

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Μελέτη των προσθετικών μελών ελεγχόμενων μέσω νευρωνικών διεπαφών»



Μπανιά Μαρία Ελένη

ΑΜ: 1103

Στέφανος Κώτσης

ΑΜ: 1094

Εποπτεύων καθηγητής

Γιαννακέας Νικόλαος

Άρτα, Σεπτέμβριος, 2024.

The Study of Prosthetic Limbs Controlled by Neural Interfaces.

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, Σεπτέμβριος 2024

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Νικόλαος Γιαννακέας,

Επίκουρος Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Τζάλλας Αλέξανδρος,

Επίκουρος Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Δημόπουλος Δημήτριος,

Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Τζάλλας Αλέξανδρος,

Αναπληρωτής Καθηγητής,

Υπογραφή

© Μπανιά Μαρία Ελένη, 2024.

© Κώτσης Στέφανος, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΟΠΛΗΣ

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Στέφανος Κώτσης

Μαρία-Ελένη Μπανιά

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μας στον καθηγητή μας κ. Γιαννακέα για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθειά του, το ενδιαφέρον του αλλά και τον χρόνο που διέθεσε για την διεκπεραίωση της πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τους κοινούς φίλους που συνέβαλαν ψυχικά (βοήθεια και παραινέσεις) στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου καθώς υπήρξαν δίπλα μου σε κάθε μου βήμα και με στήριζαν πάντοτε. Χωρίς αυτούς η υλοποίηση των σπουδών και η κατοχή του πτυχίου μου δεν θα μπορούσαν να είχαν υλοποιηθεί.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

ΚΝΣ	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΠΝΣ	Περιφερικό Νευρικό Σύστημα
ΕΕΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
MRI	Magnetic Resonance Imaging (Μαγνητική Τομογραφία)
PLP	Phantom Limp Pain
DOF	Degrees of Freedom
BCI	Brain Computer Interfaces
ECoG	Ηλεκτροκορτικογραφία
FBR	Foreign Body Response
M1	Primary Motor Cortex
S1	Primary Somatosensory Cortex
VR	Virtual Reality

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κεντρικό νευρικό σύστημα είναι ένα ιδιαίτερα περίπλοκο σύστημα του ανθρώπινου σώματος το οποίο επιτελεί σχεδόν, εάν όχι όλες, τις λειτουργίες του ανθρώπου. Είναι πολύ σημαντικό να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε το πώς ακριβώς λειτουργεί μέσω των νευρώνων και του νωτιαίου μυελού. Στην περίπτωση βλάβης του ΚΝΣ εμφανίζονται στο ανθρώπινο σώμα μία σειρά από δυσλειτουργίες. Η επιστήμη της Ιατρικής σε συνδυασμό με την Πληροφορική και την τεχνολογία προσπαθούν μέσω πολύπλοκων χειρουργικών επεμβάσεων, υποστηρικτικών μηχανημάτων και προθέσεων να αυξήσει την ποιότητα ζωής των ασθενών. Δυστυχώς, η επιστήμη δεν έχει φτάσει ακόμα στον βαθμό που μπορεί να θεραπεύσει τον τραυματισμό του νωτιαίου μυελού. Όμως, σε σημαντικό βαθμό έχουν υπάρξει βοηθητικά μηχανήματα υποστήριξης. Τέλος, θα συζητήσουμε για τα προσθετικά μέλη, τις διαφορές τους καθώς και την επίπτωση που έχουν στην ψυχολογία του ανθρώπου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) , Νευρώνας, Συνάψεις, Ακρωτηριασμός, Αποκατάσταση.

ABSTRACT

The central nervous system is a highly complex system of the human body that performs almost, if not all, human functions. It is very important to be able to know exactly how it works through neurons and the spinal cord. In the case of damage to the CNS, a series of malfunctions appear in the human body. The science of Medicine combined with Technology try to increase the quality of life of patients through complex surgeries, supportive machines and prostheses. Unfortunately, science has not yet reached the point where it can cure spinal cord injury. But, to a significant extent, there have been auxiliary support machines. Finally, we will discuss prosthetic limbs, their differences as well as the impact they have on human psychology.

KEYWORDS:

Central Nervous System (CNS), Neuron, Contract, Amputation, Restoration.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΟΠΛΗΣ	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1. Φυσιολογία του Εγκεφάλου	14
1.1 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα	15
1.1.1 Νευρώνας.....	16
1.1.2 Νευρογλοιακά κύτταρα.....	18
1.2 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα.....	18
1.2.1 Το περιφερικό νεύρο	18
1.2.2 Γάγγλια	19
1.3 Περιφερικό και Νευρικό Σύστημα.....	20
1.3.1 Συνάψεις.....	20
1.3.2 Χημική Σύναψη	21
1.3.3 Ηλεκτρική Σύναψη	21
1.4 Νωτιαία Αντανακλαστικά.....	21
1.4.1 Αντανακλαστικά.....	22
1.4.2 Μυοτατικό αντανακλαστικό.....	22
1.4.3 Αντίστροφο μυοτατικό αντανακλαστικό.....	23
1.4.4 Αντανακλαστικό κάμψης.....	23
1.5 Μυελίνη	24
1.6 Εκούσιες κινήσεις	25
1.7 Ρυθμικά σχέδια	26

2. Ακρωτηριασμός και πρόσθετα.....	27
2.1 Ακρωτηριασμός.....	27
2.2 Πόνος φάντασμα.....	29
2.3 Φάσεις αποκατάστασης.....	32
2.3.1 Προ εγχειρητική προετοιμασία.....	32
2.3.2 Η επέμβαση του ακρωτηριασμού.....	34
2.3.3 Η μετεγχειρητική περίοδος.....	35
2.4 Προσθετική.....	37
2.4.1 Κατηγορίες προθέσεων.....	39
2.4.2 Τρόποι επιλογής πρόθεσης.....	39
2.5 Ιστορία των προσθετικών μελών.....	40
2.6 Αιτίες ακρωτηριασμών άνω άκρων.....	42
2.6.1 Επίπεδα ακρωτηριασμού άνω άκρων.....	43
2.6.2 Προθέσεις άνω άκρων.....	43
2.6.3 Είδη προθέσεων άνω άκρων.....	45
2.7 Αιτίες ακρωτηριασμών κάτω άκρων.....	53
2.7.1 Επίπεδα ακρωτηριασμών κάτω άκρων.....	54
2.7.2 Προθέσεις κάτω άκρων.....	55
2.7.3 Είδη προθέσεων κάτω άκρων.....	62
2.8 Ψυχολογικές επιπτώσεις.....	64
3. Εμβιομηχανική και κινησιολογία.....	67
3.1 Εισαγωγή στην Εμβιομηχανική.....	67
3.2 Κύκλος βάδισης.....	68
3.3 Κίνηση προσθετικού μέλους.....	70
3.4 Η Μυοηλεκτρική Προσθετική.....	71
3.4.1. Ηλεκτρόδια Περιφερικών Νεύρων.....	73
3.4.2 Διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή.....	74
3.5 Οι Προκλήσεις της Διασύνδεσης Ιστού-Ηλεκτροδίου.....	76

4 Πληροφοριακά συστήματα και λογισμικό.	79
4.1 BCI: Brain Computer Interfaces	79
4.2 Τεχνική καταγραφής ECoG.....	80
4.2.1 Ιστορία της ECoG	82
4.2.2 Μέθοδοι καταγραφής ECoG.....	83
4.2.3 Υλικά Ηλεκτροδίων	83
4.3 Έρευνα σχετικά με την Refit τεχνολογία.....	84
4.4 Αντιμετώπιση PLP μέσω μυοηλεκτρικών προτύπων.....	87
4.4.1 Έρευνα PLP	88
4.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του προγράμματος.	89
4.4.3 Αποτελέσματα έρευνας	92
5. Συμπεράσματα.	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	102

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Για να μπορεί να μελετηθεί ο τρόπος λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος και ιδιαίτερα του εγκεφάλου, που αποτελεί ένα τόσο ξεχωριστό και δύσκολο όργανο προς μελέτη, χρειάζεται χρόνος και πολλές έρευνες. Ανά τα χρόνια, ο τρόπος λειτουργίας του μυαλού συνάρπαζε πολλούς επιστήμονες οι οποίοι αφιέρωναν τη ζωή τους στην προσπάθεια να μπορέσουν να μάθουν, να κατανοήσουν και στη συνέχεια να βοηθήσουν τους ασθενείς τους. Μέχρι και σήμερα, ο τρόπος που ο εγκέφαλος επεξεργάζεται τα δεδομένα παραμένει άγνωστος σε έναν αρκετά μεγάλο βαθμό, όμως αυτό που μπορούμε να πούμε με σιγουριά, είναι πως έχουν γίνει σημαντικά και προοδευτικά βήματα ως προς την κατανόηση του. Συνεχώς πραγματοποιούνται πειράματα, ελέγχονται στατιστικά και παθήσεις που τα προηγούμενα χρόνια δεν μπορούσαν να εξηγηθούν αλλά τώρα λαμβάνουν θεραπεία. Ψυχολογικές παθήσεις όπως η κατάθλιψη, νευρολογικές παθήσεις και αυτό άνοσα όπως η νόσος Alzheimer και η σκλήρυνση κατά πλάκας έχουν δείξει εξαιρετική βελτίωση με τους νέους τρόπους θεραπείας. Η ποιότητα της ζωής των ανθρώπων βελτιώθηκε δραματικά αυξάνοντας παράλληλα το προσδόκιμο ζωής τους.

Απαραίτητο κομμάτι της έρευνας είναι η γνώση της ίδιας της λειτουργίας του εγκεφάλου καθώς μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί σωστή αντιμετώπιση. Ο εγκέφαλος αποτελείται από πολλά τμήματα, ξεχωριστά κύτταρα με ειδικές λειτουργίες. Στη συγκεκριμένη πτυχιακή θα αναλυθούν οι λειτουργίες του εγκεφάλου με μεγαλύτερη έμφαση στον νωτιαίο μυελό, καθώς κύριος λόγος των ανθρώπων με κινητικά προβλήματα είναι ο τραυματισμός του. Οι έρευνες που διεξάγονται μέχρι και σήμερα, δυστυχώς δεν έχουν καταφέρει να αποδείξουν πως μπορούν να γιατρέψουν τον τραυματισμό του νωτιαίου μυελού όμως με την χρήση της πληροφορικής και των πληροφορικών συστημάτων, της χρήσης ηλεκτροδίων, της επαυξημένης πραγματικότητας και των ρομποτικών βραχιόνων φαίνεται πως μπορεί να επιτευχθεί μερική κίνηση και ανταπόκριση των άκρων.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1. Φυσιολογία του Εγκεφάλου

Ως εγκέφαλος ορίζεται το σύστημα, το οποίο ρυθμίζει και ελέγχει τη λειτουργία όλων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος καθώς και τη μεταξύ τους αρμονία. Οι κύριες λειτουργίες του είναι οι εξής:

- η επικοινωνία του οργανισμού με το εξωτερικό περιβάλλον,
- η επικοινωνία και συντονισμός των ιστών και των οργάνων μεταξύ τους,
- η εκτέλεση ανώτερων λειτουργιών όπως είναι η μνήμη, η σκέψη, η βούληση και η εκτέλεση.

Χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- το κεντρικό νευρικό σύστημα και
- το περιφερικό νευρικό σύστημα

Ελέγχουν τις αισθήσεις και την κίνηση και αντίστοιχα τις ζωτικές λειτουργίες του οργανισμού. Τα κύτταρα του νευρικού συστήματος λέγονται νευρώνες και έχουν ως κύρια λειτουργία τους να υποδέχονται αισθητικά ερεθίσματα και να τα μεταφέρουν στα εκτελεστικά όργανα. Υπάρχουν νεύρα για όλες τις λειτουργίες του σώματος. Αυτές μπορεί να είναι εκούσιες κινήσεις, η ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, ο χτύπος της καρδιάς αλλά και λειτουργίες που επιτρέπουν στον άνθρωπο πιο σύνθετες λειτουργίες όπως να καθίσει να περπατήσει, να μιλήσει [1,2].

Ως νευροπάθεια ορίζεται οποιαδήποτε ασθένεια-διαταραχή που επηρεάζει τη λειτουργία των νευρών στο σώμα ενός ανθρώπου. Μπορεί να παρατηρηθεί σε πολλές ασθένειες και παθολογικές καταστάσεις ενώ μπορεί να είναι οξεία ή χρόνια, προσωρινή ή μόνιμη, κληρονομική ή επίκτητη. Ανάλογα με τη θέση της βλάβης των νευρών (μπορεί να είναι σε συγκεκριμένη θέση ή ακόμα και σε εκτεταμένη) μπορούν να επηρεαστούν ένα ή περισσότερα είδη νευρών (κινητικά, αισθητήρια, αυτόνομα νεύρα) και αυτό με τη σειρά του να δημιουργήσει διαφορετικά προβλήματα και συμπτώματα [1,2].

Στον ανθρώπινο οργανισμό η επεξεργασία και η αποθήκευση οποιασδήποτε πληροφορίας γίνεται μέσω της δημιουργίας δικτύων επικοινωνίας ανάμεσα στα νευρικά κύτταρα. Ο αριθμός των δικτύων νευρώνων που σχηματίζονται στον εγκέφαλο κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου είναι πάρα πολύ μεγάλος. Αρκεί να σκεφτεί κάποιος, πως ο εγκέφαλος περιέχει περίπου 10 δισεκατομμύρια νευρώνες όπου ο καθένας από αυτούς δημιουργεί εκ νέου συνδέσεις με 10.000 άλλους νευρώνες. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται ένα τεράστιο δίκτυο νευρώνων των οποίων η αλληλεπίδραση επιτρέπει τη διαχείριση πληροφοριών. Το κενό που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ δύο νευρώνων ονομάζεται σύναψη.

Υπάρχουν δύο βασικοί νευρώνες : ο νευρώνας που στέλνει το σήμα και ονομάζεται προ συνοπτικός και αυτός που δέχεται το σήμα και ονομάζεται μετασυναπτικός νευρώνας. Α) Ένας μόνο νευρώνας μπορεί ακόμα να δεχτεί από 1.000 έως 20.000 συνάψεις. Β) Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συνάψεων, οι ηλεκτρικές συνάψεις και οι χημικές συνάψεις [3].

1.1 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Το κεντρικό τμήμα του νευρικού συστήματος ονομάζεται κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ). Αποτελείται από τον νωτιαίο μυελό και τον εγκέφαλο και περιβάλλεται από οστέινες δομές, το κρανίο και την σπονδυλική στήλη. Θεωρείται το βασικότερο μέρος του νευρικού συστήματος αφού ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες του οργανισμού, κινητικές και αισθητικές. Είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνος στην επεξεργασία της πληροφορίας που λαμβάνει από τις αισθήσεις του οργανισμού, στη ρύθμιση των λειτουργιών του, στην εκδήλωση της σκέψης και της λογικής καθώς και άλλες ζωτικές λειτουργίες. Μεσολαβεί για την επικοινωνία του οργανισμού με τον έξω κόσμο, επεξεργάζεται, μεταφράζει και αποθηκεύει τις πληροφορίες που δέχεται τόσο από το εσωτερικό όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον και είτε απαντά με κινητικές εντολές είτε συλλέγει πληροφορίες για να αντιδράσει αργότερα. Ο οργανισμός για την επιβίωση του είναι απαραίτητο να αντιλαμβάνεται αλλά και να αντιδρά ανάλογα με τις μεταβολές του περιβάλλοντος. Λαμβάνει πληροφορίες από τα μάτια (όραση), τα αυτιά (ήχος), τη μύτη (μυρωδιά), τη γλώσσα (γεύση), το δέρμα (αφή) καθώς και από τα εσωτερικά όργανα. Εκτός όμως από τον συντονισμό των μυών και των οργάνων, το κεντρικό νευρικό σύστημα είναι η έδρα των ανώτερων νοητικών λειτουργιών δηλαδή του λόγου, της σκέψης και της συνείδησης. Όλα αυτά δημιουργούν την προσωπικότητα του κάθε ανθρώπου όπου σε κάθε έναν είναι μοναδική [1,3,4]. Η νευροεπιστήμη, όπως αποκαλείται η επιστήμη η οποία μελετά το νευρικό σύστημα είναι λοιπόν αυτή που μεριμνά τόσο για την λειτουργία του ίδιου του νευρικού συστήματος ως προς τους νευρώνες και τις συνάψεις όσο και

για το πόσο επηρεάζεται η συμπεριφορά και οι γνωστικές λειτουργίες του ανθρώπου. Η νευροεπιστήμη συνδυάζεται εξαιρετικά με πολλές ακόμα επιστήμες και κάθε μέρα οι νευροεπιστήμονες έρχονται πιο κοντά στο να θεραπεύσουν και να δώσουν απαντήσεις σε όλο και περισσότερους ανθρώπους. Ειδικότερα, στον τομέα της ιατρικής φαίνεται να έχει εφαρμογές όπως είναι η νευρολογία και η ψυχιατρική αλλά και σε άλλους τομείς όπως είναι η ψυχολογία, η φαρμακολογία και η τεχνολογία [3].

- **Ψυχολογία:** γίνεται προσπάθεια να μελετηθεί πως το νευρικό σύστημα επηρεάζει την ψυχολογία του ανθρώπου καθώς και του πως ερμηνεύει ο εγκέφαλος τα συναισθήματα και τις γνώσεις του κάθε ανθρώπου.
- **Ιατρική:** η νευροεπιστήμη αντλεί βασικά εφόδια από την ιατρική για να μπορέσουν να επεκταθούν σε θεραπείες και παρασκευή φαρμάκων.
- **Φαρμακολογία:** πολύ σημαντικός τομέας καθώς γίνεται εκτενής έρευνα για το πως επηρεάζουν και αλληλοεπιδρούν τα φάρμακα σε αντίστοιχες νευρολογικές παθήσεις.
- **Τεχνολογία:** ίσως ότι πιο σύγχρονο καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε σήμερα. Γίνεται τεράστια προσπάθεια καθημερινά να αναπτυχθούν καινοτομίες όπως είναι τα τεχνητά νευρικά δίκτυα. [2]

Πραγματοποιούνται συνεχώς έρευνες σχετικά με το νευρικό σύστημα έτσι ώστε να μπορέσουν να γίνουν κατανοητές οι νευρολογικές διαταραχές και στην συνέχεια να αναπτυχθούν θεραπείες. Κάποιες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι νευροεπιστήμονες για την μελέτη του νευρικού συστήματος είναι η εγκεφαλογραφία (EEG), μαγνητική τομογραφία (MRI) καθώς και της χρήσης νευροχημικών μεθόδων έτσι ώστε να καταφέρουν να μελετήσουν τις νευροδιαβιβάσεις και πως αυτές λειτουργούν. Σήμερα η νευροεπιστήμη βρίσκεται σε ένα σημαντικό σημείο ανάπτυξης και εξέλιξης. Έχει σημειώσει τεράστιες προόδους στην κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος, καθώς και στην εφαρμογή των γνώσεων αυτών στους τομείς που προαναφέρθηκαν. Παρά όμως της συνεχής και αυξανόμενης κατανόησης των τραυματισμών του νωτιαίου μυελού και των διαδικασιών ανάκτησης καθώς και του τρόπου λειτουργίας του, η απόλυτη θεραπεία για τραυματισμούς όπως η παραπληγία ή η τετραπληγία δεν έχει ακόμα επιτευχθεί. [5]

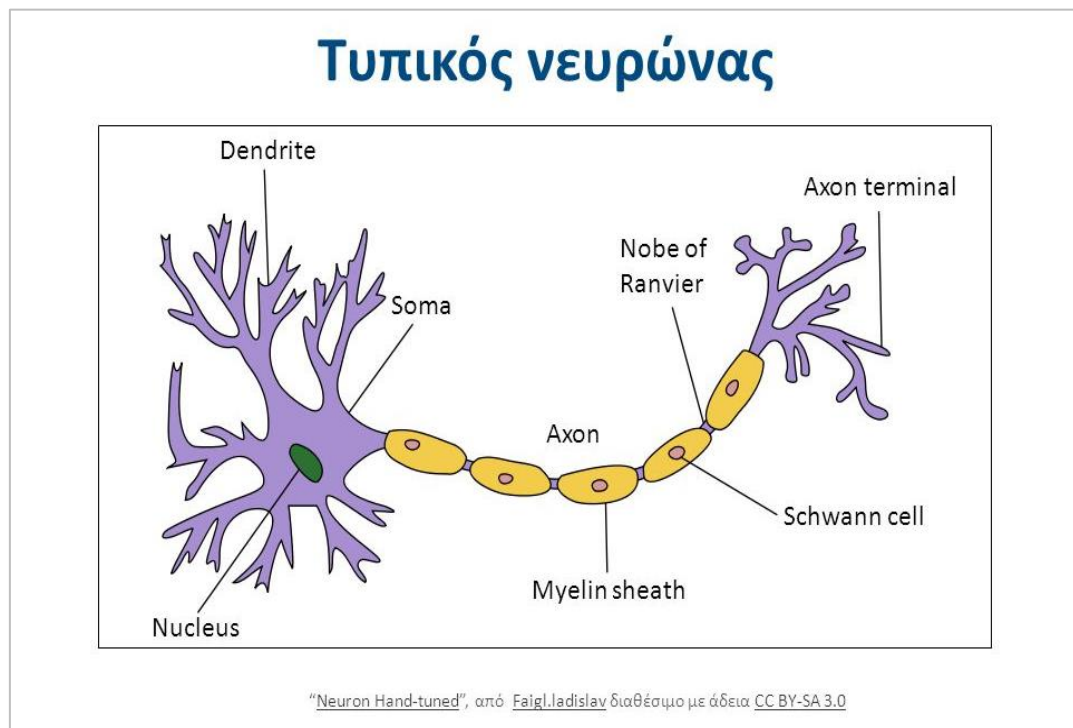
1.1.1 Νευρώνες

Το κεντρικό νευρικό σύστημα απαρτίζεται από κύτταρα που μεταξύ τους δημιουργούν έναν ιστό, τον νευρικό ιστό. Τα κύτταρα αυτά ονομάζονται νευρικά κύτταρα και νευρογλοιακά κύτταρα (ή

απλά γλοία). Τα νευρικά κύτταρα μεταδίδουν τις νευρικές ώσεις, που είναι και η πιο σημαντική λειτουργία του νευρικού ιστού. Κάθε νευρώνας αποτελείται από το κυτταρικό σώμα και από και τις αποφυάδες. Όπως σε κάθε κύτταρο έτσι και ο νευρώνας στο κυτταρικό σώμα περιέχει τον πυρήνα και τα οργανίδια του κυττάρου. Οι νευρικές αποφυάδες διακρίνονται στους δενδρίτες και στον νευράξονα ή αλλιώς νευρίτη. Οι δενδρίτες στην ουσία είναι πολύ μικρές σε μήκος αποφυάδες που διακλαδίζονται ενώ οι νευράξονες έχουν μήκος που μπορεί να φτάσει και το ένα μέτρο. Επίσης, διακλαδίζονται σε πολλές μικρές απολήξεις, καθεμία από τις οποίες φτάνει σε ένα ειδικό άκρο το τελικό κομβίο. [2]

Οι νευρώνες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- τους **αισθητικούς νευρώνες** οι οποίοι μεταφέρουν πληροφορίες από όλο το σώμα στον νωτιαίο μυελό και στον εγκέφαλο.
- τους **κινητικούς νευρώνες** οι οποίοι μεταφέρουν μηνύματα από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό στα εκτελεστικά όργανα.
- τους **ενδιάμεσους νευρώνες** ή αλλιώς συνδετικούς νευρώνες οι οποίοι βρίσκονται αποκλειστικά στον εγκέφαλο και στον νωτιαίο μυελό. Η δουλειά τους είναι η σωστή μεταφορά των μηνυμάτων των αισθητικών νευρώνων στη σωστή περιοχή του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού. Επίσης, είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά μηνυμάτων από τον νωτιαίο μυελό προς τον εγκέφαλο και από και στους κινητικούς νευρώνες [2].



