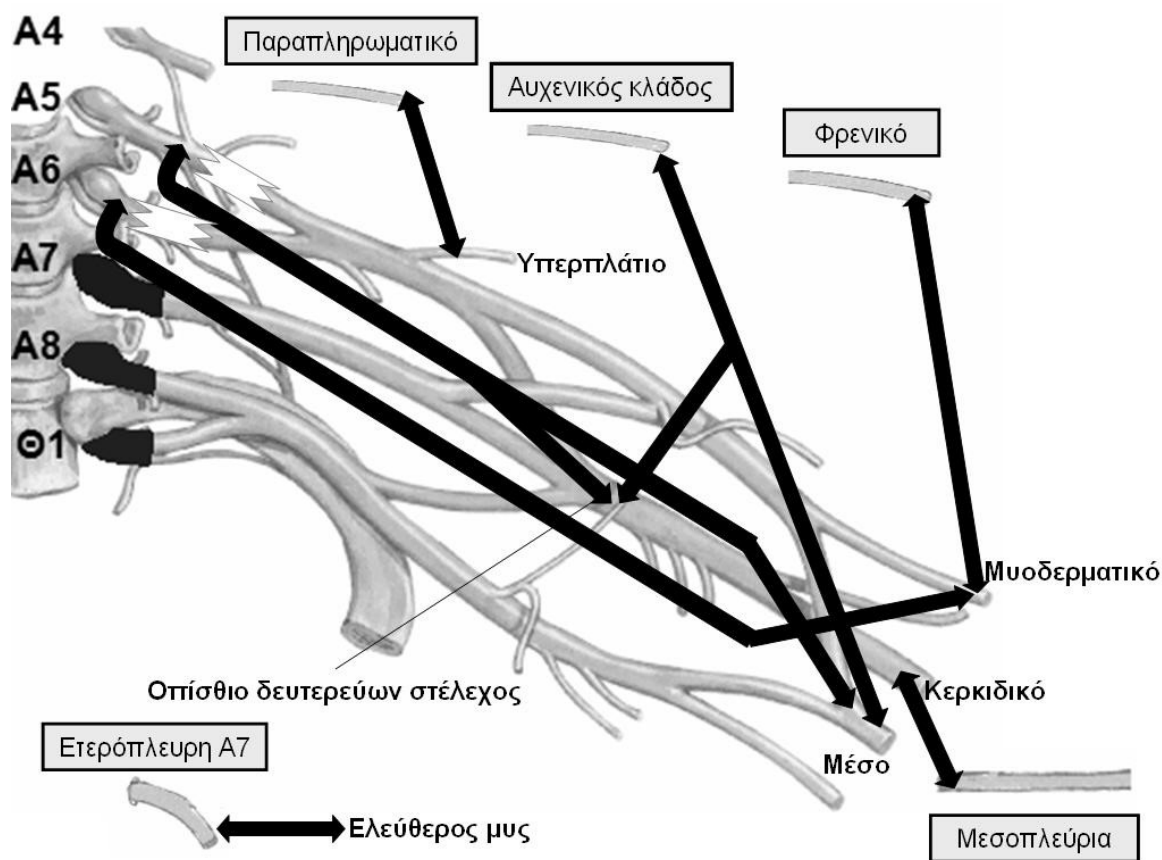
### 3. Εξελκυσμός 3 ριζών

#### ι) Εξελκυσμός A5, A6 και A7 ρίζας



Χ.Θ. Ασθενής 34 ετών. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο και αυχενικός κινητικός κλάδος στο μασχαλιαίο νεύρο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Το φρενικό νεύρο μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα. Λόγω μη ικανοποιητικής λειτουργίας του δικεφάλου, σε δεύτερο χρόνο πραγματοποιήθηκε μεταφορά μιας δέσμης του ωλενίου στο μυοδερματικό (μεταφορά Oberlin) για βελτίωση της κάμψης του αγκώνα.

## υ) Εξελκυσμός A7, A8 και Θ1 ρίζας

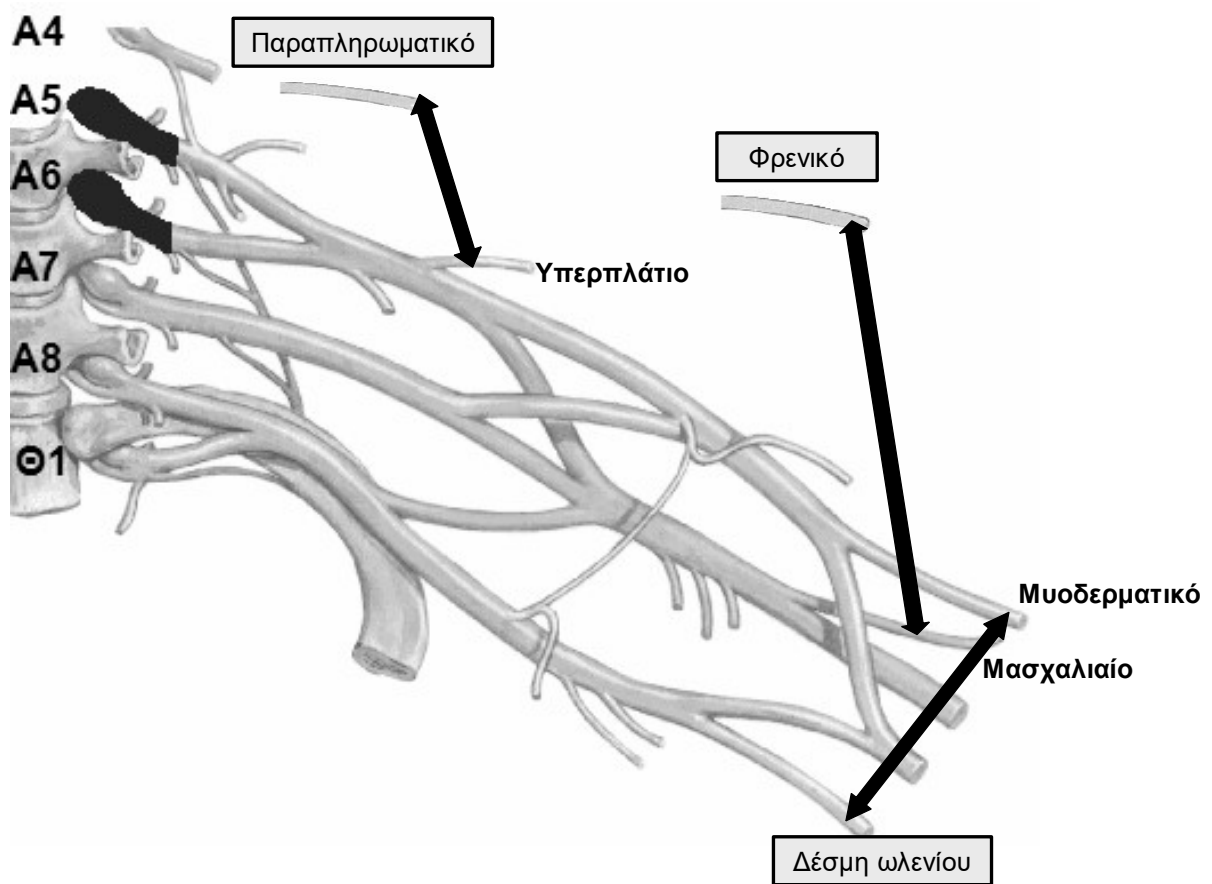


Π.Α. Ασθενής 23 ετών. Οι A5 και A6 ρίζες έχουν υποστεί διατομή. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι τα κολώβωματα της A5 & A6 ρίζας είναι υγιή το παρακάτω πλάνο ανακατασκευής ακολουθήθηκε. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Ένα τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος (μασχαλιαίο και κερκιδικό) για ενίσχυση της απαγωγής του ώμου και αποκατάσταση της έκτασης του αγκώνα. Το υπόλοιπο τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μέσο νεύρο κυρίως για αποκατάσταση της προστατευτικής αισθητικότητα στο χέρι και δευτερευόντως για αποκατάσταση της κάμψης του καρπού και των δακτύλων. Ο τελευταία μεταφορά ενισχύθηκε και από ίνες αυχενικού κινητικού κλάδου. Ίνες της A6 μεταφέρθηκαν στο μυοδερματικό νεύρο για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα. Το φρενικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε ως δεύτερος δότης (εκτός του πλέγματος) για περεταίρω ενίσχυση της μεταφοράς προς το μυοδερματικό νεύρο. Λόγω μη ικανοποιητικής λειτουργίας του τρικεφάλου το 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> μεσοπλεύριο νεύρο χρησιμοποιήθηκαν σε δεύτερο χρόνο για μεταφορά στο κερκιδικό νεύρο ώστε να βελτιωθεί η έκταση του αγκώνα. Η ετερόπλευρη A7 μεταφέρθηκε σε επόμενη επέμβαση για νεύρωση ελεύθερου μύος για υποκατάσταση της λειτουργίας του εν τω βάθει καμπτήρα των δακτύλων.



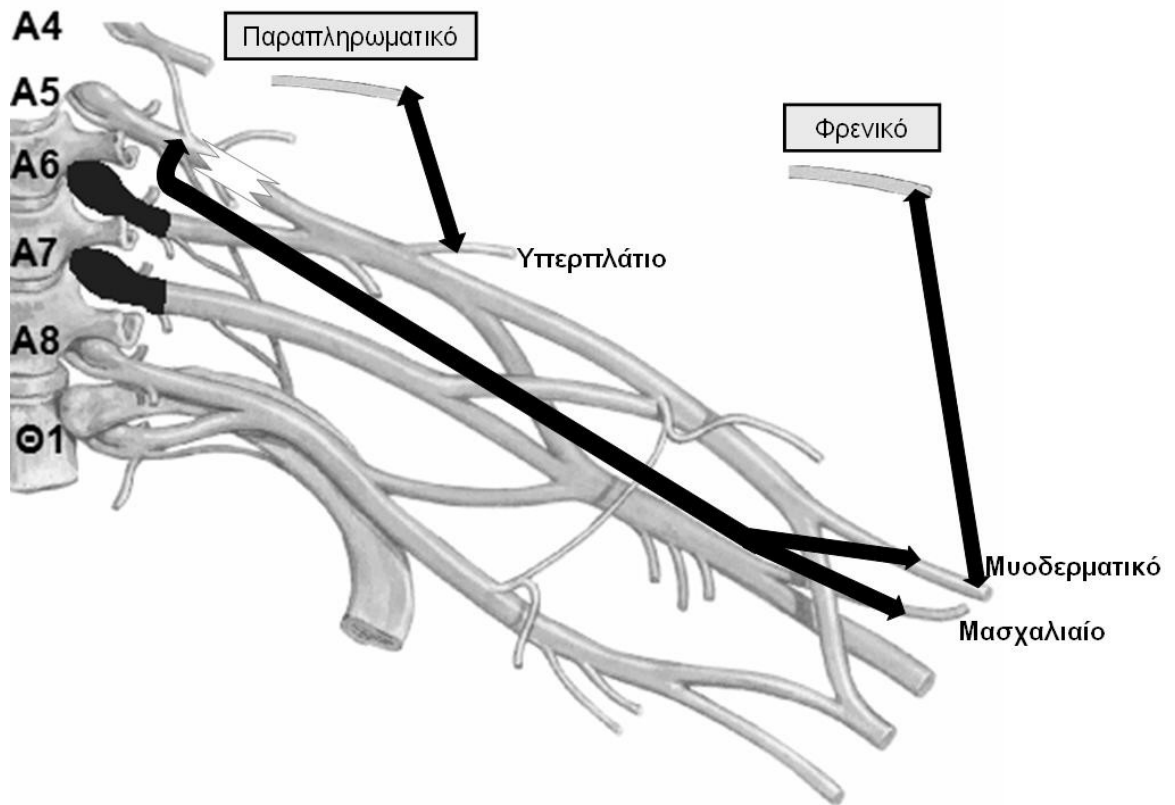
#### 4. Εξελκυσμός 2 ριζών

##### ι) Εξελκυσμός A5 και A6 ρίζας



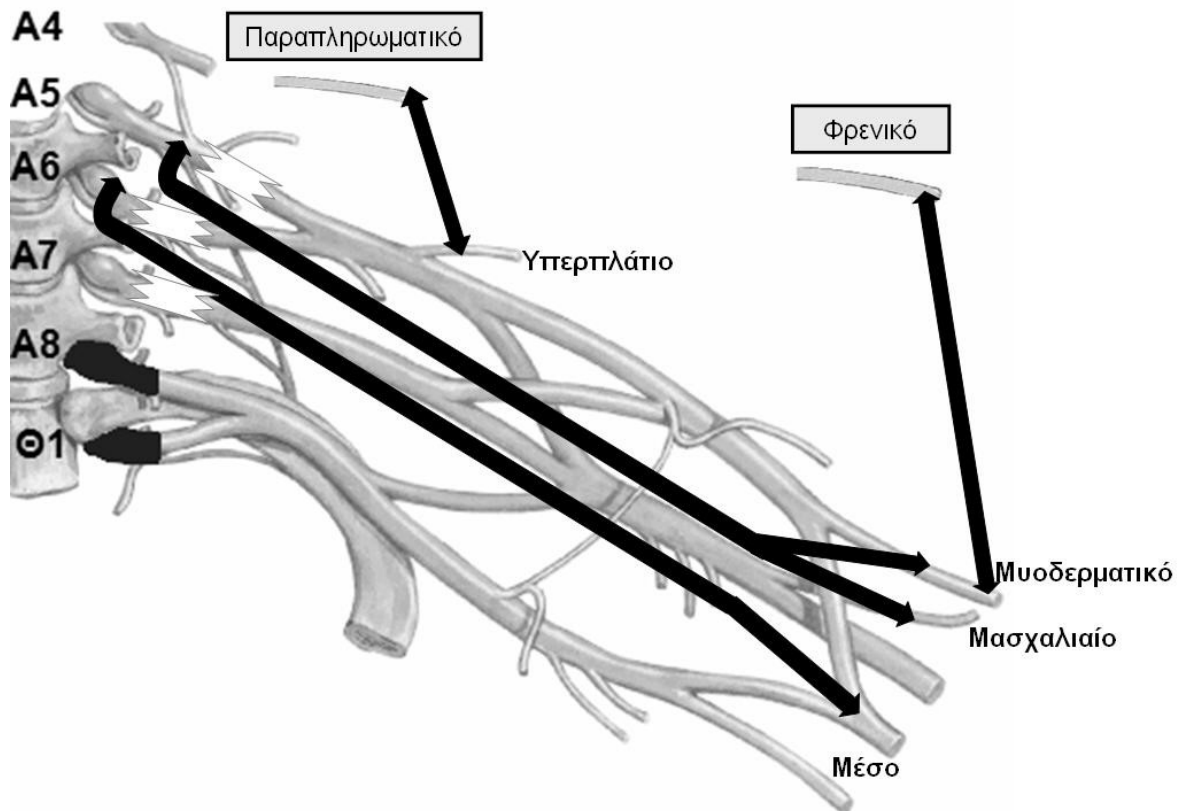
Κ.Σ. Ασθενής 34 ετών. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο και το φρενικό νεύρο στο μασχαλιαίο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Λόγω λειτουργικότητας του ωλενίου μια δέσμη του μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό (μεταφορά Oberlin) για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα.

ii) Εξελκυσμός A6 και A7 ρίζας



Κ.Ε. Ασθενής 24 ετών. Η A5 ρίζα έχει υποστεί διατομή. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι το κολόβωμα της A5 ρίζας είναι υγιές, ένα τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό νεύρο για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα και το υπόλοιπο τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μασχαλιαίο νεύρο για αποκατάσταση του δελτοειδή. Το φρενικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε ως δεύτερος δότης (εκτός του πλέγματος) για περαιτέρω ενίσχυση της μεταφοράς προς το μυοδερματικό νεύρο. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου.

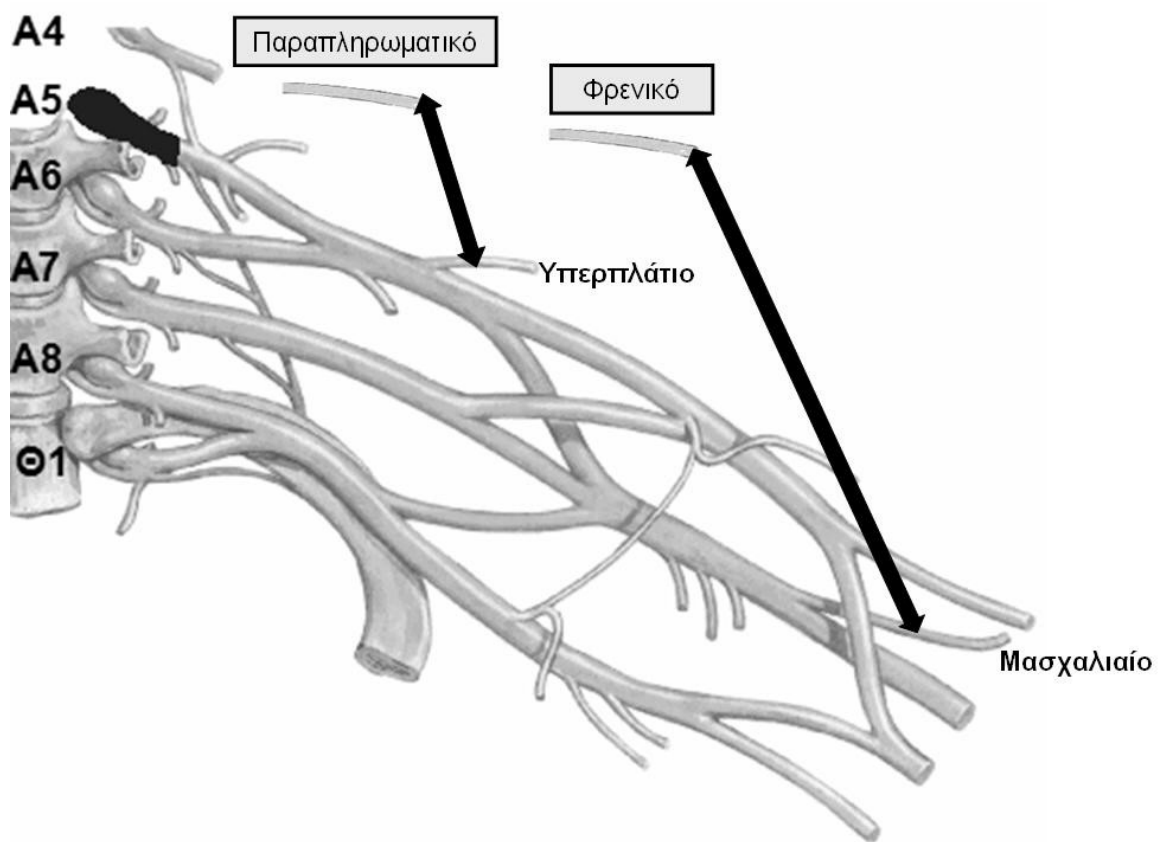
### iii) Εξελκυσμός A8 και Θ1 ρίζας



Γ.Δ. Ασθενής 23 ετών. Οι A5, A6, A7 ρίζες έχουν υποστεί διατομή. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι τα κολόβωματα της A5 & A6 ρίζας είναι υγιή το παρακάτω πλάνο ανακατασκευής ακολουθήθηκε. Ένα τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό νεύρο για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα και το υπόλοιπο τμήμα της A5 μεταφέρθηκε στο μασχαλιαίο νεύρο για αποκατάσταση του δελτοειδή. Το φρενικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε ως δεύτερος δότης (εκτός του πλέγματος) για περεταίρω ενίσχυση της μεταφοράς προς το μυοδερματικό νεύρο. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Οι ίνες της A6 μεταφέρθηκαν στο μέσο νεύρο κυρίως για αποκατάσταση της προστατευτικής αισθητικότητας στο χέρι και δευτερευόντως για αποκατάσταση της κάμψης του καρπού και των δακτύλων. Γενικά οι ίνες της ομόπλευρης A7, εφόσον είναι διαθέσιμες, συνδέονται μόνο στο περιφερικό τμήμα της A7 διότι η μεταφορά τους για κρίσιμες λειτουργίες συνήθως παρέχει μη αξιόπιστα αποτελέσματα.