Εικόνα 1. Νευρώνας

1.1.2 Νευρογλοιακά κύτταρα

Ονομάζονται αλλιώς νευρογλοία ή γλοία κύτταρα. Ο κύριος ρόλος τους είναι επί το πλείστον να βοηθούν στη μετάδοση των νευρικών ώσεων, να θρέφουν τα νευρικά κύτταρα και να απομακρύνουν τις άχρηστες ουσίες από αυτά. Περιβάλλουν τον νευράξονα των περισσότερων νευρώνων και έτσι βοηθούν στη μόνωση του αλλά και στην επιτάχυνση της μεταφοράς της νευρικής ώσης. Καταλαμβάνουν το 50% του όγκου του εγκεφάλου και του νωτιαίου μυελού ενώ οι νευρώνες αποτελούν μόλις το 10% των κυττάρων στο κεντρικό νευρικό σύστημα.

Διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Αστροκύτταρα:** είναι μεγάλα με μακριές αποφυάδες. Ο ρόλος τους είναι κυρίως ο σχηματισμός του δομικού σκελετού.
- **Ολιγοδενδροκύτταρα:** είναι μικρότερα από τα αστροκύτταρα με λιγότερες αποφυάδες και είναι υπεύθυνα για την παραγωγή μυελίνης στο κεντρικό νευρικό σύστημα.
- **Μικρογλοία:** είναι μικρά και πυκνά και έχουν αγκαθωτές αποφυάδες. Βοηθούν το ανοσοποιητικό σύστημα να αναγνωρίσει έναν ιό και να περιοριστεί η βλάβη των νευρώνων.
- **Επενδυματικά κύτταρα:** είναι κυλινδρικά κύτταρα χωρίς αποφυάδες που επενδύουν τις κοιλότητες του εγκεφάλου και τον κεντρικό σωλήνα του νωτιαίου μυελού. βοηθούν επίσης τη διακίνηση του εγκεφαλονωτιαίου υγρού μέσα στις κοιλίες. [1,2,3]

1.2 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα

Το περιφερικό τμήμα του νευρικού συστήματος ονομάζεται Νευρικό Περιφερικό Σύστημα και αποτελείται κυρίως από τα νεύρα. Σε αντίθεση με το κεντρικό νευρικό σύστημα δεν προστατεύεται από οστά. Περιλαμβάνει τα περιφερικά γάγγλια, τα νεύρα, νευρικές απολήξεις, υποδοχείς και εκτελεστές του σώματος [4].

1.2.1 Το περιφερικό νεύρο

Τα νεύρα αποτελούνται από δέσμες μακριών δενδριτών και νευροαξόνων οι οποίες συγκροτούνται με τη βοήθεια συνδετικού ιστού. Οι νευρικές αποφυάδες που συγκροτούν τα νεύρα περιβάλλονται από νευρογλοιακά κύτταρα και έχουν λευκή γυαλιστερή όψη [4].

Τα νεύρα ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται στα:

- **αισθητικά νεύρα** που αποτελούνται από αποφυάδες αισθητικών νεύρων.
- **κινητικά νεύρα** τα οποία αποτελούνται από νευράξονες κινητικών νευρώνων.
- **μεικτά νεύρα** τα οποία αποτελούνται και από τα δύο είδη αποφυάδων. Κάθε περιφερικό νεύρο(schwann cell) αποτελείται από μία ή περισσότερες δεσμίδες ινών, οι οποίες μπορεί να είναι εμμύελες ή αμύελες. Ο διαχωρισμός τους είναι στο αν οι νευρικές τους ίνες επικαλύπτονται από μυελίνη [5].

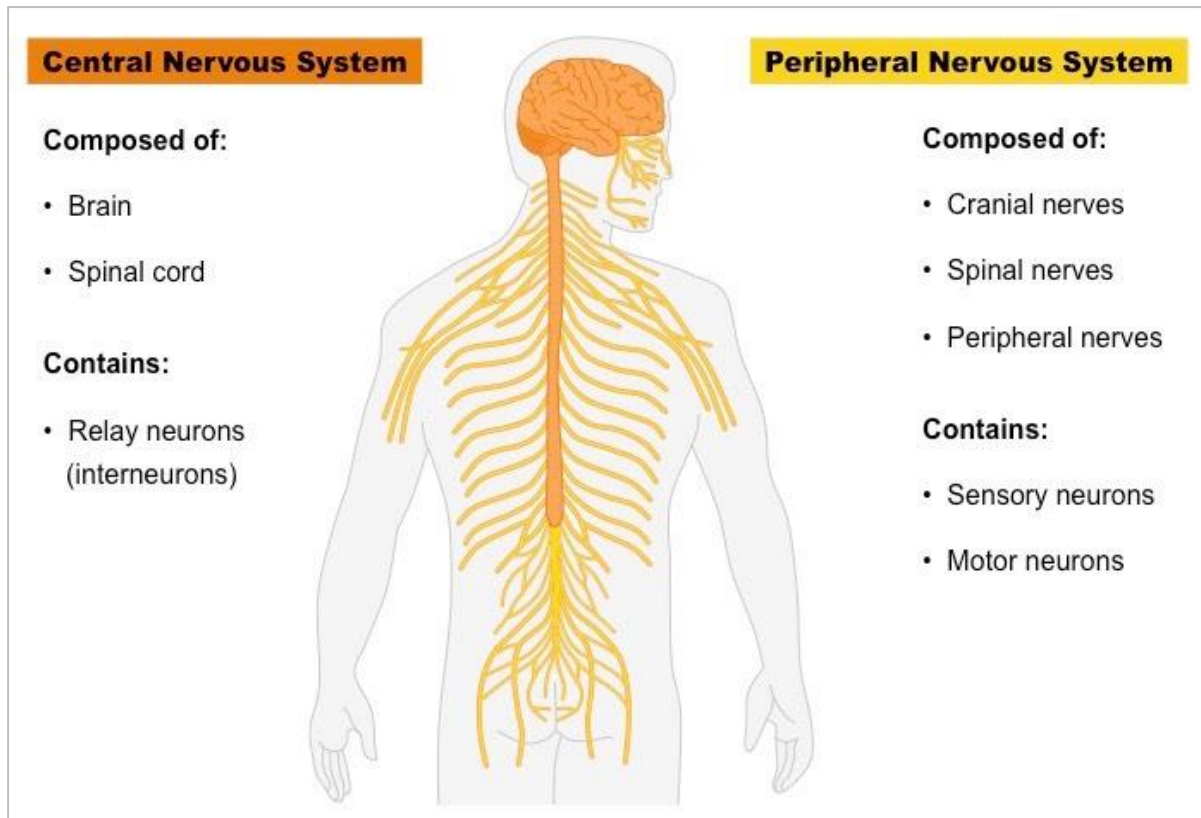
1.2.2 Γάγγλια

Είναι δομές του Περιφερικού Νευρικού Συστήματος οι οποίες βρίσκονται στο εσωτερικό του εγκεφάλου. Διαθέτουν προσαγωγούς και απαγωγούς νευράξονες και στηρικτικά κύτταρα. Διακρίνονται στα αισθητικά, τα συμπαθητικά και τα παρασυμπαθητικά. Αποτελούνται από διαφορετικούς πυρήνες, οι οποίοι έχουν παρόμοιες λειτουργίες.

Αυτοί οι πυρήνες είναι:

- ο κερκοφόρος πυρήνας ή το ραβδωτό
- το κέλυφος
- η ωχρά σφαίρα (διακρίνεται στην έξω και έσω μοίρα ωχρής σφαίρας)
- ο υποθάλαμος πυρήνας
- η μέλαινα ουσία

Όλοι αυτοί οι πυρήνες συνδέονται με πολύ συγκεκριμένο τρόπο. Ο ρόλος τους είναι κυρίως βοηθητικός αφού παρέχουν διάφορες υποστηρικτικές λειτουργίες, όπως είναι η προστασία, η διευκόλυνση του μεταβολισμού, η βοήθεια του σχηματισμού της μυελίνης κ.α. Η θέση τους είναι στρατηγική και ο ρόλος τους στην κίνηση είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Έχουν συνδεθεί με νευρολογικές και ψυχιατρικές διαταραχές όπως είναι η νόσος Πάρκινσον, η σχιζοφρένεια, η αγχώδης διαταραχή και για αυτόν τον λόγο έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα. Εκτός από την κίνηση, σημαντική λειτουργία των βασικών γαγγλίων, είναι το κίνητρο που έχει ο κάθε οργανισμός για κίνηση. Για παράδειγμα, όταν κάποιος πεινάει, το κίνητρο για να φάει, δίνεται από τα βασικά γάγγλια. [5,7]



Εικόνα 2. ΚΝΣ και ΠΝΣ.

1.3 Περιφερικό και Νευρικό Σύστημα

1.3.1 Συνάψεις

Το νευρικό κύτταρο παράγει χημικές ενώσεις, τους νευροδιαβιβαστές μέσω των οποίων γίνεται η μεταφορά της νευρικής ώσης. Οι νευροδιαβιβαστές εκκρίνονται από τα τελικά κομβία των νευραξόνων. Στο κεντρικό νευρικό σύστημα και στο Περιφερικό νευρικό σύστημα ο πιο γνωστός διαβιβαστής είναι η ακετυλοχολίνη. Σε μία σύναψη παρατηρείται το προ συνοπτικό άκρο, που είναι τα τελικά κομβία ενός νευρικού κυττάρου και το μετασυνοπτικό άκρο, στο οποίο βρίσκονται οι υποδοχείς της νευροδιαβιβαστικής ουσίας. Τα δύο αυτά άκρα δεν βρίσκονται σε επαφή και ο χώρος ανάμεσα τους που ονομάζεται συναπτική σχισμή έχοντας πάχος 15 με 20 ημ. Οι συνάψεις μπορούν να μεταφερθούν μόνο από το προσυναπτικό προς το μετασυνοπτικό άκρο άρα μπορούν να καθορίσουν την κατεύθυνση μεταφοράς των νευρικών ώσεων. [5,6,8]

1.3.2 Χημική Σύναψη

Οι χημικές συνάψεις θεωρούνται από πολλούς πιο αποτελεσματικές λόγω της μετάδοσης χημικών με τη μορφή νευροδιαβιβαστών. Αν και αργές παραμένουν ιδιαίτερα ανθεκτικές. Οι νευροδιαβιβαστές μεταφέρουν πληροφορίες από τον προσυναπτικό νευρώνα, δηλαδή το νευρώνα που στέλνει πληροφορίες στον μετασυναπτικό νευρώνα (αυτόν που λαμβάνει τις πληροφορίες). Κατά τη μετάδοση του σήματος παρατηρείται μία καθυστέρηση ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου, ενώ η μετάδοση αυτή είναι μονόπλευρη.

Επιπλέον, εκτός από τα νευρωτικά κύτταρα μπορούν να σηματοδοτήσουν τους μυς καθώς και τους αδένες. Η χημική σύναψη ανάμεσα σε ένα κινητικό και ένα μυϊκό μυ ονομάζεται νευρομυϊκή σύνδεση.

Οι χημικές συνάψεις επιτρέπουν στους νευρώνες του κεντρικού συστήματος να δημιουργήσουν νευρικά κυκλώματα. Συμβάλλουν ιδιαίτερα στην υλοποίηση σκέψης, στην αντίληψή και γενικότερα στις εντολές του εγκεφάλου ενώ ταυτόχρονα μέσω αυτών το νευρικό σύστημα συνδέεται με τα υπόλοιπα συστήματα του σώματος. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει από 1.000 έως 5.000 τρισεκατομμύρια συνάψεις ενώ οι πιο μικρές ηλικίες αγγίζουν τις 10.000 τρισεκατομμύρια συνάψεις. Κατά την ενηλικίωση αυτός ο αριθμός σταθεροποιείται και με το πέρασμα των χρόνων μειώνεται [5,6,8].

1.3.3 Ηλεκτρική Σύναψη

Οι ηλεκτρικές συνάψεις είναι λιγότερες από τις χημικές, πολύ πιο γρήγορες και άμεσες όμως όχι τόσο αποτελεσματικές. Οι προσυναπτικές και μετασυναπτικές μεμβράνες είναι κοντά μεταξύ τους και συνδέονται φυσικά με πρωτεΐνες διαύλου. Έτσι, σχηματίζονται οι συνδέσεις κενού όπου το ρεύμα μπορεί να περάσει πολύ εύκολα από το ένα σημείο στο άλλο. Η μετάδοση των ηλεκτρικών συνάψεων είναι σχεδόν στιγμιαία αλλά και αμφίδρομη.

Γι' αυτόν τον λόγο παρατηρείται σε αντιδράσεις όπως στα ένστικτα και τις άμυνες μας στις οποίες πρέπει να αντιδράσουμε γρήγορα [4,9].

1.4 Νωτιαία Αντανεκλαστικά

Τα νωτιαία αντανακλαστικά βρίσκονται μέσα στο νωτιαίο μυελό λαμβάνοντας αισθητικές πληροφορίες κατευθείαν από το δέρμα, τις αρθρώσεις και τους μυς έχοντας έτσι βασικό ρόλο στις εκούσιες ενέργειες. Θεωρούνται από τα πιο απλά αλλά και ολοκληρωμένα κυκλώματα αντίληψης και κίνησης. Η ενεργοποίησή τους γίνεται μέσω αισθητικών υποδοχέων. Ενεργοποιούνται από τους αισθητικούς υποδοχείς και μέσω των νευρικών κυκλωμάτων μετατρέπουν τα αντανακλαστικά σε κίνηση. Ο εγκέφαλος, αν και δεν χρειάζεται κατά την εκτέλεση τους, μπορεί να τα επηρεάσει ανασταλτικά. Αυτό συμβαίνει, επειδή οι αντανακλαστικές κινήσεις πρέπει να εμφανίζονται γρήγορα έτσι ώστε να ενεργοποιήσουν τους κινητικούς νευρώνες του νωτιαίου μυελού, χωρίς τα σήματα να καθυστερούν κατά την πορεία τους προς τον εγκέφαλο. Βέβαια, ο εγκέφαλος θα λάβει την πληροφορία της αντανακλαστικής κίνησης αφού έχει πρώτα γίνει. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που το χέρι μας καίγεται το αντανακλαστικό του πόνου ενεργοποιείται κατευθείαν και οι κινητικοί νευρώνες μεταδίδουν ώθηση στους μυς του άκρου για να συσταλούν και τέλος να αποφύγουν τον κίνδυνο του εγκαύματος. [8,10]

1.4.1 Αντανακλαστικά

Τα αντανακλαστικά είναι αυτόματες-ακούσιες κινήσεις τις οποίες δίνει ο οργανισμός σε αλλαγές που πραγματοποιούνται μέσα ή έξω από το σώμα. Μέσω των αντανακλαστικών ελέγχονται απαντήσεις που πρέπει να εκδηλωθούν με ταχύτητα όπως είναι για παράδειγμα οι αντιδράσεις έκτακτης ανάγκης και η αυτόματη διατήρηση της ισορροπίας. Τα αντανακλαστικά βοηθούν στη διατήρηση της ομοιόστασης του οργανισμού όπως στη ρύθμιση της αναπνοής, στη ρύθμιση της πίεσης, στο ανοιγόκλεισα των βλεφάρων κ.α. [10]

1.4.2 Μυοτατικό αντανακλαστικό

Το μυοτατικό αντανακλαστικό ονομάζεται αλλιώς και αντανακλαστικό διάτασης. Αυτό που κάνει είναι να διεγείρει στον νωτιαίο μυελό τους κινητικούς νευρώνες προς τον εκτίνοντα μη και να αναστέλλει τους κινητικούς νευρώνες στον καμπτήρα μη, προκαλεί δηλαδή συστολή των μυών μετά το τέντωμά τους. Η διάταση ενός μυ ενεργοποιεί τη μυϊκή άτρακτο. Αυτή με την σειρά της, ενεργοποιεί το αισθητικό νεύρο και στέλνει νευροδιαβιβαστές (γλουταμικού οξέος) στις συνάψεις που δημιουργούνται από τον αισθητικό νευρώνα. Τελικά, το γλουταμικό οξύ που ελκύεται ενεργοποιεί τον κινητικό νευρώνα του μυ και ένας άλλος διάμεσος νευρώνας θα απενεργοποιήσει τον κινητικό νευρώνα του ανταγωνιστή μη. Στο παράδειγμα της διάτασης του τετρακέφαλου

προκαλείται σύσπαση στον τετρακέφαλο και διάταση στο δικέφαλο. Το πιο αξιόπιστο μυοτατικό αντανακλαστικό είναι το επιγονατιδικό αντανακλαστικό, το οποίο γίνεται με τον ασθενή καθιστό και το γόνατο λυγισμένο. Ο επιγονατιδικός του σύνδεσμος χτυπιέται ελαφρά και το πόδι πετιέται μπροστά. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται το νευρικό σύστημα και μπορεί να φανεί αν λειτουργούν σωστά οι μυϊκές άτρακτοι, οι αισθητικοί και οι κινητικοί νευρώνες, η νευρομυϊκή σύνδεση καθώς και αν υπάρχει ισορροπία μεταξύ διέγερσης και ανασταλτικού ερεθίσματος. Αν υπάρχει υπερβολή ή μικρή αντίδραση στο αντανακλαστικό τότε γίνεται η αξιολόγηση του μεγέθους του προβλήματος. Το αντανακλαστικό εκτός από την εξέταση που ενεργοποιείται φασικά, μπορεί να ενεργοποιηθεί και τονικά διατηρώντας τον μυϊκό τόνο, τη διατήρηση της στάσης του σώματος και την ενδυνάμωση του οργανισμού. [10,11]

1.4.3 Αντίστροφο μυοτατικό αντανακλαστικό

Το αντανακλαστικό του golgi ή αντίστροφο μυοτατικό αντανακλαστικό, αναστέλλει στο νωτιαίο μυελό τους κινητικούς νευρώνες στον εκτίνοντα μυ και διεγείρει τους κινητικούς νευρώνες στον καμπτήρα μυ. Τα τενόντια όργανα golgi ανιχνεύουν την τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του μυός μετά από έντονη άσκηση (σύσπαση ή διάταση). Παίζει σπουδαίο ρόλο στην ιδιοδεκτικότητα, ρυθμίζει την τονικότητα και εξομαλύνει τη μυϊκή σύσπαση. Επίσης, παρακολουθεί τη συνολική μυϊκή τάση που αναπτύσσεται από την σύσπαση των ινών και τον βαθμό αυξομείωσης της. Όταν η τάση στον μυ αυξηθεί απότομα, ο μυς έλκει τον τένοντα και τα όργανα Golgi ερεθίζονται. Τότε αυτά, ενεργούν σαν ένας προστατευτικός μηχανισμός για να εμποδίσουν την ξαφνική ανύψωση της τάσης, η οποία μπορεί να αποκόψει έναν μη ή έναν τένοντα. [10,11]

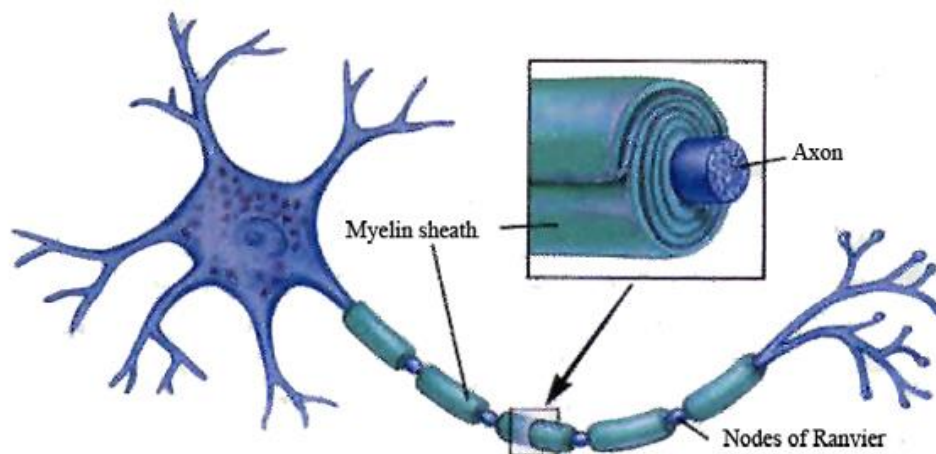
1.4.4 Αντανακλαστικό κάμψης

Το νευρικό κύκλωμα του Αττικού και του αντίστροφου μυοτατικού αντανακλαστικού είναι ιδιαίτερα απλό αφού οι συνάψεις του νευρώνα που ενεργοποιείται και των κινητικών νευρώνων συμβαίνουν στο ίδιο επίπεδο του νωτιαίου μυελού αντίθετα το αντανακλαστικό κάμψης επειδή εμπλέκει πολλά επίπεδα στο νωτιαίο μυελό το καθιστά και πιο πολύπλοκο ενεργοποιείται από έναν εξωτερικό ερέθισμα και μετά κείνη όλο το σώμα και όχι μόνο το συγκεκριμένο μέλος τα αντανακλαστικά ελέγχονται από τον εγκεφαλικό φλοιό κυρίως με ανασταλτικό τρόπο. [10,11]

1.5 Μυελίνη

Η μυελίνη είναι η δεύτερη πιο σημαντική πρωτεΐνη στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Δημιουργείται γύρω τους νευράξονες των νευρικών κυττάρων και τα μονώνει ηλεκτρικά. Με αυτόν τον τρόπο τα γλοία κύτταρα μπορούν να μεταδώσουν νευρικές ώσεις άρα και τις αντίστοιχες πληροφορίες που μεταφέρουν. Η μυελίνη είναι λιπόφιλη ουσία η οποία ενσωματώνεται στην κυτταρική μεμβράνη των γλοίων κυττάρων. Στη συνέχεια αυτά περι- τυλίζουν τη μεμβράνη τους γύρω στον άξονα και δημιουργούν τα έλυτρα της μυελίνης. Η μυελίνη επάνω στον νευράξονα δεν είναι συνεχόμενη αλλά κατά μικρά διαστήματα διακόπτεται. Τα γυμνά σημεία ονομάζονται κόμβοι Ranvier. Η μυελίνωση των νευρών αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα μετάδοσης του σήματος μεταξύ των νευρικών κυττάρων. Αποτελείται κατά 40% νερό και η υπόλοιπη μάζα αποτελείται από 20% πρωτεΐνη και 40% λιπίδια. Επειδή η κυρία σύνθεση της είναι τα λιπίδια παίρνει μία λευκή απόχρωση, γνωστή και ως λευκή ουσία του εγκεφάλου.

Η ελαττωματική μυελίνωση των νευρών είναι η αιτία νευρολογικών διαταραχών. Η απομυελίνωση σημαίνει καταστροφή ή απώλεια του ελύτρου της μυελίνης που περιβάλλει τα νεύρα. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε δυσλειτουργία των νευρών, μειώνοντας τη μεταφορά των σημάτων στον εγκέφαλο και στο υπόλοιπο σώμα. Τα συμπτώματα που μπορεί να εμφανιστούν αφορούν τα αυτόνομα οπτικά, κινητικά και αισθητηριακά προβλήματα. Η πιο γνωστή νόσος απομυελίνωσης είναι η Σκλήρυνση κατά πλάκας. [10]



Εικόνα 3. Μυελίνη

1.6 Εκούσιες κινήσεις

Είναι κινήσεις στις οποίες η κατεύθυνση και η ένταση ελέγχονται συνειδητά και γίνονται με τη συνεργασία μυών και οστών. Η κίνηση ελέγχεται από τα ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα τα οποία είναι **ο κινητικός φλοιός, τα βασικά γάγγλια, η παρεγκεφαλίδα** και προσαρμόζεται στα ειδικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος.

Οι λοβοί χωρίζονται στον:

- Βρεγματικό
- Κροταφικό
- Ινιακό
- Μετωπιαίο

Αν και ο κάθε ένας λοβός είναι υπεύθυνος για συγκεκριμένες λειτουργίες, φαίνεται πως όλοι συμβάλλουν στην κίνηση, ενώ ο κινητικός φλοιός από μόνος του δεν μπορεί να την προκαλέσει.

Σε αυτό συμβάλλουν:

- Ο προ κινητικός φλοιός (premotor cortex) ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προσανατολισμό του σώματος καθώς και για τον συντονισμό όλων των κινήσεών του.
- Ο συμπληρωματικός κινητικός φλοιός ο οποίος προγραμματίζει πολύπλοκες σειρές απο κινήσεις.
- Ο οπίσθιος βρεγματικός φλοιός ο οποίος ενημερώνει τον προ κινητικό φλοιό για την θέση.
- Η παρεγκεφαλίδα: η οποία είναι υπεύθυνη για την ισορροπία, για κινήσεις ακριβείας, για τα ρυθμικά κινητικά σχέδια, την εκμάθηση και τον συντονισμό των κινήσεων καθώς και για τον προγραμματισμό και την εκτέλεση εκούσιων κινήσεων.

Η παρεγκεφαλίδα χωρίζεται σε 3 μέρη:

- Στην **αιθουσοπαρεγκεφαλίδα** η οποία είναι υπεύθυνη για την διατήρηση της ισορροπίας και τον έλεγχο της κίνησης των ματιών.
- Στη **νωτιαιοπαρεγκεφαλίδα** η οποία είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο του τόνου των μυών και τον συντονισμό των πιο εξειδικευμένων εκούσιων κινήσεων.
- Στην **εγκεφαλοπαρεγκεφαλίδα** η οποία είναι υπεύθυνη για τον προγραμματισμό και την αρχικοποίηση της κίνησης.

Συμπεραίνεται λοιπόν πως οι εκούσιες κινήσεις ελέγχονται από όλες τις περιοχές του εγκεφάλου με τον κινητικό φλοιό να έχει τον περισσότερο έλεγχο.

Το 1870 οι Hitzig και Fritsch διέγειραν ηλεκτρικά, διάφορα μέρη του κινητικού φλοιού του σκύλου. Παρατηρήθηκε πώς ανάλογα με το μέρος του φλοιού που διεγείρουν, ένα διαφορετικό μέρος του σώματός συρρικνώθηκε. Επίσης διαπίστωσαν πως αν καταστρέψουν το συγκεκριμένο κομμάτι του φλοιού το αντίστοιχο μέρος του σώματος του σκύλου παραλύει. Έτσι, έγινε η συσχέτιση του μέρους του σώματος με την αντίστοιχη περιοχή του κινητικού φλοιού που ευθύνεται για την κίνηση του. [11,12]

1.7 Ρυθμικά σχέδια

Με τον όρο ρυθμικά κινητικά σχέδια, εννοούμε μία σειρά επαναλαμβανόμενων ενεργειών όπως είναι το βάδισμα, το μάσημα, το τρέξιμο, το ξύσιμο ή ακόμα και η κολύμβηση για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Αυτές οι πληροφορίες υποστηρίζονται από ειδικούς νευρώνες προκαλώντας εναλλαγές συσπάσεων στους ανταγωνιστές μύες. Συγκεκριμένα, όταν γίνεται σύσπαση ενός καμπτήρα μυ, ο ανταγωνιστής εκτείνοντας μυς βρίσκεται σε διάταση ενώ όταν ο εκτείνοντας μυς συσπάται, συσπάται και ο καμπτήρας μυς. Ο εγκεφαλικός φλοιός φαίνεται να συμμετέχει μόνο όταν παρατηρείται μία παρεμβολή στο ρυθμικό κινητικό σχέδιο όπως για παράδειγμα, στην εμφάνιση ενός εμποδίου στη διαδρομή μας όπου τότε θα πρέπει να προγραμματίσει ένα σχέδιο για να το αποφύγει [10,11,12].

2ο. ΚΕΦΑΛΑΙΟ.

2. Ακρωτηριασμός και πρόσθετα

2.1 Ακρωτηριασμός.

Με τον όρο ακρωτηριασμό, περιγράφεται η αφαίρεση ενός μέλους ή ενός τμήματος μέλους απο το υπόλοιπο σώμα. Στην ιατρική βιβλιογραφία ο ακρωτηριασμός έχει την έννοια της αφαίρεσης του άκρου ή οποιαδήποτε άλλης έκφυσης του σώματος. Ως σημαντική απώλεια, από την πλευρά της ιατρικής, θεωρείται η αποκοπή των άκρων πάνω από τον αστράγαλο ή από τον καρπό και ως μικρότερη απώλεια άκρων, η αποκοπή κάτω από τον αστράγαλο ή τον καρπό (πχ. δάχτυλα). Χαρακτηρίζεται ως η τραυματική ή η ιογενής (χειρουργική) αποκοπή ενός μέλους ή τμήματος αυτού με την πρώτη να αποκαλείται ως τραυματικός ακρωτηριασμός και την δεύτερη ως θεραπευτικός χειρουργικός ακρωτηριασμός. Μπορεί να είναι αποτέλεσμα κάποιου ατυχήματος ή κάποιας ασθένειας αλλά και κάποιων πολύ σκληρών περιπτώσεων όπως είναι ο πόλεμος ή κάποιος βιασμός. [13]

Οι δύο μεγάλες και βασικές κατηγορίες των τραυματισμών είναι:

- Ο ακρωτηριασμός μέσω κάποιου ατυχήματος: Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε την απώλεια κάποιου μέλους λόγω ενός ατυχήματος είτε με κάποιο όχημα είτε εν ώρα εργασίας.
- Ο ακρωτηριασμός λόγω ιατρικών λόγων: Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις που το ιατρικό προσωπικό για την διασφάλιση της υγείας του ασθενούς προβαίνει σε μία τόσο σημαντική απόφαση. Συχνές περιπτώσεις σοβαρών ασθενειών είναι ο διαβήτης και οι κακοήθεις νεοπλασίες.

Διακρίνεται επίσης στον πλήρη και στον ατελή ακρωτηριασμό. Όταν αναφερόμαστε σε έναν πλήρη ακρωτηριασμό εννοούμε πως δεν υπάρχει καμία σύνδεση του ενός τμήματος με το άλλο. Αντίθετα, σε έναν ατελή ακρωτηριασμό το ένα τμήμα συνδέεται με μαλακά μόρια με το άλλο. Ο ατελής ακρωτηριασμός μπορεί να χαρακτηριστεί βιώσιμος ή μη βιώσιμος , ανάλογα με το εάν το ακρωτηριασμένο τμήμα έχει επαρκή αιματική περιοχή. Για να συνεχίσει η διαδικασία της

αποκατάστασης, της συγκόλλησης δηλαδή του ακρωτηριασμού και να θεωρηθεί επιτυχημένη, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν ο χρόνος ισχαιμίας. [13]

Με τον όρο «χρόνος ισχαιμίας» ορίζεται το χρονικό διάστημα μέχρι την αποκατάσταση της αρτηριακής παροχής στο ακρωτηριασμένο τμήμα. Οι μύες αποτελούν τα πιο ευαίσθητα όργανα και δεν πρέπει να μένουν πολλή ώρα σε συνθήκες ισχαιμίας, Ειδικά εάν η μυϊκή ομάδα είναι μεγάλη ή κεντρική τόσο περισσότερο μειώνεται ο χρόνος ισχαιμίας, πριν δηλαδή υπάρξουν μη αναστρέψιμες βλάβες [14].

Ο χρόνος ισχαιμίας διακρίνεται με την σειρά του σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Στον χρόνο θερμής ισχαιμίας που είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όσο πιο μεγάλη είναι η μυϊκή ομάδα τόσο μειώνεται και ο χρόνος θερμής ισχαιμίας. Για παράδειγμα, στην κνήμη ή στον μηρό δεν μπορεί να υπερβεί τις 6 ώρες ενώ σε μικρούς ακρωτηριασμούς όπως τα δάχτυλα μπορεί να φτάσει τις 12 ώρες.
- Στον χρόνο ψυχρής ισχαιμίας που είναι οι συνθήκες ψύξης. Υπό συνθήκες ψυχρής ισχαιμίας η επανασυγκόλληση μπορεί να επιτευχθεί και μετά από 30 ώρες. [14]

Ένας ακρωτηριασμός μπορεί να συμβεί είτε απο κάποιο χειρουργείο, το οποίο θα είναι προγραμματισμένο και ειδικά μελετημένο για τον ασθενή, είτε μπορεί να προκληθεί ύστερα απο κάποιο τραυματισμό. Η πιο συνηθισμένη αιτία που οδηγεί στην αφαίρεση ενός μέλους είναι η περιφερική αγγειακή νόσος δηλαδή η διακοπή της αιματικής ροής προς κάποιο άκρο λόγω καπνίσματος, της χοληστερόλης, της υπέρτασης, της ακινησίας ή του αρρύθμιστου διαβήτη. Εάν πρόκειται για ατύχημα η αντιμετώπιση αυτών των κακώσεων ξεκινάει ήδη απο την στιγμή του ατυχήματος. Αναγκαίο είναι τόσο το ακρωτηριασμένο τμήμα, όσο και το κολόβωμα να περιχυθούν με διάλυμα φυσιολογικού ορού μαζί με αντισηπτικό έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν ξένα σωματίδια και να μειωθεί η πιθανότητα της μόλυνσης. Στη συνέχεια το ακρωτηριασμένο άκρο πρέπει να τυλιχθεί σε αποστειρωμένες γάζες εμποτισμένες με ισότονο διάλυμα και μετά να τοποθετηθεί σε ένα δοχείο το οποίο κλείνει αεροστεγώς και υδατοστεγώς. Αυτό το δοχείο έπειτα τοποθετείται σε ένα μεγαλύτερο δοχείο που περιέχει νερό και πάγο(με αναλογία ¼) για να διατηρηθεί σε χαμηλή θερμοκρασία. Είναι πολύ επικίνδυνο το ακρωτηριασμένο μέλος να ακουμπήσει το νερό ή τον πάγο. Ταυτόχρονα, στερεώνεται το κολόβωμα σε νάρθηκα για την μείωση της αιμορραγίας, ενώ στην περίπτωση που είναι αυξημένη πρέπει να περιοριστεί είτε με

ελαστική περίδεση είτε με περιχειρίδα. Τέλος, ο ασθενής μεταφέρεται στο ειδικό κέντρο όπου θα ξεκινήσει η διαδικασία αποκατάστασής του.

Παλαιότερα, οι ακρωτηριασμοί αποτελούσαν το μοναδικό θεραπευτικό μέσο για την καταπολέμηση της σήψης. Η πρώτη επέμβαση ακρωτηριασμού μέλους περιγράφηκε από τον Ιπποκράτη(460-377 πΧ.) στο βιβλίο του «Ορθοπεδική: περί άρθρων» τον 5^ο αιώνα πΧ. όπου αναγνώριζε την γάγγραινα ως μόνη ένδειξη χειρουργικού ακρωτηριασμού και προτείνει την πλήρη αποκοπή του μέλους. Βέβαια, πολλές από τις επεμβάσεις τέτοιου τύπου κατέληγαν σε θάνατο καθώς απουσίαζαν η αποστείρωση, η περίθαλψη και η χορήγηση κατάλληλων φαρμάκων. Οι άνθρωποι κατέληγαν από προχωρημένη σήψη, από κάποιου είδους μόλυνσης ή από τον αβάσταχτο πόνο που οδηγούσε σε λιποθυμία και στη συνέχεια σε θάνατο.

Σήμερα, με την εξέλιξη της ιατρικής και την χρήση δυνατών αντιβιοτικών οι ακρωτηριασμοί αντιμετωπίζονται πολύ πιο εύκολα. Ακόμα όμως, μία τέτοιου είδους επέμβαση παραμένει ιδιαίτερα δύσκολη και απαιτητική. Αρχικά, γίνεται αφαίρεση νευρικού ιστού έως το σημείο που κρίνει ο χειρουργός και μόνο εάν το κρίνει απαραίτητο προχωράει σε ριζική αποκοπή του άκρου. Ο σκοπός της εγχείρησης δεν είναι μόνο η αποκατάσταση της αγγειακής παροχής στο άκρο αλλά και η επαναφορά της λειτουργικότητας στον μέγιστο βαθμό, να μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί στις καθημερινές του δραστηριότητες. Ο ακρωτηριασμός αποτελεί μία από τις σοβαρότερες χειρουργικές επεμβάσεις και σε κανένα σημείο δεν πρέπει να θεωρείται ως αποτυχημένη προσπάθεια αλλά ως το σημαντικότερο αναγκαίο βήμα για την διάσωση της ζωής του ασθενή. [13]

2.2 Πόνος φάντασμα

Μετά από έναν ακρωτηριασμό ή ακόμα και μετά από μία αφαίρεση οργάνου όπως παραδείγματος χάρη μιας σκωληκοειδούς απόφυσης παρατηρήθηκε πως οι ασθενείς ανέφεραν έντονα κάποιον πόνο στο σημείο που έχει αφαιρεθεί. Έτσι λοιπόν εμφανίστηκε ο όρος μέλος φάντασμα που υποδηλώνει το ακρωτηριασμένο μέλος, ακριβώς γιατί ο ασθενής δεν το βλέπει αλλά το αισθάνεται, σαν να είναι φάντασμα. Ο Ambroise Pare ήταν ο πρώτος χειρουργός που αναφέρθηκε στην έννοια του φανταστικού πόνου (Phantom Limb Pain, PLP). Φαίνεται πως τα νευρικά δίκτυα που υπέστη βλάβη μεταφέρουν εσφαλμένα σήματα με αποτέλεσμα οι ασθενείς να αισθάνονται πως το μέλος που ακρωτηριάστηκε βρίσκεται ακόμα στη θέση του. Το ποσοστό των ανθρώπων που αισθάνονται τον φανταστικό πόνο ανέρχεται στο 60 με 80%, ποσοστό εξαιρετικά μεγάλο περιγράφοντας ποικίλα συμπτώματα. Από αυτοαναφορές ασθενών ο πόνος φάντασμα μπορεί να περιγραφεί ως επώδυνος σπασμός(κράμπα), καυστικός ή σαν σουβλιά, σαν μαχαιριά ή σαν αίσθηση μυρμηγκιάσης. Ο πόνος

μπορεί να είναι εντοπισμένος ή διάχυτος ενώ μπορεί να εμφανιστεί μερικές ημέρες, μερικές εβδομάδες αλλά και χρόνια μετά τον ακρωτηριασμό. Η συχνότητα του φανταστικού πόνου είναι μεγαλύτερη σε κάποιο ακρωτηριασμένο μέλος όμως έχει αναφερθεί και ύστερα από εγχειρήσεις στον οφθαλμό ή σε μία μαστεκτομή. Ο πόνος σε όλους τους ασθενείς είναι έντονος, σε ένα μικρό ποσοστό όμως, είναι τόσο ενοχλητικός έχοντας ως αποτέλεσμα να μην τους επιτρέπει να λειτουργούν κανονικά. Στέκεται εμπόδιο στο να ζήσουν μία φυσιολογική ζωή, πολλές φορές η εύρεση εργασίας καθίσταται αδύνατη ενώ δεν μπορούν να απολαύσουν ούτε τις πιο απλές στιγμές. Έχει παρατηρηθεί πως μέσω της αφής, της ούρησης ή της αφόδευσης, με τη σεξουαλική επαφή, το κάπνισμα την έκθεση στο κρύο, τον βήχα, τον έρπητα ζωστήρα, την αλλαγή στην βαρομετρική πίεση αλλά και τους ψυχολογικούς παράγοντες μπορεί να πυροδοτηθεί ο πόνος φάντασμα. Οι θεραπείες που υποβάλλονται οι ασθενείς είναι εξαιρετικά δύσκολες χωρίς όμως κάποιο σημαντικό αποτέλεσμα. [15]

Από τις μελέτες και τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί φαίνεται πως ο πόνος φάντασμα αφορά τον εγκέφαλο, το περιφερικό και το νευρικό σύστημα. Η γενική έννοια του πόνου είναι πως ξεκινάει από τους υποδοχείς των ελευθέρων ριζών των περιφερικών νεύρων. Ύστερα, μέσω του οπίσθιου κέρατος του νωτιαίου μυελού, της νοτιοθαλαμικής εισόδου και του θαλάμου καταλήγει στη σωματοαισθητική περιοχή του βρεγματικού λοβού, το ανθρωπάριο όπου και τελικά γίνεται η αναγνώριση του πόνου. Το ανθρωπάριο ή homunculus δηλαδή μικρός άνθρωπος στα λατινικά, καταγράφηκε πρώτη φορά από τον χειρουργό Wilder Penfield το 1950 και αποτελεί μία εικονογραφική καταγραφή του ανθρώπινου σώματος από πλευράς αισθητηρίων στην επιφάνεια του βρεγματικού λοβού. Στην ουσία το ανθρωπάριο "βοηθάει" τον εγκέφαλο να δει τον άνθρωπο από πλευράς αισθητηρίων αφού καταλαμβάνει περιοχές των παλαμών, των πελμάτων, των χειλέων, της γλώσσας, των γεννητικών οργάνων αλλά και άλλων περιοχών με αισθητικές απολήξεις. Ως πρώτη ερμηνεία το φαινόμενο του πόνου στηρίχθηκε στο γεγονός ότι στα κομμένα νεύρα που παραμένουν στο κολόβωμα, δημιουργείται χρόνια φλεγμονή που με τη σειρά της οδηγεί στη δημιουργία ογκιδίων (νευρινωμάτων). Τα νευρινώματα στέλνουν απλές ηλεκτρικές εκφορτίσεις και όχι αισθήσεις αφού πλέον δεν έχουν κατάλληλους υποδοχείς. Αυτές τις ηλεκτρικές φορτίσεις ο εγκέφαλος τις αναγνωρίζει ως πόνο και γι' αυτόν τον λόγο έγιναν προσπάθειες να αποκοπούν χειρουργικά τα νευρινώματα του κολοβώματος, δυστυχώς όμως χωρίς κανένα αποτέλεσμα. [15]

Άλλη θεωρία που υποστήριξε ο Ramachandran, ήταν πως η περιοχή του βρεγματικού λοβού που είναι υπεύθυνη για τις αισθήσεις, μετά από την αποκοπή του μέλους αναδιοργανώνεται. Δηλαδή, οι νευρώνες του εγκεφάλου που μεταφέρουν διάφορες πληροφορίες αποσυντονίζονται κρατώντας όμως την αίσθηση. Κάποια από αυτά τα ερεθίσματα, εκτός από αυτά που προέρχονται από άλλα μέρη του σώματος αφορούν το ακρωτηριασμένο μέλος και ακριβώς λόγω αυτού δημιουργείται ο

πόνος. Η θεωρία του Ramachandran δεν μπόρεσε να αποδεχθεί και οι μελέτες συνεχίστηκαν χωρίς κάποιο αποτέλεσμα. Μάλιστα, μέχρι το 1965 είχαν προταθεί 43 διαφορετικές θεραπείες για την αντιμετώπιση του πόνου φάντασμα όπως τα αντικαταθλιπτικά φάρμακα, νευροδιέγερση του νωτιαίου μυελού, υπνωτισμός και βελονοθεραπεία όμως τα αποτελέσματα δεν ήταν ποτέ εντυπωσιακά. [16]

Ως δεύτερη θεωρία του ο Ramachandran και οι συνεργάτες του εφάρμοσαν τη μέθοδο του καθρέφτη. Παρατήρησαν πως αρκετοί ασθενείς με κολόβωμα ένιωθαν πως ο πόνος προερχόταν από μία περίεργη και δυσάρεστη θέση του χαμένου τους χεριού. Έτσι λοιπόν, τοποθετούσαν τον ασθενή μπροστά από έναν καθρέφτη να κοιτάζει την όψη του υγιές του άκου. Σιγά-σιγά, έπειτα από πολλές συνεδρίες, έπειθαν τον ασθενή ότι το υγιές άκρο που βλέπει είναι το ακρωτηριασμένο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ασθενής να μαθαίνει να κουνάει το υγιές χέρι -που πλέον έχει πάρει τη θέση του υγιούς- και να το τοποθετεί όπου αισθάνεται ο ίδιος πιο άνετα και ανακουφισμένος. Η μέθοδος του καθρέφτη (mirror box) είχε όντως θετικά αποτελέσματα και μάλιστα, μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται από ορισμένα κέντρα.

Τέλος, παρατηρήθηκε πως εάν ο πόνος έχει χαρακτηριστικά του περιφερικού νευροπαθητικού πόνου τα επίθεμα καψαϊκίνης 8% που κυκλοφόρησαν πρόσφατα στην αγορά έχουν άμεση ανακούφιση του πόνου ενώ η μορφίνη μπορεί να ελέγχει σε μικρό βαθμό τον κεντρικό και τον περιφερικό πόνο.

Σήμερα, γίνονται πολλές προσπάθειες και έρευνες για την αποκατάσταση τέτοιων προβλημάτων. Φαίνεται μάλιστα πως τα εμφυτεύματα σπονδυλικής στήλης που βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και δοκιμάζονται σε ποντίκια, να έχουν εξαιρετικό αποτέλεσμα. Πρόσφατη έρευνα από το Πολυτεχνείο της Λοζάνης έδειξε πως ερευνητές κατασκεύασαν ένα ελαστικό εμφύτευμα που βοηθάει στην αποκατάσταση του νωτιαίου μυελού. Έδωσε τη δυνατότητα σε παράλυτα ποντίκια να περπατήσουν που σημαίνει πως βοηθάει τα ηλεκτρικά σήματα να σταλούν από τον εγκέφαλο και να τον διεγείρει χημικά και ηλεκτρικά. Στην Βρετανία ανέπτυξαν ένα μικροσκοπικό εμφύτευμα σπονδυλικής στήλης που καταπολεμά τους πόνους. Στο πανεπιστήμιο του Cambridge, ερευνητές δημιούργησαν μία συσκευή πολύ μικρή και λεπτή η οποία μπορεί να τοποθετηθεί σε μία βελόνα και στη συνέχεια να εμφυτευθεί στη σπονδυλική στήλη. Όταν τοποθετηθεί μέσα στο σώμα, η συσκευή φουσκώνει με το νερό ή τον αέρα καλύπτοντας ένα μεγάλο μέρος του νωτιαίου μυελού. Συνδεδεμένη με μία γεννήτρια παλμών, τα ηλεκτρόδια της συσκευής στέλνουν ηλεκτρικά σήματα στο νωτιαίο μυελό μπλοκάροντας έτσι τα σήματα του πόνου. Η επέμβαση λόγω του απίστευτου μικρού όγκου της συσκευής είναι σχετικά εύκολη και ακίνδυνη δίνοντας πολλές ελπίδες σε ασθενείς με χρόνιους και οξείς πόνους. Βέβαια, απαιτείται χρόνος και πολλές δοκιμές ακόμα μέχρι

να μπορέσει η συσκευή να αξιοποιηθεί από τους ασθενείς με τις πρώτες δοκιμές να αναμένονται σε δύο με τρία χρόνια. [15,16]

2.3 Φάσεις αποκατάστασης.