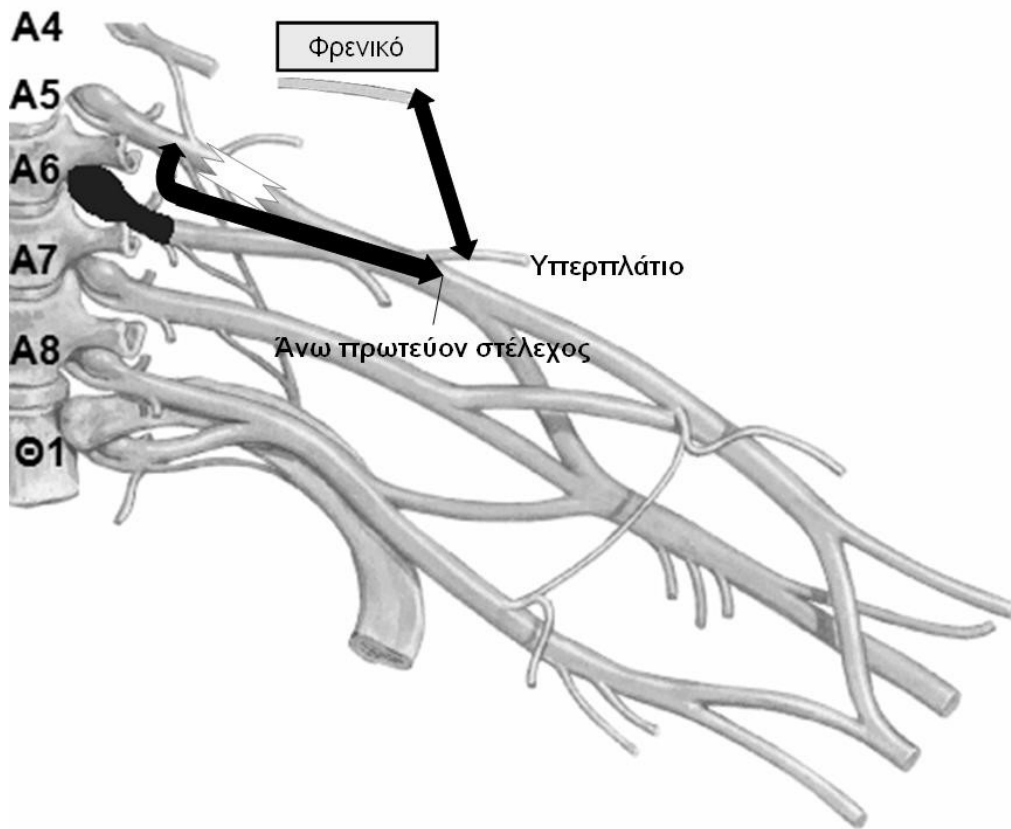
## 5. Εξελκυσμός μονής ρίζας

### ι) Εξελκυσμός μόνο της A5 ρίζας



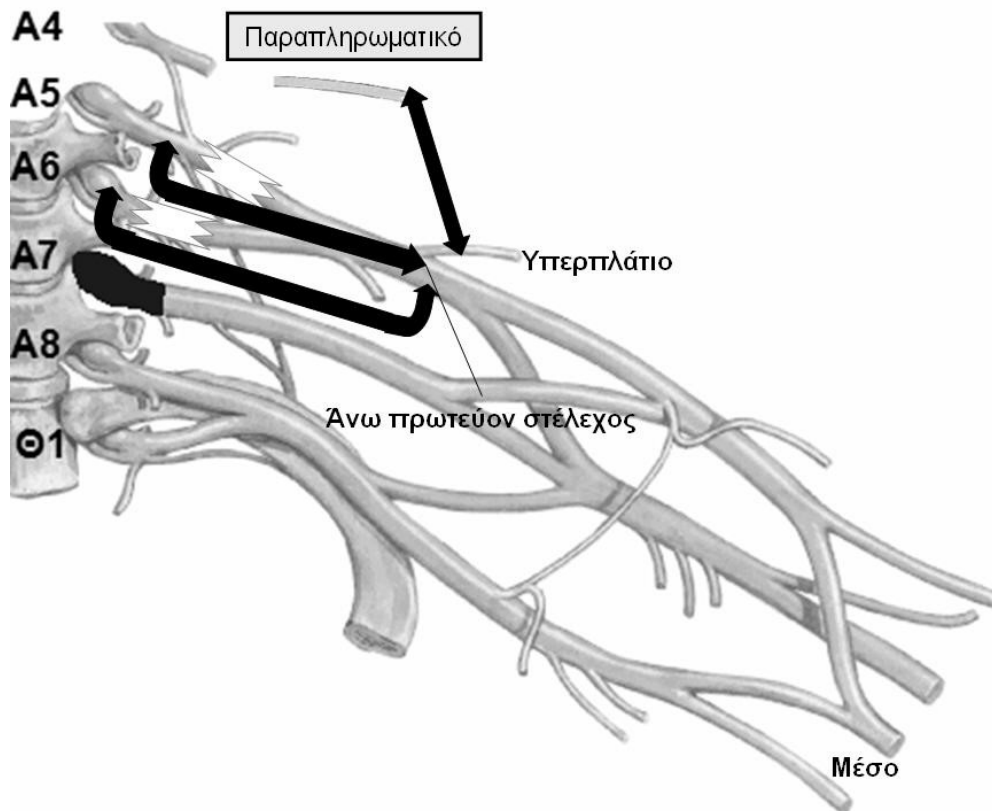
Β.Α. Ασθενής 42 ετών. Η απαγωγή του ώμου αποκαταστάθηκε με μεταφορά του παραπληρωματικού στο υπερπλάτιο νεύρο και με τελικοπλάγια συρραφή του φρενικού στο μασχαλαίο για ενίσχυση της λειτουργίας του.

ii) Εξελκυσμός μόνο της A6 ρίζας



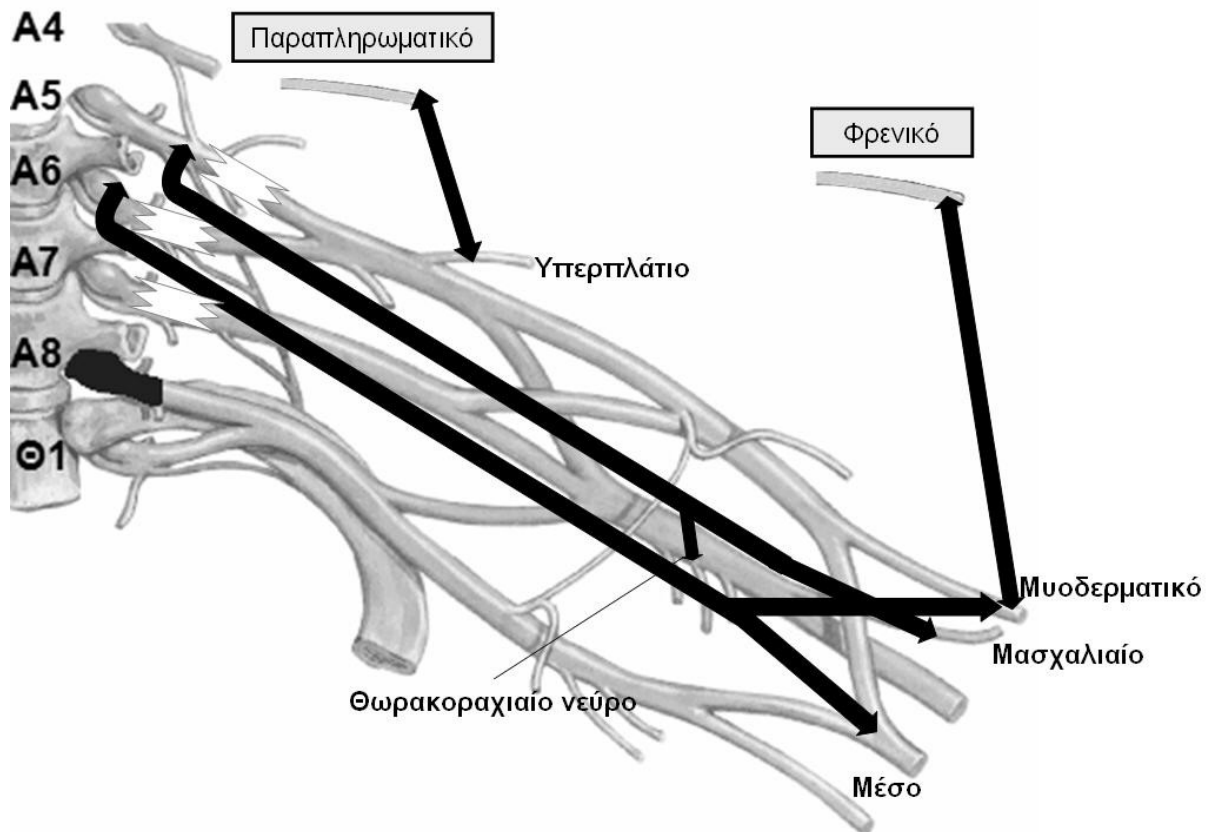
Π.Γ. Ασθενής 47 ετών. Η A5 ρίζα έχει υποστεί διατομή. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι το κολόβωμα της A5 ρίζας είναι υγιές, ίνες της A5 μεταφέρθηκαν στο άνω πρωτεύων στέλεχος (συμβολή A5 & A6 ρίζας). Το φρενικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου.

iii) Εξελκυσμός μόνο της A7 ρίζας



Α.Σ. Ασθενής 19 ετών. Οι A5 και A6 ρίζες έχουν υποστεί διατομή. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι τα κολόβωματα της A5 & A6 ρίζας είναι υγιή έγινε επιδιόρθωση του άνω πρωτεύοντος στελέχους από τις ίνες της A5 & A6 ρίζας, και μεταφορά του παραπληρωματικού στο υπερπλάτιο νεύρο. Σε τέτοια περίπτωση δεν υπάρχει ανάγκη επανανεύρωσης τις A7 ρίζας.

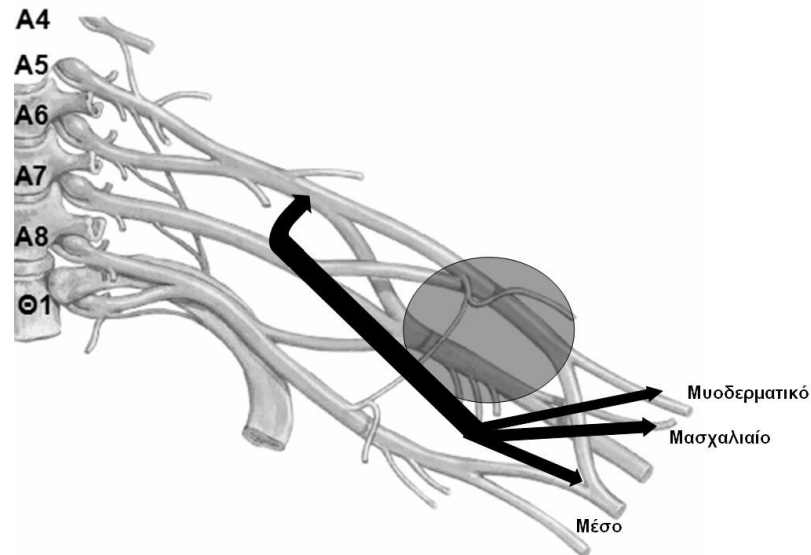
iv) Εξελκυσμός μόνο της A8 ρίζας



Θ.Π. Ασθενής 42 ετών. Οι A5 έως A7 ρίζες έχουν υποστεί διατομή. Αφού επιβεβαιώθηκε από το παθολογοανατομικό εργαστήριο ότι τα κολόβωματα της A5 & A6 ρίζας είναι υγιή το παρακάτω πλάνο ανακατασκευής ακολουθήθηκε. Ένα τμήμα της A6 μεταφέρθηκε στο μυοδερματικό νεύρο για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα και το υπόλοιπο τμήμα της A6 μεταφέρθηκε στο στο μέσο νεύρο κυρίως για αποκατάσταση της προστατευτικής αισθητικότητα στο χέρι και δευτερευόντως για αποκατάσταση της κάμψης του καρπού και των δακτύλων. Το φρενικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε ως δεύτερος δότης (εκτός του πλέγματος) για περαιτέρω ενίσχυση της μεταφοράς προς το μυοδερματικό νεύρο. Το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρθηκε στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της λειτουργίας του ώμου. Οι ίνες της A5 μεταφέρθηκαν στο μασχαλιαίο νεύρο για αποκατάσταση του δελτοειδή καθώς και στο θωρακοραχιαίο νεύρο για αποκατάσταση του πλατέως ραχιαίου μύος για μεταφορά του σε ατώτερο χρόνο. Γενικά οι ίνες της ομόπλευρης A7, εφόσον είναι διαθέσιμες, συνδέονται μόνο στο περιφερικό τμήμα της A7 διότι η μεταφορά τους για κρίσιμες λειτουργίες συνήθως παρέχει μη αξιόπιστα αποτελέσματα.

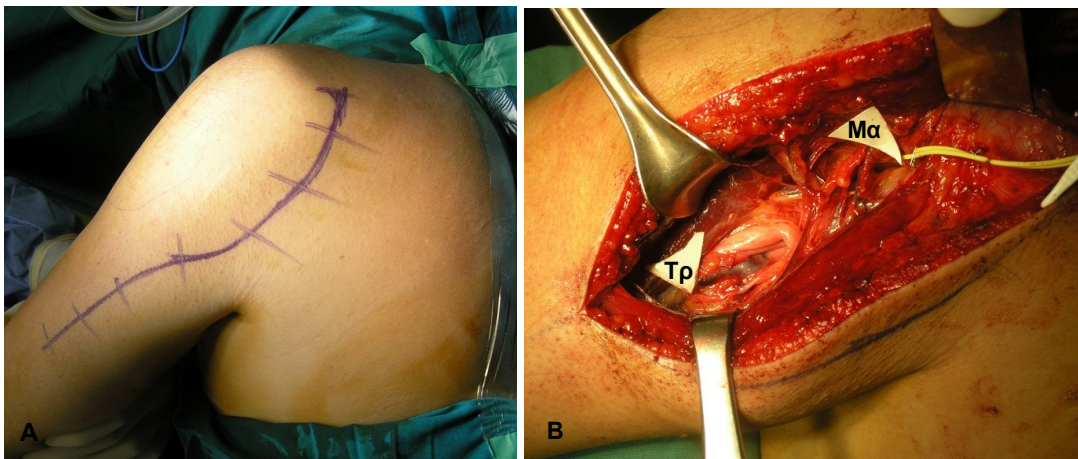
## II) Υποκλείδιες βλάβες

### 1. Νεύρωμα σε συνέχεια



Τ.Ρ. Ασθενής 30 ετών. Συνεπεία τραυματισμού από πυροβόλο όπλο ο ασθενής ανέπτυξε νεύρωμα στο έξω και οπίσθιο δευτερεύον στέλεχος. Η βλάβη αυτή αντιμετωπίστηκε με εκτομή του νευρώματος και αποκατάσταση της συνέχειας με νευρομεταφορές από το άνω πρωτεύων στέλεχος προς το μυοδερματικό, μασχαλιαίο και μέσο νεύρο.

### 2. Πάρεση του μασχαλιαίου νεύρου



Κ.Α. Ασθενής 42 ετών. Ο ασθενής εμφάνισε πάρεση του μασχαλιαίου νεύρου. Η αποκατάσταση της βλάβης πραγματοποιήθηκε με νευρομεταφορά κλάδου του κερκιδικού νεύρου (έσω κεφαλή τρικεφάλου) προς τον πρόσθιο κλάδο του μασχαλιαίου νεύρου.



## Δ] Συζήτηση - Συμπεράσματα

### Ι) Γενική θεώρηση

Η εισαγωγή των μικροχειρουργικών τεχνικών<sup>(96,181,182)</sup> στις επεμβάσεις των περιφερικών νεύρων και η καθιέρωση των αρχών της χωρίς τάση επιδιόρθωσης<sup>(88,183)</sup> έφεραν πολλαπλές νέες προσεγγίσεις στην ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος, καθώς μια πιο επιθετική αντιμετώπιση αναζητήθηκε για την αποκατάσταση της λειτουργίας επί τραυματικών παραλύσεων του βραχιονίου πλέγματος. Οι κύριες χειρουργικές τεχνικές για ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος περιλαμβάνουν την νευρόλυση, την νευροσυρραφή, τα νευρικά μοσχεύματα, τις νευρομεταφορές, την μεταφορά λειτουργικού ελεύθερου μυός, και την μεταφορά εμμίσχου μυός.<sup>(140,162,78,141,184,185,186)</sup>

Στον ενήλικα μια επιτυχημένη νευρική ανακατασκευή είναι σχεδόν πάντα ανώτερη από το ότι μία μυϊκή μεταφορά ή τενοντομεταφορά διασώσεως. Για το λόγο αυτό, οι βλάβες του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες θα πρέπει να διερευνώνται σε πρώιμο στάδιο, προτιμότερα εντός 6 μηνών μετά τον τραυματισμό, πριν προκύψει σημαντική εκφύλιση των απονευρωμένων μυών.<sup>(110,123,180)</sup> Από το σημείο αυτό και μετά, οι μόνες όψιμες επιλογές ανακατασκευής σε ένα χαλαρό άκρο περιλαμβάνουν τενοντομεταφορές<sup>(187,188)</sup>, μεταφορές έμμισχων λειτουργικών μυών<sup>(187,188,189)</sup> ή μεταφορές ελεύθερων νευρούμενων λειτουργικών μυών.<sup>(162,163)</sup>

Βλάβη του βραχιονίου πλέγματος συνήθως είναι αποτέλεσμα τραυματισμού ελκυσμού ή σύνθλιψης, μπορεί ωστόσο να οφείλεται σε διατιτραίνων τραύμα από πυροβόλο όπλο ή σε διατομή με τέμνον όργανο.

Όταν ο τραυματισμός στο πλέγμα οφείλεται περισσότερο σε εστιακή βλάβη, όπως διατομή από τέμνον όργανο, η άμεση ανατομική επιδιόρθωση είτε με τη βοήθεια είτε χωρίς τη βοήθεια νευρικών μοσχευμάτων συνήθως είναι εφικτή και προτιμότερη από την υποκατάσταση της απώλειας με την χρήση νευρικών μεταφορών.<sup>(190,191,192)</sup> Κατ' αναλογία, σε μια σχετικά μεγάλη ομάδα συνθλιπτικών τραυματισμών ή τραυματισμών από πυροβόλο όπλο, όπου τα στοιχεία είναι ακόμα σε συνέχεια αλλά δεν άγουν νευρικά δυναμικά ενεργείας, η επιδιόρθωση εντός του πλέγματος, συνήθως με τη βοήθεια μοσχευμάτων, είναι η σταθερή η προσέγγιση πολλών συγγραφέων.<sup>(79,193,194,172)</sup> Αυτή η προσέγγιση είχε επίσης χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για τραυματισμούς από ελκυσμό, ως η μόνη υπάρχουσα μέθοδος προτού διαδοθεί η χρήση νευρικών μεταφορών.<sup>(38,195,196,197,198)</sup>

Από την άλλη πλευρά, οι περισσότερες από τις μετατραυματικές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες, περιλαμβάνουν εξελκυσμούς ριζών, οι οποίες αποτελούν καταστροφικούς τραυματισμούς που φέρουν τη βαρύτερη πρόγνωση. Το πρόβλημα στην περίπτωση εξελκυσμού είναι η έλλειψη ικανών εγγύς δοτών εντός του πλέγματος (ρίζες) που να βρίσκονται σε συνέχεια με τη σπονδυλική στήλη. Για το λόγο αυτό, αυτή η βλάβη κάνει την ανατομική αποκατάσταση του βραχιονίου πλέγματος με συμβατικές νευροσυρραφές ή νευρικά μοσχεύματα αδύνατη.<sup>(24,25,158,157)</sup> Η μέθοδος εκλογής στην διαχείριση αυτών των καταστροφικών βλαβών θα πρέπει να είναι η πρώιμη, επιθετική μικροχειρουργική ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος, η οποία να συνδυάζει διάφορες νευρικές μεταφορές με ομόπλευρους και ετερόπλευρους νευρικούς δότες τόσο εντός όσο και εκτός του πλέγματος, την χρήση αγγειούμενων νευρικών μοσχευμάτων, και τελικά τη χρήση ελεύθερων αγγειούμενων και νευρούμενων μυών.<sup>(199)</sup> Εάν αυτή η μικροχειρουργική αντιμετώπιση πολλαπλών σταδίων εφαρμοστεί πρώιμα, μπορεί να παρέχει, ιδίως στους νέους ασθενείς, την επιστροφή ικανοποιητικής λειτουργίας, ακόμα και επί σοβαρών εξελκυσμών.<sup>(200)</sup>

## II) Νευρόλυση

Η χρήση διεγχειρητικά του νευροδιεγέρτη είναι εξαιρετικά σημαντική διότι ένα μεγάλο ποσοστό νευρικών στοιχείων, τα οποία θεωρούνται προεγχειρητικά ότι έχουν πλήρη απώλεια με κλινικά και ηλεκτρομυογραφικά κριτήρια, τελικά θα ανταποκριθούν μετά την νευροδιέγερση, υποδεικνύοντας αναγέννηση. Για το λόγο αυτό τα νευρικά αυτά στοιχεία θα υποβληθούν μόνο σε νευρόλυση με τα αναμενόμενα καλά αποτελέσματα.<sup>(201)</sup> Η επανάκτηση χρήσιμης κινητικής λειτουργίας αναμένεται τουλάχιστον στο 90% των περιπτώσεων.<sup>(76)</sup> Από την άλλη πλευρά και εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι μερικά νευρικά στοιχεία τα οποία θεωρούνται προεγχειρητικά ότι έχουν ατελή βλάβη, δεν θα ανταποκριθούν στην νευροδιέγερση διεγχειρητικά, και αυτά θα υποβληθούν σε ανακατασκευή. Μερικές από αυτές τις ασυμφωνίες των προεγχειρητικών και των διεγχειρητικών ευρημάτων θα μπορούσαν να εξηγηθούν λόγω παραλλαγών της συνήθους ανατομίας.<sup>(79)</sup>

## III) Ανατομική επιδιόρθωση (νευροσυρραφή) με ή χωρίς την παρεμβολή μοσχευμάτων

Επί ανοιχτών τραυματισμών με τέμνων όργανο η άμεση επιδιόρθωση τμημάτων του βραχιονίου πλέγματος δεν είναι μόνο δυνατή αλλά επιπλέον δίνει και λειτουργικά αποτελέσματα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η τελικοτελική επιδιόρθωση είναι συνήθως, αλλά όχι πάντοτε, δυνατή. Όπου παρά τον ανοιχτό μηχανισμό υπάρχουν βλάβες σε συνέχεια, τα αποτελέσματα με άμεση επιδιόρθωση, συνήθως με τη χρήση μοσχευμάτων, είναι επίσης αποδεκτά. Αυτά τα αποτελέσματα είναι δυνατά εάν διεγχειρητικά χρησιμοποιηθούν ηλεκτροφυσιολογικές τεχνικές για να διαφοροποιήσουμε εκείνες τις βλάβες οι οποίες δεν χρειάζονται επιδιόρθωση από αυτές που χρειάζονται.

Επί ανοιχτών τραυματισμών από πυροβόλο όπλο, αρκετοί ασθενείς βελτιώνονται αρκετά στους πρώτους μήνες, έτσι ώστε να μην είναι απαραίτητη επέμβαση στο βραχιόνιο πλέγμα.<sup>(202, 203)</sup> Μόνο 15% των σοβαρών τραυματισμών διατέμνουν ένα ή περισσότερα τμήματα του πλέγματος, με αποτέλεσμα βλάβες σε συνέχεια να είναι το πιο συχνό εύρημα.<sup>(79)</sup> Η διεγχειρητική ηλεκτροδιέγερση παίζει έναν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ανάγκης για εκτομή και ανακατασκευή. Σε μία μελέτη το 23% των νευρικών στοιχείων με πλήρη ηλεκτρομυογραφική απώλεια στους 3 ή περισσότερους μήνες μετά τον τραυματισμό είχαν διεγχειρητικά αγωγή ηλεκτρικού ερεθίσματος και βρισκόντουσαν σε φάση αναγέννησης οπότε και δεν χρειάστηκε χειρουργική ανακατασκευή.<sup>(79)</sup>

Από την άλλη πλευρά, οι διατομές ή βλάβες σε συνέχεια επί κλειστών τραυματισμών θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με καθυστερημένη επιδιόρθωση ώστε να είναι δυνατή η εξαίρεση της βλάβης επί υγιούς ιστού.