Οι φάσεις της αποκατάστασης μπορούν να χωριστούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- Την προ εγχειρητική προετοιμασία
- Την επέμβαση του ακρωτηριασμού
- Την μετεγχειρητική περίοδο. [13]

2.3.1 Προ εγχειρητική προετοιμασία

Παρά τις προόδους που έχουν γίνει στον τομέα της ιατρικής υπάρχουν κάποιοι λόγοι οι οποίοι αναπόφευκτα οδηγούν στον ακρωτηριασμό ενός άκρου. Αυτή η επέμβαση πρέπει να αντιμετωπίζεται με θετικότητα τόσο από τους ίδιους τους ασθενείς όσο και από το ίδιο ιατρικό προσωπικό. Η φάση της αποκατάστασης ξεκινάει ήδη πριν από την είσοδο του ασθενή στο χειρουργείο και ονομάζεται προ εγχειρητική προετοιμασία. Κατά την διαδικασία αυτή, η καρδιά και οι πνεύμονες του ασθενή θα πρέπει να βρίσκονται σε καλή κατάσταση ενώ παράλληλα ξεκινάει και η κατάλληλη προετοιμασία του για το χειρουργείο σύμφωνα με τις οδηγίες του γιατρού. Ο γιατρός του, είναι υπεύθυνος για την εξήγηση όλων των χαρακτηριστικών της επέμβασης, για τον πόνο φάντασμα που ίσως υπάρξει και φυσικά, για τις επιλογές που θα του δοθούν κατά την προσθετική αποκατάσταση. Ο θεραπευτής του είναι ένας συνδυασμός ερευνητή, λύτη προβλημάτων και εκπαιδευτή που ακολουθεί τους νόμους της φυσικής, της φυσιολογίας και την κινησιολογίας έχοντας ως μοναδικό στόχο την επανένταξη του ασθενή στην πλήρη συμμετοχή. Στη συνέχεια χορηγούνται παυσίπονα ενώ παράλληλα ξεκινάει η άσκηση του σώματος. Οι ασκήσεις ενδυνάμωσης των μυών είναι απαραίτητες για να μπορέσει ο ασθενής να στηρίξει το βάρος του σώματός του με μεγαλύτερη ευκολία. Γι' αυτόν τον λόγο, το πρόγραμμα του μελετάται από τον υπεύθυνο φυσικοθεραπευτή του και περιλαμβάνει ασκήσεις ενδυνάμωσης τόσο στο μέλος που θα γίνει η εγχείρηση όσο και στην αντίθετη πλευρά του σώματος που θα παρέχει αντίσταση και θα τον συγκρατεί. Τέλος, η ψυχική στήριξη του ασθενούς κρίνεται απαραίτητη αφού η διαδικασία είναι ιδιαίτερα αγχώδης και ψυχοφθόρα. Ο ασθενής φοβάται, όχι μόνο για την εξέλιξη της πορείας της επέμβασης αλλά επίσης για τη ζωή του μετά. Η εύρεση εργασίας, η οικονομική ενίσχυση, οι αντιδράσεις του κοινωνικού του περιγύρου και η συνέχιση της ζωής του είναι σκέψεις που

επηρεάζουν αρνητικά την ψυχολογία του. Γίνεται κατανοητό άρα πως ο ασθενής θα χρειαστεί ψυχολογική στήριξη για τη μείωση του άγχους, του φόβου και τελικά να καταφέρει να δεχθεί τον ακρωτηριασμό πιο εύκολα και πιο ανώδυνα. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό, λόγω του μεγάλου και έντονου πόνου που πολύ πιθανόν να νιώθει ο ασθενής μετά την εγχείρηση, να ελεγχθεί προεγχειρητικά ο εξοπλισμός του. Μέσα σε αυτόν, συμπεριλαμβάνονται το σωστό κρεβάτι, το είδος του στρώματος και τα μαξιλάρια. Κατά τις πρώτες μέρες μετά την εγχείρηση ο ασθενής βολεύεται πολύ δύσκολα και η μετακίνησή του καθίσταται σχεδόν αδύνατη. Γι' αυτό κρίνεται απαραίτητο να μελετηθούν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να μειωθεί ο πόνος και να επιτευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ανακούφιση στο κολόβωμα που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο μετά την εγχείρηση. Το προεγχειρητικό στάδιο διαφέρει από ασθενή σε ασθενή. Διάφορα κριτήρια όπως η φυσική του κατάσταση, η αιτία του ακρωτηριασμού και τα ζωτικά του όργανα λαμβάνονται υπόψιν. Πιο συγκεκριμένα, ο ασθενής πρέπει να εξετάζεται πριν από το χειρουργείο ως προς την φυσική του κατάσταση, την διατροφή του, τυχόν μολύνσεις που μπορεί να έχει, νευροψυχιατρικές διαταραχές, την κύστη και το έντερό του, την καρδιαγγειακή λειτουργία, την λειτουργία του αναπνευστικού του ενδοκρινολογικού, του νευρολογικού, του μυοσκελετικού συστήματος και η υγεία του δέρματος. Παράλληλα, γίνεται και η αξιολόγηση του αντί πλευρού άκρου. Τα σημεία που αξιολογούνται για την λειτουργικότητα του άκρου είναι το εύρος κίνησης, η μυϊκή δύναμη, η αντοχή η κατά την άσκηση, η ισορροπία, η κινητικότητα και η ανεξαρτησία στις καθημερινές δραστηριότητες. Εάν ο ακρωτηριασμός είναι προγραμματισμένος, ο ασθενής έχει την δυνατότητα να προετοιμαστεί τόσο σωματικά όσο και ψυχολογικά. Είναι σε θέση να διαλέξει τους κατάλληλους ανθρώπους που θα τον επιβλέπουν από όλες τις ειδικότητες, ανθρώπους με τους οποίους νιώθει εμπιστοσύνη και ασφάλεια ενώ παράλληλα συμφιλιώνεται με την ιδέα του ακρωτηριασμού και της καινούριας του ζωής. Προλαβαίνει να ενημερωθεί, να μάθει, να ρωτήσει πληροφορίες σχετικά με την εγχείρηση, να κατανοήσει τις αλλαγές που έρχονται αλλά και να θρηνήσει-στάδιο αναπόφευκτο αφού στην ουσία αποχαιρετά τον παλιό τρόπο ζωής του. Όσο προετοιμάζεται ψυχολογικά, ξεκινάει παράλληλα η μυοσκελετική προετοιμασία πάντα με το σωστό πρόγραμμα και την καθοδήγηση των ειδικών. Αντίθετα, όταν ένας ακρωτηριασμός δεν είναι προγραμματισμένος αλλά συμβαίνει μια μη αναμενόμενη στιγμή τότε ο ασθενής δεν έχει τον απαιτούμενο χρόνο της κατανόησης και της επεξεργασίας όλων αυτών των πληροφοριών. Η δυνατότητα επιλογής του κατάλληλου προσωπικού κρίνεται πλέον αδύνατη, αφού ο χρόνος είναι κρίσιμος και ο ασθενής βιώνει έντονο άγχος και πίεση μη μπορώντας να κατανοήσει τα βήματα της θεραπείας και της αποκατάστασης του. Οι στόχοι του προεγχειρητικού σταδίου συγκεντρώνονται στα παρακάτω:

- διατήρηση εύρους τροχιάς και κινητικότητας στο υγιές μέλος
- ψυχολογική υποστήριξη

- διατήρηση καρδιοαναπνευστικής λειτουργίας
- εκμάθηση νέου τρόπου ζωής και χρήσης του υγιές μέλους. [13,18]

2.3.2 Η επέμβαση του ακρωτηριασμού.

Αμέσως μετά την προ εγχειρητική προετοιμασία, ο ασθενής και το κατάλληλο προσωπικό ετοιμάζεται για την επέμβαση του ακρωτηριασμού. Στην περίπτωση που ο ακρωτηριασμός είναι προγραμματισμένος, ο ασθενής γνωρίζει τα βήματα που θα ακολουθήσει, αφού τον έχουν ήδη ενημερώσει και υπήρχε χρόνος έτσι ώστε να το επεξεργαστεί. Του ζητείται να εισαχθεί στο νοσοκομείο συνήθως μία με δύο μέρες πριν την εγχείρηση ώστε να μπορέσουν να γίνουν οι απαραίτητες εξετάσεις, όπως αίματος και καρδιολογικές, έτσι ώστε να βεβαιωθεί ότι μπορεί να διεξαχθεί η εγχείρηση. Συνήθως, στην περίπτωση που ο ασθενής λαμβάνει φαρμακευτική αγωγή του ζητείται να την διακόψει για την αποφυγή κινδύνου αιμορραγίας κατά το χειρουργείο. Σύντομα ο γιατρός θα περάσει για να καταγράψει το ιστορικό του, όπως επίσης και ο αγγειοχειρουργός που θα προχωρήσει στην επέμβαση καθώς και ο αναισθησιολόγος με τον οποίο θα ξεκινήσει η επέμβαση. Η αναισθησία γίνεται με δύο τρόπους, είτε με ενδοφλέβια ένεση κατά την οποία χορηγείται η αναισθησία, είτε με επισκληρίδιο αναισθησία δηλαδή, με τοποθέτηση ενός λεπτού καθετήρα στη ράχη που βοηθάει στην αντιμετώπιση του πόνου και μετά την εγχείρηση. Κατόπιν τοποθετείται ουροκαθετήρας για την καταμέτρηση των ούρων.

Στη συνέχεια αφού ο ασθενής αναισθητοποιηθεί ξεκινάει η επέμβαση του ακρωτηριασμού. Το επίπεδο του ακρωτηριασμού έχει ήδη οριστεί από έναν ειδικό προσθετικό. Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται για να γίνει κατανοητό το ύψος και η θέση στην οποία θα πραγματοποιηθεί η επέμβαση. Οι παράμετροι αυτοί καθορίζονται πριν το χειρουργείο λαμβάνοντας υπόψιν πάντα τη γνώμη του ειδικού για τη μετέπειτα τοποθέτηση της πρόθεσης. Το επίπεδο του ακρωτηριασμού γίνεται σε υγιείς ιστούς χωρίς την παρουσία φλεγμονής και κατά το δυνατόν καλύτερη αιμάτωση. Αυτό συμβαίνει και να επιταχυνθεί η επούλωση και να αποφευχθεί ο κίνδυνος μιας δεύτερης επέμβασης σε υψηλότερο επίπεδο. Στη συνέχεια, οι απολήξεις των οστικών κολοβωμάτων λειαιώνονται έτσι ώστε να μην τραυματίζονται οι μαλακοί ιστοί, οι νευρικές απολήξεις καυτηριάζονται με ρεύμα και γίνεται αναισθητοποίηση στο συγκεκριμένο σημείο με ξυλοκαΐνη. Απαραίτητη είναι η μυοπλαστική σύγκλιση έτσι ώστε να μην επιτρέπεται στο οστό να τραυματίσει κάποιον ιστό ή να δημιουργηθεί νεκρικός χώρος. Τέλος, το δέρμα ενώνεται με απλές ραφές προσπαθώντας να δημιουργηθεί όσο γίνεται κυλινδρικό κολόβωμα και τοποθετείται ειδική

ελαστική επίδεση για την αποφυγή μετεγχειρητικού οιδήματος ή ακόμα και τραυματισμού ενώ τα ράμματα αφαιρούνται συνήθως 15 με 20 μέρες μετά την εγχείρηση. [13,18]

2.3.3 Η μετεγχειρητική περίοδος.

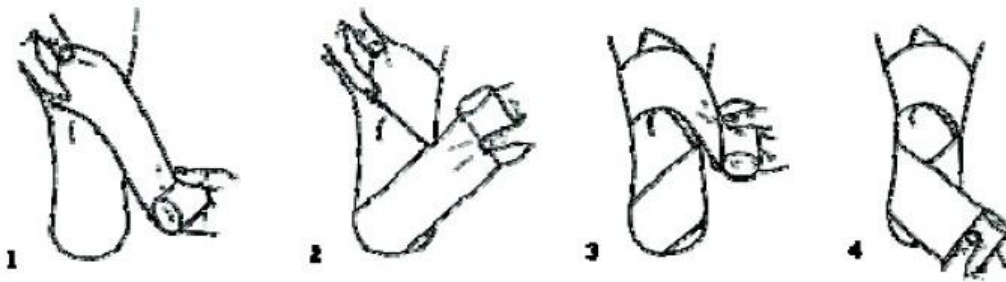
Μετά την εγχείρηση χορηγούνται αρκετά υγρά στον ασθενή στον ασθενή με ορό στη φλέβα του για να νιώσει αμέσως καλά και να μπορέσει να φάει και να πιει νερό. Ο πόνος θα είναι αρκετά έντονος και για την αντιμετώπιση του, το νοσηλευτικό προσωπικό θα παραχωρεί παυσίπονα με διάφορους τρόπους. Ύστερα απο μερικές μέρες μπορεί να αφαιρεθεί ο καθετήρας και οι κινήσεις θα ξεκινήσουν σιγά σιγά και διστακτικά. Για την μετακίνηση του ασθενούς, ακόμα και πάνω στο κρεβάτι χρειάζεται δεύτερο άτομο, στην αρχή απο το προσωπικό του νοσοκομείου και στη συνέχεια απο το οικογενειακό περιβάλλον αφού πρώτα όμως εκπαιδευτεί έτσι ώστε να μην τον τραυματίσουν περισσότερο. Έτσι λοιπόν, το νοσηλευτικό προσωπικό αλλά και ο ίδιος ο ασθενής ζητάει να τον αλλάζουν συνεχώς θέση για να μειώνεται ο πόνος και να αποφευχθούν τυχόν αγκυλώσεις. Η πληγή του κολοβώματος φαίνεται εξωτερικά πως στις 3 με 4 πρώτες μέρες έχει κλείσει, όμως για να επουλωθεί ολοκληρωτικά εσωτερικά θα χρειαστεί τουλάχιστον ένας χρόνος.

Αμέσως μετά την εγχείρηση, στο κολόβωμα χρησιμοποιείται μία ελαστική επίδεση. Έχει ως σκοπό να αποτρέψει τη δημιουργία οιδήματος, να προστατεύσει τον τραυματισμό του κολοβώματος, να του δώσει σχήμα και να ελαττώσει τις πιθανότητες αγκύλωσης της άρθρωσης. Συνήθως πρόκειται για μία σφιχτή ελαστική επίδεση κατά την οποία οι επιδέσεις της είναι διαγώνιες και όχι οριζόντιες. Επίσης, σε αντίθεση με τις κλασικές περιτυλίξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται μεταλλικοί σφιγκτήρες εδώ αποφεύγονται για να μην προκαλέσουν οποιαδήποτε τραυματισμό και τη θέση τους παίρνουν η κολλητική ταινία. Μόνο σε ασθενείς με μειωμένη αιμάτωση των ιστών του κολοβώματος τοποθετείται χαλαρή επίθεση για την αποφυγή ισχαιμίας του τραύματος και η σφιχτή τοποθετείται μετά από δύο-τρεις εβδομάδες. Παράλληλα φροντίζεται το δέρμα, βάζοντας ειδικές κρέμες ώστε να μπορέσει ο ιστός να παραμείνει μαλακός και εύκαμπτος. Οι ασθενείς παραμένουν κλινήρεις ενώ ανάλογα με το σημείο και το είδος του ακρωτηριασμού μπορεί να χρησιμοποιηθούν ειδικοί νάρθηκες για την αποφυγή αγκυλώσεων στις αρθρώσεις. Τα ράμματα συνήθως αφαιρούνται από την 14η μέρα και σταδιακά ξεκινάει μία πιο έντονη μετεγχειρητική προετοιμασία του ασθενούς. Το στάδιο της επίδεσης είναι ίσως το πιο κρίσιμο, αφού αυτή η συμπίεση συμβάλλει στην ταχύτερη τοποθέτηση προσθετικού μέλους και την προσαρμογή του σε αυτό. Επιπλέον, η συμπίεση βοηθά στο κυκλοφορικό του κολοβώματος, μειώνοντας έτσι τον πόνο στον ασθενή δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες για την θεραπεία του, αφού περιορίζει το οίδημα-πρήξιμο. Ο υπάρχων επίδεσμος πρέπει να αφαιρείται συχνά, σχεδόν κάθε μισή ώρα, για να ελέγχεται ότι το

κολόβωμα δεν είναι τυλιγμένο ούτε πολύ σφιχτά ούτε πολύ χαλαρά, καθώς και η πορεία του οιδήματος. Το φυσιολογικό θεωρείται όταν το οίδημα μειώνεται και το τραύμα επουλώνεται. Μετά την εφαρμογή των επιδέσμων, σειρά έχουν οι επίδεσμοι συμπίεσης. Τοποθετούνται με ελάχιστη δυσκολία παραπάνω από τους κανονικούς και γι' αυτό τον λόγο πρώτα τοποθετούνται από τον γιατρό ή από το νοσηλευτικό προσωπικό. Ακολουθεί η εκμάθηση της εφαρμογής των επιδέσμων συμπίεσης, ώστε να το κάνει μόνος του ο ασθενής στον εαυτό του. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή από πλευράς του για να είναι σίγουρος πως τηρεί σωστά τις οδηγίες αναδίπλωσης, έτσι ώστε το κολόβωμα να μην ερεθιστεί ή τραυματιστεί. Μάλιστα, για μεγαλύτερη ασφάλεια τοποθετείται ταινία αντί των μεταλλικών clips, ενώ παράλληλα δεν πρέπει να αμελείται ο καθημερινός καθαρισμός τους αφού λόγω του ιδρώτα λερώνονται συνεχώς. Εναλλακτικά, στην αγορά πέρα των επιδέσμων κυκλοφορούν οι κάλτσες συμπίεσης και οι κάλτσες σιλικόνης. Η πρώτη κατηγορία αντικαταστεί πλήρως τους επιδέσμους, είναι ελαστικές, εύκολες στη χρήση τους και πρέπει να πλένονται και αυτές κάθε μέρα. Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιεί σιλικόνη φιλική προς το δέρμα. Λόγω της σύνθεσής της, δεν τραβιέται προς τα πάνω αλλά χρειάζεται μία απλή τεχνική για να τοποθετηθεί, το μέσα γυρίζει έξω και στη συνέχεια κυλιέται προς τα πάνω. Κυκλοφορούν σε πολλά μεγέθη αλλά μπορεί να γίνει ειδική παραγγελία εάν ο ασθενής το επιθυμεί. Η συμπίεση που δημιουργεί η σιλικόνη βοηθάει το κολόβωμα να διαμορφωθεί σωστά και ταυτόχρονα αφήνει το δέρμα μαλακό. Ο καθαρισμός της σιλικόνης κρίνεται απαραίτητος καθημερινά, ενώ μάλιστα στις περιπτώσεις έντονης εφίδρωσης γίνεται αρκετές φορές μέσα στην μέρα. Δίνεται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή σε ότι έρχεται σε άμεση επαφή με το κολόβωμα, να είναι όσο πιο δυνατόν πιο καθαρό. Συνήθως, χρησιμοποιείται άοσμο και ήπιο για το δέρμα σαπούνι καθώς και ζεστό νερό. Εκτός από την καθαριότητα, ο ασθενής ελέγχει το κολόβωμα τακτικά με την αφή του και στα σημεία που δεν βλέπει χρησιμοποιεί καθρέφτη. Η φροντίδα του κολοβώματος περιέχει τακτικό μασάζ και τέντωμα της ουλής. Πρέπει να ερευνά προσεκτικά για ουλές, τραύματα και φουσκάλες και στην περίπτωση που παρατηρηθούν χρειάζεται ιατρική περίθαλψη.

Αφού ο ασθενής ενημερωθεί για την επίδεση και τον καθαρισμό του κολοβώματος είναι σειρά του φυσικοθεραπευτή να ξεκινήσει τη φροντίδα του. Ξεκινά ένα συστηματικό πρόγραμμα κινησιοθεραπείας των αρθρώσεων καθώς και η εκγύμναση των μυών. Ο ασθενής ξεκινάει την εκπαίδευσή του στην κίνηση και την αυτοεξυπηρέτηση του ενώ σιγά-σιγά εξοικειώνεται με την καινούρια του εμφάνιση. Προτείνεται να γίνονται ασκήσεις για την ενίσχυση των μυών του κορμού, του βραχίονα, των ποδιών και των χεριών. Οι ασκήσεις πρέπει να γίνονται κοντά στις αρθρώσεις που είναι ο ακρωτηριασμός. Ως μία πρώτη αλλά πολύ χρήσιμη άσκηση είναι η εκμάθηση της μεταφοράς από το κρεβάτι στην καρέκλα και το ανάποδο. Λόγω της μεγάλης διάρκειας που παρέμεινε κλινήρης, οι μυς του ακινητοποιήθηκαν με αποτέλεσμα να χάσουν την ελαστικότητά

τους και να υιοθετήσουν βραχυμένες θέσεις. Γι' αυτόν τον λόγο, ο σκοπός της φυσικοθεραπείας είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Πλέον ο ασθενής θα παρακολουθείται από μία ομάδα ειδικών που θα περιλαμβάνει τον χειρουργό-αγγειοχειρουργό, τον ψυχολόγο-ψυχίατρο, τον φυσικοθεραπευτή, τον νοσηλεύτη, τον προσθετιστή και τον κοινωνικό λειτουργό (ειδικός επαγγελματικής επανένταξης). Αυτή η ομάδα θα συνεργάζεται για να δημιουργηθεί το κατάλληλο πρόγραμμα αποκατάστασης του ασθενή, θα τον ενημερώνει για το τι πρέπει να κάνει για το βέλτιστο αποτέλεσμα ενώ ακόμα τον βοηθάει στο να λύσει τις απορίες του και να τον εμπυχώσει να αντιμετωπίσει τις δικαιολογημένες ανησυχίες του για το μέλλον. [13,18]



Εικόνα 4. Επίδεση κολοβώματος κάτω άκρου.

2.4 Προσθετική

Προσθετική είναι ο τομέας της ιατρικής που ασχολείται με την αντικατάσταση των μελών του σώματος που έχουν χαθεί. Οι περιπτώσεις στις οποίες έχει πραγματοποιηθεί ακρωτηριασμός είναι οι εξής:

- κυκλοφορική ανεπάρκεια (διαβήτης) 62%
- ατύχημα 26%
- κακοήθεις νεοπλασίες 6%
- μολυσματική ασθένεια 5%
- εκ γενετής ανεπάρκεια άκρων 1%

Η προσθετική εγκαθίσταται στον τομέα της εμβιομηχανικής, η οποία ασχολείται με την έρευνα και την ανάλυση του ανθρώπινου συστήματος (μύες, σκελετός και νευρικά συστήματα) συνεισφέροντας με αυτό τον τρόπο στον κλάδο της βιοϊατρικής. Οι προθέσεις κατασκευάζονται για κάθε έναν ασθενή ξεχωριστά αφού ο προσθετικός ασχοληθεί με τη μέτρηση και τη δημιουργία ενός

τεχνικού άκρου. Ο ασθενής θα πρέπει να το αισθάνεται όσο το δυνατόν πιο άνετα, να μπορεί να το εφαρμόζει και να το αφαιρεί εύκολα όπως επίσης, το υλικό να είναι ελαφρύ για να μην τον κουράζει αλλά και ανθεκτικό για να μην φθείρεται. Θεωρείται επιτυχία της αποκατάστασης όταν ο ασθενής θα μπορέσει να επιστρέψει ξανά στις συνήθειες που είχε έως τώρα. Μετά από έναν ακρωτηριασμό ο ασθενής βιώνει μία μεγάλη απώλεια έχοντας βαθύ αντίκτυπο στην ψυχολογία του. Με τη σωστή καθοδήγηση τόσο των ειδικών όσο και της οικογένειάς του, τα αρνητικά συναισθήματα μπορούν να μειωθούν και να τονιστούν τα θετικά οφέλη. Είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητό στον ασθενή πως δεν σταματάει η πορεία της ζωής του αλλά θα συνεχίσει να πραγματοποιεί τις ασχολίες του με έναν διαφορετικό τρόπο. Η διαδικασία της προσθετικής αποκατάστασης ξεκινάει όσο το δυνατόν γρηγορότερα για να αποφευχθούν επιπλοκές όπως μυϊκές συσπάσεις, ατονία και κατάθλιψη. [17]

Διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- **Μετεγχειρητική φάση** είναι το διάστημα μεταξύ της χειρουργικής επέμβασης και της εφαρμογής τεχνητού μέλους
- **Προσθετική φάση** η οποία ξεκινάει με την κατασκευή του προσωρινού τεχνητού μέλους και διαρκεί μέχρι την παράδοση του τελικού μέλους.

Μετά το χειρουργείο το κολόβωμα, δηλαδή το υπολειπόμενο άκρο αλλάζει σχήμα και όγκο. Στον ασθενή τοποθετείται ένα προσωρινό μέλος στη φάση αποκατάστασης ενώ ο παθητικός ξεκινάει να κατασκευάζει το προσωρινό μέλος αμέσως όταν αφαιρεθούν τα ράμματα και το οίδημα αρχίζει να υποχωρεί. Η χρήση που από τον ασθενή φθάνει τις 5 με 7 εβδομάδες, διάστημα στο οποίο ο προσθετικός πραγματοποιεί συνεχώς διάφορες αλλαγές αφού το κολόβωμα αλλάζει σχήμα. Επίσης, στον ασθενή δίνονται οδηγίες για τον καθαρισμό και την περίθαλψη του κολοβώματος αλλά και απαραίτητες ασκήσεις για τη βελτίωση της ιδιοδεκτικότητας, της ισορροπίας και της μυϊκής κατάστασης. Αφού περάσει η μετεγχειρητική περίοδος ο ιατρός εξετάζει τον ασθενή και τον ταξινομεί σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες:

- **K1-βάδιση εσωτερικού χώρου:** ο ασθενής έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί περιορισμένα σε εσωτερικό χώρο.
- **K2-περιορισμένος βαδιστής εξωτερικού χώρου:** ο ασθενής μπορεί να κινηθεί σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο.
- **K3-βαδιστής εξωτερικών χώρων:** ο ασθενής μπορεί να κινηθεί χωρίς περιορισμούς σε εσωτερικούς χώρους και με ανεπαίσθητους περιορισμούς σε εξωτερικό χώρο.
- **K4-βαπτιστής εξωτερικού χώρου με ιδιαίτερα αυστηρές απαιτήσεις:** ο ασθενής έχει τη δυνατότητα να κινηθεί σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους χωρίς περιορισμούς.

Το μόνιμο προσθετικό μέρος τοποθετείται ύστερα από εκτενή μελέτη του κολοβώματος ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται η επανεκπαίδευση της βάδισης και η αύξηση του επιπέδου της κινητικότητας. Για να θεωρείται επιτυχής μία πρόθεση πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να τοποθετείται και να αφαιρείται εύκολα
- Να είναι ελαφριά σε βάρος έτσι ώστε να μην κουράζει τον ασθενή
- Να είναι ανθεκτική
- Να είναι κοσμητικά αποδεκτή
- Να διαθέτει μία καλή μηχανική λειτουργία
- Να είναι εύκολη στον καθαρισμό της. [17,18]

2.4.1 Κατηγορίες προθέσεων

Η Ιατρική με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταφέρει σε τεράστιο βαθμό να αποκαταστήσει ακρωτηριασμένα μέλη. Οι προθέσεις περιλαμβάνουν κάποια εξαρτήματα, τα προσθετικά εξαρτήματα. Συγκεκριμένα, αυτά είναι η υποδοχή, τα συστήματα ανάρτησης και ελέγχου, τις αρθρώσεις και το προσάρτημα. Ο προσθετικός, ο ειδικός που θα τις σχεδιάσει, κατασκευάσει και τελικά θα τις προσαρμόσει, ακούγοντας τα θέλω του πελάτη του θα προβεί στην δημιουργία μίας πρόθεσης αποκλειστικά γι'αυτόν με χαρακτηριστικά για την καθημερινότητά του, τα χόμπι του και την οικονομική του άνεση. Ως δύο μεγάλες κατηγορίες προθέσεων είναι οι εξωσκελετικές και οι ενδοσκελετικές.

- Εξωσκελετικές προθέσεις: Είναι μόνιμα σταθερές προθέσεις που δεν ρυθμίζονται. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν σκληρό εξωτερικό, συνήθως πλαστικό ή μέταλλο στο σχήμα του άκρου. Επιλέγεται κυρίως από ανθρώπους που εργάζονται σε σκληρό περιβάλλον και διατρέχουν υψηλούς κινδύνους να βλάψουν την πρόθεση.
- Ενδοσκελετικές προθέσεις: Ο σκελετός τους βρίσκεται κεντρικά και μπορεί να ρυθμιστεί. Εξωτερικά περιβάλλονται με κάποιο μαλακό υλικό και συνθετικό δέρμα. [17]

2.4.2 Τρόποι επιλογής πρόθεσης.

Τα χέρια και τα πόδια στην καθημερινότητα μας εκπληρώνουν πολλές σημαντικές λειτουργίες και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του κινητικού συστήματος του ανθρώπου. Ο ασθενής που θα διαλέξει την πρόθεση, είναι καλό να λάβει υπόψιν του τις καθημερινές του ανάγκες καθώς και τι

τον εξυπηρετεί και με την βοήθεια ενός ειδικού να κατασκευάσουν την πρόθεση. Συνήθως, επισκευάζεται μία προσωρινή πρόθεση την οποία ο ασθενής την δοκιμάζει και εκφέρει τυχόν αλλαγές που επιθυμεί να γίνουν προτού ο προσθετικός προχωρήσει στην κατασκευή της μόνιμης. Ένα από τα βασικά κριτήρια για την επιλογή της πρόθεσης είναι το επίπεδο του ακρωτηριασμού, δηλαδή η θέση που έχει γίνει ο ακρωτηριασμός διότι πάνω σε αυτό θα στηριχθεί το είδος της πρόθεσης. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η τεχνολογία της πρόθεσης που με την σειρά της θα προσφέρει διαφορετικές λειτουργίες και δυνατότητες. Αμέσως μετά την εγχείρηση ο ασθενής υποβάλλεται σε ένα εντατικό πρόγραμμα κινησιοθεραπείας και φροντίδας του κολοβώματος. Συνήθως, το πρόγραμμα περιλαμβάνει ασκήσεις αντιστάσεων σε όλες τις υγιείς μυικές ομάδες καθώς και ασκήσεις ισορροπίας. Αφού αφαιρεθούν και τα ράμματα μετά από 10 με 15 μέρες εφαρμόζεται πιεστική επίδεση. Αυτό έχει ως σκοπό την αποφυγή του οιδήματος, όμως το πιο σημαντικό είναι το να συνηθίσει ο ασθενής την άσκηση της πίεσης έτσι ώστε να μπορέσει να δεχτεί πολύ πιο εύκολα την πρόθεση. Η απόφαση της επιλογής της πρόθεσης θα παρθεί σε συνδυασμό με το ιατρικό προσωπικό και τον ασθενή. Ο χειρουργός, ο φυσικοθεραπευτής, ο εργοθεραπευτής και ο ορθοπεδικός τεχνίτης είναι αυτοί που θα αποφασίσουν τον τύπο της πρόθεσης λαμβάνοντας υπόψιν την ηλικία, το φύλο, το επάγγελμα, την εξέλιξη της υγείας του καθώς και την οικονομική του κατάσταση. Αυτό το στάδιο είναι ίσως το πιο κρίσιμο για τον ασθενή γιατί πλέον συνειδητοποιεί ολοκληρωτικά την αναπηρία του και πως πλέον αυτός θα είναι ο τρόπος που θα συνεχίσει τη ζωή του. Μπορεί να εμφανίσει σημάδια άγχους, κατάθλιψης, άρνησης, θυμού επηρεάζοντας την αυτο-αντίληψή του και φέρνοντας ίσως επιπτώσεις στις σχέσεις και την καριέρα του. Όλα αυτά είναι κατανοητά και όσοι είναι γύρω του, κρίνεται τουλάχιστον απαραίτητο να του δείξουν κατανόηση και να του συμπαρασταθούν. Ο ασθενής ακόμα και μετά την έξοδό του από το νοσοκομείο δεν παραλείπει τον συνεχή επανέλεγχο από τους γιατρούς που τον παρακολουθούν και τις συνεδρίες με τον ψυχολόγο του, εάν τις επιθυμεί. [17,18]

2.5 Ιστορία των προσθετικών μελών.

Οι ακρωτηριασμοί γίνονταν από τότε που ο άνθρωπος πρωτοεμφανίστηκε στη γη και χρησιμοποιούνταν εκτός από θεραπευτικό λόγο, ως τιμωρία. Φαίνεται πως η ιστορία της προσθετικής ξεκινάει από πάρα πολύ παλιά, ακόμα και πριν από την έλευση της γραφής. Οι αρχαίοι χρησιμοποιούσαν υλικά όπως ξύλο και σίδηρο για να αντιγράψουν όσο το δυνατόν γίνεται καλύτερα το βιολογικό μέλος.

Παρακάτω δίνονται κάποιες από τις πιο γνωστές αναφορές σε συγγραφές και αναπαράστασεις:

- Στη μυθολογία των Αζτέκων, ο Τεζκατλιπόκα, ο θεός του σκότους και του πολέμου έχασε το πόδι του στη μάχη και απεικονίζεται με αντικατάστατο πόδι φτιαγμένο από οφινανό . [19]
- Στην Αρχαία ιστορία ο Ηρόδοτος αναφέρεται σε έναν περσικό αιχμάλωτο ο οποίος για να δραπετεύσει ακρωτηρίασε το πόδι του και στη συνέχεια δημιούργησε ένα τεχνητό ξύλινο πόδι για να μπορέσει να περπατήσει. [20]
- Η θρησκεία της Αιγύπτου υποστήριζε πως ένα κομμένο άκρο επηρεάζει τη μετά θάνατον ζωή. Γι' αυτό τον λόγο, φαίνονταν αρκετές αναφορές σε προσθέσεις μελών. Παρόλα αυτά, φαίνεται, πως οι Αιγύπτιοι έδιναν μεγαλύτερη σημασία ως προς την αντικατάσταση της μορφής του μέλους και όχι τόσο στη λειτουργία και στην διευκόλυνση του ανθρώπου. [21]
- Το Cairo Toe είναι ένα τεχνητό δάχτυλο ποδιού που χρονολογείται από το 1069 έως το 664 πΧ. Φαίνεται πως είναι φτιαγμένο από ξύλο και δέρμα και πως έχει προσαρμοστεί για να εφαρμόζει με ακρίβεια στο πόδι της γυναίκας. Οι μελέτες έχουν δείξει πως η κατασκευή του έχει γίνει από έμπειρο δεξιότεχνη ο οποίος ήταν ιδιαίτερα εξοικειωμένος με την ανθρώπινη ανατομία. [21]
- Το πόδι Carua είναι ένα πρωτότυπο τεχνητό πόδι κατασκευασμένο από χαλκό. Βρέθηκε περίπου το 300 π.Χ. στο Carua και θεωρείται πως είναι το παλαιότερο τεχνητό άκρο που ανακαλύφθηκε. Πλέον, υπάρχει σε αντίγραφο αφού καταστράφηκε στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. [20]
- Ένα προσθετικό πόδι από την Κίνα 2.200 χρόνων το οποίο βρέθηκε σε ένα κινέζικο τάφο. Οι ερευνητές πιστεύουν πως ο άντρας που το χρησιμοποιούσε το έδενε με τα δερμάτινα λουριά στο πόδι του και έτσι μπορούσε να ξανά ιππεύσει και να περπατήσει. [22]
- Ambroise Pare γεννήθηκε το 1510 και έζησε ως το 1590. Θεωρείται από πολλούς ως ο πατέρας της σύγχρονης χειρουργικής. Ήταν επιτυχημένος χειρουργός, ανατομικός καθώς επίσης και βασιλικός χειρουργός για τέσσερις Γάλλους βασιλιάδες. Βελτίωσε τεχνικές ακρωτηριασμού και δημιούργησε λειτουργικά προσθετικά άκρα για όλο το σώμα που ήταν ικανά να μιμηθούν τα βιολογικά άκρα. Ήταν ο πρώτος που κατασκεύασε προσθετικό άνω γόνατος με λειτουργίες οι οποίες χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα. Επιπλέον, αντικατέστησε το βαρύ ξύλο με πιο ελαφριά υλικά όπως δέρμα, χαρτί και κόλλα. [23]
- Ο Pieter Verduyn είναι ένας Ολλανδός χειρουργός, ο οποίος δημιούργησε το 1969 ένα προσθετικό για κάτω από το γόνατο το οποίο ήταν μη κλειδωμένο. Διέθετε εξωτερικούς μεντεσέδες και δερμάτινη υποδοχή μηρού και παρουσιάζει εντυπωσιακή ομοιότητα με τη σημερινή άρθρωση. [23]
- Μέχρι τον Ά παγκόσμιο πόλεμο υπήρχε έντονη η έλλειψη φροντίδας ακρωτηριασμένων στην Αμερική. Ο γενικός χειρουργός των ΗΠΑ, κάλεσε στην Ουάσιγκτον τους προσθετικούς

και δημιούργησαν τη σημερινή αμερικανική ένωση προσθετικών και ορθοτικών. Ο πόλεμος ώθησε τους ανθρώπους να αναπτύξουν όλο και πιο σύγχρονες τεχνικές στην ιατρική βοηθώντας έτσι στη δημιουργία όλο και πιο σύγχρονων μηχανημάτων. [17]

Με συνεχείς μελέτες, τα προσθετικά μέλη κάλυπταν όλο και περισσότερο τις ανάγκες των ασθενών. Στοιχεία όπως άνεση, αντοχή, οικονομία, κομψότητα, σταθερότητα και απαλότητα μελετήθηκαν και συνέβαλαν έτσι σε σημαντικές αλλαγές στα υλικά που θα χρησιμοποιούνταν. Σήμερα, χάρη στις συσκευές που ελέγχονται από τον εγκέφαλο η επιστήμη ένα βήμα πιο κοντά στην πλήρη αποκατάσταση του άκρου.

2.6 Αιτίες ακρωτηριασμών άνω άκρων.

Οι ακρωτηριασμοί άνω άκρων δεν είναι τόσο συχνοί όσο οι ακρωτηριασμοί των κάτω άκρων μάλιστα με ποσοστό μόλις 10% με 15% να είναι καλοί υποψήφιοι για την επιλογή της πρόθεσης. Η αποκατάσταση τους και επαναφορά της κίνησης τόσο στην παλάμη όσο και στα δάχτυλα καθίσταται πιο δύσκολη. Σημειώνεται πως επιτυχής εμφύτευση θεωρείται η κανονική ενσωμάτωση των τμημάτων τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν και να χρησιμοποιηθούν στις δραστηριότητες της καθημερινής ζωής και όχι η απλή επιβίωση των άκρων. Σήμερα, η επιστήμη έχει εξελιχθεί ραγδαία όμως στην περίπτωση που έχει γίνει ανεπανόρθωτη ζημιά, το χέρι σίγουρα δεν θα μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως το πρωτότυπο. Η διαδικασία του ακρωτηριασμού γίνεται λόγω διαφόρων περιστάσεων δηλαδή, λόγω μόλυνσης, καρκίνου, δυσπλασίες ή αγγειακών ανωμαλιών. Τα άνω άκρα μας είναι εκτεθειμένα συνεχώς και μέσω από αυτά ερχόμαστε σε επαφή με οτιδήποτε στην καθημερινή μας ζωή. Τα ατυχήματα λοιπόν και οι απογονατισμοί είναι επιπλέον λόγοι του ακρωτηριασμού των άνω άκρων. Το επίπεδο του ακρωτηριασμού επηρεάζει τόσο τον ίδιο τον ασθενή αφού όπως είναι λογικό "χάνει" περισσότερο από το εύρος κινήσεων του και οι απαιτήσεις στην φροντίδα του αυξάνονται. Από έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν ο κίνδυνος απώλειας άνω άκρων αυξάνεται με την ηλικία παρατηρώντας πως ο μεγαλύτερος κίνδυνος φαίνεται να είναι η ηλικία 65 και άνω. Τα ατυχήματα έχουν πρωταρχική θέση στη λίστα με τις αιτίες καταλαμβάνοντας το 80% με μεγαλύτερη συχνότητα τους άντρες ηλικίας 15 έως 45 ετών. Τη δεύτερη θέση την έχει ο καρκίνος και οι αγγειακές επιπλοκές. Άλλες αιτίες είναι η μόλυνση, συγγενείς παραμορφώσεις, εγκαύματα, θερμικός ή ηλεκτρικός τραυματισμός, κρυοπάγημα και επιπλοκές από διαβήτη. [13,17]

2.6.1 Επίπεδα ακρωτηριασμού άνω άκρων.

Τα επίπεδα στα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί ακρωτηριασμός στα άνω άκρα είναι τα εξής:

- Ακρωτηριασμός στο επίπεδο των φαλάγγων: αφορά εκτομή του αντίχειρα ή των δαχτύλων στο άνω μεσοφαλαγγικό, στο εγγύς μεσοφαλαγγικό, στο μετακαρποφαλαγγικό επίπεδο ή σε κάποιο ενδιάμεσο αυτών.
- Ακρωτηριασμός μετακαρπίου: (δεν συνιστάται).
- Ακρωτηριασμός στο επίπεδο του καρπού: αναφέρεται στο επίπεδο των οστών του καρπού (δεν συνιστάται).
- Ακρωτηριασμός αντιβραχίου: αναφέρεται γι' αυτό επίπεδο κάτω από τον αγκώνα και μπορεί να χαρακτηριστεί ως μεγάλος, μεσαίος ή μικρός.
- Εξάρθρωση του αγκώνα: διατομή μέσω της άρθρωσης του αγκώνα.
- Ακρωτηριασμός βραχιονίου: αφορά πάνω από το επίπεδο του αγκώνα.
- Εξάρθρωση του ώμου: αφορά τη διατομή στο επίπεδο της άρθρωσης του ώμου.
- Απεξάρθρωση μεταξύ ωμοπλάτης και θώρακα: αφαιρείται η ωμοπλάτη και μέρος ή ολόκληρη κλείδα. Κάποιοι χειρουργοί επιλέγουν να αφήσουν μέρος της κλείδας. [24]

2.6.2 Προθέσεις άνω άκρων

Παθητικές ή κοσμητικές: θεωρούνται οι πιο απλές προθέσεις. Είναι κατάλληλες για ψυχαγωγικές και επαγγελματικές δραστηριότητες λόγω του ότι μοιάζουν με φυσικό άκρο. Είναι ιδιαίτερα όμορφες και γι' αυτό ο ασθενής τις δέχεται πολύ πιο εύκολα. Δεν διαθέτουν ενεργή κίνηση των άκρων και των αρθρώσεων, όμως συμβάλουν στην ισορροπία και στην σταθεροποίηση αντικειμένων όπως το κράτημα ενός ποτηριού με νερό. Στα πλεονεκτήματα της πρόθεσης περιλαμβάνεται το χαμηλό κόστος, είναι ελαφριά και δεν κουράζει ενώ στα μειονεκτήματα είναι ότι λερώνει εύκολα με μικρή λειτουργικότητα που δεν εξυπηρετεί πολλές ανάγκες.

Σωματικά τροφοδοτούμενες προθέσεις (body powered) : Είναι οι πιο συνηθισμένες προθέσεις. Το κόστος τους είναι χαμηλό, απαιτούν λιγότερη συντήρηση ενώ ταυτόχρονα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές. Λειτουργούν με έναν ιμάντα καλωδίου ο οποίος συγκρατεί την πρόθεση και χρησιμοποιεί την κίνηση της ωμοπλάτης και του άνω βραχίονα του ατόμου για να χειριστεί το χέρι. Κάποια συστήματα χρησιμοποιούν τον αντίθετο βραχίονα για να ενεργοποιήσουν μία συγκεκριμένη λειτουργία. Το ένα άκρο ενός ιμάντα περιβάλλει τον αντίθετο βραχίονα στη μασχάλη και το άλλο συνδέεται με ένα καλώδιο που ελέγχει την τερματική συσκευή. Την επιλέγουν άτομα

με σωματική εργασία ή άτομα που έχουν μεγάλη ανάγκη σταθεροποίησης. Διαθέτει αισθητική απόκριση(feedback), χρειάζεται περισσότερη σωματική κίνηση για να λειτουργήσει και διαθέτει ποικιλία τελικών προθέσεων(grehsensors) για τις διαφορετικές δραστηριότητες που μπορεί να χρειαστούν. Το κόστος τους είναι πιο υψηλό απο αυτό των παθητικών όπως επίσης και το βάρος τους. Είναι ανθεκτικές και η εμφάνισή τους όχι ιδιαίτερα αποδεκτή.

Εξωτερικά τροφοτούμενες προθέσεις: Παρέχουν ενεργή κίνηση των χεριών και των αρθρώσεων χωρίς να απαιτείται κίνηση του ώμου ή του σώματος. Διαθέτει αισθητήρες που χρησιμοποιούν την κίνηση των μυών του υπολειπόμενου άκρου ή των ηλεκτρικών ενεργοποιητών ελέγχου του άνω μέρους του σώματος που παρέχουν μεγαλύτερη δύναμη σύλληψης απο τις προθέσεις που κινούνται με το σώμα. Ως πλεονεκτήματα της πρόθεσης είναι η μέτρια ή καθόλου ανάγκη σταθεροποίησης, η λιγότερη σωματική κίνηση για να λειτουργήσει και η καλύτερη σύλληψη. Στα μειονεκτήματα συμπεριλαμβάνονται το βάρος του εξοπλισμού, το μεγάλο κόστος, η μεγάλη συντήρηση, η μικρή αισθητική απόκριση(feedback) αλλά και ο εκτεταμένος χρόνος θεραπείας και εκπαίδευσης.

Μυοηλεκτρικές προθέσεις- ελεγχόμενες με διακόπτη: Η λέξη myo έχει τις ρίζες της απο την ελληνική γλώσσα μύες. Πρόκειται για προθέσεις εξωτερικής ισχύς που διαθέτουν ελάχιστους ή καθόλου ιμάντες ανάρτησης και δεν απαιτούν ενέργεια απο τον χρήστη ούτε κίνηση απο τα υγιή μέλη του σώματος για να λειτουργήσουν. Μέσω μιας βιοχημικής διαδικασίας δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση στο εύρος των μικροβόλτ κάθε φορά που ένας μυς συσπάτε. Η λειτουργία μυοηλεκτρικών προθέσεων άνω άκρων χρησιμοποιεί την ενέργεια ενσωματωμένου συσσωρευτή και την καθοδηγεί μέσω σημάτων τα οποία συλλαμβάνονται από κατάλληλα ηλεκτρόδια που έχουν τοποθετηθεί στην επιφάνεια των μυών του κολοβώματος ή του μέλους που παρουσιάζει ανεπάρκεια. Συνήθως, οι μυϊκές τάσεις διαβάζονται με την χρήση δύο ηλεκτροδίων ενώ στα παιδιά με τη χρήση ενός. Η διαδικασία ξεκινάει με τους ειδικούς να προσπαθούν να εντοπίσουν τα πιο ισχυρά σήματα από την σύσπαση των μυών διότι εκεί θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια που θα τροφοδοτήσουν αμιγώς την μύοηλεκτρική πρόθεση. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται με ειδική διάταξη μέσω της οποίας μπορεί να αναλυθεί η ηλεκτρονική ενίσχυση των σημάτων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ο έλεγχος των μυοηλεκτρικών συστημάτων μπορεί να γίνει μέσω μίας συσκευής με δυαδικό σύστημα η οποία έχει ξεχωριστά ηλεκτρόδια για τα ζεύγη κίνησης της πρόθεσης όπως είναι κάμψη-έκταση, πρηνισμός-υπτιασμός ακολουθώντας τους νόμους της φυσικοθεραπείας. Για τον έλεγχο κινήσεων που αφορούν ένα ζεύγος δραστηριοτήτων (πχ κάμψη-έκταση) χρησιμοποιείται συσκευή μονού συστήματος. Ανάλογα με την ένταση της μυϊκής σύσπασης διαφοροποιούνται οι κινήσεις που επιθυμεί να επιτύχει. Για παράδειγμα, μία ισχυρή μυϊκή σύσπαση μπορεί να κάνει την κάμψη ενώ μία αδύναμη την έκταση. Στην περίπτωση που θέλουν να

ελεγχθούν πολλά τροφοδοτούμενα στοιχεία, χρησιμοποιούνται σειριακά με multistate χειριστήρια και μπορούν έτσι να επιτυγχάνονται αρκετές λειτουργίες. Αν και οι μυοηλεκτρικές προθέσεις ελέγχονται από τους ίδιους μύες του ασθενή, το σύστημα χρειάζεται μία μπαταρία λιθίου η οποία αφαιρείται από την πρόθεση για να φορτιστεί. Μία μύοηλεκτρική πρόθεση καλύπτει τεράστιο φάσμα των ηλικιών και μεγάλη κάλυψη λειτουργιών όπως είναι:

- Ο χειροκίνητος ρυθμιζόμενος αντίχειρας
- Ισχυρή λαβή και ταχύτητα λαβής
- Δάχτυλα με ατομική τροφοδοσία
- Δυνατότητα επέκτασης του δείκτη για να δείξει ή να πατήσει κάποιο κουμπί
- Λειτουργία χειραψίας που ρυθμίζει αυτόματα τη δύναμη λαβής ή αισθητήρας στον αντίχειρα που ανιχνεύει την τριβή που προκαλείται από την ολίσθηση αντικειμένων και σφίγγει αυτόματα τη λαβή για να αποτρέψει την πτώση. [17,24]

2.6.3 Είδη προθέσεων άνω άκρων

Κοσμητική πρόθεση

Πρόκειται για αρθρώσεις που φτιάχνονται πιο συχνά από σιλικόνη ή πλαστικό. Θεωρούνται ως η πιο εύκολη αντικατάσταση μέλους έχοντας ως κύριο στόχο να αντικαταστήσουν όσο το δυνατόν περισσότερο το μέλος που αποκόπηκε. Ιδιαίτερα συχνές είναι οι προθέσεις των δαχτύλων αλλά και του αντιβραχίου ενώ δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθόλου σε διμερείς ακρωτηριασμούς. Την προτιμούν κυρίως άνθρωποι στους οποίους δεν είναι απαραίτητο σε μεγάλο βαθμό η χρήση και των δύο άκρων(καθημερινή χειρωνακτική εργασία) και γι' αυτό δεν κρίνεται απαραίτητο η αντικατάστασή τους με κάποια ίσως πιο λειτουργική πρόθεση. Το υλικό τους είναι ελαστικό, συνήθως από σιλικόνη. Είναι αρκετά κομψό, αισθητικά όμορφο και ο ασθενής το δέχεται πολύ εύκολα. Κατασκευάζεται αφού πρώτα ο ειδικός θα μετρήσει τις διαστάσεις του ασθενή και θα πάρει το σωστό χρωματολόγιο από το αντίθετο μέλος. Στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι κοσμητικές προθέσεις, είναι πως δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη εκπαίδευση καθώς είναι πολύ εύκολες τόσο στην τοποθέτηση όσο και στην αφαίρεση τους. Όπως και σε όλους τους τύπους προθέσεων δεν μπορεί να λείπει η καθημερινή φροντίδα και καθαριότητα τόσο της πρόθεσης όσο και του κολοβώματος. Η πρόθεση είναι πολύ ελαφριά αφού δεν έχει κάποιον ειδικό μηχανισμό για να βοηθάει στην κίνηση. Ο ασθενής, εάν επιθυμεί να κάνει κινήσεις μπορεί μόνο παθητικά, δηλαδή με τη βοήθεια τους υγιούς χεριού του. Επίσης, το κόστος είναι αρκετά χαμηλό εξυπηρετώντας πολλούς ανθρώπους στην εισαγωγή και την εμπειρία της πρόθεσης.