Ο Kline σε μία μεγάλη σειρά 1019 ενηλίκων ασθενών έδειξε ότι τα συνολικά αποτελέσματα είναι καλύτερα με τελικοτελική συρραφή από ότι επιδιόρθωση με τη χρήση παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων με την προϋπόθεση ότι οι συνθήκες είναι σωστές, έτσι ώστε αυτή η συρραφή να μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς υπερβολική τάση.<sup>(79)</sup> Μάλιστα, επί υποκλείδιων τραυματισμών, τα αποτελέσματα είναι καλύτερα για βλάβες του έξω και οπίσθιου δευτερεύοντος στελέχους και των κλάδων τους.<sup>(204)</sup> Η επιδιόρθωση του έσω δευτερεύοντος στελέχους προς το μέσο νεύρο μπορεί επίσης να δώσει καλά αποτελέσματα.

Επί χρήσης παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων ο Songcharoen<sup>(32)</sup> πρότεινε διάκριση των αποτελεσμάτων ανάλογα με την εγγύτητα του μυ στόχου:

Σε υπερκλείδιους τραυματισμούς που προσβάλλουν τις ανώτερες ρίζες, η νευρική επιδιόρθωση και τα νευρικά μοσχεύματα δίνουν ένα πολύ καλό αποτέλεσμα (75% έως 80% ανάνηψη MRC βαθμού 3 ή περισσότερο). Βλάβη του ανώτερου πρωτεύοντος στελέχους (A5 και A6 ρίζες) στην περιοχή μεταξύ των σκαληνών καθιστά δυνατή τη νευρική επιδιόρθωση ή τη χρήση νευρικών μοσχευμάτων με μέγιστη επιτυχία επειδή οι βλάβες είναι πιο κοντά προς το κινητικό όργανο στόχο, και οι προσβεβλημένες κινητικές λειτουργίες γενικά είναι λιγότερο σύνθετες από ότι οι αντίστοιχες των κατώτερων ριζών. Μάλιστα, τα αποτελέσματα της επανανεύρωσης των εγγύς μυών του ώμου και του αγκώνα είναι πολύ καλύτερα από αυτά που επιτυγχάνονται από οποιαδήποτε δυνατή δευτεροπαθή επέμβαση διάσωσης. Για τους αντίθετους λόγους, τα αποτελέσματα των νευρικών μοσχευμάτων για βλάβες των κατωτέρων ριζών είναι πολύ λιγότερο ευνοϊκά.

Σε οπισθοκλείδιους και υποκλείδιους τραυματισμούς, τα αποτελέσματα των νευρικών μοσχευμάτων για βλάβες σχετικά κοντά στους νευρούμενους μύες, όπως βλάβες του υπερπλάτιου, μασχालιαίου, και μυοδερματικού νεύρου, είναι γενικά καλά. Μια ικανοποιητική κινητική ανάνηψη (MRC βαθμού 3 ή περισσότερο) μπορεί να αναμένεται στο 70% έως 80% των περιπτώσεων. Τα αποτελέσματα των νευρικών μοσχευμάτων σε βλάβες μακριά από τον νευρούμενο μυ, όπως σε βλάβες του έξω, έσω και ραχιαίου δευτερεύοντος στελέχους καθώς και του μέσου, κερκιδικού, και ωλένιου νεύρου, είναι μάλλον αμφίβολα και μη σταθερά. Κινητική επανανεύρωση βαθμού 3 ή περισσότερο κατά MRC του καρπού και των καμπτήρων και εκτεινόντων των δακτύλων μπορεί να αναμένεται στο 50% με 60% των περιπτώσεων, αλλά δεν αναμένεται καμία επανανεύρωση των ενδογενών μυών της άκρας χειρός. Αισθητική επανανεύρωση βαθμού 3 ή περισσότερο κατά MRC στην περιοχή νεύρωσης του μέσου νεύρου μπορεί να αναμένεται στο 70% με 80% των περιπτώσεων.

Επιδιορθώσεις των A8 και Θ1 ριζών προς το κατώτερο πρωτεύον στέλεχος και το έσω δευτερεύον στέλεχος καθώς επίσης και από το έσω δευτερεύον στέλεχος προς το ωλένιο νεύρο φέρουν γενικά φτωχά αποτελέσματα και για το λόγο αυτό δεν συνιστώνται τέτοιου είδους ανακατασκευές.<sup>(79)</sup>

Σε παλαιότερες σειρές γινόταν προσπάθεια άμεσης ανακατασκευής όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων του βραχιονίου πλέγματος χωρίς τη χρήση νευρικών μεταφορών από δότες εκτός του πλέγματος (π.χ., παραπληρωματικό νεύρο, μεσοπλευρία νεύρα, φρενικό νεύρο). Ειδικά για την κατηγορία του τραυματισμού από ελκυσμό τα περιορισμένα τελικά αποτελέσματα μετά από άμεση επιδιόρθωση έχουν οδηγήσει σε αναθεώρηση της στρατηγικής ανακατασκευής και στην προσθήκη και νευρικών μεταφορών παρά στην αποκλειστική χρήση τους. Είναι σημαντικό να πραγματοποιείται άμεση επιδιόρθωση του πλέγματος σε συνδυασμό με νευρικές μεταφορές στον ίδιο ασθενή όποτε αυτό είναι δυνατό. Ο σκοπός μιας τέτοιας προσέγγισης «επικάλυψης» είναι να μεγιστοποιήσει την είσοδο των νευραξόνων προς τις απονευρωμένες δομές.<sup>(172)</sup> Όταν οι νευρομεταφορές συνεπικουρούν τις νευροσυρραφές εντός του πλέγματος τότε τα αποτελέσματα επί τραυματισμών ανωτέρου ή ολικού τύπου βελτιώνονται.<sup>(79)</sup> Ικανοποιητική (M3+) ανάνηψη λειτουργίας του ώμου (σταθεροποίηση, απαγωγή) και του αγκώνα (κάμψη) αποτελεί σταθερότερο εύρημα σε σχέση με περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκαν μόνο νευρομεταφορές ή μόνο νευροσυρραφές εντός του πλέγματος.

Έτσι π.χ. σε περίπτωση βλάβης του ανωτέρου βραχιονίου πλέγματος (A5 έως A7 ρίζες) αρκετοί συγγραφείς συνιστούν τη χρήση κλάδων του έσω θωρακικού νεύρου ή μιας δέσμης του ωλένιου νεύρου (μεταφορά Oberlin) προκειμένου επιπρόσθετα να ενισχύσουν όποια άμεση επιδιόρθωση προς το μυοδερματικό νεύρο.<sup>(79)</sup> Στις περιπτώσεις αυτές το μυοδερματικό νεύρο διαχωρίζεται σε μια επιμήκη κατεύθυνση. Το ένα περιφερικό μισό χρησιμοποιείται προκειμένου να λάβει νευράξονες από κλάδους του έσω θωρακικού νεύρου ή του ωλένιου νεύρου, ενώ το άλλο μισό αφήνεται άθικτο προκειμένου να λάβει νευράξονες

από άμεση επιδιόρθωση από δότες εντός του πλέγματος. Η νευρομεταφορά από δότες εκτός του πλέγματος εάν είναι δυνατό θα πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς παρεμβαλλόμενα μόσχευμα διότι η χρήση αυτών φαίνεται ότι μειώνει τα αποτελέσματα.<sup>(79)</sup> Αυτού του είδους η προσέγγιση «επικάλυψης» φαίνεται ότι έχει λογική διότι τουλάχιστον θεωρητικά μειοστοποιεί τον αριθμό των νευραξόνων που οδηγούνται στην απονευρωμένη δομή.

Παρόμοια, όταν το θωρακοραχιαίο νεύρο μπορεί να μεταφερθεί στο μασχαλιαίο νεύρο για να παρέχει λειτουργική ανάνηψη στο δελτοειδή μυ, αυτό γίνεται στο μισό του μασχαλιαίου νεύρου.<sup>(205)</sup> Αυτή η προσέγγιση έχει ένδειξη όταν κάποια είσοδος νευραξόνων προς το μασχαλιαίο νεύρο μπορεί να επιτευχθεί μέσω άμεσης επιδιόρθωσης και με δότρια περιοχή εντός του πλέγματος όπως πχ σύνδεση της Α5 ρίζα με παρεμβαλλόμενο μόσχευμα με το οπίσθιο κλάδο του άνω πρωτεύοντος στελέχους.

Αυτή η προσέγγιση «επικάλυψης» δεν χρησιμοποιείται στο υπερπλάτιο νεύρο το οποίο είτε επιδιορθώνεται άμεσα με μοσχεύματα από τις Α5 και Α6 ρίζες ή με νευρομεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου χωρίς άλλη επιπλέον είσοδο νευραξόνων.

Παρότι οι συνενπικουρούμενες τεχνικές «επικάλυψης» έχουν βελτιώσει το τελικό αποτέλεσμα, ακόμα υπάρχει μεγάλη απόσταση από το επιθυμητό στις σοβαρές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος, ιδίως για ασθενείς με πλήρη χαλαρή παράλυση του άνω άκρου, για τους οποίους η λειτουργική χρησιμότητα του άκρου μπορεί να είναι εντελώς περιορισμένη.  
(19,206)

Στην παρούσα μελέτη τα αποτελέσματα των νευροσυρραφών εντός του πλέγματος με ή χωρίς τη βοήθεια μοσχευμάτων ήταν πιο ικανοποιητικά σε σχέση με τη διενέργεια νευρομεταφορών, με το σύνολο σχεδόν των ασθενών (83%) να επιτυγχάνουν χρήσιμη λειτουργία (M3+ ή περισσότερο). Μάλιστα διαφάνηκε έντονη τάση για καλύτερα αποτελέσματα όταν η αποκατάσταση πραγματοποιήθηκε χωρίς την χρήση παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος. Επί χρήσης παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος τα αποτελέσματα έτειναν να είναι καλύτερα όταν χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 2 δέσμες για την ανακατασκευή. Η μείωση της απώλειας νευραξόνων με την άμεση νευροσυρραφή και ο αυξημένος αριθμός νευραξόνων που οδηγείται προς τον στόχο μπορούν να δικαιολογήσουν τις ανωτέρω διαπιστώσεις.

#### IV) Νευρομεταφορές

Οι εξελκυσμοί ριζών, όπου τα σπονδυλικά νεύρα αποσπώνται από το νωτιαίο μυελό, οδηγούν στην έλλειψη διαθέσιμων κεντρικών συνδέσεων και αποτελούν ανεπανόρθωτες βλάβες. Πολλοί τραυματισμοί του βραχιονίου πλέγματος στους ενήλικες είναι κλειστοί ή οφείλονται σε ελκυσμό στους οποίους το 55% έως 75% των νευρών υπόκεινται σε προγαγγλιακές βλάβες των ριζών ή σε εξελκυσμό.<sup>(78,141,140,184,185)</sup> Σε αυτές τις περιπτώσεις την κύρια χειρουργική τεχνική για ανακατασκευή του βραχιονίου πλέγματος αποτελεί η τεχνική της νευρομεταφοράς, η οποία συνεχώς αυξάνει σε σημασία και δημοτικότητα.  
(138,139,149) Η νευρομεταφορά είναι μία σκόπιμη μεταφορά ενός λειτουργικού αλλά λιγότερου σημαντικού νεύρου σε ένα περιφερικό, αλλά περισσότερο σημαντικό, απονευρωμένο εξελκυσμένο νεύρο εντός της ονομαζόμενης «χρυσής περιόδου», δηλαδή εντός 6 μηνών μετά τον τραυματισμό.<sup>(123,180,207,110)</sup> Μία ή περισσότερες νευρομεταφορές χρησιμοποιούνται για επανάκτηση της λειτουργίας του ώμου, του αγκώνα, ή του χεριού και παρέχουν πιθανώς τη μοναδική ευκαιρία για λειτουργική αποκατάσταση σε αυτό το πρώιμο στάδιο.<sup>(207)</sup>

Η πρόκληση για τον επανορθωτικό μικροχειρουργό είναι να προσδιορίσει και να θυσιάσει λιγότερο σημαντικές λειτουργίες, προκειμένου να οδηγήσει κινητικές ίνες προς την νευρώση πιο σημαντικών στόχων, ώστε να αποκατασταθούν βασικές λειτουργίες του άτονου και αναίσθητου άνω άκρου.<sup>(208)</sup> Η λειτουργία του υγιούς νεύρου που θυσιάζεται συνήθως εν

μέρει αντισταθμίζεται από τους υπόλοιπους μύες που διατηρούν την νεύρωσή τους. Αυτή η λειτουργική αντιστάθμιση μπορεί να πραγματοποιηθεί από απλή υπερτροφία των αγωνιστών ή, όταν υπάρχει μερική μόνο απονεύρωση (χρήση κλάδου μόνον από το υγιές νεύρο), από την ανάπτυξη μεγαλύτερων κινητικών μονάδων μετά από εκβλαστήσεις των τελικών αξόνων σε επίπεδο μυός.<sup>(209)</sup>

Οι χειρουργοί του βραχιονίου πλέγματος έχουν προτείνει διάφορους κινητικούς και αισθητικούς δότες εκτός του πλέγματος στην προσπάθειά τους να μεταφέρουν νεύρωση σε επιλεγμένους μύες ώστε να πετύχουν μια βασική λειτουργία στον ώμο, τον αγκώνα και την άκρα χείρα. Οι επιλογές βασίζονται αφενός στη φιλοσοφία, την γνώση, και την εμπειρία του χειρουργού, αφετέρου σε παράγοντες που σχετίζονται με τον ασθενή, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου που έχει παρέλθει από το τραυματισμό έως το χειρουργείο, την σοβαρότητα του τραυματισμού, την ηλικία, και την ικανότητα συνεργασίας για την συχνά εντατική αποκατάσταση. Επίσης, είναι κριτικής σημασίας η διαθεσιμότητα της γνώσης και της εξειδικευμένης αποκατάστασης. Οι στρατηγικές ανακατασκευής για τις μεθόδους νευρομεταφοράς διαφοροποιούνται με την πάροδο του χρόνου. Παρότι δεν υπάρχει κάποιος γενικά αποδεκτός αλγόριθμος ανακατασκευής για τις περιπτώσεις των νευρομεταφορών, συγκεκριμένες γενικές αρχές έχουν επιβεβαιωθεί ως ισχύουσες και θα πρέπει να εφαρμόζονται στις περισσότερες κλινικές καταστάσεις.<sup>(207)</sup>

Σε κάθε νευρομεταφορά, άμεση συρραφή χωρίς τάση είναι πάντα ανώτερη της έμμεσης συρραφής με παρεμβολή νευρικού μοσχεύματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα αληθές για ασθενή δότρια νεύρα όπως τα μεσοπλευρία νεύρα και το παραπληρωματικό νεύρο. Επιμήκης προσπέλαση τόσο του δότριου όσο και του λήπτριου νεύρου μπορεί να επιτρέψει καλύτερη κινητοποίηση και να κάνει εφικτή την άμεση νευρική συρραφή.

Σε ασθενείς με πλήρως χαλαρό άνω άκρο λόγω της έλλειψης δοτών εντός του πλέγματος θα πρέπει πάντα να γίνεται έλεγχος στο παθολογοανατομικό εργαστήριο των Α5 και Α6 ριζών για να διευκρινιστεί αν μπορούν να συνεισφέρουν ως δότες. Σε ασθενείς με εξελκυσμό των Α6-Θ1 ή Α7-Θ1 ριζών, οι εξωτρηματικά τραυματισμένες Α5 ή/και Α6 ρίζες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δότες για τοποθέτηση νευρικών μοσχευμάτων εντός του πλέγματος. Μια τέτοια ομόπλευρη νευρομεταφορά είναι πάντα ανώτερη από μια ετερόπλευρη νευρομεταφορά. Για παράδειγμα, από τη σκοπιά της λειτουργικότητας μία μεταφορά της ομόπλευρης Α5 ρίζας στο μέσο νεύρο θα είναι καλύτερη από μία μεταφορά της ετερόπλευρης Α7 ρίζας στο μέσο νεύρο. Η αντίστοιχη κίνηση έρχεται γρηγορότερα και είναι πιο ισχυρή στην ομόπλευρη νευρομεταφορά από ότι στην ετερόπλευρη. Ωστόσο, ένα συχνά παρατηρούμενο πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο τοποθέτησης μοσχευμάτων εντός του πλέγματος είναι η σύγχρονη σύσπαση ανταγωνιστών μυών.

Η υγεία του δότριου νεύρου είναι ένας σημαντικός καθοριστικός παράγοντας επιτυχίας. Για παράδειγμα, η επιτυχία της ομόπλευρης μεταφοράς της Α5 ρίζας στο μέσο νεύρο για τη λειτουργία του χεριού συνήθως καθορίζεται από το εάν το εγγύς κολόβωμα της Α5 ρίζας είναι υγιές. Προς το παρόν, η χρήση της μικροσκοπικής εμφάνισης του εγγύς κολοβώματος φαίνεται να είναι η πιο πρακτική προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα.

Η νευρομεταφορά είναι επιθυμητό να γίνεται κοντά στο μυ στόχο ούτως ώστε να μειωθεί ο χρόνος επανενεύρωσης.<sup>(140)</sup> Επιπρόσθετα με την περιφερικότερη συναρμογή των νευρομεταφορών ο στόχος είναι πιο ειδικός, και επομένως υπάρχει λιγότερη διασπορά των δότριων ινών, με αποτέλεσμα ο αριθμός των νευρικών ινών που οδηγούνται προς το όργανο στόχο να μεγιστοποιείται.

Γενικά, οι μεταφορές του φρενικού νεύρου είναι πιο χρήσιμες για την λειτουργία του ώμου ή του αγκώνα, οι μεταφορές του παραπληρωματικού νεύρου είναι πιο κατάλληλες για τον ώμο, και η μεταφορά των μεσοπλευρίων νεύρων είναι πιο κατάλληλη για τη κάμψη του αγκώνα. Όταν είναι διαθέσιμη, η μερική μεταφορά του ωλένιου νεύρου προτιμάται να

χρησιμοποιείται για την κάμψη του αγκώνα. Η μεταφορά της ετερόπλευρης A7 ρίζας μπορεί να είναι χρήσιμη για τους καμπτήρες του χεριού και την αίσθηση του χεριού. Το υπογλώσσιο νεύρο ή οι εν τω βάθει αυχενικοί κινητικοί κλάδοι χρησιμοποιούνται ως επιπρόσθετα νεύρα για το ώμο, όταν το φρενικό νεύρο είναι τραυματισμένο και υπάρχει παράλυση του διαφράγματος. Η αποκλειστική χρήση του υπογλώσιου νεύρου ή των εν τω βάθει αυχενικών κινητικών κλάδων δίνει γενικά κατώτερα αποτελέσματα, πιθανώς διότι ο μειωμένος αριθμός νευραξόνων που παρέχουν, ενώ αρχικά προορίζονταν για μικρές αποστάσεις πλέον υποχρεώνονται να ακολουθήσουν μια μακρά πορεία.<sup>(141)</sup>

Τέλος νευρομεταφορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για νεύρωση ενός ελεύθερου λειτουργικού μυός για διάφορες λειτουργίες.<sup>(163,162)</sup>

### ***α) Μυοδερματικό νεύρο (Κάμψη του αγκώνα)***

Η κάμψη του αγκώνα είναι μία από τις πιο σημαντικές και ζωτικές λειτουργίες του άνω άκρου, καθώς φέρνει το χέρι στο στόμα, αποτελώντας μία ενστικτώδη και πρωτόγονη κίνηση η οποία επιτρέπει τη σίτιση και επομένως την επιβίωση. Απώλεια της κάμψης του αγκώνα αποτελεί μείζον λειτουργικό έλλειμμα, και θα πρέπει να αποτελεί πρωταρχικό στόχο ανακατασκευής με όλα τα διαθέσιμα μέσα<sup>(199)</sup>.

Πολλοί συγγραφείς<sup>(97,141,200)</sup> προτιμούν να χρησιμοποιούν για νευρομεταφορές κινητικούς δότες μέσα από το πλέγμα εφόσον είναι διαθέσιμοι, καθώς δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δότες εντός του πλέγματος (που αποτελούνται από ρίζες ή πρωτεύοντα στελέχη) έχουν μεγαλύτερο αριθμό νευραξόνων από τους δότες εκτός του πλέγματος, και για αυτό το λόγο οι πιθανότητες μιας επιτυχούς νευρομεταφοράς είναι μεγαλύτερες.

Παρόμοια, σε ασθενείς με βλάβες εξελκυσμού του βραχιονίου πλέγματος ανώτερου τύπου, όταν οι A8 και Θ1 ρίζες είναι λειτουργικές, νευρικές μεταφορές εντός του πλέγματος είναι επίσης εφικτές και οδηγούν σε χρήσιμη κάμψη του αγκώνα.<sup>(141,210)</sup> Σε αυτές τις περιπτώσεις κλάδοι του έσω θωρακικού νεύρου, του θωρακοραχιαίου νεύρου ή δεσμίδες του ωλενίου νεύρου της ομόπλευρης πλευράς μπορούν να μεταφερθούν προς το μυοδερματικό νεύρο (κινητικό κλάδο του δικεφάλου).<sup>(24,114)</sup> Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των επεμβάσεων είναι ο ταχύς χρόνος κινητικής ανάνηψης επειδή η μεταφορά πραγματοποιείται τόσο κοντά προς τον μυ στόχο (εντός εκατοστών από τον δικέφαλο μυ), χωρίς την χρήση οποιουδήποτε παρεμβαλλόμενου νευρικού μοσχεύματος. Οι επεμβάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την αντιμετώπιση ασθενών με βλάβες εξελκυσμού ανωτέρου τύπου στους οποίους ο χρόνος που έχει παρέλθει ανάμεσα στον τραυματισμό και το χειρουργείο είναι περισσότερος από 6 μήνες. Ο Oberlin<sup>(100)</sup> χρησιμοποίησε τη μερική μεταφορά του ωλενίου νεύρου προς το μυοδερματικό νεύρο και πέτυχε εντυπωσιακά αποτελέσματα με μόνο υποκλινικά μετεγχειρητικά ελλείμματα του ωλενίου νεύρου. Η επιλογή της δεσμίδας με ίνες που πρωταρχικά προορίζονται για τον ωλένιο καμπτήρα τον καρπό μειώνει την δότρια νοσηρότητα. Οι ανωτέρω μέθοδοι είναι από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους και επιπρόσθετα είναι τεχνικά ευκολότερες, με γρηγορότερη ανάνηψη, λιγότερες επιπλοκές, και ανώτερο ή ισάξιο αποτέλεσμα με αυτό π.χ. μιας μεταφοράς μεσοπλεύριων νεύρων. Ωστόσο, οι οπαδοί της τεχνικής Oberlin την προτιμούν επειδή η τοποθέτηση μιας ωλένιας δεσμίδας στο κινητικό τμήμα του μυοδερματικού νεύρου είναι πολύ πιο εκλεκτική.<sup>(100)</sup>

Ανάλογου σχεδιασμού είναι η χρήση μιας δεσμίδας από το ομόπλευρο μέσο νεύρο για αποκατάσταση της λειτουργίας του δικεφάλου σε βλάβες εξελκυσμού του βραχιονίου πλέγματος ανώτερου τύπου, που πρωτοαναφέρθηκε το 2001 από τον Songcharoen.<sup>(154)</sup> και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και από άλλους συγγραφείς.<sup>(211)</sup> Η δεσμίδα που νευρώνει τον

κερκιδικό καμπήρα τον καρπό είναι αυτή η οποία αναζητείται. Χρησιμοποίησε αυτή την τεχνική σε 15 ασθενείς, εκ των οποίων οι 10 είχαν επανεκτίμηση για περισσότερο από δύο έτη. Περίπου το 80% των ασθενών επανέκτησαν λειτουργία του δικεφάλου M3 ή περισσότερο. Ο μέσος χρόνος για ανάνηψη λειτουργίας M3 ήταν 8 μήνες. Μετεγχειρητικά, τέσσερις ασθενείς είχαν παροδική παραισθησία στην κατανομή του μέσου νεύρου. Ένας ασθενής είχε αδυναμία MRC βαθμού M3 στον εν τω βάθει και επί πολλής καμπήρα των δακτύλων, στον μακρό καμπήρα του αντίχειρα, και στον βραχύ απαγωγό του αντίχειρα με μειωμένη αίσθηση, που σταδιακά βελτιώθηκαν σε MRC βαθμό M4 στους 18 μήνες. Τέλος πρόσφατα, με παρόμοιο τρόπο σκέψης, για εξελκυσμούς του βραχιονίου πλέγματος ανώτερου τύπου με ακέραη την A7 ρίζα ο Gu<sup>(147)</sup> πρότεινε νευρομεταφορά της ομόπλευρης A7 ρίζας στο άνω πρωτεύων στέλεχος.

Ωστόσο όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι δότες εντός του πλέγματος, όπως επί ολικού τύπου εξελκυσμό ή σε περιπτώσεις με σύγχρονο τραυματισμό και της A8 και Θ1 ρίζας, οι επιλογές στρέφονται αναγκαστικά σε δότες εκτός πλέγματος. Οι Yeoman και Seddon<sup>(122)</sup> εισήγαγαν την νευρομεταφορά των μεσοπλευρίων νεύρων στο μυοδερματικό νεύρο, σε περιπτώσεις εξελκυσμού. Επιπρόσθετα, κλάδοι του ομόπλευρου αυχενικού πλέγματος<sup>(93)</sup>, το ετερόπλευρο έξω θωρακικό νεύρο<sup>(212)</sup>, το παραπληρωματικό νεύρο<sup>(91)</sup>, το υπογλώσσιο νεύρο<sup>(134)</sup>, το φρενικό νεύρο<sup>(124)</sup>, η ετερόπλευρη A7 ρίζα<sup>(129)</sup>, επιλεγμένο μέρος της ετερόπλευρης A7 ρίζας<sup>(130)</sup>, και επιλεγμένο μέρος του ωλένιου νεύρου<sup>(101)</sup> χρησιμοποιούνται σήμερα για νευρομεταφορά προς το μυοδερματικό νεύρο.

Σε μια κριτική μετα-ανάλυση της Αγγλικής βιβλιογραφίας, ο Merrell εκτίμησε τα αποτελέσματα 965 νευρικών μεταφορών σε 26 μελέτες προκειμένου να καθορίσει το αποτέλεσμα των νευρικών μεταφορών για αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα.<sup>(114)</sup> Συνολικά, 71% των μεταφορών προς το μυοδερματικό νεύρο πέτυχαν  $\geq$ M3 κάμψη (ενάντια στη βαρύτητα), και 37% πέτυχαν  $\geq$ M4 κάμψη (ενάντια στη βαρύτητα, αλλά όχι φυσιολογικό). Τα δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενα δότρια νεύρα ήταν τα μεσοπλευρία (54%) και το παραπληρωματικό νεύρο (39%). Συνολικά, τα μεσοπλευρία νεύρα πέτυχαν  $\geq$ M3 στο 72% των ασθενών. Εάν χρησιμοποιούταν παρεμβαλλόμενο νευρικό μόσχευμα, τότε μόνο 47% πέτυχαν  $\geq$ M3 αποτελέσματα. Εάν το παραπληρωματικό νεύρο μεταφερόταν στο μυοδερματικό νεύρο, 77% των ασθενών είχαν αποκατάσταση της κάμψης του αγκώνα  $\geq$ M3, και 29% με  $\geq$ M4. Η μεταφορά Oberlin (δύο δεσμίδες από το ωλένιο νεύρο προς το μυοδερματικό νεύρο) είχαν σαν αποτέλεσμα 97%  $\geq$ M3 κάμψη, και 94%  $\geq$ M4 κάμψη.

Πιο αναλυτικά, η χρήση των μεσοπλευρίων νεύρων για άμεση νευρομεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο συνεχίζει να αποτελεί μια συνήθη προσέγγιση στην αποκατάσταση των σοβαρών βλαβών του πλέγματος, ιδίως των εξελκυσμών. Τα αποτελέσματα είναι καλά έως εξαιρετικά (περισσότερο από M3) στο 60 έως 70% των ασθενών.<sup>(62, 97, 141, 110, 207)</sup> Ο μέσος χρόνος για κινητική ανάνηψη βαθμού M3 είναι 12 μήνες. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 2 ετών μετά την επέμβαση, η λειτουργία του δικεφάλου συγχρονίζεται με τον αναπνευστικό κύκλο.<sup>(154)</sup> Στον τρίτο μετεγχειρητικό χρόνο, συνήθως επιτυγχάνεται εκούσιος έλεγχος του δικεφάλου αλλά εξακολουθεί να επιμένει η ακούσια σύσπαση κατά τη διάρκεια του βήχα και του φταρνίσματος. Με την τεχνική αυτή μπορεί επίσης να επιτευχθεί αισθητική ανάνηψη στην περιοχή του μυοδερματικού νεύρου. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 4 ετών, η αίσθηση γίνεται αντιληπτή μόνο στην περιοχή του θώρακα. Αργότερα, κάποια αίσθηση σημειώνεται επίσης στην περιοχή της νευρομεταφοράς.

Οι Berger και Becker<sup>(213)</sup> ανέφεραν μια σειρά 58 ασθενών, με καλά και εξαιρετικά αποτελέσματα σε 31%, χρησιμοποιώντας 1 έως 4 μεσοπλευρία νεύρα για νευρομεταφορά προς το μυοδερματικό νεύρο. Οι Chuang και συνεργάτες<sup>(110)</sup> ανέφεραν M3 και περισσότερο όσον αφορά στη βαθμονόμηση της κάμψης του αγκώνα σε 59% και 79% των ασθενών οι

οποίοι είχαν 2 ή 3 μεσοπλεύρια νεύρα, αντίστοιχα, για άμεση νευρομεταφορά προς το μυοδερματικό νεύρο. Οι Kawai και συνεργάτες<sup>(214)</sup> πέτυχαν δύναμη δικεφάλου M3 και περισσότερο σε όλους τους 6 ασθενείς που χειρουργήθηκαν με 2 έως 4 μεσοπλεύρια νεύρα τα οποία συνδέθηκαν χωρίς παρεμβολή μοσχεύματος στο μυοδερματικό νεύρο. Οι Kline και Hudson<sup>(215)</sup> παρουσίασαν λειτουργικά αποτελέσματα σε 57% 37 ασθενών στους οποίους έγινε νευρομεταφορά των μεσοπλεύριων νεύρων προς το μυοδερματικό νεύρο με παρεμβολή νευρικού μοσχεύματος. Οι Malessy και Thomeer<sup>(216)</sup> ανέφεραν καλύτερα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιούσαν 3 ή 4 μεσοπλεύρια νεύρα αντί για 2, και τα μετέφεραν απ' ευθείας χωρίς παρεμβαλλόμενο μόσχευμα στο μυοδερματικό νεύρο. Η μυϊκή ισχύς μετεγχειρητικά ήταν M3 ή περισσότερο σε 70% των ασθενών. Οι Minami και Ishii<sup>(95)</sup> πέτυχαν σε όλους τους 17 ασθενείς τους μυϊκή ισχύ M3 ή περισσότερο. Οι Ναγκάνο και συνεργάτες<sup>(120)</sup> παρουσίασαν τα αποτελέσματα της άμεσης σύνδεσης 2 μεσοπλεύριων νεύρων στο μυοδερματικό νεύρο σε 149 ασθενείς. Πέτυχαν καλά και εξαιρετικά αποτελέσματα σε 73% των περιπτώσεων. Οι Ochiai και συνεργάτες<sup>(217)</sup> πέτυχαν από M3 έως και M4- σε 76% από 21 ασθενείς που χειρουργήθηκαν με άμεση νευρομεταφορά 2 μεσοπλεύριων νεύρων. Οι Ogino και Naito<sup>(218)</sup> ανέφεραν 90% καλά και εξαιρετικά αποτελέσματα, ενώ οι Okinaga και Nagano<sup>(219)</sup> πέτυχαν παρόμοια αποτελέσματα σε όλους τους ασθενείς που χειρουργήθηκαν με νευρομεταφορά 2 μεσοπλεύριων νεύρων στο μυοδερματικό νεύρο. Οι Ruch και συνεργάτες<sup>(220)</sup> καθώς επίσης οι Samardzic και συνεργάτες<sup>(221)</sup>, παρουσίασαν χρήσιμη λειτουργία δικεφάλου σε 50% των ασθενών τους, ενώ ο Tonkin και συνεργάτες<sup>(222)</sup>, πέτυχαν δύναμη κάμψης του αγκώνα M3 ή περισσότερο σε 65% των ασθενών τους. Οι Waikakul και συνεργάτες<sup>(223)</sup> ανέφεραν παρόμοια αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας 3 μεσοπλεύρια νεύρα.

Τα μεσοπλεύρια νεύρα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν νεύρωση σε έναν ελεύθερο μεταφερόμενο μυ για κάμψη του αγκώνα, και παραμένουν μία καλή επιλογή για τις χρόνιες περιπτώσεις.<sup>(163)</sup> Το επίπεδο επιτυχίας είναι παρόμοιο με την άμεση νευρομεταφορά των μεσοπλεύριων στο μυοδερματικό νεύρο στις πρώιμες περιπτώσεις (περίπου 80%).

Από τις παραπάνω αναφορές που αφορούν στην νευρομεταφορά των μεσοπλεύριων νεύρων στο μυοδερματικό νεύρο, φαίνεται ότι η σημερινή πλειοψηφούσα γνώμη (consensus) είναι να χρησιμοποιούνται 3 μεσοπλεύρια νεύρα, ενώ οι περισσότερες σειρές πληθυσμών από την Ασία αναφέρουν εξίσου καλά αποτελέσματα με χρήση 2 μεσοπλεύριων νεύρων. Αυτή η διαφορά θα μπορούσε εν μέρει να ερμηνευθεί από τον μικρότερο σωματότυπο των Ασιατών ασθενών, και την συνεπαγόμενη μειωμένη ανάγκη για εισαγωγή νευραξόνων προκειμένου να κινηθεί ο δικέφαλος τους, εν συγκρίσει με το μεγαλύτερο δικέφαλο του Ευρωπαίου ή του Αμερικανού ασθενούς.

Οι αρχικές μεταφορές των μεσοπλεύριων νεύρων γινόντουσαν με τη βοήθεια παρεμβαλλόμενων μοσχευμάτων.<sup>(55, 99, 224, 119)</sup> Η εμπειρία όμως έχει δείξει ότι τα μεσοπλεύρια που τοποθετούνται άμεσα στο μυοδερματικό νεύρο παρέχουν πιο συχνά καλύτερα αποτελέσματα από αυτά με παρεμβαλλόμενα μοσχεύματα.<sup>(120, 225, 216)</sup> Αυτό, από την άλλη πλευρά, απαιτεί ευρύτερη προσπέλαση των μεσοπλεύριων νεύρων, και συνεπώς μια αύξηση στο χειρουργικό χρόνο για κάθε λήψη μεσοπλεύριου νεύρου. Το μυοδερματικό νεύρο διατέμνεται κοντά στην έκφυση του στο έξω δευτερεύον στέλεχος χωρίς να συμπεριλαμβάνεται ο κλάδος για τον κορακοβραχιόνιο μυ. Το περιφερικό κολόβωμα του μυοδερματικού νεύρου στη συνέχεια μεταφέρεται προς την μασχαλιαία κοιλότητα για να γίνει η συρραφή με τα μεσοπλεύρια νεύρα.

Ένα άλλο σημείο στην προσπέλαση των μεσοπλεύριων νεύρων που θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν είναι ότι ο κινητικός κλάδος του νεύρου, ο οποίος βρίσκεται βαθύτερα απ ότι ο αισθητικός κλάδος, είναι πιο επιρρεπής σε νευροαπραξία. Για το λόγο αυτό, είναι



υποχρεωτικό να επιβεβαιώνεται η λειτουργικότητά του με τον ηλεκτροδιεγέρτη όσο το δυνατόν νωρίτερα, προκειμένου να ακολουθηθεί κατά την προσπέλαση με ασφάλεια ο κινητικός κι όχι ο αισθητικός κλάδος.

Πέντε κλινικά σημεία λειτουργικής ανάνηψης εμφανίζονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της μετεγχειρητικής πορείας. Το νωρίτερα εμφανιζόμενο σημείο είναι η δοκιμασία συμπίεσης του δικεφάλου, στην οποία συμπίεση του δικεφάλου προκαλεί θωρακικό πόνο. Αυτό το σημείο συνήθως εμφανίζεται στις πρώτους 3 μετεγχειρητικούς μήνες. Το δεύτερο σημείο ανάνηψης είναι η ορατή σύσπαση του δικεφάλου, χωρίς όμως πραγματική κίνηση στην άρθρωση του αγκώνα (M1), κατά τη διάρκεια της βαθιάς εισπνοής. Το σημείο αυτό συνήθως εμφανίζεται 3 με 6 μήνες μετεγχειρητικά. Από αυτό το σημείο και μετά, ενθαρρύνονται επαγωγικές ασκήσεις (περπάτημα ή τρέξιμο για τουλάχιστον δύο χιλιόμετρα κάθε ημέρα). Το τρίτο σημείο ανάνηψης είναι η κίνηση στον αγκώνα με υποστήριξη του αγκώνα και εξάλειψη της βαρύτητας (M2), το οποίο εμφανίζεται συνήθως 6 με 12 μήνες μετεγχειρητικά. Το τέταρτο σημείο ανάνηψης είναι κάμψη του αγκώνα ενάντια στη βαρύτητα (M3), το οποίο εμφανίζεται 12 με 18 μήνες μετεγχειρητικά. Όταν η μυϊκή ισχύς έχει φτάσει το βαθμό M3, η μυϊκή δύναμη μπορεί να αυξηθεί με ασκήσεις υπό αντίσταση. Η δύναμη αυξάνει σταθερά με ένα ρυθμό μισού κιλού κάθε 6 μήνες έως ένα μέγιστο ανύψωσης 3 έως 6 κιλών.<sup>(207)</sup>

Το παραπληρωματικό νεύρο είναι εξίσου καλός δότης νευρομεταφοράς προς το μυοδερματικό νεύρο. Οι Bentolila και συνεργάτες<sup>(226)</sup> ανέφεραν 83% καλά έως εξαιρετικά αποτελέσματα (M3+ ή περισσότερο) όσον αφορά στην ανάνηψη της λειτουργίας του δικεφάλου μετά από μεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου στο μυοδερματικό νεύρο σε 6 ασθενείς. Οι Songcharoen και συνεργάτες<sup>(227)</sup> ανέφεραν καλή έως εξαιρετική κάμψη του αγκώνα (M3+ ή περισσότερο) σε 73% των ασθενών τους, στους οποίους έγινε νευρομεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου στο μυοδερματικό νεύρο, σε ένα πληθυσμό 216 ασθενών με παράλυση του βραχιονίου πλέγματος. Ο Alnot<sup>(140)</sup> χρησιμοποίησε το παραπληρωματικό νεύρο με 55% ποσοστό επιτυχούς λειτουργίας του αγκώνα. Ο Richardson<sup>(228)</sup> και οι Samardzic και συνεργάτες<sup>(221)</sup> ανέφεραν καλά έως εξαιρετικά αποτελέσματα στο 50% και 65%, αντίστοιχα, ασθενών που χειρουργήθηκαν με μεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου (6 και 20 ασθενείς, αντίστοιχα). Οι Waikakul και συνεργάτες<sup>(223)</sup> αναφέρουν ότι, σε 96 ασθενείς, η χρήση του παραπληρωματικού νεύρου ως δότη για νευρομεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο διαμέσου παρεμβαλλόμενου νευρικού μοσχεύματος έδωσε καλά και εξαιρετικά αποτελέσματα στο 88% των ασθενών.

Στην περίπτωση νευρομεταφοράς του παραπληρωματικού νεύρου τα κύρια μειονεκτήματα είναι τα εξής: Πρώτα πρώτα, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση παρεμβαλλόμενου νευρικού μοσχεύματος. Το άλλο μειονέκτημα είναι η μεικτή ύπαρξη τόσο κινητικών όσο και αισθητικών νευραξόνων εντός του ίδιου λήπτη. Για να αποφευχθεί η απώλεια κινητικών νευραξόνων, απαιτείται ένα αρκετά μακρύτερο παρεμβαλλόμενο μόσχευμα ανάμεσα στο παραπληρωματικό και τον κινητικό κλάδο προς τον δικέφαλο. Μία άλλη πιθανή λύση για να αποφευχθεί η απώλεια κινητικών νευραξόνων είναι η άμεση νευρομυϊκή νευρομεταφορά του έξω δερματικού νεύρου του αντιβραχίου στον δικέφαλο μυ.<sup>(24)</sup>

Καλά αποτελέσματα υπάρχουν και με τη χρήση του φρενικού νεύρου ως πηγή νευραξόνων για νευρική μεταφορά.<sup>(124, 127, 229)</sup> Η ακούσια κίνηση του επανανευρομένου δικεφάλου σταδιακά αλλάζει σε εκούσια κίνηση μετά τα δύο χρόνια.<sup>(154)</sup> Όταν το φρενικό νεύρο λαμβάνεται στην αυχενική περιοχή απαιτείται παρεμβαλλόμενο νευρικό μόσχευμα. Ο Gu και συνεργάτες<sup>(124)</sup> εισήγαγαν το φρενικό νεύρο ως ένα πολύτιμο δότη στις περιπτώσεις σοβαρού τραυματισμού του βραχιονίου πλέγματος που περιλαμβάνει εξελκυσμό ριζών. Έδειξαν ότι η νευρομεταφορά του φρενικού νεύρου στο μυοδερματικό νεύρο έδωσε καλά αποτελέσματα

στα 75% των ασθενών τους. Οι Hou και Xu<sup>(230)</sup> χρησιμοποιώντας το φρενικό νεύρο για νευρομεταφορά στο μυοδερματικό νεύρο σε 12 ασθενείς με ή χωρίς παρεμβολή νευρικού μοσχεύματος, πέτυχαν λειτουργία του δικεφάλου τουλάχιστον M3 στο 66% των ασθενών τους, ενώ 2 ασθενείς (17%) παρουσίασαν μυϊκή ισχύ περισσότερο από M4. Οι El-Gammal και συνεργάτες<sup>(231)</sup> πέτυχαν ισχυρή κάμψη του αγκώνα (M4) σε όλους τους ασθενείς όταν ανακατασκεύασαν το μυοδερματικό νεύρο χρησιμοποιώντας το φρενικό νεύρο ως δότη. Οι Xu και συνεργάτες<sup>(125)</sup> περιέγραψαν τη χρήση του φρενικού νεύρου, το οποίο ελάμβαναν στο πλήρες μήκος του μέσω θωρακοσκοπικής επέμβασης με χρήση βίντεο, για να το μεταφέρουν άμεσα στο μυοδερματικό νεύρο χωρίς την παρεμβολή νευρικών μοσχευμάτων. Εφάρμοσαν αυτή την τεχνική σε 15 ασθενείς, και είχαν λειτουργική ανάνηψη της κάμψης του αγκώνα (M3+ ή περισσότερο) στο 55% εξ αυτών. Χρησιμοποιώντας το φρενικό νεύρο με τη χρήση παρεμβαλλόμενου νευρικού μοσχεύματος, οι ίδιοι συγγραφείς ανέφεραν λειτουργική ανάνηψη στο 75% των 29 ασθενών που χειρουργήσαν.

Παρόλα αυτά, η εμπειρία μερικών συγγραφέων είναι ότι η απώλεια της λειτουργίας του φρενικού νεύρου δεν είναι χωρίς δευτεροπαθείς επιπλοκές, όπως ατελεκτασία και πνευμονία και περιστασιακά παράπονα των ασθενών για έλλειψη οξυγόνου.<sup>(79)</sup>

Η χρήση της ετερόπλευρης A7 ρίζας ως δότη για νευρικές μεταφορές επίσης απαιτεί σχετικά μακριά μοσχεύματα.<sup>(128)</sup> Η A3 και A4 νευρικές ρίζες καθώς και οι κινητικοί κλάδοι του αυχενικού πλέγματος που προέρχονται από αυτές αποτελούν επίσης δότες νευραξόνων έξω από το πλέγμα αν και φέρνουν λιγότερους κινητικούς νευράξονες από ότι το παραπληρωματικό νεύρο και η ετερόπλευρη A7 ρίζα.<sup>(232, 233, 234)</sup>

Τα αποτελέσματα μετά από νευρομεταφορά του υπογλώσσιου νεύρου στο μυοδερματικό νεύρο είναι απογοητευτικά.<sup>(136, 137)</sup> Ο Malessy<sup>(137)</sup> ανέφερε ότι μόνο 21% των 14 ασθενών ανέκτησαν κινητική ισχύ MRC βαθμού M3 ή περισσότερο. Εκούσιος έλεγχος δεν επιτεύχθηκε ποτέ, και η σύσπαση του μυός μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο με κίνηση της γλώσσας.