Συμπεραίνοντας, η κοσμητική πρόθεση είναι κατάλληλη σε λιγότερο δραστήριους ανθρώπους που έχουν ως βασική ανάγκη να καλύψουν με κομψό και όμορφο τρόπο το κολόβωμα τους. Μπορεί να βγει σε πολλά μεγέθη και χρώματα αντιγράφοντας πλήρως το πρωτότυπο μέλος. Δεν τους παρέχεται ενεργητική κίνηση παρά μόνο παθητική, με το υγιές μέλος να βοηθάει και να στηρίζει όπου χρειάζεται το άλλο. Φυσικά, η καθημερινή υγιεινή του κολοβώματος και της πρόθεσης δεν μπορεί να παραλειφθεί ενώ το κόστος της πρόθεσης είναι κατά το δυνατόν χαμηλό. Πολλοί είναι οι άνθρωποι που χρησιμοποιούν κοσμητικές παθήσεις ή ακόμα και ένα απλό γάντι επάνω απο κάποια άλλη πρόθεση για να έχουν ένα ωραίο αποτέλεσμα αλλά και να νιώθουν οι ίδιοι αυτοπεποίθηση.

[17]

Myoelectric prosthesis

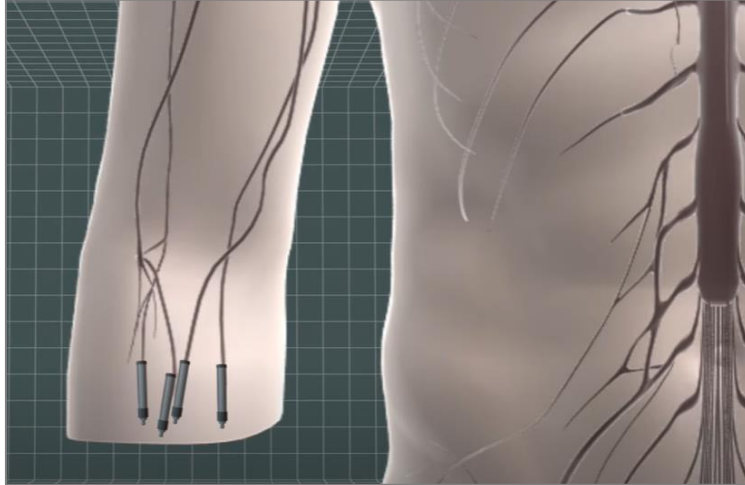
Οι μυοηλεκτρικές προθέσεις είναι η αμέσως πιο εξελιγμένη πρόθεση που βοηθάει πολλούς ασθενείς στην καθημερινότητά τους. Πρόκειται για μία πρόθεση με όμορφο αισθητικά αποτέλεσμα έχοντας ως βασική διαφορά την μερικώς κίνηση που μπορεί να προσφέρει συγκριτικά με την κοσμητική πρόθεση. Όταν ο μύς συσπάται δημιουργείται μια ηλεκτρική τάση στο εύρος των μικροβόλτ και έτσι μπορεί να παραχθεί η κίνηση της πρόθεσης. Δίνεται η δυνατότητα στους ανθρώπους να κρατήσουν και να γραπώσουν αντικείμενα οποιουδήποτε μεγέθους ή ακόμα και βάρους. Η καθημερινότητα ενός ασθενή με μυοηλεκτρική πρόθεση γίνεται πλέον πιο εύκολη αφού είναι σε θέση να κάνουν χειρισμούς όπως η οδήγηση ή ακόμα να χειριστούν κάτι τόσο μικρό όσο ένα λαστιχάκι με την χρήση ειδικής πρόθεσης που τοποθετείται μπροστά.

Οι πιο γνωστές μυοηλεκτρικές παλάμες είναι:

1. Sensor Hand Speed
2. MyoHand Speed
3. System Electric Greifer
4. Transarpal Kand Digital Twin

Πολλοί μικροί ασύρματοι αισθητήρες μόλις στα 16mm μήκος τοποθετούνται στα ελεύθερα άκρα του υπολειπόμενου μυ απο το κομμένο άκρο. Με την σειρά τους ανιχνεύουν τα σήματα που στέλνονται απο τον εγκέφαλο προς τους μυς και ανιχνεύουν συγκεκριμένες κινήσεις. Τα σήματα στέλνονται επίσης ασύρματα σε ένα μικρό κουτί αποκρυπτογράφησης που τελικά επιτρέπει στο τεχνητό άκρο να κινηθεί. Οι κινήσεις που του επιτρέπει να κάνει είναι:

- το άνοιγμα και το κλείσιμο της παλάμης
- η περιστροφή 180 μοιρών (πρηνισμός και υπτιασμός)
- Ξεχωριστό έλεγχο του αντίχειρα για τις πιο λεπτομερείς κινήσεις.[25]



Εικόνα 5: Προσομοίωση ασύρματων αισθητήρων τοποθετημένοι στα άκρα του υπολειπόμενου μυ.



Εικόνα 6 : Κουτί αποκρυπτογράφησης κινήσεων

Καθώς η μυοηλεκτρική πρόθεση είναι μία από τις κορυφαίες προθέσεις και η αρχή της ιδέας για υλοποίηση πολλών και ακόμα καλύτερων μηχανημάτων θα αναφέρουμε συνοπτικά το πώς λειτουργεί.

- Καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων: Όταν εκτελείται μία κίνηση, οι νευρώνες που βρίσκονται στον εγκέφαλο εκπέμπουν ορισμένα σήματα έτσι ώστε να ξεκινήσει ο μυς να

συσπάται. Με αυτήν την ενεργοποίηση του μυ, παράγονται ηλεκτρονικά σήματα. Πάνω στην επιφάνεια του δέρματος, στους μύες έχουν τοποθετηθεί ηλεκτροδιακοπτικοί αισθητήρες οι οποίοι καταγράφουν τα ηλεκτρικά σήματα.

- Επεξεργασία σημάτων: Αφού τα ηλεκτρικά σήματα καταγραφούν από τους αισθητήρες, μεταφράζονται με την σειρά τους σε ψηφιακά δεδομένα μέσω κάποιων ειδικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Τα στοιχεία που λαμβάνονται από τους μυς είναι στην ουσία η λειτουργία του μυ κατά την εκτέλεση της κίνησης.
- Ανάλυση και ερμηνεία: Εφόσον αναλυθούν τα ψηφιακά δεδομένα από τους ειδικούς υπολογιστικούς αλγορίθμους ξεκινάει η ερμηνεία τους, πως δηλαδή ο ασθενής είναι σε θέση να εκτελέσει τις κινήσεις του. Λαμβάνονται υπόψιν η δύναμη, η ταχύτητα, ο τρόπος και ο χρόνος του κάθε σημείου ξεχωριστά του εύρους κίνησης.
- Εφαρμογές: Το φάσμα στο οποίο μπορούν να αξιοποιηθούν αυτές οι μηχανές είναι τεράστιο. Αρχικά, ο πιο σημαντικός σκοπός λειτουργίας και χρησιμότητας είναι ο ίδιος ο άνθρωπος όπου χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν ένα καλύτερο επίπεδο ζωής. Στόχος είναι ο ασθενής να καταφέρει και να είναι σε θέση να ξανά επιστρέψει και να ενταχθεί στην κανονικότητα. Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως στη βιομηχανία με σκοπό την κατασκευή ειδικών εργαλείων και εξοπλισμού που θα βοηθούν την διεκπεραίωση των δύσκολων εργασιών που βάζουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή.

Στην παραπάνω φωτογραφία απεικονίζεται μία αναπαράσταση ενός μνηλεκτρικού διακόπτη. Τα επιμέρους μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:

- Ηλεκτρόδια: Τα ηλεκτρόδια αποτελούν το κύριο στοιχείο των μνηλεκτρικών διακοπών το οποίο έρχεται σε άμεση επαφή με το δέρμα ακριβώς πάνω από το σημείο του μυ για τον οποίο επιθυμούμε να αντλήσουμε πληροφορίες. Αυτά τα ηλεκτρόδια καταγράφουν τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τη μυϊκή δραστηριότητα, από την κίνηση δηλαδή που κάνει το οστό σε συνδυασμό υποχρεωτικά με τον μυ έτσι ώστε να παραχθεί η κάμψη, έκταση, απαγωγή, προσαγωγή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτροδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως είναι τα επιφανειακά ηλεκτρόδια ή ακόμα και τα ενδομυϊκά ηλεκτρόδια τα οποία προσφέρουν μια πιο ακριβή καταγραφή.
- Ενισχυτές σήματος: Οι μνηλεκτρικοί διακόπτες συνήθως περιλαμβάνουν ενισχυτές σήματος. Ο σκοπός τους είναι να εντοπίζουν και να ενισχύουν τα πιο αδύναμα ηλεκτρικά σήματα που καταγράφονται από τα ηλεκτρόδια. Αυτό είναι σημαντικό για να μπορέσουν να

μετατραπούν τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά δεδομένα και να αναλυθούν στη συνέχεια από υπολογιστικά συστήματα.

- Κυκλώματα επεξεργασίας: Οι μυοηλεκτρικοί διακόπτες συνήθως περιλαμβάνουν κυκλώματα επεξεργασίας σήματος που λαμβάνουν τα εισερχόμενα σήματα από τα ηλεκτρόδια προκειμένου να παρθούν χρήσιμες πληροφορίες όπως είναι η ένταση και η διάρκεια της μυϊκής δραστηριότητας.
- Μονάδες αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων: Τα δεδομένα που παράγονται από τους μυοηλεκτρικούς διακόπτες μπορούν να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν από ειδικές μονάδες που δίνουν τη δυνατότητα για περαιτέρω ανάλυση και ερμηνεία των σημάτων. [25,26]

Michalangelo (Otto –Bock)

Πρόκειται για ένα από τα πιο διαδεδομένα μυοηλεκτρικά προσθετικά μέλη που κατασκεύασε ο οίκος Otto-Bock και ο Αμερικανός συνεργάτης της , advanced arm dynamic. Διαθέτει τον μεγαλύτερο έλεγχο των κινήσεων ενώ είναι το πρώτο που σχεδίασε την κίνηση του αντίχειρα παρέχοντας την δυνατότητα ενεργής κάμψης και έκτασης του καρπού. Στη συγκεκριμένη πρόθεση έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο 3πλό σημείο δαχτύλων (αντίχειρας, δείκτης, μέσος) καθώς αυτά σε συνδυασμό υποστηρίζουν αν όχι όλες, τις περισσότερες κινήσεις. Χιλιάδες άνθρωποι το χρησιμοποιούν και έχουν επιστρέψει ολοκληρωτικά σε κάθε είδους καθημερινής εργασίας ενώ το κράτημα των αντικειμένων γίνεται με μεγαλύτερο έλεγχο και λιγότερη προσπάθεια. Τα δάχτυλα του Michelangelo οδηγούνται ενεργά, φτιαγμένα από συνδυασμό σκληρού και μαλακού υλικού επιτρέποντας ακρίβεια στη σύλληψη αντικειμένων ενώ ο αντίχειρας του μπορεί να τοποθετηθεί ηλεκτρονικά. Αντίθετα με τα περισσότερα χέρια που διαθέτουν μια μόνο μονάδα κίνησης που ελέγχει την λαβή, εδώ χρησιμοποιούνται δύο και γι' αυτό ο αντίχειρας μπορεί να τοποθετηθεί ηλεκτρονικά. Είναι γρήγορο, αθόρυβο και δυνατό. Επιτρέπει στους ασθενείς να χειριστούν εξαιρετικά ακριβείς κινήσεις (πχ, μαγειρική) ή ακόμα και ενέργειες που απαιτούν δύναμη (πχ. κόψιμο ξύλων). Επιπλέον, κινείται πολυαξονικά ελαχιστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τις αφύσικες αντιστάθμισης κινήσεις δίνοντας μία πιο υγιή και φυσική στάση στο σώμα. Όταν δεν χρησιμοποιείται για αρκετή ώρα το χέρι, επιστρέφει μόνο του στη φυσική θέση ανάπαυσης.

Οι μηχανισμοί ξεκινούν για κάθε ασθενή ξεχωριστά από την αρχή κάνοντας δοκιμές για να γίνουν κατανοητές οι ανάγκες καθώς και οι απαιτήσεις του κάθε ανθρώπου. Υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού από την αρχή ανάλογα με το ύψος του ακρωτηριασμού αλλά και την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι μύες. Οι ασθενείς μπορούν να έχουν άμεση αλληλεπίδραση με το

σύστημα και να εκπαιδεύονται πάνω του πιο εύκολα και γρήγορα. Πρόκειται για ένα έργο που πραγματοποιήθηκε το 2011 και ήταν η κινητήρια δύναμη για να δώσει τα φώτα σε πολύ πιο έξυπνες και ρομποτικές συσκευές.

Η επιπρόσθετη λαβή με την οποία συνδυάζεται το Michelangelo είναι το Axon Hook το οποίο αποτελείται στην ουσία από δύο γάντζους. Σχεδιάστηκε για χειρωνακτική εργασία με υψηλή δύναμη πρόσφυσης και στιβαρή κατασκευή. Ακόμα και με αυτό η ακρίβεια, η ταχύτητα και η συγκράτηση στον χειρισμό των εργασιών παραμένουν ενώ η αλλαγή μεταξύ των διαφορετικών χεριών γίνεται πολύ γρήγορα και εύκολα.

Διαθέτει τρεις λειτουργίες θέσης προσφέροντας 7 τύπους λαβής:

- Την πλευρική λειτουργία κατά την οποία ο αντίχειρας κινείται πλάγια προς τον δείκτη.
- Την λειτουργία αντίθεσης κατά την οποία ο αντίχειρας κινείται προς το μεσαίο δάχτυλο.
- Την λειτουργία απαγωγής και εξαγωγής δαχτύλων. Η λειτουργία αυτή είναι μοναδική και επιτυγχάνει στην ουσία την απομάκρυνση των δαχτύλων μεταξύ τους επιτρέποντας να πραγματοποιεί τις πιο λεπτές κινήσεις όπως είναι το να κρατήσει κάτι μικρό και λεπτό όπως η πιστωτική κάρτα, χρήματα. Παρέχει στον ασθενή την δυνατότητα να ανεξαρτητοποιείται και να μην χρειάζεται έναν βοηθό για όλες τις κινήσεις του κάτι που τον κάνει χαρούμενο με το ηθικό του και την ψυχολογία του να ανεβαίνει. [27]

Bebionic hand (βιονικό άκρο)

Πρόκειται για μία πρόθεση απίστευτα έξυπνη, αξιόπιστη και με ακριβή σχεδιασμό. Δίνει την δυνατότητα στους ανθρώπους με απώλεια άκρων να λειτουργούν κανονικά και να μην εντοπίζουν σχεδόν κανένα καθημερινό εμπόδιο. Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόζει λειτουργίες ως προς την δύναμή της και να την χειρίζεται εξ ολοκλήρου ο ίδιος. Μπορεί να εκτελέσει πολλές λειτουργίες από τις πιο απλές όπως είναι η κατανάλωση γευμάτων ή το κράτημα αντικειμένων έως και πιο σύνθετες όπως είναι το δέσιμο του κορδονιού, το άνοιγμα των θυρών, η πληκτρολόγηση ή η εξάσκηση μουσικού οργάνου. Σε κάθε δάχτυλο μεμονωμένα υπάρχουν ισχυροί μικροεπεξεργαστές οι οποίοι παρακολουθούν συνεχώς την θέση το κάθε δαχτύλου παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο έναν ακριβή και αξιόπιστο έλεγχο των κινήσεων της παλάμης. Παρέχονται 14 διαφορετικές λειτουργίες αλλά και θέσεις μέσω των οποίων γίνονται οι κινήσεις. Ο ασθενής είναι σε θέση να ελέγξει την ταχύτητα, κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό αφού επιτυγχάνεται ακρίβεια όπως είναι το να κρατήσει ένα φλιτζάνι καφέ. Η παραγωγή μαλακότερων μυϊκών σημάτων έχει ως αποτέλεσμα την εκτέλεση αργών κινήσεων με λιγότερη δύναμη λαβής πάνω σε ένα αντικείμενο

ενώ τα ισχυρότερα σήματα θα παράγουν ταχύτερη κίνηση και μεγαλύτερη δύναμη λαβής. Μπορεί επίσης, να επιλέξει μέσω των 3 επιλογών που διαθέτει ασύρματη τεχνολογία έτσι ώστε να τις προσαρμόσει στον δικό του τρόπο ζωής και στις δικές του δραστηριότητες. Ένα ακόμα έξυπνο χαρακτηριστικό που έχει προστεθεί στο Be bionic είναι η αυτόματη πρόσφυση. Αυτή, δίνει την δυνατότητα να καταλαβαίνει πότε ένα αντικείμενο ολισθαίνει από την λαβή και την προσαρμόζει κατάλληλα για να την ασφαλίσει. Η αντοχή του και τα υλικά προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται του επιτρέπουν να σηκώνει βαριά αντικείμενα ή ακόμα και τον ίδιο όταν βρίσκεται από καθιστή θέση σε όρθια με την παλάμη κλειστή σε γροθιά. Ο σχεδιασμός του είναι αθόρυβος και διατίθεται σε 3 επιλογές καρπού με 2 μεγέθη. Το χρώμα είναι στην κρίση του ασθενή όμως εάν το επιθυμεί μπορεί να καλυφθεί με ελαστικό γάντι στο χρώμα του αντίθετου υγιούς μέλους για μία πιο φυσική εμφάνιση. Το κόστος είναι αρκετά υψηλό ξεκινώντας από 30.000 με εγγύηση 3 χρόνων. [28,29]

Mind-Controlled Bionic Arm

Κατά την χρήση του βιονικού μέλους ο ασθενής μπορεί να το κουνήσει, να συλλάβει, να σηκώσει με την χρήση των λειτουργιών που διαθέτει. Αυτού του είδους η τεχνολογία, η οποία ακόμα δεν έχει κυκλοφορήσει κανονικά αλλά βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, δίνει την δυνατότητα μέσω της σκέψης να γίνουν όλες οι λειτουργίες. Ο ασθενής για πρώτη φορά είναι σε θέση να αισθάνεται το προσθετικό του μέλος ή ακόμα και το χέρι που τον ακουμπάει σε μία χειραψία. Οι συνθήκες δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε περίπτωση, γίνεται αξιολόγηση και πραγματοποιούνται αρκετά δοκιμαστικά test. Ο γιατρός βρίσκει το νεύρο που ευθύνεται για τις αισθήσεις, το χαρτογραφεί στο χέρι και ακολουθεί την πορεία του. Στο σημείο που το αισθητήριο νεύρο εκπέμπει αρκετά και δυνατά σήματα και απο εκεί μπορεί να αισθανθεί την αφή των δαχτύλων, τοποθετούνται ειδικοί αισθητήρες. Το κάθε δάχτυλο έχει τον δικό του αισθητήρα. Το μοντέλο βρίσκεται απέναντι απο τον ασθενή και είναι συνδεδεμένο στον υπολογιστή του γιατρού, ο οποίος παρακολουθεί όλες τις κινήσεις και κατευθύνει την πορεία της δοκιμής. Ο ασθενής κλείνει τα μάτια του ενώ ο γιατρός απέναντι δοκιμάζει διάφορες τεχνικές όπως το να ακουμπήσει τα δάχτυλα της πρόθεσης, να φέρει κοντά κάποιο αντικείμενο, να κάνει χειραψία. Επιτυχία θεωρείται όταν ο ασθενής ακόμα και με κλειστά τα μάτια μπορεί να αισθανθεί και να πραγματοποιήσει τις αντίστοιχες κινήσεις. Υπάρχει εφαρμογή η οποία μετράει τις μυϊκές αντιδράσεις και τις χαρτογραφεί. Επίσης, παρέχει πλήθος διαφόρων προτύπων του χεριού όπως είναι ο αντίχειρας ανασηκωμένος, κλειστά δάχτυλα κτλ. Υπάρχουν σχέδια καρπού που μπορείς μόνος σου να τα κουνήσεις για να πραγματοποιηθεί μία συγκεκριμένη κίνηση ή άλλα που περιέχουν έτοιμο μοχλό περιστροφής. Επειδή στην δεύτερη

περίπτωση, αυξάνεται ο όγκος της πρόθεσης και το βάρος αλλά και το μήκος του άκρου είναι μεγαλύτερο οι περισσότεροι για αισθητικούς λόγους επιλέγουν αυτή την κίνηση να την κάνουν χειροκίνητα. Η εταιρεία που το παρασκευάζει είναι η Steeper σε συνεργασία με την Otto-Bock. [28-29]

I-limb – βιονικό χέρι

Με τον όρο βιονικό χέρι εννοούμε όλα τα συστήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να καταλάβουν τις κινήσεις που επιθυμεί να κάνει ο ασθενής και να του παρέχουν πολύ μεγαλύτερη ευκολία στις λεπτές κινήσεις από μία απλή κοσμητική πρόθεση. Το ιδιαίτερο και ξεχωριστό χαρακτηριστικό που διαθέτει ένα i-limb είναι το **βιονικό δέρμα**.

Πρόκειται για έναν πολύ ευλύγιστο αισθητήρα ο οποίος τοποθετείται στα άκρα των δαχτύλων κάποιων προθέσεων. Το μοναδικό αυτού του αισθητήρα είναι πως έχει την ιδιότητα να αντιγράφει την αίσθηση της αφής. Οι άνθρωποι που χρησιμοποιούν προθέσεις δυστυχώς δεν έχουν την δυνατότητα να αισθανθούν το κάθε τι που πιάνουν. Τ ο καταλαβαίνουν μόνο μέσω της όρασης. Φαίνεται πως πρωτοπόρος στην ιδέα και την δημιουργία του ψεύτικου δέρματος ήταν ο Dr. Osborn ο οποίος επηρεάστηκε από τον πόνο φάντασμα. Μελετώντας το δέρμα παρατήρησε πως είναι χωρισμένο σε διαφορετικά επίπεδα. Έτσι κατασκεύασε και το τεχνητό δέρμα, με την πρώτη στρώση να υποδηλώνει τον πόνο και ακριβώς από κάτω να βρίσκεται η αίσθηση της δύναμης. Αυτοί οι μικροί επεξεργαστές άλλαξαν την ιστορία των προσθετικών και αγαπήθηκαν αμέσως από τους ασθενείς που τους δοκίμασαν. Η εταιρεία που το παρασκευάζει είναι η Össur. [28-29]

Electro hand 2000 for children

Όπως το δηλώνει το όνομα του, πρόκειται για μία ηλεκτρική πρόθεση κατασκευασμένη για παιδιά. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο η κατασκευή μίας πρόθεσης για παιδιά την καθιστά πολύ πιο δύσκολη σε σύγκριση με μία ενός ενήλικα. Αυτό συμβαίνει διότι, πρέπει να ληφθούν υπόψιν χαρακτηριστικά όπως είναι το βάρος, ο μικρός σχεδιασμός του λόγω και των μικρών άκρων αλλά ταυτόχρονα πρέπει να είναι φιλικός και όμορφος για να προσελκύει τα παιδάκια. Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάστηκε στο να είναι ιδιαίτερα ελαφρύ και με μία διαφορετική λαβή για να μπορούν να βλέπουν τα αντικείμενα που πιάνουν καλύτερα. Εξωτερικά έχει σχεδιαστεί από συνθετικό κάλυμμα για να μειώσει το βάρος του χεριού. Διαθέτει εξωτερική τροφοδοσία με μεγάλη αντοχή η οποία βοηθάει στο κλείσιμο της κίνησης, δηλαδή κατά την εκτέλεση της κίνησης όταν αυτή πλησιάζει στο

τέλος επιβραδύνει σταδιακά χωρίς όμως να σβήνει. Παρέχεται αποκλειστικά για προθέσεις των άνω άκρων. [28-29]

3D προσθετικά μέλη

Δεν είναι λίγες οι φορές που οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές (3D printers) έχουν χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία ποικίλων αντικειμένων ιδιαίτερα χρήσιμων για τους ανθρώπους. Ύστερα από διάφορες δοκιμές κατασκευάστηκε το πρώτο τρισδιάστατο προσθετικό μέλος και μπόρεσε να βγει στην αγορά.