Τέλος η τεχνική μεταφοράς ελεύθερου μυός (έμισχου ή ελεύθερου) είναι μια άλλη μέθοδος που μπορεί να επιτύχει κάμψη του αγκώνα. Σε παραλλαγή της μεθόδου ο Doi<sup>(162)</sup> ανέπτυξε την μεταφορά ελεύθερου μυός διπλής λειτουργίας σε δύο στάδια για σύγχρονη αποκατάσταση της κάμψης και της έκτασης του αγκώνα και των δακτύλων χρησιμοποιώντας το παραπληρωματικό νεύρο με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η μέθοδος αυτή όχι μόνο επιτυγχάνει λειτουργία του κοινού εκτεινόντα των δακτύλων αλλά επίσης υποβοηθά την κάμψη του αγκώνα. Μερικοί συγγραφείς<sup>(207)</sup> χρησιμοποιούν πλέον το παραπληρωματικό νεύρο μόνο σε περιπτώσεις ολικού τύπου εξελκυσμό των ριζών και με μόνο για ελεύθερη μεταφορά μυός σε ένα δεύτερο όψιμο στάδιο.

Στην παρούσα μελέτη τα αποτελέσματα των νευρομεταφορών στο μυοδερματικό υπήρξαν σταθερά ικανοποιητικά, με συνολικά τα 2/3 των ασθενών να επιτυγχάνουν χρήσιμη κινητική ανάνηψη (M3+ ή περισσότερο). Δότες τόσο εντός όσο και εκτός του πλέγματος υπήρξαν εξίσου αξιόπιστοι, μια και δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική υπεροχή στα αποτελέσματα χρήσης συγκεκριμένου δότη (πιθανώς και εξαιτίας του μικρού αριθμού των ασθενών σε κάθε δότερ υποομάδα). Παρόλα αυτά διαφάνηκε ότι κάποιοι κινητικοί δότες έχουν τάση να προσφέρουν καλύτερη λειτουργία σε σύγκριση με άλλους, πχ η χρήση ωλένιου κλάδου (μέθοδος Oberlin) φαίνεται ότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό θα μπορούσε ίσως να ερμηνευθεί από την άμεση νευρομεταφορά του κλάδου του ωλενίου έναντι της έμμεσης μέσω παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος άλλων δοτών τόσο εντός (A5 ρίζα) όσο και εκτός του πλέγματος (παραπληρωματικό, φρενικό).

Στους μισούς ασθενείς χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός κινητικών δοτών για να επανανευρωθεί ο δικέφαλος, χωρίς ωστόσο να παρατηρηθεί στατιστικά σημαντική διαφορά

στην λειτουργία που επιτεύχθηκε σε σύγκριση με το αποτέλεσμα μιας μοναδικής νευρομεταφοράς στο μυοδερματικό νεύρο. Παρόλα αυτά, πιστεύουμε ότι αυτού του είδους η νευρομεταφορά θα πρέπει να αποτελεί τη δόκιμη προσέγγιση κατά την ανακατασκευή προκειμένου να οδηγήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερους κινητικούς νευράξονες προς το στόχο που θέλουμε να επανανευρώσουμε (πχ το μυοδερματικό).

Συμπερασματικά, όσον αφορά στην αντιμετώπιση της παράλυσης του δικεφάλου επί εξελκυσμού, η ανακατασκευή συχνά αναγκαστικά βασίζεται σε δότες εκτός του πλέγματος, παρά το γεγονός ότι η επιστροφή της λειτουργίας του δικεφάλου είναι πιθανώς μεγαλύτερη και πιο γρήγορη όταν χρησιμοποιούνται δότες εντός του πλέγματος. Νευρομεταφορές εκτός του πλέγματος μπορούν να δώσουν περισσότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό, καθώς ένας αυξημένος αριθμός κινητικών νευραξόνων οδηγούνται προς το στόχο (πχ μυοδερματικό νεύρο), και για το λόγο αυτό η πιθανότητα μιας επιτυχούς νευρομεταφοράς είναι μεγαλύτερη.

***β) Υπερπλάτιο νεύρο ± Μασχαλιαίο νεύρο (Σταθεροποίηση του ώμου, απαγωγή και έξω στροφή) έναντι Θωρακικού νεύρου (Βραχιονοθωρακική σύλληψη με προσαγωγή του βραχίονα έναντι του θώρακα)***

Η σταθεροποίηση του ώμου αποτελεί υψηλή προτεραιότητα, επειδή οι πιο περιφερικές λειτουργίες εξαρτώνται από ένα σταθερό και λειτουργικό ώμο.<sup>(235)</sup> Η σχετική προτεραιότητα της ενεργητικής απαγωγής ή προσαγωγής του ώμου εξαρτάται από τη φιλοσοφία του κάθε χειρουργού. Η προσαγωγή του ώμου παρέχει μια αύξηση στη δύναμη σύλληψης μεταξύ βραχίονα και κορμού, αλλά η ισχυρή απαγωγή του ώμου μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερο εύρος κίνησης για το βραχίονα και το αντιβράχιο και θεωρείται από τους περισσότερους συγγραφείς ως μία από τις δύο πιο απαραίτητες λειτουργίες για ένα χρήσιμο βραχίονα. Η έξω στροφή του ώμου αποτελεί τη δεύτερη σημαντική λειτουργία. Η αρθρόδεση του ώμου είναι τεχνικά δύσκολη, και η πολύ περιορισμένη κίνηση στον ώμο που επιτυγχάνεται δεν εκτιμάται από τους ασθενείς, ιδίως εάν δεν διατηρείται ενεργητική ωμοπλάτιοθωρακική κίνηση.<sup>(236)</sup> Για τους λόγους αυτούς, οι περισσότεροι συγγραφείς προτιμούν την νευρομεταφορά στο υπερπλάτιο νεύρο και την αποκατάσταση της απαγωγής (και της έξω στροφής) του ώμου ως στόχου για ανακατασκευή.<sup>(207)</sup>

Η έναρξη της απαγωγής είναι η πιο σημαντική και παρέχεται από τον υπερακάνθιο για τις πρώτες 30 - 40°. Ωστόσο, η απαγωγή του ώμου αποτελεί έναν αρκετά πολύπλοκο μηχανισμό, που απαιτεί τη σύγχρονη, συνδυασμένη κίνηση της ωμοπλάτης και του βραχιονίου και την συγχρονισμένη δράση τουλάχιστον οχτώ μυών προκειμένου να επιτευχθεί η πλήρης απαγωγή του ώμου. Η κατάσταση αυτή εξηγεί γιατί οι νευρομεταφορές για την απαγωγή του ώμου επί εξελκυσμού του ανωτέρου πλέγματος (A5, A6, ή A7 ρίζας) συνήθως έχουν καλύτερα αποτελέσματα από ότι επί ολικού τύπου εξελκυσμό ριζών παρότι χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική. Έτσι εάν ο υπερακάνθιος, ο υπακάνθιος, και ο δελτοειδής μυς νευρωθούν συγχρόνως, είναι δυνατός ένας μέσος όρος 60° απαγωγής στον ώμο σε ασθενείς με ολικού τύπου εξελκυσμό ριζών, ενώ είναι δυνατός ένας μέσος όρος 90° ή περισσότερο σε ασθενείς με εξελκυσμό των ανωτέρων ριζών.<sup>(207)</sup> Ο υπερακάνθιος και ο υπακάνθιος μυς νευρώνονται από το υπερπλάτιο νεύρο, και ο δελτοειδής μυς νευρώνεται από το μασχαλιαίο νεύρο. Το μασχαλιαίο νεύρο μπορεί να αγνοηθεί στις πιο σοβαρές βλάβες του βραχιονίου πλέγματος, επειδή απλή παράλυση του μασχαλιαίου νεύρου δεν οδηγεί σε σημαντική παράλυση της λειτουργίας του ώμου. Ωστόσο η σύγχρονη νευρομεταφορά στο μασχαλιαίο νεύρο οδηγεί στην ανάκτηση ισχυρότερης απαγωγής.<sup>(123,235)</sup>

Η κλασική προσέγγιση για την ανακατασκευή του υπερπλάτιου νεύρου προτιμά τη χρήση δοτών εντός του πλέγματος, εφόσον είναι διαθέσιμοι.<sup>(235)</sup> Γενικά τα αποτελέσματα μιας ανακατασκευής που χρησιμοποιεί ως δότες εγγύς υγιείς ρίζες θεωρούνται ανώτερα, μια και αυτοί οι δότες παρέχουν μεγαλύτερο αριθμό νευραξόνων από ότι δότες εκτός του πλέγματος. Ωστόσο, νευρομεταφορές από δότες εκτός πλέγματος είναι συχνά αναγκαίες λόγω έλλειψης δοτών εντός του πλέγματος.<sup>(237)</sup>

Σε μια κριτική μετα-ανάλυση της Αγγλικής βιβλιογραφίας, ο Merrell εκτίμησε τα αποτελέσματα 123 νευρικών μεταφορών σε 8 μελέτες προκειμένου να καθορίσει το αποτέλεσμα των νευρικών μεταφορών για αποκατάσταση της απαγωγής του ώμου.<sup>(114)</sup> Συνολικά, 73% των ασθενών πέτυχαν  $\geq$ M3 απαγωγή του ωμού, και 26% πέτυχαν  $\geq$ M4 απαγωγή. Το παραπληρωματικό νεύρο χρησιμοποιήθηκε στο 41% και τα μεσοπλεύρια νεύρα στο 26%. Το παραπληρωματικό νεύρο (98%) είναι σημαντικά καλύτερο από τα μεσοπλεύρια νεύρα (56%) στο να επιτευχθεί  $\geq$ M3 απαγωγή. Καλά αποτελέσματα, ωστόσο, εξασφαλίζουν μόνο περίπου 45 μοίρες απαγωγής του ώμου. Σε όλες σχεδόν τις σειρές η έξω στροφή δεν αποκαταστάθηκε στον ίδιο βαθμό με αυτόν της απαγωγής πιθανότατα λόγω βλάβης του υπερπλάτιου νεύρου και σε δεύτερο επίπεδο (προς τον κλάδο για τον υπακάνθιο).<sup>(238, 62, 145, 239, 240)</sup>

Το παραπληρωματικό νεύρο είναι αμιγώς κινητικό, έχει λειτουργικά χαρακτηριστικά παραπλήσια με αυτά του υπερπλάτιου νεύρου και εφόσον κινητοποιηθεί επαρκώς μπορεί να μεταφερθεί χωρίς παρεμβολή μοσχεύματος στο υπερπλάτιο νεύρο. Η μεταφορά του παραπληρωματικού νεύρου προς το υπερπλάτιο είχε αρχικά απορριφθεί από τον Allieu και συνεργάτες<sup>(91, 241)</sup> εξαιτίας πτωχών λειτουργικών αποτελεσμάτων και αντιπρότειναν την χρήση του για νευρομεταφορά στο μυοδερματικό με παρεμβολή μοσχεύματος. Ωστόσο, σε νεότερες σειρές αυτή η τεχνική έχει αποδειχθεί αποτελεσματική, ιδίως εάν το παραπληρωματικό νεύρο μεταφέρεται τελικοτελικά παρά με τη χρήση παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος.<sup>(97, 139, 242, 123, 243)</sup> Ο Songcharoen σε μία μεγάλη σειρά 350 ασθενών αναφέρει λειτουργικά αποτελέσματα ( $\geq$ M3) στο 80% των ασθενών.<sup>(118, 34)</sup> Ασθενείς με καλά αποτελέσματα από την νευρομεταφορά του παραπληρωματικού στο υπερπλάτιο συνήθως επιτυγχάνουν απαγωγή του ώμου της τάξης των 70°, κάμψη 60° και έξω στροφή 30° με μέσο χρόνο ανάνηψης λειτουργίας βαθμού M3 τους 17,5 μήνες.<sup>(154)</sup> Η νευρομεταφορά του παραπληρωματικού στο μασχαλιαίο (επίσης με παρεμβαλλόμενο μόσχευμα) είναι μια σχετικά καλή εναλλακτική λύση σε σχέση με την νευρομεταφορά του παραπληρωματικού στο υπερπλάτιο για αποκατάσταση της απαγωγής του ώμου. Ο ασθενής μπορεί να επιτύχει 60° απαγωγής του ώμου και 45° κάμψης χωρίς ωστόσο έξω στροφή.<sup>(154)</sup>

Το φρενικό νεύρο είναι επίσης ένας ισχυρός δότης και το υπερπλάτιο νεύρο θεωρείται ο καλύτερος λήπτης του επειδή η νευρομεταφορά μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την παρεμβολή νευρικού μοσχεύματος. Ασθενείς με καλά αποτελέσματα αποκτούν 70° απαγωγής του ώμου και 30° εξωτερική στροφής με μέσο χρόνο ανάνηψης λειτουργίας βαθμού M3 περίπου τους 8 μήνες.<sup>(154)</sup> Όταν χρησιμοποιείται για να νευρώσει την A5 ρίζα ή τον οπίσθιο κλάδο του άνω πρωτεύοντος στελέχους, μπορεί να επανανευρώσει το δελτοειδή. Μερικές φορές, η λειτουργία του τρικέφαλου και του κερκιδικού εκτείνοντα τον καρπό μπορεί να αποκατασταθεί στον ίδιο χρόνο. Όταν ωστόσο το φρενικό νεύρο λαμβάνεται στην αυχενική περιοχή και μεταφέρεται προς το μασχαλιαίο νεύρο, απαιτείται παρεμβαλλόμενο νευρικό μόσχευμα. Ασθενείς με καλά αποτελέσματα από νευρομεταφορά του φρενικού προς το μασχαλιαίο νεύρο αποκτούν 70° απαγωγής του ώμου και πρόσθιας κάμψης.<sup>(154)</sup>

Όταν γίνεται σύγχρονη ανακατασκευή του υπερπλάτιου και του μασχαλιαίου νεύρου με διάφορους συνδυασμούς δοτών (π.χ., παραπληρωματικό, φρενικό, μεσοπλεύρια, αυχενικοί κινητικοί κλάδοι), ο βαθμός της απαγωγής του ώμου που επιτυγχάνεται είναι ανώτερος από

αυτόν που παρατηρείται σε μία μοναδική νευρομεταφορά. <sup>(123, 62, 238)</sup> Αυτή η σύγχρονη ανακατασκευή θα πρέπει να επιχειρείται, ιδίως σε τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος ανώτερου τύπου, όπου οι στόχοι ανακατασκευής είναι λιγότεροι και επομένως οι διαθέσιμοι δότες περισσότεροι. <sup>(244)</sup>

Όπως προαναφέρθηκε η νευρομεταφορά του παραπληρωματικού ή του φρενικού νεύρου στο μασχαλιαίο νεύρο συνήθως απαιτεί ένα μακρύ μόσχευμα (πάνω από δέκα εκατοστά). Προκειμένου να αποφευχθεί αυτή η κατάσταση, το παραπληρωματικό νεύρο ή το φρενικό νεύρο μπορούν να μεταφερθούν στον οπίσθιο κλάδο του άνω πρωτεύοντος στελέχους, καθιστώντας μη απαραίτητη τη χρήση νευρικού μοσχεύματος, μια και το μασχαλιαίο νεύρο αναδύεται από τον οπίσθιο κλάδο του άνω πρωτεύοντος στελέχους.

Για τραυματισμούς του βραχιονίου πλέγματος ανώτερου τύπου υπάρχουν και άλλοι πιθανοί δότες. Πρόσφατα, ο Leechavengvongs <sup>(106)</sup> ανέφερε εξαιρετικά αποτελέσματα με νευρομεταφορά κλάδου για την μακρά κεφαλή του τρικέφαλου προς στο μασχαλιαίο νεύρο, πετυχαίνοντας απαγωγή του ώμου της τάξης των 124°. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώθηκαν και από άλλους συγγραφείς οι οποίοι δεν παρατήρησαν μετεγχειρητικά κλινικά σημαντικό έλλειμμα στη λειτουργία του τρικεφάλου. <sup>(211, 145)</sup>

Η μεταφορά των μεσοπλεύριων νεύρων προς το μασχαλιαίο ή υπερπλάτιο νεύρο, όπως και σε άλλα εγγύς νευρικά τμήματα του πλέγματος, δεν θεωρείται κατάλληλη, γιατί συνήθως οδηγεί σε πτωχό αποτέλεσμα. <sup>(207)</sup> Ομοίως τα αποτελέσματα μετά από νευρομεταφορά του υπογλώσσιου νεύρου στο υπερπλάτιο νεύρο είναι απογοητευτικά. <sup>(136, 137)</sup>

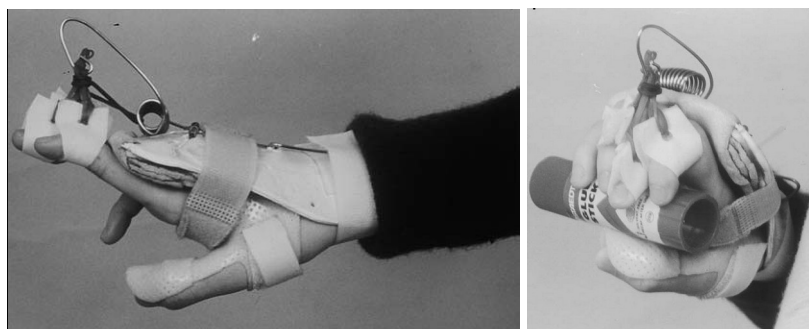
Στην παρούσα μελέτη τα αποτελέσματα των νευρομεταφορών στο υπερπλάτιο υπήρξαν εξαιρετικά, με 9 στους 10 ασθενείς να επιτυγχάνουν χρήσιμη κινητική ανάνηψη (M3+ ή περισσότερο). Δότες τόσο εντός όσο και εκτός του πλέγματος υπήρξαν εξίσου αξιόπιστοι, μια και δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική υπεροχή στα αποτελέσματα χρήσης συγκεκριμένου δότη (πιθανώς και εξαιτίας του μικρού αριθμού των ασθενών σε κάθε δότρια υποομάδα). Στην μεγάλη πλειονότητα των ασθενών χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς το παραπληρωματικό νεύρο προσδίδοντας ανάκτηση μυϊκής ισχύος της τάξης μεταξύ M3+/M4- κατά μέσο όρο. Αυτό θα μπορούσε ίσως να ερμηνευθεί από την άμεση συνήθως νευρομεταφορά του παραπληρωματικού στο υπερπλάτιο για την επανανεύρωση σχετικά κοντινών μυών στόχων καθώς επίσης και στο γεγονός ότι το παραπληρωματικό νεύρο, εξαιτίας της πορείας του, συνήθως βρίσκεται έξω από την ζώνη τραυματισμού και εν αντιθέση με τους δότες εντός του πλέγματος διατηρεί την ακεραιότητα των νευραξόνων του.

Όσον αφορά στο μασχαλιαίο νεύρο, 6 στους 10 ασθενείς στους οποίους διενεργήθηκε νευρομεταφορά πέτυχαν χρήσιμη (περισσότερο από M3) λειτουργία της τάξης ενδιάμεσα σε M3+/M4-. Αν και δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική υπεροχή στα αποτελέσματα χρήσης συγκεκριμένου δότη, ωστόσο διαφάνηκε έντονη η τάση για καλύτερα αποτελέσματα με τη χρήση κλάδου του κερκιδικού (προς την έσω ή μακρά κεφαλή του τρικεφάλου). Αυτό θα μπορούσε ίσως να ερμηνευθεί από την άμεση νευρομεταφορά του κλάδου του κερκιδικού έναντι της έμμεσης μέσω παρεμβαλλόμενου μοσχεύματος άλλων δοτών τόσο εντός (A5 ρίζα) όσο και εκτός του πλέγματος (φρενικό, αυχενικός κλάδος).

**γ) Μέσο νεύρο (Αίσθηση στην κατανομή του μέσου νεύρου ± κάμψη του καρπού και των δακτύλων)**

Η αποκατάσταση της λειτουργίας κάτω από τον αγκώνα σε ολικού τύπου εξελκυσμό ριζών (A5 έως Θ1) ή σχεδόν ολικού τύπου εξελκυσμό ριζών (εξελκυσμός A7 έως Θ1 ριζών που συνοδεύονται από διατομή ή εξελκυσμό της A5 ή A6 ρίζας) είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για τους χειρουργούς βραχιονίου πλέγματος. Είναι αδύνατον να αποκατασταθούν όλες οι λειτουργίες, όπως η λειτουργία των ενδογενών μυών στο χέρι και ο υπτιασμός ή ο πρηνισμός στο αντιβράχιο.<sup>(245)</sup>

Η έκταση των φαλαγγοφαλαγγικών αρθρώσεων (εγγύς και άπω) και η έσω στροφή του αντίχειρα για αντίθεση μπορούν να υποβοηθηθούν με στατικούς ή δυναμικούς νάρθηκες (εικ. 10).



**Εικόνα 10.** Η έκταση των φαλαγγοφαλαγγικών αρθρώσεων παρέχεται από ένα δυναμικό νάρθηκα, ενώ ένας νάρθηκας αντίθεσης παρέχει βελτιωμένη θέση στον αντίχειρα.

Ο πρηνισμός του αντιβραχίου μπορεί να βοηθηθεί με την απαγωγή του ώμου, ενώ ο υπτιασμός του αντιβραχίου μπορεί να βοηθηθεί με αναδρομολόγηση του δικεφάλου μυός όταν η μυϊκή ισχύς του δικεφάλου είναι  $\geq M4$ . Τέλος ένας ασταθής καρπός μπορεί να σταθεροποιηθεί με αρθρόδεση του καρπού.

Εξαιτίας των ανωτέρω, η κύρια αποκατάσταση εστιάζεται στην κάμψη των δακτύλων (λειτουργία του επιπολής ή εν τω βάθει καμπτήρα των δακτύλων) και στην αίσθηση και σε δεύτερη προτεραιότητα βρίσκεται η αποκατάσταση της έκτασης των δακτύλων.

Η νευρομεταφορά στο μέσο νεύρο, είτε από τις ομόπλευρες A5 ή A6 ρίζες ή από την ετερόπλευρη A7 ρίζα προκειμένου να επιτευχθεί η κάμψη των δακτύλων και αίσθηση παραμένει η μόνη δυνατή η χειρουργική παρέμβαση.<sup>(246)</sup> Η νευρομεταφορά του παραπληρωματικού προς το μέσο νεύρο έχει οδηγήσει σε πτωχά αποτελέσματα.<sup>(154)</sup>

Ο Songcharoen αναφέρει 111 ασθενείς που αντιμετωπίστηκαν με νευρομεταφορά του ημίσεως της ετερόπλευρης A7 στο μέσο νεύρο.<sup>(154)</sup> Από τους ασθενείς που αντιμετωπίστηκαν με πρωτογενή επέμβαση και οι οποίοι επανελέγχτηκαν για περισσότερο από 3 έτη, 30% απέκτησαν καλή (M3) κινητική λειτουργία και 20% είχαν M2 λειτουργία. Το ποσοστό της προστατευτικής αισθητικής ανάνηψης (αισθητικότητα βαθμού 2 ή περισσότερο) ήταν 83%. Κατά προσέγγιση 50% επανέκτησαν S3 αισθητικότητα και 33% επανέκτησαν S2 λειτουργία. Ο μέσος χρόνος για βαθμού M3 κινητική και αισθητική S3 ανάνηψη ήταν 35 μήνες. Μετεγχειρητικά, 97% των ασθενών είχαν παραισθησίες στην περιοχή του πολφού του δείκτη, την περιοχή νεύρωσης του μέσου νεύρου, ή την περιοχή του ώμου. Όλοι οι ασθενείς ανένησαν στους 7 μήνες (μέσος όρος 3,75 μήνες). Τρεις ασθενείς είχαν μετεγχειρητικά κινητική αδυναμία: δύο αφορούσαν στον τρικέφαλο (βαθμού 4) και ένας αφορούσε στον κοινό εκτείνοντα των δακτύλων (βαθμού 2). Η αδυναμία του τρικεφάλου ανένηψε στους 2

μήνες. Σύγχρονη σύσπαση του υγιούς και του πάσχοντος μέλους μπορεί να παρατηρηθεί για τα πρώτα 2-3 έτη.<sup>(246)</sup>

Ένας από τους κύριους παράγοντες για τα πτωχά αποτέλεσμα στην αποκατάσταση της λειτουργίας του μέσου νεύρο με νευρομεταφορές, είναι το κακό ταίριασμα ανάμεσα στα κινητικά και αισθητικά τμήματα όταν η νευρομεταφορά πραγματοποιείται με τυχαίο τρόπο. Η επιλεκτική νευρική μεταφορά σε συγκεκριμένη δεσμιδική ομάδα του μέσου νεύρου θα μπορούσε θεωρητικά να αποδώσει καλύτερα αποτελέσματα. Πρόσφατα προτάθηκε η επιλεκτική νευρομεταφορά του φρενικού νεύρου στην οπίσθια δεσμιδική ομάδα του μέσου νεύρου, η οποία παρέχει νεύρωση στο πρόσθιο μεσόστεο νεύρο και στον κλάδο για τον μακρό παλαμικό.<sup>(247,248)</sup> Ο ασθενής στον οποίο εφαρμόστηκε η τεχνική ανέκτησε M4 μυϊκή ισχύ 16 μήνες μετά την επέμβαση. Εναλλακτικά, επί μερικής παράλυσης του βραχιονίου πλέγματος, μπορεί αντί του φρενικού νεύρου να χρησιμοποιηθεί ο κλάδος του μυοδερματικού που δίνει νεύρωση στον πρόσθιο βραχιόνιο.

Η τεχνική μεταφοράς ελεύθερου μυός είναι η άλλη μέθοδος που μπορεί να επιτύχει κάμψη των δακτύλων. Σε παραλλαγή της μεθόδου ο Doi<sup>(162)</sup> ανέπτυξε την μεταφορά ελεύθερου μυός διπλής λειτουργίας σε δύο στάδια για σύγχρονη αποκατάσταση της κάμψης και της έκτασης του αγκώνα και των δακτύλων με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η μέθοδος αυτή όχι μόνο επιτυγχάνει λειτουργία του κοινού εκτεινόντα των δακτύλων αλλά επίσης υποβοηθά την κάμψη του αγκώνα.

Ωστόσο η νευρομεταφορά στο μέσο νεύρο προτιμάται έναντι της μεταφοράς ελεύθερου μυός.<sup>(207)</sup> Η νευρομεταφορά είναι μία ανακατασκευή από «εγγύς προς τα άπω» (δηλ., με προτεραιότητα ανακατασκευής από τον ώμο προς τον αγκώνα και από εκεί προς στο χέρι), η οποία είναι περισσότερο φυσιολογική και λογική επέμβαση. Η μεταφορά ελεύθερου μυός είναι μία ανακατασκευή από την περιφέρεια προς το κέντρο (π.χ. από το χέρι προς τον αγκώνα και προς τον ώμο). Επιπλέον, η τελευταία επέμβαση απαιτεί επιπρόσθετη νευρομεταφορά αισθητικών νευραξόνων (όπως των μεσοπλευρίων νεύρων ή των υπερκλειδίων νεύρων) στο μέσο νεύρο για αίσθηση στο χέρι.

Στην παρούσα μελέτη τα αποτελέσματα των νευρομεταφορών στο μέσο νεύρο υπήρξαν πτωχά, με μόλις 2 στους 10 ασθενείς να επιτυγχάνουν χρήσιμη κινητική ανάνηψη (M3+ ή περισσότερο) τόσο μετά από την πρωταρχική επέμβαση όσο και μετά από επέμβαση β χρόνου. Για το λόγο αυτό ο κύριος σκοπός της αποκατάστασης του μέσου νεύρου εστιάζεται στην επάνοδο της αίσθησης στην κατανομή του νεύρου και λιγότερο στην ανάκτηση της λειτουργίας της κάμψης του καρπού και των δακτύλων. Η σταθεροποίηση του καρπού επιτυγχάνεται με δευτερογενείς επεμβάσεις (πχ αρθρόδεση του καρπού), ενώ η κάμψη των δακτύλων με μεταφορά ελεύθερου μυός και τενοντομεταφορές σε επόμενο στάδιο.

#### **δ) Κερκιδικό νεύρο (έκταση αγκώνα)**

Η αποκατάσταση της έκτασης του αγκώνα είναι σημαντική γιατί μπορεί να σταθεροποιήσει τον αγκώνα χωρίς τη χρήση του ετερόπλευρου χεριού και επιτρέπει την επίτευξη ενός χρήσιμου δραγμού.<sup>(188)</sup>

Η μεταφορά των μεσοπλευρίων νεύρων προς τον κλάδο του κερκιδικού για την μακρά κεφαλή του τρικέφαλου μπορεί να αποκαταστήσει αυτήν τη λειτουργία σε παραλύσεις του βραχιονίου πλέγματος.<sup>(146,249)</sup> Σε αυτή την τεχνική τρία μεσοπλευρία νεύρα συναρμολογούνται προς τον κλάδο για τη μακρά κεφαλή του τρικέφαλου μυός. Σε περιπτώσεις βλάβης ανωτέρου τύπου (A5 έως A7 ρίζα), η μεταφορά αυτή διασώζει το κερκιδικό νεύρο και διατηρεί την ευκαιρία αυτόματης ανάνηψης της έξω και έσω κεφαλής του τρικέφαλου από επανανεύρωση από την A8 ρίζα. Επιπλέον, στην περίπτωση απουσίας ή ανεπαρκούς ανάνηψης της μυϊκής

ισχύος της κάμψης του αγκώνα (M0 έως M2) μετά από χειρουργείο νευρικής ανακατασκευής, ο επανανευρωμένος τρικέφαλος μπορεί να μεταφερθεί για υποκατάσταση του δικεφάλου. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική ο Goubier αναφέρει ότι 7 από τους 10 ασθενείς πέτυχαν έκταση του αγκώνα M4 με δυνατότητα ανύψωσης βάρους 3 κιλών κατά μέσο όρο.<sup>(249)</sup> Η μεταφορά των μεσοπλευρίων νεύρων στο κερκιδικό για αποκατάσταση εκτατικής λειτουργίας του χεριού φέρει πτωχά αποτελέσματα και δεν συνιστάται, ιδίως αφού η χρήση τενοντομεταφορών αποτελεί αξιόπιστη λύση.<sup>(250, 251, 245)</sup>

Η μεταφορά της ετερόπλευρης A7 προς το κερκιδικό νεύρο αποτελεί επίσης εναλλακτική επιλογή. Ο Gu ανέφερε αποκατάσταση της λειτουργίας του τρικεφάλου της τάξης του M3 ή περισσότερο στους 4 από τους 6 ασθενείς στους οποίους εφαρμόστηκε η μέθοδος, χωρίς κλινικά σημαντική μείωση της λειτουργίας του υγιούς μέλους.<sup>(246)</sup>

Η νευρομεταφορά του παραπληρωματικού προς το κερκιδικό νεύρο έχει οδηγήσει σε πτωχά αποτελέσματα.<sup>(154)</sup>

Η τεχνική μεταφοράς ελεύθερου μυός είναι μια άλλη μέθοδος που μπορεί να επιτύχει έκταση του αγκώνα χρησιμοποιώντας για είσοδο νευραξόνων τα μεσοπλευρία νεύρα ή την ετερόπλευρη A7 ρίζα.<sup>(252)</sup> Μια πρόσφατη αλλαγή στη στρατηγική αυτή αποτελεί η μέθοδος χρήσης του παραπληρωματικού νεύρου. Ο Doi<sup>(162)</sup> ανέπτυξε την μεταφορά ελεύθερου μυός για αντικατάσταση του κοινού εκτείνοντα των δακτύλων, ο οποίος νευρώνεται από το παραπληρωματικό νεύρο με εντυπωσιακά αποτελέσματα. Μερικοί συγγραφείς<sup>(207)</sup> χρησιμοποιούν πλέον το παραπληρωματικό νεύρο μόνο σε περιπτώσεις ολικού τύπου εξελκυσμό των ριζών και με μόνο για ελεύθερη μεταφορά μυός σε ένα δεύτερο όψιμο στάδιο. Η μέθοδος αυτή όχι μόνο επιτυγχάνει λειτουργία του κοινού εκτείνοντα των δακτύλων αλλά επίσης υποβοηθά την κάμψη του αγκώνα.

Στην παρούσα μελέτη η νευρομεταφορά στο κερκιδικό νεύρο έγινε στην πλειονότητα των περιπτώσεων με αποκλειστική χρήση των μεσοπλευρίων νεύρων σε β χρόνο, και χρήσιμη κινητική ανάνηψη (M3+ ή περισσότερο) επιτεύχθηκε μόλις στους 2 από τους 5 ασθενείς.

#### **IV) Μελλοντικές τάσεις**

Ο εξελκυσμός των κοιλιακών νευρικών ριζιδίων από τον νωτιαίο μυελό έχει ως αποτέλεσμα βλάβες με πτωχή πρόγνωση. Αυτές οι βλάβες εμπλέκουν το κεντρικό νευρικό σύστημα και για το λόγο αυτό θεωρούνται ανεπανόρθωτες. Τα αποτελέσματα πολλών πειραμάτων σε ζώα έχουν δείξει ότι, εάν η συνέχεια μπορεί να επαναποκατασταθεί ανάμεσα στην αυχενική μοίρα του νωτιαίου μυελού και έναν απονευρωμένο μυ ή το περιφερικό άκρο του νεύρου του, τότε σπονδυλικοί κινητικοί νευρώνες μπορούν να επαναναπτυχθούν προς το περιφερικό νευρικό μόσχευμα, τελικώς οδηγώντας σε αποκατάσταση μιας λειτουργικής σύσπασης.<sup>(80, 82, 81)</sup> Στο φαινόμενο αυτό εστιάζεται η ανάπτυξη καινούριων χειρουργικών τεχνικών προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτή τη δύσκολη κατάσταση. Διάφοροι συγγραφείς προσπαθούν να επιτύχουν επανανάπτυξη των νευραξόνων μετά από άμεση ενδοσπονδυλική επανεμφύτευση μιας εξελκυσμένης κοιλιακής νευρικής ρίζας, ούτως ώστε να επιτύχουν αποκατάσταση της λειτουργίας.<sup>(165, 84, 166, 167)</sup> Μερική επανανεύρωση επιτεύχθηκε στον τρικέφαλο, δικέφαλο, και δελτοειδή μυ, και στον κερκιδικό καμπτήρα του καρπού, με το ακριβές μοτίβο να εξαρτάται από τον τύπο της βλάβης και τον τύπο του μοσχεύματος. Ωστόσο, οι προκαταρκτικές κλινικές μελέτες δείχνουν ότι αυτή η μέθοδος παραμένει σε πειραματικό στάδιο, μια και τα κλινικά αποτελέσματα δεν είναι ακόμη σταθερά. Επιπλέον, πολλοί διερωτώνται για πιθανές επιπλοκές στο νωτιαίο μυελό. Προς το παρόν, η νευρομεταφορά παραμένει η καλύτερη αντιμετώπιση για εξελκυσμό ριζών.



Η θεραπεία με νευροτροφικούς παράγοντες αποτελεί μία παράλληλη γραμμή έρευνας που μπορεί επίσης να βοηθήσει στη βελτίωση των αποτελεσμάτων των χειρουργείων εντός της σπονδυλικής στήλης για επιδιόρθωση εξελκυσμού νευρικών ριζών. <sup>(168,169,170,171)</sup>



# Περίληψη

## Μελέτη επί της αντιμετώπισης των τραυματικών κακώσεων του βραχιονίου πλέγματος

**Σκοπός:** Η μελέτη του συνόλου των ασθενών με τραυματική κάκωση του βραχιονίου πλέγματος που αντιμετωπίστηκαν χειρουργικά στην Πανεπιστημιακή Ορθοπαιδική κλινική των Ιωαννίνων κατά τη 10ετία 1998-2007 και η αξιολόγηση του λειτουργικού αποτελέσματος προκειμένου να προσδιοριστούν θετικοί / αρνητικοί προγνωστικοί παράγοντες καθώς και επιτυχείς / ανεπιτυχείς τεχνικές σε συγκεκριμένους τύπους βλάβης.

**Υλικό και μέθοδος:** Για 57 ενήλικες ασθενείς με τραυματική κάκωση του βραχιονίου πλέγματος που αντιμετωπίστηκαν χειρουργικά στην Πανεπιστημιακή Ορθοπαιδική κλινική των Ιωαννίνων πρώιμα (<1,5 έτη από την κάκωση) κατά τη 10ετία 1998-2007 πραγματοποιήθηκε καταγραφή δημογραφικών, κλινικών, απεικονιστικών, εργαστηριακών και διεγχειρητικών παραμέτρων. Οι ασθενείς αυτοί παρακολούθηθηκαν σε τακτά χρονικά διαστήματα με λεπτομερή καταγραφή της μετεγχειρητικής κλινικής εικόνας και την πρόοδο ανάκτησης λειτουργίας χρησιμοποιώντας το σύστημα βαθμονόμησης του Βρετανικού Συμβουλίου Ιατρικής Έρευνας (MRC). Τα παραπάνω δεδομένα καταχωρήθηκαν σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων, αξιολογήθηκαν, και διενεργήθηκε στατιστική διερεύνηση του λειτουργικού αποτελέσματος σε σχέση με προεγχειρητικούς παράγοντες καθώς και με το είδος της χειρουργικής τεχνικής.

**Αποτελέσματα:** Η ηλικία > 30 έτη, οι συνοδές κακώσεις, η σύγχρονη ΚΕΚ, η ύπαρξη αγγειακής βλάβης και η εκτεταμένη τοπογραφία της βλάβης (υπερ & υποκλείδια) αποτελούν στατιστικά σημαντικούς αρνητικούς προγνωστικούς παράγοντες. Για το σύνολο των ασθενών με ανακατασκευή του υπερπλάτιου / μασχαλαίου / μυοδερματικού νεύρου επιτεύχθηκε σταθερά λειτουργικό αποτέλεσμα (>M3 στην κλίμακα MRC) ανεξάρτητα της τεχνικής της νευρικής ανακατασκευής. Η ανακατασκευή του κερκιδικού απέφερε οριακά λειτουργικά αποτελέσματα (M3) ενώ η ανακατασκευή του μέσου σταθερά μη λειτουργικά αποτελέσματα (<M3).

**Συμπεράσματα:** Η αποκατάσταση του μυοδερματικού, υπερπλατιού ( $\pm$  μασχαλαίου) νεύρου είναι ανταποδοτική και θα πρέπει πάντα να επιχειρείται. Δότες τόσο εντός όσο και εκτός του πλέγματος αποτελούν ισάξιες επιλογές, ωστόσο διαφαίνεται υπεροχή των δοτών εντός πλέγματος που δεν συμμετέχουν στην βλάβη (κλάδος κερκιδικού – κλάδος ωλενίου). Η αποκατάσταση του κερκιδικού και ιδίως του μέσου νεύρου είναι λιγότερο ανταποδοτική. Παρόλα αυτά η αποκατάσταση του μέσου θα πρέπει να επιχειρείται για επάνοδο της αισθητικότητας και δια αυτού μείωση του προεγχειρητικού πόνου.



# Summary

## Study of traumatic brachial plexus injuries management

**Dimitrios N. Pafilas**

**Aim:** Study of all patients with traumatic brachial plexus injury surgically treated at Orthopedic Department of University hospital of Ioannina during the 1998-2007 decade and evaluation of the functional results in order to define positive / negative prognostic factors as well as successful / unsuccessful techniques in specific injury types.

**Material and method:** Fifty seven adult patients with traumatic brachial plexus injury were surgically treated at Orthopedic Department of University hospital of Ioannina early after the injury (<1,5 years) during the 1998-2007 decade. For those patients demographic, clinical, imaging, laboratory and intraoperative parameters were recorded. These patients were followed up at regular intervals with thorough record of postoperative clinical findings and progress of functional recovery using the British Medical Research Council Grading System. All data were register in a database, were evaluated and a statistical analysis of the functional result in regard to preoperative factors and the type of the surgical technique was performed.

**Results:** Age >30 years, associated injuries, synchronous cerebral injury, vascular injury and extensive type of injury (both of supra and subclavicular topography) were all statistically significant negative prognostic factors. The majority of patients with suprascapular / axillary / musculocutaneous nerve reconstruction achieved constantly a functional outcome (>M3 according to MRC scale) regardless of the nerve reconstruction technique. Radial nerve reconstruction led to marginal functional outcomes (M3), whereas median nerve reconstruction constantly led to non functional outcomes (<M3).

**Conclusion:** Musculocutaneous and suprascapular ( $\pm$  axillary) nerve reconstruction is rewarding and should always be attempted. Intraplexus and extraplexus nerve donors are considered equivalent options, though intraplexus donors that are not included in the injury zone (branch of radial or ulnar nerve) tend to be a superior option. Radial and in particular median nerve reconstruction is less rewarding. Nevertheless median nerve reconstruction should always be attempted for sensory recovery and subsequent preoperative pain amelioration.