Αρχικά, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να σημειωθεί πως ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής δεν απαιτεί κόστος και χρόνο για την εκτύπωση του εκάστοτε αντικειμένου. Μία κανονική πρόθεση απαιτεί μέρες κατασκευής και το κόστος για μία κοσμητική πρόθεση και όχι βιονική ανέρχεται τα 8.000 ευρώ. Αντίθετα, το κόστος μίας κατασκευής τέτοιας τεχνολογίας ανέρχεται μόλις στα 50 ευρώ. Γίνεται πλέον αντιληπτό πόσοι άνθρωποι μπορούν να επωφεληθούν αυτή την τεχνολογία και θα τους βοηθήσει σε μία τόσο σημαντική δυσκολία.

Τέλος, είναι ιδιαίτερα φιλικό για τα παιδιά στα οποία οι μετρήσεις τους (ύψος, βάρος) διαμορφώνονται συνεχώς, παρέχοντάς τους την δυνατότητα της αναβάθμισης. Δεν είναι μόνο αυτό όμως το μοναδικό τους πλεονέκτημα. Μπορούν να επιλέξουν χρώματα και σχέδια για την διακόσμηση της με σχέδια που πολύ εύκολα μπορούν να βρουν στο διαδίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο τους φαίνεται διασκεδαστικό βελτιώνοντας δραματικά την ψυχική τους υγεία. [30]

2.7 Αιτίες ακρωτηριασμών κάτω άκρων.

Έχει παρατηρηθεί πως οι ακρωτηριασμοί των κάτω άκρων είναι πολύ πιο συχνοί συγκριτικά με τους ακρωτηριασμούς των άνω άκρων. Παρ' όλα αυτά, αν και λόγω του μεγάλου μεγέθους αλλά και των διαφόρων μηκών ακρωτηριασμών που υπάρχουν, φαίνεται πως η αποκατάστασή τους είναι ίσως λίγο σχετικά πιο εύκολη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για να θεωρείται μία επέμβαση ακρωτηριασμού επιτυχής χρειάζεται η επαναφορά της λειτουργικότητάς της στον μέγιστο βαθμό, να μπορεί δηλαδή ο ασθενής να επιστρέψει στην καθημερινότητά του και στις δραστηριότητές του όσο γίνεται περισσότερο.

Παρατηρείται πως σημαντικό ρόλο παίζει η ηλικία στους ακρωτηριασμούς των κάτω άκρων, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό αφορά άτομα μεγαλύτερα των 60 ετών ως συνέπεια διαφόρων ασθενειών.

- Οι αγγειακές ασθένειες κατέχουν πρωταρχική θέση στις κύριες αιτίες του ακρωτηριασμού με τον διαβήτη και την περιφερειακή αγγειακή απόφραξη να κατέχουν ποσοστό 63% έχοντας ως έμμεσες περιπλοκές την θρόμβωση και την αγγειίτιδα. Ο γιατρός εξετάζει την κυκλοφορία του αίματος στο πόδι και αν αυτή παρατηρηθεί μειωμένη σημαίνει πως είτε οι αρτηρίες έχουν στενέψει σε διάφορα σημεία ή ακόμα έχουν αποφραχθεί εντελώς. Συνήθως, ο ασθενής αισθάνεται έντονο πόνο ενώ κάποιες φορές ακόμα παρατηρούνται μαύρες περιοχές στα δάχτυλα, στο πόδι ή στην κνήμη. Όσο πιο έντονα είναι τα σημάδια άλλο τόσο ο ακρωτηριασμός γίνεται απαραίτητος για την διασφάλιση της υγείας του ασθενή.
- Η δεύτερη θέση με 23% ανήκει στα ατυχήματα (τροχαία, εργατικά) πλήττοντας περισσότερο τους νέους ανθρώπους.
- Ως τελευταίες αιτίες των ακρωτηριασμών με ποσοστό 14% είναι ο καρκίνος, οι μολύνσεις, η μη επιτυχή ανταπόκριση του υγιούς μέλους ύστερα από κάποια επέμβαση(αφαίρεση όγκου) ή ακόμα και η εκ γενετής ανεπάρκεια του άκρου. [13,17]

2.7.1 Επίπεδα ακρωτηριασμών κάτω άκρων.

Τα επίπεδα στα οποία μπορεί να παρατηρηθεί ακρωτηριασμός στα κάτω άκρα είναι τα εξής:

- Μερικώς ακρωτηριασμός άκρου πόδα: Πρόκειται για ακρωτηριασμούς στην περιοχή του ταρσού οι οποίοι έχουν επηρεαστεί συνήθως από τον διαβήτη. Παρατηρούνται αμελητέες απώλειες στην λειτουργικότητα ενώ ο ασθενής χρησιμοποιεί πολύ εύκολα ένα ορθοτικό πέλμα. Με την σειρά τους διακρίνονται στον:
 - Chopart/μεσοταρσικός
 - Lisfrank/ταρσομεταταρσικός
 - Μεσότητας μεταταρσίων και δαχτύλων.
- Ακρωτηριασμός κατά Symes: Πρόκειται για τον πλήρη ακρωτηριασμό του πέλματος. Από αυτό το σημείο και πιο πάνω υπάρχουν μεγαλύτερες βαδιστικές απαιτήσεις.

- Ακρωτηριασμός μεσότητας κνήμης: Πρόκειται για τους ακρωτηριασμούς στο ύψος της γάμπας.
- Ακρωτηριασμός κάτω του γόνατος ή κνημιαίος ακρωτηριασμός: Μοιάζει πολύ με τον ακρωτηριασμό μεσότητας κνήμης. Πρόκειται για τον ακρωτηριασμό ακριβώς κάτω από το γόνατο ή στο ενδιάμεσο της περόνης και της κνήμης.
- Απεξάρθρωση γόνατος: Κατέχουν πολύ υψηλό ποσοστό και αφορά τους ακρωτηριασμούς διαμέσου του γόνατος.
- Ακρωτηριασμός μεσότητας μηριαίου (διαμηριαίος σε 2 ή 3 επίπεδα): Αφορά τον ακρωτηριασμό επάνω από το γόνατο. Ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει επαρκής χώρος για να αποφασιστεί η κατάλληλη αλλά ταυτόχρονα λειτουργική πρόθεση.
- Απεξάρθρωση ισχίου: Σε αυτόν τον ακρωτηριασμό γίνεται τομή μέσω της άρθρωσης του ισχίου ενώ η λεκάνη παραμένει άθικτη.
- Ημιπυελεκτομή: Το πιο υψηλό επίπεδο ακρωτηριασμό κατά το οποίο γίνεται αφαίρεση του συνόλου ή μέρους της πυέλου και ολόκληρου του κάτω άκρου. Θεωρείται ως μία αρκετά σπάνια περίπτωση η οποία πραγματοποιείται σε μεγάλες κακοήθειες στην περιοχή της πυέλου. [13,17]

2.7.2 Προθέσεις κάτω άκρων.

- **Πρόθεση άκρου ποδός:** Αναφερόμαστε στην έλλειψη τμήματος του άκρου ποδός ή της ποδοκνημικής. Ανάλογα με το σημείο στο οποίο πραγματοποιείται ο ακρωτηριασμός υπάρχουν οι εξής ονομασίες: lisfrank, chopart, pirogoff, syme.
- **Προθέσεις κάτω του γόνατος:** Τα προσθετικά που έχουν σχεδιαστεί για άτομα με ακρωτηριασμούς κάτω από το γόνατο, τα οποία κοινώς αναφέρονται ως διακνημιαία ή κάτω από το γόνατο προσθετικά, έχουν στόχο να παρέχουν λειτουργική και άνετη υποστήριξη για καθημερινές δραστηριότητες. Ο σχεδιασμός και τα εξαρτήματα αυτών των προσθετικών λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η κινητικότητα, η σταθερότητα και ο συνολικός τρόπος ζωής του χρήστη.
- **Προθέσεις άνω γόνατος:** Οι προθέσεις που έχουν σχεδιαστεί για πάνω από το γόνατο στοχεύουν στην αντικατάσταση της κνήμης και του γόνατος. Αν και το γόνατο θεωρείται μια αρκετά περίπλοκη και απαιτητική άρθρωση, με την χρήση της πρόθεσης δίνεται η δυνατότητα στον ασθενή να κάμψει το γόνατο και να περπατά με μεγαλύτερη ευκολία.

- ο **Προθέσεις γονάτου:** Μία πρόθεση γόνατος έχει ως σκοπό να προσομοιώνει την κίνηση του γόνατος. Παραμένει μία διαδικασία αρκετά δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας της άρθρωσης. Προσφέρει στον ασθενή την δυνατότητα της προσαρμογής της κίνησής του όσο πιο φυσικά γίνεται. Το προσθετικό γόνατο μιμείται την λειτουργία του γόνατος προσδίδοντας ασφάλεια και συμμετρία στην κίνηση με αποτέλεσμα την ομαλή βάδιση. Το γόνατο, όντας μία από τις πιο περίπλοκες αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος, καθιστά δύσκολη την δημιουργία τεχνητού μέλους. Η μη επιτυχημένη τεχνητή άρθρωση μπορεί να επιφέρει πόνο στην πλάτη και το ισχίο του ασθενούς αλλά και μόνιμες βλάβες στα προαναφερθείσα μέλη του σώματος αν δεν επισκευαστεί. Η δημιουργία της τεχνητής άρθρωσης γίνεται βάσει της φυσικής δραστηριότητας του ασθενή με ακρωτηριασμό. [31]

Οι τύποι που συναντάμε είναι οι εξής:

- Ασφάλισης – απασφάλισης : Προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα αλλά δημιουργεί πρόβλημα στην βάδισης προκαλώντας αστάθεια. Διατηρείται σταθερή στο βάδισμα και λυγίζει κατά το κάθισμα. Συνίσταται σε άτομα με χαμηλή κινητικότητα.
- Πνευματική άρθρωση: Η άρθρωση αυτή επιτρέπει μια μαλακή απασφάλιση του μηχανισμού του γόνατος κατά τη βάδιση επιτρέποντας έναν πιο ομαλό βηματισμό σε σχέση με την προηγούμενη άρθρωση.
- Τετραξωνική: Επιτρέπει στον ασθενή μια ομαλή βάδιση και ενδείκνυται σε περιπτώσεις απεξάρθρωσης του γόνατος ή σε κοντό κολόβωμα.
- Πολυαξονική: Όπως στην τετραξωνική, η πολυαξονική άρθρωση προσφέρει ένα πιο ομαλό βάδισμα, ενώ προσαρμόζεται κατά την αλλαγή ρυθμού βάδισης και επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα κατά το κάθισμα
- Υδραυλική: Λόγω του υγρού που υπάρχει στον κύλινδρο, η υδραυλική άρθρωση επιτρέπει την εναλλαγή ρυθμού. Προτείνεται σε δυναμικά άτομα, για ανώμαλες επιφάνειες και σκάλες.
- Ηλεκτρονική : Η ηλεκτρονική άρθρωση ελέγχει μέσω μικροεπεξεραστή τα μοτίβα της κίνησης. Υπολογίζει και ελέγχει τη φάση αιώρησης και στάσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το c-leg της Otto Bock, το οποίο κατασκευάστηκε το 1997.
- Βιονική : Πρόκειται για μία άρθρωση η οποία ελέγχει ολόκληρη την κίνηση μέσω μικροεπεξεργαστών δίνοντας στον ασθενή μία ομαλή κίνηση. Η πίεση που ασκείται στο κινητικό σύστημα πλησιάζει αυτή ενός αρτιμελούς ατόμου. Η βιονική άρθρωση προσφέρει δυναμική κάμψη και έκταση με αποτέλεσμα την αρμονική λειτουργία υγιούς μέλους με το

προσθετικό. Επιτρέπει την ανάβαση και κατάβαση της σκάλας με εναλλάξ βηματισμό καθώς οι επεξεργαστές υπολογίζουν την πίεση και το κινητικό φορτίο που απαιτείται κατά τον βηματισμό του προσθετικού μέλους.

- Προθέσεις ισχίου: Η πρόθεση του ισχίου καλείται να αντιγράψει την κίνηση του ισχίου και του γόνατος. Παρέχει μικρή δυνατότητα στην κίνηση του ασθενή με μεγαλύτερο πλεονέκτημα την σταθερότητα και την στήριξη.

Κοσμητική πρόθεση

Η πιο απλή πρόθεση που μπορεί να τοποθετηθεί στο ακρωτηριασμένο μέλος. Ακριβώς όπως και στα άνω άκρα η χρήση του και η κατασκευή του είναι η ίδια. Το υλικό από το οποίο φτιάχνονται είναι συνήθως το πλαστικό ή η σιλικόνη. Την επιλέγουν κυρίως ασθενείς οι οποίοι έχουν χαμηλή λειτουργικότητα αφού η πρόθεση από μόνη της δεν μπορεί να προσφέρει κάποιο feedback. Κατασκευάζεται από ειδικό τεχνίτη, ο οποίος συνήθως παίρνει δείγμα από το υγιές πόδι, χρώμα και μέγεθος και το αντιγράφει πιστά στην πρόθεση. Ως κύριο πλεονέκτημα αυτής της πρόθεσης είναι η ψυχολογική αναπτέρωση των ασθενών, βλέποντας σίγουρα ένα πολύ πιο όμορφο αισθητικό αποτέλεσμα. Η πρόθεση είναι πολύ ελαφριά αφού δεν διαθέτει κάποιον ειδικό μηχανισμό λειτουργίας ενώ η φροντίδα της, η συντήρησή και η εφαρμογή της είναι πολύ εύκολες. Αξίζει να σημειωθεί πως ανεξαρτήτως επιλογής της πρόθεσης, ο πελάτης έχει την επιλογή της τοποθέτησης ελαστικού γαντιού για ένα πιο φυσικό αποτέλεσμα το οποίο τυλίγει την περιοχή προστατεύοντας και καλύπτοντας την. Η κοσμητική θήκη για προσθετικά πόδια είναι ένα στυλιζαρισμένο και λειτουργικό αξεσουάρ που σχεδιάζεται για να προσφέρει προστασία, άνεση και αισθητική εμφάνιση στο προσθετικό πόδι του χρήστη. Οι κοσμητικές θήκες μπορούν να προσφέρουν διάφορα οφέλη και λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων:

Προστασία: Προσφέρουν προστασία στο προσθετικό πόδι από φθορές, γρατζουνιές και άλλες φυσικές ζημιές κατά την καθημερινή χρήση.

Αισθητική: Η κοσμητική θήκη μπορεί να σχεδιαστεί με μοντέρνα, κομψά ή ακόμα και εξατομικευμένα σχέδια και χρώματα, προσθέτοντας στυλ και αισθητική στο προσθετικό πόδι.

Λειτουργικότητα: Ορισμένες κοσμητικές θήκες μπορεί να έχουν ενσωματωμένες τσέπες ή άλλα αξεσουάρ για την αποθήκευση αντικειμένων όπως κλειδιά ή κινητά τηλέφωνα.

Προσαρμοστικότητα: Οι κοσμητικές θήκες συχνά προσφέρουν ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις διάφορες δραστηριότητες και ανάγκες του χρήστη.

Προστασία από τις καιρικές συνθήκες: Ορισμένες κοσμητικές θήκες μπορεί να προσφέρουν προστασία από τις καιρικές συνθήκες όπως τη βροχή ή το χιόνι, διατηρώντας το προσθετικό πόδι καθαρό και στεγνό. Τέλος, οι κοσμητικές προθέσεις παραμένουν ως οι πιο οικονομικές λύσεις. Τα κύρια συστατικά μιας πρόθεσης κάτω άκρων είναι η υποδοχή (με ή χωρίς επένδυση), ένα σύστημα ανάρτησης, παρεμβαλλόμενα εξαρτήματα άρθρωσης (όπου χρειάζεται), ένας κορμός (πυλώνας) και ένα προσθετικό πόδι. Το προσθετικό πόδι είναι συνήθως ένα εξάρτημα που λειτουργεί και μοιάζει με πόδι, αλλά μπορεί να λάβει άλλες μορφές ή λειτουργίες για το νερό ή άλλες αθλητικές δραστηριότητες. Τα χαρακτηριστικά της κοσμητικής πρόθεσης είναι:

- **SOCKET (υποδοχή):** Η υποδοχή χρησιμεύει ως η διεπαφή μεταξύ του υπολειπόμενου άκρου και της πρόθεσης. Δεν πρέπει μόνο να προστατεύει το υπολειπόμενο άκρο αλλά πρέπει επίσης να μεταδίδει κατάλληλα τις δυνάμεις που σχετίζονται με την ορθοστασία και την οδήγηση. Η προπαρασκευαστική (προσωρινή) υποδοχή πιθανότατα θα χρειαστεί να ρυθμιστεί αρκετές φορές καθώς σταθεροποιείται ο όγκος του υπολειπόμενου άκρου. Η προπαρασκευαστική υποδοχή μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας ως πρότυπο ένα γύψινο καλούπι του υπολειπόμενου άκρου. Ορισμένες εγκαταστάσεις κατασκευής προσθετικών χρησιμοποιούν τεχνολογία υποβοηθούμενη από υπολογιστή για τη χαρτογράφηση του υπολειπόμενου μέλους, κατασκευάζοντας μια υποδοχή απευθείας από αυτά τα δεδομένα. Η πιο κοινή υποδοχή που χρησιμοποιείται σε έναν διακνημιαίο ακρωτηριασμό είναι μια υποδοχή που φέρει τένοντα (PTB). Αυτή η υποδοχή δίνει έμφαση στην αυξημένη επαφή ή τη μεταφορά βάρους στην περιοχή του επιγονατιδικού τένοντα, κάτω από την επιγονατίδα, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει σημαντική επαφή ή βαρύτητα αλλού στο υπολειπόμενο άκρο. Η έννοια της ολικής επαφής είναι σημαντική επειδή πριν από την υποδοχή PTB ολικής επαφής, οι διακνημιακές υποδοχές είχαν συχνά σχέδιο με ανοιχτό άκρο, προσαρμογή, που οδηγεί σε πολυάριθμα δερματικά προβλήματα, σύνδρομο χρόνιου πνιγμού, εξέλκωση και άλλα προβλήματα. Τα σχέδια διακνημιαίας υποδοχής ολικής επιφάνειας (TSB) απομακρύνονται για την έννοια της έμφασης στη φόρτιση του επιγονατιδικού τένοντα, αλλά ακόμη και αυτά απαιτούν επιλεκτική φόρτιση και επιλεκτική ανακούφιση σε ορισμένες περιοχές του υπολειπόμενου άκρου. Καμία υποδοχή δεν θα λειτουργήσει καλά για κάθε ακρωτηριασμένο. Ο προσθετικός πρέπει ακόμα να εργαστεί με έναν μεμονωμένο ασθενή για να τοποθετήσει μια υποδοχή που να καλύπτει τις ανάγκες του συγκεκριμένου ασθενούς. Με το σχέδιο PTB, το βάρος κατανέμεται σε πολλές διαφορετικές περιοχές, όπως το πρόσθιο και το οπίσθιο διαμέρισμα και η έσω κνημιαία αίσθηση. Μπορεί κανείς να δει τον όρο "ολική υποδοχή επαφής", που υποδηλώνει το

σχέδιο PTB. Η υποδοχή PTB έχει παραλλαγές, συμπεριλαμβανομένης της υποδοχής PTB-supracondylar (PTB-SC) και της υποδοχής PTB-suprapatellar-supracondylar (PTB-SCSP). Ένα PTB-SC έχει υψηλά μεσαία και πλευρικά τοιχώματα που εκτείνονται πάνω και πάνω από τους μηριαίους κονδύλους, παρέχοντας ενισχυμένη μεσοπλάγια σταθερότητα και αυτοανάρτηση για την πρόθεση. Η υποδοχή PTB-SCSP προωθεί την ιδέα PTB-SC επεκτείνοντας επίσης την πρόσθια όψη έτσι ώστε η επιγονατίδα να περικλείεται μέσα στην υποδοχή. Η πιο συχνά κατασκευασμένη υποδοχή για διαμηριαίους ακρωτηριασμούς είναι η ισχιακή υποδοχή περιορισμού (containment). Υπάρχει μια σειρά από λεπτές παραλλαγές σε αυτό το σχέδιο υποδοχής. Η υποδοχή έχει ευρεία προσθοπίσθια διάσταση και στενή μεσοπλάγια διάσταση. Αυτό το σχέδιο αντικατέστησε το σχέδιο τετράπλευρης υποδοχής, το οποίο είχε μια ευρεία μεσοπλάγια διάσταση και μια στενότερη προσθιοπίσθια διάσταση. Η ισχιακή υποδοχή συγκράτησης σχεδιάστηκε αρχικά για να παρέχει συμπίεση των μαλακών ιστών και περιορισμένη απαγωγή του μηριαίου οστού εντός της υποδοχής κατά τη φάση της στάσης. Στη συνέχεια αποδείχθηκε ότι η στερέωση των διατομών προσαγωγών μυών περιφερικά είναι πιο σημαντική και αποτελεσματική για τον έλεγχο της πλάγιας κίνησης του μηριαίου οστού στην υποδοχή, με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη προσθετική κίνηση. [34]

- Linear: Εσωτερικό κέλυφος (επένδυση): Το εσωτερικό κέλυφος είναι μια κάλτσα/μανίκι που λειτουργεί ως προστατευτικό "δεύτερο δέρμα". Είναι το βασικό συνδετικό στοιχείο ανάμεσα στο κολόβωμα και τη θήκη, συμπιέζοντας το μαλακό ιστό στην περιοχή ώστε να μην δημιουργούνται κενά ανάμεσα στο υπολειμματικό άκρο και το προσθετικό, για να απορροφά κάποιους κραδασμούς και να παρέχει άνεση στον χρήστη. Το σχήμα του είναι κυλινδρικό ή κωνικό και από σιλικόνη ή πολυουρεθάνη (polyform). Για να επιλεγεί η σωστή κάλτσα, πρέπει να μετρηθεί η περιφέρειά της 4 cm πάνω από την άκρη του κολοβώματος και να αφαιρεθούν 2 μονάδες από αυτό. Η σύνδεσή της κάλτσας και της θήκης μπορεί να γίνει με 3 διαφορετικούς τρόπους:
 - ▪ Σύστημα επένδυσης κλειδώματος(locking liner): σύνδεση μέσω εγκατεστημένων πύρων ασφάλισης. Τοποθετείται στο τέλος της κάλτσας και το βλέπουμε σε κοντά κολοβώματα.
 - ▪Μεμβράνη (cushion liner) κατά την οποία χρησιμοποιείται μια επιπλέον σιλικονούχα μεμβράνη μεταξύ της κάλτσας και της εξωτερικής θήκης και προτείνεται για άτομα τα οποία έχουν διατηρήσει μια καλή κινητικότητα.

- ▪ Seal in line , αυτός ο τύπος χρησιμοποιεί ένα παχύ περιφερειακό μαξιλάρι που βελτιώνει την άνεση του χρήστη και δημιουργεί κενό αέρος , είναι ιδανική για ακανόνιστο κολόβωμα που απορροφά αέρα από την υποδοχή δημιουργώντας μια πιο ισχυρή σύνδεση.

Παράμετροι που θα καθορίσουν τον υποδοχέα βάσει του κολοβώματος :

1. Το μήκος του κολοβώματος,
2. Κινητική και φυσική κατάσταση του ασθενή,
3. Παθολογίες που μπορεί να τον επηρεάζουν,
4. Το βάρος του.

Το μήκος του κολοβώματος χωρίζεται κατά βάσει σε 3 διαφορετικές υποκατηγορίες στον μηριαίο ακρωτηριασμό (απόσταση από το κολόβωμα έως άρθρωση του γόνατος).