## Βιβλιογραφία

1. **Kerr A.** Brachial plexus of nerves in man. The variations in its formation and branches. *Am J Anat* 1918; 23:285-395
2. **Warwick R, Williams P.** *Gray's anatomy*, 35th ed. Philadelphia, Saunders, 1973: 1037-1047
3. **Kaplan E, Spinner M.** Normal and anomalous innervation patterns in the upper extremity. In: Omer G, Spinner M, eds., *Management of peripheral nerve problems*. Philadelphia, WB Saunders, 1980: 75-99
4. **Durward A.** The peripheral nervous system. In: Romanes G, ed., *Cunningham's textbook of anatomy*, 10th ed. London, Oxford University Press, 1964: 685-984
5. **Masear VR, Meyer RD, Pichora DR.** Surgical anatomy of the medial antebrachial cutaneous nerve. *J Hand Surg [Am.]* 1989; 14:267-271
6. **Uysal II, Seker M, Karabulut AK, Buyukmumcu M, Ziyilan T.** Brachial plexus variations in human fetuses. *Neurosurgery* 2003; 53:676-684
7. **Mansat M.** [Surgical topographic anatomy of the brachial plexus]. *Rev. Chir Orthop. Reparatrice Appar. Mot.* 1977; 63:20-26
8. **Senecail B.** Le plexus brachial de l'Homme. *These Reims* 1975; 66:
9. **Adolphi H.** Uber das Verhalten der zweiten Brustnerven zum plexus brachialis beim Menschen. *Anat Anz* 1898; 15:25-36
10. **Hirasawa K.** Uber den Pelxus Brachialis Mitterlung die Wurzeln des Plexus Brachial. In: *Impressio separata ex actis Scholac Medicinalis*. Paris, Univeritatis Imperialis Kiotoensis, 1927
11. **Lee HY, Chung IH, Sir WS, Kang HS, Lee HS, Ko JS, Lee MS, Park SS.** Variations of the ventral rami of the brachial plexus. *J Korean Med.Sci.* 1992; 7:19-24
12. **Hovelacque A.** Anatomie des nerfs craniens et rachidiens et du systeme grand sympathique. Paris, Doins.
13. **Miller R.** Observations upon the arrangement of the axillary and brachial plexus. *Am J Anat* 1939; 64:143-163

14. **Seddon H.** Three types of nerve injury. *Brain* 1943; 66:237-288
15. **Mackinnon S.** Nerve grafts. In: Goldwyn R, Cohen M, eds., *The unfavorable result in plastic surgery*. Philadelphia, Lippincott, Williams & Wilkins, 2001: 134-160
16. **Narakas A, Bonnard C.** Anatomopathological lesions. In: Alnot J, Narakas A, eds., *Brachial plexus injuries*. Paris, Scientifique Francaise, 1996: 72-91
17. **Sunderland S.** A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain* 1951; 74:491-516
18. **Mackinnon S, Dellon A.** Brachial plexus injuries. In: Mackinnon S, Dellon A, eds., *Surgery of the peripheral nerve*. New York, Thieme, 1988: 423-454
19. **Hentz VR, Narakas A.** The results of microneurosurgical reconstruction in complete brachial plexus palsy. Assessing outcome and predicting results. *Orthop.Clin.North Am.* 1988; 19:107-114
20. **Ochi M, Ikuta Y, Watanabe M, Kimori K, Itoh K.** The diagnostic value of MRI in traumatic brachial plexus injury. *J Hand Surg [Br.]* 1994; 19:55-59
21. **Narakas AO.** The treatment of brachial plexus injuries. *Int.Orthop.* 1985; 9:29-36
22. **Brunelli G, Monini L.** Direct muscular neurotization. *J Hand Surg.[Am]* 1985; 10:993-997
23. **Allieu Y, Cenac P.** Is surgical intervention justifiable for total paralysis secondary to multiple avulsion injuries of the brachial plexus? *Hand Clin.* 1988; 4:609-618
24. **Brandt KE, Mackinnon SE.** A technique for maximizing biceps recovery in brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg. [Am]* 1993; 18:726-733
25. **Azze RJ, Mattar JJ, Ferreira MC, Starck R, Canedo AC.** Extraplexual neurotization of brachial plexus. *Microsurgery* 1994; 15:28-32
26. **Doi K, Kuwata N, Muramatsu K, Hottori Y, Kawai S.** Double muscle transfer for upper extremity reconstruction following complete avulsion of the brachial plexus. *Hand Clin.* 1999; 15:757-767



27. **Doi K, Muramatsu K, Hattori Y, Otsuka K, Tan SH, Nanda V, Watanabe M.** Restoration of prehension with the double free muscle technique following complete avulsion of the brachial plexus. Indications and long-term results. *J Bone Joint Surg.Am* 2000; 82:652-666
28. **Malone JM, Leal JM, Underwood J, Childers SJ.** Brachial plexus injury management through upper extremity amputation with immediate postoperative prostheses. *Arch.Phys.Med.Rehabil.* 1982; 63:89-91
29. **Allieu Y.** Evolution of our indications for neurotization. Our concept of functional restoration of the upper limb after brachial plexus injuries. *Chir Main* 1999; 18:165-166
30. **Dubuisson AS, Kline DG.** Brachial plexus injury: a survey of 100 consecutive cases from a single service. *Neurosurgery* 2002; 51:673-682
31. **Coene LN.** Mechanisms of brachial plexus lesions. *Clin.Neurol.Neurosurg.* 1993; 95 Suppl:S24-S29
32. **Songcharoen P, Shin AY.** Brachial plexus injury: acute diagnosis and treatment. In: Berger R, Weiss A, eds., *Hand surgery*. Philadelphia, Lippincott, Williams & Wilkins, 2004: 1005-1025
33. **Leffert R.** *Brachial Plexus Injuries*. New York, Churchill Livingstone, 1985
34. **Songcharoen P.** Brachial plexus injury in Thailand: a report of 520 cases. *Microsurgery* 1995; 16:35-39
35. **Alnot J.** Traumatic paralysis of the brachial plexus: preoperative problems and therapeutic indications. In: Terzis J, ed., *Microreconstruction of nerve injuries*. Philadelphia, W.B. Saunders, 1987: 325-345
36. **Bonney G.** Prognosis in traction lesions of the brachial plexus. *J Bone Joint Surg Br.* 1959; 41-B:4-35
37. **Sunderland S.** Mechanisms of cervical nerve root avulsion in injuries of the neck and shoulder. *J Neurosurg.* 1974; 41:705-714
38. **Seddon H.** *Surgical Disorders of the Peripheral Nerves*, 2nd ed. New York, Churchill Livingstone, 1975

39. **Sunderland S.** *Nerves and Nerve Injuries*, 2nd ed. New York, Churchill Livingstone, 1978
40. **Kitamura T, Takagi K, Yamaga M, Morisawa K.** Brachial plexus stretching injuries: microcirculation of the brachial plexus. *J.Shoulder.Elbow.Surg.* 1995; 4:118-123
41. **Cooper DE, Jenkins RS, Bready L, Rockwood CA, Jr.** The prevention of injuries of the brachial plexus secondary to malposition of the patient during surgery. *Clin.Orthop.Relat Res.* 1988;33-41
42. **Cooper D.** Nerve injury associated with patient positioning in the operating room. In: Gelberman R, ed., *Operative nerve repair and reconstruction*. Philadelphia, J.B. Lippincott, 1991: 1231-1242
43. **Horowitz SH.** Brachial plexus injuries with causalgia resulting from transaxillary rib resection. *Arch.Surg.* 1985; 120:1189-1191
44. **Sinow JD, Cunningham BL.** Postmastectomy brachial plexus injury exacerbated by tissue expansion. *Ann.Plast.Surg.* 1991; 27:368-370
45. **Luosto R, Ketonen P, Harjola PT, Jarvinen A.** Extrathoracic approach for reconstruction of subclavian and vertebral arteries. *Scand.J Thorac.Cardiovasc.Surg.* 1980; 14:227-231
46. **Omer G.** War wounds of the hand. In: Tubiana R, ed., *The hand*. Philadelphia, W.B. Saunders, 1988: 923-924
47. **Fackler ML.** Ballistic injury. *Ann.Emerg.Med.* 1986; 15:1451-1455
48. **Fackler ML.** Civilian gunshot wounds. *Orthopedics* 1986; 9:1336, 1342
49. **Fackler ML, Bellamy RF, Malinowski JA.** Wounding mechanism of projectiles striking at more than 1.5 km/sec. *J Trauma* 1986; 26:250-254
50. **Maruyama Y, Mylrea MM, Logothetis J.** Neuropathy following irradiation. An unusual late complication of radiotherapy. *Am.J Roentgenol.Radium.Ther.Nucl.Med.* 1967; 101:216-219

51. **Mansat M, Bonneville P.** Mechanisms of traumatic plexus injuries. In: Alnot J, Narakas A, eds., *Brachial plexus injuries*. Paris, Scientifique Francaise, 1996: 68-71
52. **Grundy DJ, Silver JR.** Combined brachial plexus and spinal cord trauma. *Injury* 1983; 15:57-61
53. **van der WC, de Vries LS.** Brachial plexus injury in multitraumatized patients. *Clin.Neurol.Neurosurg.* 1993; 95 Suppl:S30-S32
54. **Chechick A, Amit Y, Shaked I, Rappaport ZH, Tadmor R.** Brown-Sequard syndrome associated with brachial plexus injury in neck trauma. *J Trauma* 1982; 22:430-431
55. **Narakas A.** Brachial plexus surgery. *Orthop.Clin.North Am.* 1981; 12:303-323
56. Council Medical Research: Aids to the investigation of peripheral nerve injuries. War Memorandum No 7. London, His Majesty's Stationary Office. 1943.
57. **Malessy M.** *Brachial plexus surgery: factors affecting functional recovery*. Den Haag, Pasmans BV, 1999
58. **Narakas AO.** The surgical treatment of traumatic brachial plexus lesions. *Int.Surg.* 1980; 65:521-527
59. **Yeoman PM.** Cervical myelography in traction injuries of the brachial plexus. *J.Bone Joint Surg.Br.* 1968; 50:253-260
60. **Nagano A, Ochiai N, Sugioka H, Hara T, Tsuyama N.** Usefulness of myelography in brachial plexus injuries. *J Hand Surg [Br.]* 1989; 14:59-64
61. **Doi K, Otsuka K, Okamoto Y, Fujii H, Hattori Y, Baliarsing AS.** Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography. *J.Neurosurg.* 2002; 96:277-284
62. **Nagano A.** Treatment of brachial plexus injury. *J Orthop.Sci.* 1998; 3:71-80
63. **Hashimoto T, Mitomo M, Hirabuki N, Miura T, Kawai R, Nakamura H, Kawai H, Ono K, Kozuka T.** Nerve root avulsion of birth palsy: comparison of myelography with CT myelography and somatosensory evoked potential. *Radiology* 1991; 178:841-845

64. **Marshall RW, De Silva RD.** Computerised axial tomography in traction injuries of the brachial plexus. *J. Bone Joint Surg. Br.* 1986; 68:734-738
65. **Morris RE, Hasso AN, Thompson JR, Hinshaw DB, Jr., Vu LH.** Traumatic dural tears: CT diagnosis using metrizamide. *Radiology* 1984; 152:443-446
66. **Trojaborg W.** Clinical, electrophysiological, and myelographic studies of 9 patients with cervical spinal root avulsions: discrepancies between EMG and X-ray findings. *Muscle Nerve* 1994; 17:913-922
67. **Carvalho GA, Nikkiah G, Matthies C, Penkert G, Samii M.** Diagnosis of root avulsions in traumatic brachial plexus injuries: value of computerized tomography myelography and magnetic resonance imaging. *J. Neurosurg.* 1997; 86:69-76
68. **Walker AT, Chaloupka JC, de Lotbiniere AC, Wolfe SW, Goldman R, Kier EL.** Detection of nerve rootlet avulsion on CT myelography in patients with birth palsy and brachial plexus injury after trauma. *AJR Am J Roentgenol.* 1996; 167:1283-1287
69. **Nakamura T, Yabe Y, Horiuchi Y, Takayama S.** Magnetic resonance myelography in brachial plexus injury. *J. Bone Joint Surg. Br.* 1997; 79:764-769
70. **Gupta RK, Mehta VS, Banerji AK, Jain RK.** MR evaluation of brachial plexus injuries. *Neuroradiology* 1989; 31:377-381
71. **Blair DN, Rapoport S, Sostman HD, Blair OC.** Normal brachial plexus: MR imaging. *Radiology* 1987; 165:763-767
72. **Panasci DJ, Holliday RA, Shpizner B.** Advanced imaging techniques of the brachial plexus. *Hand Clin.* 1995; 11:545-553
73. **Bufalini C, Pescatori G.** Posterior cervical electromyography in the diagnosis and prognosis of brachial plexus injuries. *J Bone Joint Surg Br.* 1969; 51:627-631
74. **Landi A, Copeland SA, Parry CB, Jones SJ.** The role of somatosensory evoked potentials and nerve conduction studies in the surgical management of brachial plexus injuries. *J Bone Joint Surg. Br.* 1980; 62-B:492-496

75. **Sugioka H, Tsuyama N, Hara T, Nagano A, Tachibana S, Ochiai N.** Investigation of brachial plexus injuries by intraoperative cortical somatosensory evoked potentials. *Arch.Orthop.Trauma Surg* 1982; 99:143-151
76. **Tiel RL, Happel LT, Jr., Kline DG.** Nerve action potential recording method and equipment. *Neurosurgery* 1996; 39:103-108
77. **Burkholder LM, Houlden DA, Midha R, Weiss E, Vennettilli M.** Neurogenic motor evoked potentials: role in brachial plexus surgery. Case report. *J Neurosurg.* 2003; 98:607-610
78. **Narakas A.** The surgical management of brachial plexus injuries. In: Daniel R, Terzis J, eds., *Reconstructive microsurgery.* Boston, Little, Brown and Co., 1977: 443-460
79. **Kline DG, Tiel RL.** Direct plexus repair by grafts supplemented by nerve transfers. *Hand Clin.* 2005; 21:55-69, vi
80. **Carlstedt T.** Functional recovery after ventral root avulsion and implantation in the spinal cord. *Clin.Neurol.Neurosurg.* 1993; 95 Suppl:S109-S111
81. **Carlstedt TP.** Spinal nerve root injuries in brachial plexus lesions: basic science and clinical application of new surgical strategies. A review. *Microsurgery* 1995; 16:13-16
82. **Carlstedt TP, Hallin RG, Hedstrom KG, Nilsson-Remahl IA.** Functional recovery in primates with brachial plexus injury after spinal cord implantation of avulsed ventral roots. *J.Neurol.Neurosurg.Psychiatry* 1993; 56:649-654
83. **Fournier HD, Mercier P, Menei P.** Repair of avulsed ventral nerve roots by direct ventral intraspinal implantation after brachial plexus injury. *Hand Clin.* 2005; 21:109-118
84. **Carlstedt T, Anand P, Hallin R, Misra PV, Noren G, Seferlis T.** Spinal nerve root repair and reimplantation of avulsed ventral roots into the spinal cord after brachial plexus injury. *J Neurosurg.* 2000; 93:237-247
85. **McHenry L.** *Garrison's history of neurology.* Springfield, Charles C Thomas Pub Ltd, 1969

86. **Kennedy R.** Suture of the brachial plexus in birth paralysis of the upper extremity. *Br Med J* 1903; 1:298-301
87. **Boome RS, Kaye JC.** Obstetric traction injuries of the brachial plexus. Natural history, indications for surgical repair and results. *J Bone Joint Surg Br.* 1988; 70:571-576
88. **Millesi H.** Microsurgery of peripheral nerves. *Hand* 1973; 5:157-160
89. **Millesi H.** Surgical management of brachial plexus injuries. *J Hand Surg [Am.]* 1977; 2:367-378
90. **Allieu Y.** [Exploration and direct treatment of neural lesions in traumatic paralysis caused by stretching of the brachial plexus in the adult]. *Rev.Chir Orthop.Reparatrice Appar.Mot.* 1977; 63:107-122
91. **Allieu Y, Privat JM, Bonnel F.** Paralysis in root avulsion of the brachial plexus. Neurotization by the spinal accessory nerve. *Clin.Plast.Surg.* 1984; 11:133-136
92. **Alnot JY, Jolly A, Frot B.** [Direct treatment of nerve lesions in brachial plexus injuries in adults--a series of 100 operated cases]. *Int.Orthop.* 1981; 5:151-168
93. **Brunelli G.** Neurotization of avulsed roots of the brachial plexus by means of anterior nerves of cervical plexus. *Int J Microsurg* 1980; 2:55-58
94. **Gilbert A, Tassin JL.** [Surgical repair of the brachial plexus in obstetric paralysis]. *Chirurgie* 1984; 110:70-75
95. **Minami M, Ishii S.** Satisfactory elbow flexion in complete (preganglionic) brachial plexus injuries: produced by suture of third and fourth intercostal nerves to musculocutaneous nerve. *J Hand Surg.[Am.]* 1987; 12:1114-1118
96. **Narakas A.** [Indications and results of direct surgical treatment in lesions caused by stretching of the brachial plexus. I. Indications for direct surgical treatment]. *Rev.Chir Orthop.Reparatrice Appar.Mot.* 1977; 63:88-106
97. **Narakas AO, Hentz VR.** Neurotization in brachial plexus injuries. Indication and results. *Clin.Orthop.Relat Res.* 1988;43-56

98. **Sedel L.** The results of surgical repair of brachial plexus injuries. *J Bone Joint Surg Br.* 1982; 64:54-66
99. **Tsuyama N, Hara T.** Intercostal nerve transfer in the treatment of brachial plexus injury of the root avulsion type. *Excerpta Medica* 1972; 291:351-353
100. **Oberlin C, Beal D, Leechavengvongs S, Salon A, Dauge MC, Sarcy JJ.** Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5-C6 avulsion of the brachial plexus: anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg [Am.]* 1994; 19:232-237
101. **Loy S, Bhatia A, Asfazadourian H, Oberlin C.** [Ulnar nerve fascicle transfer onto to the biceps muscle nerve in C5-C6 or C5-C6-C7 avulsions of the brachial plexus. Eighteen cases]. *Ann. Chir Main Memb. Super.* 1997; 16:275-284
102. **Chiarapattanakom P, Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P.** Anatomy and internal topography of the musculocutaneous nerve: the nerves to the biceps and brachialis muscle. *J Hand Surg. [Am]* 1998; 23:250-255
103. **Kline DG, Kott J, Barnes G, Bryant L.** Exploration of selected brachial plexus lesions by the posterior subscapular approach. *J Neurosurg.* 1978; 49:872-880
104. **Dubuisson AS, Kline DG, Weinshel SS.** Posterior subscapular approach to the brachial plexus. Report of 102 patients. *J Neurosurg.* 1993; 79:319-330
105. **Witoonchart K, Leechavengvongs S, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P, Wongnopsuwan V.** Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part I: an anatomic feasibility study. *J Hand Surg. [Am]* 2003; 28:628-632
106. **Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P.** Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: a report of 7 cases. *J Hand Surg. [Am]* 2003; 28:633-638
107. **Taylor GI, Ham FJ.** The free vascularized nerve graft. A further experimental and clinical application of microvascular techniques. *Plast Reconstr. Surg* 1976; 57:413-426

108. **Terzis J.K., Breidenbach W.** The anatomy of free vascularized nerve grafts. In: Terzis JK, ed., *Microreconstruction of nerve injuries*. Philadelphia, W.B. Saunders, 1987: 101-116
109. **Brunelli G, Monini L.** Neurotization of avulsed roots of brachial plexus by means of anterior nerves of cervical plexus. *Clin.Plast.Surg.* 1984; 11:149-152
110. **Chuang DC, Yeh MC, Wei FC.** Intercostal nerve transfer of the musculocutaneous nerve in avulsed brachial plexus injuries: evaluation of 66 patients. *J Hand Surg.[Am.]* 1992; 17:822-828
111. **Dolenc V.** Intercostal neurotization of the peripheral nerves in avulsion plexus injuries. In: Terzis J, ed., *Microreconstruction of nerve injury*. Philadelphia, WB Saunders, 1987: 425-434
112. **Harris W, Low V.** On the importance of accurate muscular analysis in lesions of the brachial plexus and the treatment of Erb's palsy and infantile paralysis of the upper extremity by cross-union of nerve roots. *BMJ* 1903; 2:1035-1038
113. **Kawai H, Kawabata H, Masada K, Ono K, Yamamoto K, Tsuyuguchi Y, Tada K.** Nerve repairs for traumatic brachial plexus palsy with root avulsion. *Clin Orthop.Relat Res.* 1988;75-86
114. **Merrell GA, Barrie KA, Katz DL, Wolfe SW.** Results of nerve transfer techniques for restoration of shoulder and elbow function in the context of a meta-analysis of the English literature. *J.Hand Surg.[Am.]* 2001; 26:303-314
115. **Songcharoen P.** A preliminary report of 200 brachial plexus injuries treated at Siriraj Hospital. *J Asian Orthop Assoc* 1990; 4:27-30
116. **Songcharoen P, Mahaisavariya B, Chotigavanich C.** Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. *J Hand Surg. [Am]* 1996; 21:387-390
117. **Songcharoen P, Chotigavanich C.** Brachial plexus injury: a report of 289 neurotizations. *J Jpn Orthop Assoc* 1994; 68:S513



118. **Songcharoen P.** Neurotization in the treatment of brachial plexus injury. In: Omer G, Spinner M, Van Beek A, eds., *Management of peripheral nerve problems*. Philadelphia, WB Saunders, 1998: 458-464
119. **Dolenc VV.** Intercostal neurotization of the peripheral nerves in avulsion plexus injuries. *Clin.Plast.Surg.* 1984; 11:143-147
120. **Nagano A, Tsuyama N, Ochiai N, Hara T, Takahashi M.** Direct nerve crossing with the intercostal nerve to treat avulsion injuries of the brachial plexus. *J Hand Surg. [Am.]* 1989; 14:980-985
121. **Nagano A, Ochiai N, Okinaga S.** Restoration of elbow flexion in root lesions of brachial plexus injuries. *J Hand Surg. [Am]* 1992; 17:815-821
122. **Yeoman PM, Seddon H.J.** Brachial plexus injuries. Treatment of the flail arm. *J.Bone Joint Surg.Br.* 1961; 43-B:493-500
123. **Chuang DC, Lee GW, Hashem F, Wei FC.** Restoration of shoulder abduction by nerve transfer in avulsed brachial plexus injury: evaluation of 99 patients with various nerve transfers. *Plast.Reconstr.Surg.* 1995; 96:122-128
124. **Gu YD, Wu MM, Zhen YL, Zhao JA, Zhang GM, Chen DS, Yan JG, Cheng XM.** Phrenic nerve transfer for brachial plexus motor neurotization. *Microsurgery* 1989; 10:287-289
125. **Xu WD, Gu YD, Xu JG, Tan LJ.** Full-length phrenic nerve transfer by means of video-assisted thoracic surgery in treating brachial plexus avulsion injury. *Plast.Reconstr.Surg.* 2002; 110:104-109
126. **Sungpet A, Suphachatwong C, Kawinwonggowith V.** Restoration of shoulder abduction in brachial plexus injury with phrenic nerve transfer. *Aust.N.Z.J Surg.* 2000; 70:783-785
127. **Gu YD, Ma MK.** Use of the phrenic nerve for brachial plexus reconstruction. *Clin.Orthop.* 1996;119-121
128. **Gu YD, Chen DS, Zhang GM, Cheng XM, Xu JG, Zhang LY, Cai PQ, Chen L.** Long-term functional results of contralateral C7 transfer. *J.Reconstr.Microsurg.* 1998; 14:57-59
129. **Gu YD, Zhang GM, Chen DS, Cheng XM, Zhang LY, Yan JG, Cai PQ, Shen LY.** Cervical nerve root transfer from

- contralateral normal side for treatment of brachial plexus root avulsions. *Chin Med.J (Engl.)* 1991; 104:208-211
130. **Terzis J.K.** Selective use of ipsilateral and contralateral C7 root in OBPP. Abstracts presented at the 26th Annual Meeting of GAM, June 8-11, 2005, Nanaimo, British Columbia. *Can J Plast Surg* 2005; 13:115
  131. **Gu YD, Zhang GM, Chen DS, Yan JG, Cheng XM, Chen L.** Seventh cervical nerve root transfer from the contralateral healthy side for treatment of brachial plexus root avulsion. *J Hand Surg.[Br]* 1992; 17:518-521
  132. **Songcharoen P, Wongtrakul S, Mahaisavariya B, Spinner RJ.** Hemi-contralateral C7 transfer to median nerve in the treatment of root avulsion brachial plexus injury. *J Hand Surg [Am.]* 2001; 26:1058-1064
  133. **Brunelli G, Brunelli F.** Use of anterior nerves of cervical plexus to partially neurotize the avulsed brachial plexus. In: Brunelli G, ed., *Textbook of microsurgery*. Milan, Italy, Masson, 1988: 803-807
  134. **Narakas AO.** Thoughts on neurotization or nerve transfers in irreparable nerve lesions. *Clin.Plast.Surg.* 1984; 11:153-159
  135. **Chuang DC.** Brachial plexus neurotization and pedicle muscle transfer. In: Berger R, ed., *Hand surgery*. Philadelphia, Lippincott, Williams & Wilkins, 2004: 1027-1040
  136. **Ferraresi S, Garozzo D, Ravenni R, Dainese R, De GD, Buffatti P.** Hemihypoglossal nerve transfer in brachial plexus repair: technique and results. *Neurosurgery* 2002; 50:332-335
  137. **Malessy MJ, Hoffmann CF, Thomeer RT.** Initial report on the limited value of hypoglossal nerve transfer to treat brachial plexus root avulsions. *J Neurosurg.* 1999; 91:601-604
  138. **Chuang DC.** Neurotization procedures for brachial plexus injuries. *Hand Clin.* 1995; 11:633-645
  139. **Narakas AO.** Neurotization in the treatment of brachial plexus injuries. In: Gelberman R, ed., *Operative nerve repair and reconstruction*. Philadelphia, JB Lippincott, 1991: 1329-1358

140. **Alnot JY.** Traumatic brachial plexus lesions in the adult. Indications and results. *Hand Clin.* 1995; 11:623-631
141. **Terzis JK, Vekris MD, Soucacos PN.** Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis. *Plast.Reconstr.Surg.* 1999; 104:1221-1240
142. **Franciosi LF, Modestti C, Mueller SF.** Neurotization of the biceps muscle by end-to-side neurotaphy between ulnar and musculocutaneous nerves. A series of five cases. *Chir Main* 1998; 17:362-367
143. **Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpairojkit C, Thuvasethakul P, Ketmalasiri W.** Nerve transfer to biceps muscle using a part of the ulnar nerve in brachial plexus injury (upper arm type): a report of 32 cases. *J Hand Surg [Am]* 1998; 23:711-716
144. **Sungpet A, Suphachattwong C, Kawinwonggowit V.** One-fascicle median nerve transfer to biceps muscle in C5 and C6 root avulsions of brachial plexus injury. *Microsurgery* 2003; 23:10-13
145. **Bertelli JA, Ghizoni MF.** Reconstruction of C5 and C6 brachial plexus avulsion injury by multiple nerve transfers: spinal accessory to suprascapular, ulnar fascicles to biceps branch, and triceps long or lateral head branch to axillary nerve. *J Hand Surg [Am.]* 2004; 29:131-139
146. **Bertelli JA, Santos MA, Kechele PR, Ghizoni MF, Duarte H.** Triceps motor nerve branches as a donor or receiver in nerve transfers. *Neurosurgery* 2007; 61:333-338
147. **Gu YD, Cai PQ, Xu F, Peng F, Chen L.** Clinical application of ipsilateral C7 nerve root transfer for treatment of C5 and C6 avulsion of brachial plexus. *Microsurgery* 2003; 23:105-108
148. **Narakas A.** Neurotization or nerve transfer in traumatic brachial plexus lesions. In: Tubiana R, ed., *The hand*. Philadelphia, WB Saunders, 1987: 656-683
149. **Millesi H.** Nerve grafting. In: Boome R, ed., *The hand and upper extremity, vol. 14: The brachial plexus*. New York, Churchill Livingstone, 1997: 39-49
150. **Slingluff C, Terzis J, Edgerton M.** The quantitative microanatomy of the brachial plexus in man.

- Reconstructive relevance. In: Terzis J, ed.,  
*Microreconstruction of nerve injuries*. Philadelphia, WB  
Saunders, 1987: 285
151. **Bonnel F.** Microscopic anatomy of the adult human brachial plexus: an anatomical and histological basis for microsurgery. *Microsurgery* 1984; 5:107-118
  152. **Bonnel F, Rabischong P.** Anatomy and systematization of the brachial plexus in the adult. *Anat Clin* 1981; 2:289-298
  153. **Terzis JK, Papakonstantinou KC.** The surgical treatment of brachial plexus injuries in adults. *Plast.Reconstr.Surg.* 2000; 106:1097-1122
  154. **Songcharoen P, Wongtrakul S, Spinner RJ.** Brachial plexus injuries in the adult. nerve transfers: the Siriraj Hospital experience. *Hand Clin.* 2005; 21:83-89
  155. **Freilinger G, Holle J, Sulzgruber SC.** Distribution of motor and sensory fibers in the intercostal nerves. Significance in reconstructive surgery. *Plast.Reconstr.Surg.* 1978; 62:240-244
  156. **Gu YD.** [Cervical nerve root transfer from the healthy side in the treatment of brachial plexus root avulsion]. *Zhonghua Yi.Xue.Za Zhi.* 1989; 69:563-5, 38
  157. **Brunelli GA, Brunelli GR.** A fourth type of brachial plexus lesion: the intermediate (C7) palsy. *J Hand Surg.[Br]* 1991; 16:492-494
  158. **Brunelli G.** Direct neurotization of severely damaged muscles. *J Hand Surg.[Am]* 1982; 7:572-579
  159. **Viterbo F, Trindade JC, Hoshino K, Mazzoni NA.** End-to-side neurorrhaphy with removal of the epineurial sheath: an experimental study in rats. *Plast.Reconstr.Surg.* 1994; 94:1038-1047
  160. **Rapp E, Lallemand S, Ehrler S, Buch N, Foucher G.** Restoration of sensation over the contact surfaces of the thumb-index pinch grip using the terminal branches of the superficial branch of the radial nerve. *Chir Main* 1999; 18:179-183
  161. **Amr SM, Moharram AN.** Repair of brachial plexus lesions by end-to-side side-to-side grafting neurorrhaphy: experience based on 11 cases. *Microsurgery* 2005; 25:126-146

162. **Doi K, Sakai K, Kuwata N, Ihara K, Kawai S.** Double free-muscle transfer to restore prehension following complete brachial plexus avulsion. *J Hand Surg.[Am]* 1995; 20:408-414
163. **Chuang DC.** Functioning free muscle transplantation for brachial plexus injury. *Clin Orthop.Relat Res.* 1995;104-111
164. **Akasaka Y, Hara T, Takahashi M.** Restoration of elbow flexion and wrist extension in brachial plexus paralyses by means of free muscle transplantation innervated by intercostal nerve. *Ann.Chir Main Memb.Super.* 1990; 9:341-350
165. **Carlstedt T, Grane P, Hallin RG, Noren G.** Return of function after spinal cord implantation of avulsed spinal nerve roots. *Lancet* 1995; 346:1323-1325
166. **Fournier HD, Mercier P, Menei P.** Lateral interscalenic multilevel oblique corpectomies to repair ventral root avulsions after brachial plexus injury in humans: anatomical study and first clinical experience. *J Neurosurg.* 2001; 95:202-207
167. **Bertelli JA, Ghizoni MF.** Brachial plexus avulsion injury repairs with nerve transfers and nerve grafts directly implanted into the spinal cord yield partial recovery of shoulder and elbow movements. *Neurosurgery* 2003; 52:1385-1389
168. **Fournier HD, Mercier P, Menei P.** [Spinal repair of ventral root avulsions after brachial plexus injuries: Towards new surgical strategies?]. *Neurochirurgie* 2006; 52:357-366
169. **Glasby MA, Hems TE.** Repairing spinal roots after brachial plexus injuries. *Paraplegia* 1995; 33:359-361
170. **Quintao NL, Santos AR, Campos MM, Calixto JB.** The role of neurotrophic factors in genesis and maintenance of mechanical hypernociception after brachial plexus avulsion in mice. *Pain* 2008; 136:125-133
171. **Zhou LH, Wu W.** Survival of injured spinal motoneurons in adult rat upon treatment with glial cell line-derived neurotrophic factor at 2 weeks but not at 4 weeks after root avulsion. *J Neurotrauma* 2006; 23:920-927

172. **Kim DH, Cho YJ, Tiel RL, Kline DG.** Outcomes of surgery in 1019 brachial plexus lesions treated at Louisiana State University Health Sciences Center. *J Neurosurg.* 2003; 98:1005-1016
173. **Kinlaw D.** Pre-/postoperative therapy for adult plexus injury. *Hand Clin.* 2005; 21:103-8, vii
174. **Parry CB.** Pain in avulsion of the brachial plexus. *Neurosurgery* 1984; 15:960-965
175. **Parry CB.** Pain in avulsion lesions of the brachial plexus. *Pain* 1980; 9:41-53
176. **Bruxelle J, Travers V, Thiebaut JB.** Occurrence and treatment of pain after brachial plexus injury. *Clin.Orthop.Relat Res.* 1988;87-95
177. **Berman JS, Birch R, Anand P.** Pain following human brachial plexus injury with spinal cord root avulsion and the effect of surgery. *Pain* 1998; 75:199-207
178. **Berman J, Anand P, Chen L, Taggart M, Birch R.** Pain relief from preganglionic injury to the brachial plexus by late intercostal nerve transfer. *J Bone Joint Surg Br.* 1996; 78:759-760
179. **Friedman AH, Nashold BS, Jr., Bronec PR.** Dorsal root entry zone lesions for the treatment of brachial plexus avulsion injuries: a follow-up study. *Neurosurgery* 1988; 22:369-373
180. **Chuang DC.** Contralateral C7 transfer (CC-7T) for avulsion injury of the brachial plexus. *Tech.Hand Up Extrem.Surg.* 1999; 3:185-192
181. **Kurze T.** Microtechniques in neurological surgery. *Clin.Neurosurg.* 1964; 11:128-137
182. **Millesi H.** [Traumatic paralysis of the brachial plexus in the adult. 5. Indications and results of direct interventions]. *Rev.Chir Orthop.Reparatrice Appar.Mot.* 1977; 63:82-87
183. **Terzis J, Faibisoff B, Williams B.** The nerve gap: suture under tension vs. graft. *Plast.Reconstr.Surg.* 1975; 56:166-170

184. **Millesi H.** Brachial plexus lesions: classification and operative technique. In: Tubiana R, ed., *The hand*. Philadelphia, WB Saunders, 1988: 645-655
185. **Chuang DC.** Management of traumatic brachial plexus injuries in adults. *Hand Clin.* 1999; 15:737-55, x
186. **Jeffert R.** Brachial plexus. In: Green D, ed., *Operative hand surgery*, 3rd ed. New York, Churchill Livingstone, 1993: 1483-1516
187. **Richards R.** Operative treatment for irreparable lesions of the brachial plexus. In: Gelberman R, ed., *Operative nerve repair and reconstruction*. Philadelphia, JB Lippincott, 1991: 1303-1327
188. **Hentz V, Doi K.** Traumatic brachial plexus injury. In: Green D, ed., *Operative hand surgery*, 5th ed. Philadelphia, Elsevier, Churchill Livingstone, 2005: 1319-1371
189. **Tubiana R.** Clinical examination and functional assessment of the upper limb after peripheral nerve lesions. In: Tubiana R, ed., *The hand*. Philadelphia, WB Saunders, 1988: 455
190. **Seddon H.J.** Nerve grafting. *J Bone Joint Surg.Br* 1963; 45:447-461
191. **Malessy MJ, van Duinen SG, Feirabend HK, Thomeer RT.** Correlation between histopathological findings in C-5 and C-6 nerve stumps and motor recovery following nerve grafting for repair of brachial plexus injury. *J Neurosurg.* 1999; 91:636-644
192. **Kline D, Hudson A.** *Nerve injuries: operative results for major nerve injuries, entrapments, and tumors*. Philadelphia, WB Saunders, 1995
193. **Kline DG.** Civilian gunshot wounds to the brachial plexus. *J Neurosurg.* 1989; 70:166-174
194. **Kline D, Hudson A.** Lacerations to brachial plexus. In: *Nerve injuries: operative results for major nerve injuries, entrapments, and tumors*. Philadelphia, WB Saunders, 1995: 371-380
195. **Simesen K, Haase J.** Microsurgery in brachial plexus lesions. *Acta Orthop.Scand.* 1985; 56:238-241

196. **Sunderland S.** *Nerve injuries and their repairs. A critical appraisal.* Edinburgh, UK, Churchill Livingstone, 1991
197. **Friedman AH.** Neurotization of elements of the brachial plexus. *Neurosurg.Clin.N.Am* 1991; 2:165-174
198. **Birch R, Bonney G, Wynn Parry C.** *Surgical disorders of peripheral nerves.* New York, 1998
199. **Vekris MD, Beris AE, Johnson EO, Korobilias AV, Pafilas D, Vekris AD, Soucacos PN.** Musculocutaneous neurotization to restore elbow flexion in brachial plexus paralysis. *Microsurgery* 2006; 26:325-329
200. **Vekris MD, Soucacos PN.** Post-traumatic brachial plexus paralysis: current management of reconstruction. *Curr Orthop.* 2001; 15:76-83
201. **Kim DH, Murovic JA, Tiel RL, Kline DG.** Lacerations to the brachial plexus: surgical techniques and outcomes. *J Reconstr.Microsurg* 2005; 21:435-440
202. **Nulsen F, Slade H.** Recovery following injury to the brachial plexus. In: Woodhall B, Beebe G, eds., *Peripheral nerve regeneration: a follow-up study of 3,656 World War II injuries.* Washington, DC, US Government Printing Office, 1957: 389-408
203. **Omer GE, Jr.** Results of untreated peripheral nerve injuries. *Clin.Orthop.Relat Res.* 1982;15-19
204. **Leffert R, Seddon H.** Infraclavicular brachial plexus injuries. *J Bone Joint Surg.Br* 1965; 47:9-22
205. **Dai SY, Lin DX, Han Z, Zhoug SZ.** Transference of thoracodorsal nerve to musculocutaneous or axillary nerve in old traumatic injury. *J Hand Surg.[Am]* 1990; 15:36-37
206. **Choi PD, Novak CB, Mackinnon SE, Kline DG.** Quality of life and functional outcome following brachial plexus injury. *J Hand Surg.[Am]* 1997; 22:605-612
207. **Chuang DC.** Nerve transfers in adult brachial plexus injuries: my methods. *Hand Clin.* 2005; 21:71-82
208. **Terzis JK, Vekris MD, Soucacos PN.** Brachial plexus root avulsions. *World J.Surg.* 2001; 25:1049-1061
209. **Bertelli JA, Taleb M, Mira JC, Ghizoni MF.** Functional recovery improvement is related to aberrant reinnervation



trimming. A comparative study using fresh or predegenerated nerve grafts. *Acta Neuropathol.* 2006; 111:601-609

210. **Sedel L.** Repair of severe traction lesions of the brachial plexus. *Clin.Orthop.Relat Res.* 1988;62-66
211. **Kawai H, Akita S.** Shoulder muscle reconstruction in the upper type of the brachial plexus injury by partial radial nerve transfer to the axillary nerve. *Tech.Hand Up Extrem.Surg* 2004; 8:51-55
212. **Gilbert A.** Long-term evaluation of brachial plexus surgery in obstetrical palsy. *Hand Clin.* 1995; 11:583-594
213. **Berger A, Becker MH.** Brachial plexus surgery: our concept of the last twelve years. *Microsurgery* 1994; 15:760-767
214. **Kawai H, Murase T, Kawabata H, Ohta I, Masatomi T, Ono K, Nonaka I.** A histochemical study of the biceps brachii muscle cross-innervated by intercostal nerves. 6 cases of brachial plexus injuries operated with nerve-crossing. *Acta Orthop.Scand.* 1994; 65:204-206
215. **Kline D.G., Hudson A.R.** Stretch injuries to brachial plexus. In: *Nerve Injuries: Operative Results for Major Nerve Injuries, Entrapments, and Tumors*, 1st ed. Philadelphia, W.B. Saunders, 1995: 397-460
216. **Malessy MJ, Thomeer RT.** Evaluation of intercostal to musculocutaneous nerve transfer in reconstructive brachial plexus surgery. *J Neurosurg.* 1998; 88:266-271
217. **Ochiai N, Mikami Y, Yamamoto S, Nakagawa T, Nagano A.** A new technique for mismatched nerve suture in direct intercostal nerve transfers. *J Hand Surg.[Br.]* 1993; 18:318-319
218. **Ogino T, Naito T.** Intercostal nerve crossing to restore elbow flexion and sensibility of the hand for a root avulsion type of brachial plexus injury. *Microsurgery* 1995; 16:571-577
219. **Okinaga S, Nagano A.** Can vascularization improve the surgical outcome of the intercostal nerve transfer for traumatic brachial plexus palsy? A clinical comparison of vascularized and non-vascularized methods. *Microsurgery* 1999; 19:176-180

220. **Ruch DS, Friedman A, Nunley JA.** The restoration of elbow flexion with intercostal nerve transfers. *Clin.Orthop.* 1995;95-103
221. **Samardzic M, Grujicic D, Rasulic L, Bacetic D.** Transfer of the medial pectoral nerve: myth or reality? *Neurosurgery* 2002; 50:1277-1282
222. **Tonkin MA, Eckersley JR, Gschwind CR.** The surgical treatment of brachial plexus injuries. *Aust.N.Z.J.Surg.* 1996; 66:29-33
223. **Waikakul S, Wongtragul S, Vanadurongwan V.** Restoration of elbow flexion in brachial plexus avulsion injury: comparing spinal accessory nerve transfer with intercostal nerve transfer. *J Hand Surg.[Am.]* 1999; 24:571-577
224. **Ploncard P.** A new approach to the intercosto-brachial anastomosis in the treatment of brachial plexus paralysis due to root avulsion. Late results. *Acta Neurochir. (Wien.)* 1982; 61:281-290
225. **Kanaya F, Gonzalez M, Park CM, Kutz JE, Kleinert HE, Tsai TM.** Improvement in motor function after brachial plexus surgery. *J Hand Surg.[Am]* 1990; 15:30-36
226. **Bentolila V, Nizard R, Bizot P, Sedel L.** Complete traumatic brachial plexus palsy. Treatment and outcome after repair. *J.Bone Joint Surg.Am.* 1999; 81:20-28
227. **Songcharoen P, Mahaisavariya B, Chotigavanich C.** Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. *J.Hand Surg. [Am.]* 1996; 21:387-390
228. **Richardson PM.** Recovery of biceps function after delayed repair for brachial plexus injury. *J.Trauma* 1997; 42:791-792
229. **Gu YD, Wu MM, Zhen YL, Zhao JA, Zhang GM, Chen DS, Yan JQ, Cheng XM.** Phrenic nerve transfer for treatment of root avulsion of the brachial plexus. *Chin Med J (Engl.)* 1990; 103:267-270
230. **Hou Z, Xu Z.** Nerve transfer for treatment of brachial plexus injury: comparison study between the transfer of partial median and ulnar nerves and that of phrenic and spinal accessory nerves. *Chin J.Traumatol.* 2002; 5:263-266

231. **El-Gammal TA, El-Sayed A, Kotb MM.** Surgical treatment of brachial plexus traction injuries in children, excluding obstetric palsy. *Microsurgery* 2003; 23:14-17
232. **Brunelli G.** Neurotization of avulsed roots of the brachial plexus by means of anterior nerves of the cervical plexus. In: Terzis J, ed., *Microconstruction of nerve injuries*. Philadelphia, WB Saunders, 1987: 435-445
233. **Rutowski R.** Neurotizations by means of the cervical plexus in over 100 patients with from one to five root avulsions of the brachial plexus. *Microsurgery* 1993; 14:285-288
234. **Yamada S, Lonser RR, Iacono RP, Morenski JD, Bailey L.** Bypass coaptation procedures for cervical nerve root avulsion. *Neurosurgery* 1996; 38:1145-1151
235. **Terzis JK, Kostas I.** Suprascapular nerve reconstruction in 118 cases of adult posttraumatic brachial plexus. *Plast Reconstr.Surg* 2006; 117:613-629
236. **Clare DJ, Wirth MA, Groh GI, Rockwood CA, Jr.** Shoulder arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2001; 83-A:593-600
237. **Midha R.** Nerve transfers for severe brachial plexus injuries: a review. *Neurosurg.Focus.* 2004; 16:E5
238. **Mikami Y, Nagano A, Ochiai N, Yamamoto S.** Results of nerve grafting for injuries of the axillary and suprascapular nerves. *J Bone Joint Surg Br.* 1997; 79:527-531
239. **Malessy MJ, de Ruitter GC, de Boer KS, Thomeer RT.** Evaluation of suprascapular nerve neurotization after nerve graft or transfer in the treatment of brachial plexus traction lesions. *J Neurosurg.* 2004; 101:377-389
240. **Chuang DC, Lee GW, Hashem F, Wei FC.** Restoration of shoulder abduction by nerve transfer in avulsed brachial plexus injury: evaluation of 99 patients with various nerve transfers. *Plast Reconstr.Surg* 1995; 96:122-128
241. **Allieu Y, Cenac P.** Neurotization via the spinal accessory nerve in complete paralysis due to multiple avulsion injuries of the brachial plexus. *Clin.Orthop.Relat Res.* 1988;67-74
242. **Samardzic M, Grujicic D, Antunovic V.** Nerve transfer in brachial plexus traction injuries. *J Neurosurg.* 1992; 76:191-197

243. **Alnot JY, Rostoucher P, Oberlin C, Touam C.** [C5-C6 and C5-C6-C7 traumatic paralysis of the brachial plexus of the adult caused by supraclavicular lesions]. *Rev.Chir Orthop.Reparatrice Appar.Mot.* 1998; 84:113-123
244. **Bertelli JA, Ghizoni MF.** Transfer of the accessory nerve to the suprascapular nerve in brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg [Am.]* 2007; 32:989-998
245. **Doi K, Sakai K, Kuwata N, Ihara K, Kawai S.** Reconstruction of finger and elbow function after complete avulsion of the brachial plexus. *J Hand Surg [Am.]* 1991; 16:796-803
246. **Gu Y, Xu J, Chen L, Wang H, Hu S.** Long term outcome of contralateral C7 transfer: a report of 32 cases. *Chin Med.J (Engl.)* 2002; 115:866-868
247. **Zhao X, Lao J, Hung LK, Zhang GM, Zhang LY, Gu YD.** Selective neurotization of the median nerve in the arm to treat brachial plexus palsy. An anatomic study and case report. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86-A:736-742
248. **Zhao X, Lao J, Hung LK, Zhang GM, Zhang LY, Gu YD.** Selective neurotization of the median nerve in the arm to treat brachial plexus palsy. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2005; 87 Suppl 1:122-135
249. **Goubier JN, Teboul F.** Transfer of the intercostal nerves to the nerve of the long head of the triceps to recover elbow extension in brachial plexus palsy. *Tech.Hand Up Extrem.Surg* 2007; 11:139-141
250. **Nagano A, Yamamoto S, Mikami Y.** Intercostal nerve transfer to restore upper extremity functions after brachial plexus injury. *Ann.Acad.Med.Singapore* 1995; 24:42-45
251. **Bertelli JA, Guizoni MF, Dos Santos AR, Calixto JB, Duarte HE.** Cross-chest radial nerve transfer in brachial plexus injuries. Experimental and anatomical basis. *Chir Main* 1999; 18:122-130
252. **Oberlin C.** [Brachial plexus palsy in adults with radicular lesions, general concepts, diagnostic approach and results ]. *Chir Main* 2003; 22:273-284