1. Κοντό κολόβωμα : 4cm έως 11 cm
2. Κανονικό κολόβωμα : 11cm έως 14cm
3. Μακρύ κολόβωμα: 14 cm και άνω

Το μήκος του κολοβώματος σε ένα κνημιαίο ακρωτηριασμό χωρίζεται με βάσει την απόσταση του κολοβώματος σε σχέση με τη θέση του υγιούς γόνατος:

1. Κοντό κολόβωμα: απόσταση από 6cm έως 9cm
2. Μεσαίο(σύννηθες) κολόβωμα : απόσταση από 9cm έως 12cm
3. Μακρύ κολόβωμα: απόσταση μεγαλύτερη των 12 cm

Ανάλογα με το βάρος οι ασθενείς θα χωριστούν σε 4 υποκατηγορίες:

1. Μικρότερο βάρος των 75 κιλών
2. Μεταξύ 75 και 100 κιλών
3. Μεταξύ των 100 και 125 κιλών
4. Βάρος υψηλότερο των 125 κιλών.

Κνημιαίος και μηριαίος σωλήνας (pylon)

Ο πυλώνας αποτελεί έναν άξονα από τιτάνιο , αλουμίνιο ή ατσάλι και συνδέει την θήκη με την άρθρωση του γόνατος και του αστραγάλου. Ανάλογα με το επίπεδο του ακρωτηριασμού χρησιμοποιείται κνημιαίος σωλήνας ή κνημιαίος και μηριαίος σωλήνας. Ο άξονας αυτός μπορεί να

ναι είτε ενδοσκελετικός είτε εξωσκελετικός. Οι νεότεροι άξονες είναι δυναμικοί προσδίδοντας την αξονική περιστροφή. Όπως και με την άρθρωση του γόνατος έτσι και στον πυλώνα, η επιλογή γίνεται ανάλογα το βαθμό κινητικότητας του ασθενούς.

- Χαμηλή κινητικότητα, όταν πρόκειται για άτομα τα οποία βρίσκονται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους και η βάδιση τους περιλαμβάνει κυρίως ομαλές ομοιόμορφες επιφάνειες με μικρή ταχύτητα.
- Μέτριος βαθμός κινητικότητας όταν πρόκειται για άτομα τα οποία μεταβαίνουν σε εξωτερικούς χώρους με περιορισμένη παρόλα αυτά δραστηριότητα. Περιλαμβάνει άτομα τα οποία θα χρειαστεί να προσπελάσουν ανώμαλες επιφάνειες όπως για παράδειγμα ένα μικρό σκαλοπάτι.
- Υψηλό βαθμό κινητικότητας, όπου πρόκειται για άτομα τα οποία δεν θέλουν να συναντούν εμπόδια και περιορισμούς στην κίνηση τους. Έχουν ικανότητα για βάδιση σε οποιαδήποτε επιφάνεια, μεγάλες ταχύτητες αλλά και κάλυψη μεγάλων αποστάσεων.

Άρθρωση ποδοκνήμης και πέλμα (ankle joint and foot)

Το προσθετικό πέλμα εκπληρώνει ένα σκοπό και επιλέγεται με γνώμονα την ανάγκη του χρήστη. Θα είναι είτε σε ένα ενιαίο κομμάτι είτε διχαλοτό. Μπορούμε να εντοπίσουμε τέσσερες διαφορετικές περιπτώσεις [34].

- Υδραυλικό παθητικό προσθετικό πέλμα δυναμικής απόκρισης: Το υδραυλικό παθητικό προσθετικό πέλμα δυναμικής απόκρισης βασίζεται σε έναν πολύπλοκο μηχανισμό που επιτρέπει τη φυσιολογική κίνηση του πελματικού αρθρώματος κατά τη διάρκεια της περιπάτου. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιεί υδραυλικά συστήματα για να προσομοιώσει τη φυσική απόκριση του ποδιού και να προσφέρει απαλή μετάβαση μεταξύ των διαφορετικών φάσεων του περιπάτου.
- Δυναμικό πέλμα: Το δυναμικό πέλμα προσδίδει στον ασθενή ομαλή κίνηση και είναι κατασκευασμένο από ανθρακωνήματα είτε πλαστικό. Απορροφά τους κραδασμούς και λόγω των υλικών παρέχεται με χαμηλό κόστος.
- Προσθετικό πέλμα με περιστρεφόμενη μονάδα αστραγάλου με πεπιεσμένο αέρα : Τα προσθετικά πέλματα με περιστρεφόμενη μονάδα αστραγάλου και πεπιεσμένο αέρα σχεδιάστηκαν για να μιμούνται τη φυσική κίνηση του ανθρώπινου ποδιού. Η μονάδα αστραγάλου επιτρέπει την κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις, ενώ ο πεπιεσμένος αέρας στο εσωτερικό του πέλματος προσφέρει αντικραδασμική προστασία και άνεση κατά την περιπάτου .

- Ηλεκτρονικά πέλματα με μικροεπεξεργαστή: Τα ηλεκτρονικά πέλματα ενσωματώνουν έναν μικροεπεξεργαστή και αισθητήρες που επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κίνησης του χρήστη. Ο μικροεπεξεργαστής επεξεργάζεται τα δεδομένα από τους αισθητήρες και προσαρμόζει δυναμικά τη λειτουργία του πελματικού συστήματος για να παρέχει την καλύτερη δυνατή υποστήριξη και άνεση στον χρήστη. Προσδίδει προσαρμοστική υποστήριξη, προσαρμόζει δυναμικά την απόκριση του πελματικού συστήματος σε διάφορες καταστάσεις κίνησης και εδάφους, βελτιώνοντας τη σταθερότητα και την ισορροπία του χρήστη. Έχει αναγνώριση κινήσεων και οι αισθητήρες επιτρέπουν την αναγνώριση διαφορετικών κινήσεων και προσφέρουν αποτελεσματική υποστήριξη σε δραστηριότητες όπως το περπάτημα και ο αθλητισμός.

Σύνδεσμοι

Οι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται για τις διασυνδέσεις των προσθετικών μελών κατασκευάζονται ανάλογα με το βάρος του ασθενή. Με γνώμονα το βάρος κατασκευάζουμε με αλουμίνιο ή ανοξείδωτο ατσάλι για άτομα έως 100 κιλά και από τιτάνιο για άτομα έως 160 κιλά. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανάλογα την τόπο και τον τύπο ακρωτηριασμού: 4-hole adapter, Female pyramid-male pyramid αλλά και για τους πυλώνες ο Prong socket και Icelock. Καθώς η τεχνολογία και ο σχεδιασμός των προσθετικών ποδιών συνεχώς εξελίσσονται, οι κοσμητικές θήκες αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της ολοκληρωμένης λύσης για τους χρήστες προσθετικών ποδιών, προσφέροντας όχι μόνο προστασία και λειτουργικότητα, αλλά και αυξημένη αυτοπεποίθηση και άνεση.

2.7.3 Είδη προθέσεων κάτω άκρων

C-leg

Το C-leg είναι το πιο γνωστό προσθετικό μέλος κάτω άκρου της εταιρείας Otto.Bock. Δεν αποτελεί το πιο κλασικό παράδειγμα μύοηλεκτρικής πρόθεσης καθώς δεν χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια για την ανίχνευση μυϊκών σημάτων για να ανίχνευση την κίνηση αλλά μικροεπεξεργαστές. Αφορά ακρωτηριασμούς που έχουν συμβεί πάνω από το γόνατο . Με προηγμένους αισθητήρες γυροσκοπίου το C-leg είναι σε θέση να κάνει ακριβείς αναπροσαρμογές κατά τον βηματισμό παρέχοντας ισορροπία και στήριξη με ταυτόχρονη μείωση των ατυχημάτων αφού επιτρέπει την προσαρμογή του σε διάφορα εδάφη. Οι προσαρμογές αυτές γίνονται ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ατόμου επιτρέποντας το βάδισμα του να παραμένει φυσικό. Αυτό επιτυγχάνεται με αισθητήρες

γωνίας και επιτάχυνσης, οι οποίοι μετρούν τη θέση και την κίνηση του προσθετικού γόνατος σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αποστέλλονται στον μικροεπεξεργαστή ο οποίος προσαρμόζει τις ανάγκες του χρήστη. Χρησιμοποιεί μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία μεγάλης διάρκειας, περίπου 40 ωρών. Το AxonBus που χρησιμοποιεί η Otto-bock είναι ένα μοναδικό σύστημα επικοινωνίας που αναπτύχθηκε για την διασύνδεση και τον έλεγχο των προσθετικών μελών. Λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο όπως το ΚΝΣ του ανθρώπου και γι' αυτό επιτυγχάνεται η άμεση και ακριβής επικοινωνία του προσθετικού μέλους με το σώμα. [32]

Propio foot

Το proprio foot είναι ένα προσαρμοστικός αστράγαλος της εταιρείας Össur, ελεγχόμενος από μικροεπεξεργαστή που αφορά άτομα χαμηλής έως και μέτριας δραστηριότητας. Είναι σχεδιασμένος να προσφέρει ασφάλεια στην βάδιση και προσαρμογή μετά της φάση της αιώρησης αφού επιτρέπει στο πόδι να προσαρμόζει τη στάση και τη γωνία του κατά την διάρκεια του βαδίσματος. Οι αισθητήρες καταγράφουν τις πληροφορίες σχετικά με τη γωνία του ποδιού, την ταχύτητα που κινείται καθώς και την αντίσταση που καταβάλλει. Όλα αυτά έχουν ως σκοπό να προσαρμόζουν το πόδι στις απαιτήσεις της βάδισης που έχει κάθε φορά ο χρήστης. Η προσαρμογή σε μεταβαλλόμενο έδαφος προσφέρει άνεση και αυτοπεποίθηση, καθώς το περπάτημα σε δύσκολα εδάφη ή το ανεβοκατέβασμα της σκάλας είναι πλέον εφικτά. Αποτελεί ένα προϊόν πλήρως αδιάβροχο σε αλμυρό και σε γλυκό νερό. Για την τροφοδοσία του χρησιμοποιείται επαναφορτιζόμενη μπαταρία. [40,41,45,48].

iWalk BiOM

Χρησιμοποιώντας ρομποτική για την αναπαραγωγή των μυών της γάμπας και του αχίλλειου τένοντα, το iWalk BiOM έχει αίσθηση και λειτουργεί όπως καμία άλλη πρόσθεση ποδιού ή αστράγαλου. Είναι ένα από τα πρώτα προσθετικά μέλη που χρησιμοποίησαν ρομποτική τεχνολογία προσφέροντας ενεργητική κίνηση και άνεση στους χρήστες. Με κάθε βήμα, το iWalk BiOM παρέχει μια κινητήρια δύναμη που ωθεί τον χρήστη προς τα εμπρός. Είναι η μόνη πρόσθεση στον κόσμο που δεν εξαρτάται από την ενέργεια του χρήστη. Λόγω της μηχανικής του δεν απαιτεί μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από το άτομο με ακρωτηριασμό σε σχέση με ένα αρτιμελές άτομο. Με το iWalk της BiOM, οι χρήστες θα βιώσουν φυσική μηχανική βάδισης και αυξημένη σταθερότητα, κινητικότητα και αυτοπεποίθηση. Είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες που καταγράφουν δεδομένα όπως και τα προηγούμενα προσθετικά. Χωρίς τη γωνία του ποδιού, της δύναμης που ασκείται και της ταχύτητας η πρόσθεση δεν μπορεί να προσαρμόσει την κίνηση του ποδιού που χρειάζεται να

επιτευχθεί. Η κινητήρια δύναμη που ωθεί τον χρήστη προς τα εμπρός καταφέρνει να μειώσει την καταπόνηση του χρήστη, επιτρέποντας του να περπατά με λιγότερη προσπάθεια και μεγαλύτερη άνεση. Η τεχνολογία της συγκεκριμένης πρόθεσης εξαγοράστηκε από την Össur και εξελίχθηκε από αυτήν. [40,41,45,48]

Empower Ankle

Το empower ankle της Otto bock είναι ένας προσθετικός αστράγαλος που έχει σχεδιαστεί για άτομα που επιθυμούν την έντονη δραστηριότητα. Προσφέρει άμεση προσαρμοστικότητα αλλά και ασφάλεια κατά την άθληση. Λόγω της αυξημένης στήριξης στην προσθετική πλευρά προσφέρει και μικρότερη καταπόνηση στην άρθρωση του υγιούς μέλους. Οι πληροφορίες στέλνονται στον μικροεπεξεργαστή, ο οποίος ρυθμίζει τη λειτουργία του ποδιού σε πραγματικό χρόνο. Επειδή παρέχει ακρίβεια και άμεση προσαρμοστικότητα σε κάθε έδαφος, ο κίνδυνος πτώσεων και ατυχημάτων μειώνεται. Η επαναφορτιζόμενη μπαταρία του μπορεί να διαρκέσει έως και μία μέρα κανονικής χρήσης. [17,32]

2.8 Ψυχολογικές επιπτώσεις.

Ο ακρωτηριασμός, ιδίως όταν αφορά τα άκρα του σώματος όπως τα πόδια ή τα χέρια, μπορεί να έχει σημαντικές ψυχολογικές επιπτώσεις στους ανθρώπους που τον βιώνουν. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να είναι ποικίλες και να επηρεάζουν την ψυχική υγεία, την αυτοεκτίμηση, τις σχέσεις και τη γενική ποιότητα ζωής του ατόμου. Ανάλογα με τον τρόπο που αντιμετωπίζει κάποιος την κατάσταση, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι διαφορετικές. Ορισμένες από τις κύριες ψυχολογικές επιπτώσεις του ακρωτηριασμού περιλαμβάνουν:

- Σοκ και τραύμα: Ο ακρωτηριασμός μπορεί να προκαλέσει έντονο σοκ και τραύμα στον ασθενή, καθώς αντιμετωπίζει την απώλεια ενός σημαντικού μέρους του σώματός του.
- Κατάθλιψη: Πολλοί άνθρωποι που υποβάλλονται σε ακρωτηριασμό μπορεί να αντιμετωπίσουν συναισθήματα κατάθλιψης και απόγνωσης λόγω της απώλειας και της προσαρμογής σε νέες συνθήκες ζωής.
- Άγχος και ανασφάλεια: Ο ακρωτηριασμός μπορεί να προκαλέσει αίσθημα ανασφάλειας και ανησυχίας σχετικά με την εμφάνιση, τις ικανότητες και τις δυνατότητες του ατόμου.
- Δυσκολίες στις σχέσεις: Ο ακρωτηριασμός μπορεί να επηρεάσει τις προσωπικές και τις κοινωνικές σχέσεις του ατόμου, καθώς οι άλλοι μπορεί να αντιδρούν διαφορετικά στη νέα κατάστασή του.

- Δυσκολίες προσαρμογής: Οι αναπηρίες που προκαλεί ο ακρωτηριασμός μπορεί να κάνουν δύσκολη την προσαρμογή σε καθημερινές δραστηριότητες και να προκαλέσουν δυσκολίες στην ανεξαρτησία του ατόμου.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ψυχολογική υποστήριξη είναι σημαντική για τα άτομα που έχουν υποστεί ακρωτηριασμό, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην προσαρμογή στις νέες συνθήκες και στην αντιμετώπιση των δυσκολιών. Οι ψυχολόγοι και άλλοι ειδικοί στη ψυχική υγεία μπορούν να παρέχουν υποστήριξη και συμβουλές για την αντιμετώπιση των ψυχολογικών επιπτώσεων του ακρωτηριασμού.

Μια μελέτη που διεξήχθη στον Καναδά σε άτομα με μέσο χρόνο τα 14.5 έτη μετά τον ακρωτηριασμό έδειξε πως η κατάθλιψη ήταν ο σημαντικότερος παράγοντας για την ποιότητα ζωής και ακολουθούσε η αντιλαμβανόμενη προσθετική κινητικότητα και η κοινωνική υποστήριξη. Προβλήματα επίσης εντοπίστηκαν στον αποκλεισμό από τις κοινωνικές δραστηριότητες, τα γεγονότα μη λειτουργικότητας του προσθετικού μέλους αλλά και η ηλικία του ασθενούς. Οι άνδρες ανέφεραν και έδειχναν μεγαλύτερη και καλύτερη σωματική λειτουργία σε σχέση με τις γυναίκες ενώ μεγάλο ρόλο για την ποιότητα ζωής των ατόμων είχε η εικόνα του προσθετικού μέλους και η αποδοχή από τον κοινωνικό περίγυρο. Οι ασθενείς που ανέλαβαν οι ίδιοι την επιλογή για τον ακρωτηριασμό τους, φάνηκαν περισσότερο ικανοποιημένοι και προσαρμόζονται καλύτερα. Ακόμα όμως και σε περιπτώσεις όπου ο ακρωτηριασμός συνέβη σε νεαρή ηλικία το φύλο έπαιζε σημαντικό ρόλο μιας και οι γυναίκες ανέφεραν πολύ χαμηλότερη ποιότητα ζωής, ακόμη και με μικρότερη αναπηρία συγκριτικά με τους άντρες. Στην ίδια μελέτη εντοπίζουμε πως το φύλο, το χαμηλότερο επίπεδο εκπαίδευσης και η αυξημένη ηλικία, έχει αρνητική επίδραση στην ποιότητα ζωής την λειτουργικότητα και την αναπηρία. Το συμπέρασμα είναι πως η αυτό-αντίληψη της αναπηρίας επηρεάζεται αρνητικά από την γενικότερη κατάσταση της υγείας, το χαμηλότερο επίπεδο εκπαίδευσης, τη μεγάλη ηλικία και το γυναικείο φύλο.

Επίσης σημαντικό ρόλο είχε να κάνει το επίπεδο του ακρωτηριασμού. Τα άτομα με ακρωτηριασμό κάτω από το γόνατο εμφάνιζαν καλύτερη ποιότητα ζωής σε σχέση με εκείνα με ακρωτηριασμό πάνω από το γόνατο. Στα νεότερα άτομα, κάτω των 35 ετών, η ποιότητα ζωής φάνηκε να συσχετίζεται άμεσα με την αποδοχή που λάμβαναν από το κοινωνικό σύνολο. Στη περιπτώσεις που ο ακρωτηριασμός προήλθε ύστερα από πάθηση με έντονο άλγος, η μειωμένη κινητικότητα ήταν ο λόγος που επηρέαζε την ποιότητα ζωής, φάνηκε όμως να εξισορροπεί με την απαλλαγή του πόνου ύστερα από τον ακρωτηριασμό.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως από ψυχολογικής άποψης, η κατάθλιψη και η αποδοχή από τον κοινωνικό περίγυρο αποτελούν πιο σημαντικό παράγοντα για την ποιότητα ζωής του

ασθενή, από την κινητικότητα. Η ποιότητα ζωής συσχετίζεται άμεσα την αντίληψη που έχει ο ακρωτηριασμένος για το βαθμό αναπηρίας που έχει. Τα άτομα που αποδέχονται πιο γρήγορα την παρούσα κατάσταση τους προσαρμόζονται και πιο γρήγορα ενώ τα άτομα που δεν είναι άμεσα σε θέση να αποδεχθούν την κατάσταση τους χρήζουν στήριξης από το οικογενειακό περιβάλλον και την πολιτεία. Ένας ακρωτηριασμός μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάξουν την παρούσα θέση εργασίας τους, ή να χρειαστεί να ασχοληθούν με ένα εντελώς διαφορετικό αντικείμενο. Η ποιότητα ζωής αλλά και το προσδόκιμο ζωής των ατόμων αυτών λοιπόν συσχετίζεται άμεσα λοιπόν με την ψυχολογική κατάσταση στην οποία θα βρεθούν τα άτομα αυτά ύστερα από τον ακρωτηριασμό τους. [35-38]

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.

3. Εμβιομηχανική και κινησιολογία

3.1 Εισαγωγή στην Εμβιομηχανική

Η κατανόηση της λειτουργίας των φυσικών ποδιών και των προσθετικών είναι σημαντική για τον σχεδιασμό λειτουργικών και άνετων προσθέσεων. Ένας ασθενής, έχοντας έναν ακρωτηριασμό στα κάτω άκρα, έρχεται αντιμέτωπος με αλλαγές στις λειτουργίες και εννοείται στην κίνηση του σώματός του. Σημαντικά στοιχεία που επηρεάζονται είναι η μετατόπιση του κέντρου βάρους του σώματος, η κατανάλωση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα καθώς και η ίδια η κινησιολογία κατά το περπάτημα. Κατά την βάδιση, οι άνθρωποι εκμεταλλευόμενοι την βαρύτητα διατηρούν την ισορροπία και μία όρθια στάση, η οποία προκύπτει από την αντίθετη δύναμη που προκαλείται από το βάρος του σώματος και της κίνησης των ποδιών. Το βάρος του σώματος εναλλάσσει την δύναμη που ασκεί σε κάθε πόδι κατά την βάδιση, από το ένα πόδι στο άλλο (μονό στήριγμα), εκτός από τις φάσεις που και τα δύο πόδια είναι σε επαφή με το έδαφος (διπλή στήριξη). Ο κύκλος βάδισης αναφέρεται στη διαδοχική αλληλουχία των ποδιών και χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, τη φάση στήριξης και τη φάση αιώρησης. [38]

- Φάση στήριξης: Καλύπτει το περισσότερο ποσοστό του κύκλου βάδισης με ποσοστό περίπου 60%. Κατά κανόνα η φάση στήριξης αναφέρεται όταν τα πόδια βρίσκονται στο έδαφος και διακρίνεται στη μονή και στη διπλή στήριξη. Στη μονή στήριξη, μόνο το ένα πόδι βρίσκεται στο έδαφος κατέχοντας το μεγαλύτερο ποσοστό 40% και η διπλή στήριξη να κατέχει 20% ποσοστό και τα δύο πόδια να ακουμπάνε κάτω.
- Φάση αιώρησης: Καλύπτει το υπόλοιπο ποσοστό, που είναι το 40% στην οποία τα πόδια κινούνται εμπρός, δεν ακουμπάνε στο έδαφος και προετοιμάζουν την βάδιση για τη φάση στήριξης.

Η διπλή στήριξη προκύπτει για μικρότερα χρονικά διαστήματα κατά την βάδιση σε ομαλό επίπεδο ενώ την συναντούμε κυρίως όταν το άτομο βρίσκεται σε ακινησία. Στη φάση της μονής στήριξης το άκρο στήριξης είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά της λεκάνης και του άνω μέρους του σώματος από πίσω προς τα εμπρός με τη μικρότερη δυνατή μετατόπιση βάρους ώστε να αποτραπεί η πτώση του

σώματος. Κατά στην στατική στάση ενός μη ακρωτηριασμένου ατόμου παρατηρούμε ότι ο καταμερισμός του βάρους είναι σε μια αναλογία 50:50 για κάθε πόδι. Ο ίσος καταμερισμός βοηθάει στην μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας από το άτομο που του προσδίδει είτε την ξεκούραση είτε την μη περαιτέρω επιβάρυνση του. Σε ένα μη αρτιμελές άτομο παρατηρούμε πως το κέντρο βάρους του μετατοπίζεται προς το υγιές άκρο, πράγμα που επιφέρει μεγαλύτερη κόπωση στο μέλος αυτό.

Το ύψος του ακρωτηριασμού θα μας αποδώσει και την περαιτέρω καταπόνηση που θα δεχθεί το υγιές άκρο. Όσο πιο ψηλά παρατηρούμε το τέλος του υγιούς άκρου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η επιβάρυνση που θα δεχθεί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη κατανάλωση οξυγόνου που επιφέρει την ταχύτερη κούραση, όπως και την μειωμένη ταχύτητα αλλά και χειρότερη ισορροπία. Με την κατάλληλη κατασκευή και χρήση συνδετικών τμημάτων, υπολογίζεται πως μια μηριαία πρόθεση μπορεί να μεταφέρει το 40% του ανθρώπινου βάρους και κατά συνέπεια απαιτείται να καταναλωθεί περίπου 50-60% περισσότερη ενέργεια κατά τη βάρδιση. Αντίθετα για τα άτομα με κνημιαίο ακρωτηριασμό το ενεργειακό κόστος είναι περίπου το ίδιο με αυτό ενός αρτιμελούς βαδιστή. [38,39]

3.2 Κύκλος βάρδισης

Ο κύκλος βάρδισης ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ των δυο διαδοχικών κινήσεων του ποδιού. Σε αυτό το διάστημα διακρίνονται οι φάση στήριξης και αιώρησης για το κάθε πόδι.

Η περίοδος της στήριξης ξεκινά όταν η φτέρνα ακουμπά στο έδαφος (στο 0-2% του κύκλου βάρδισης). Ακολουθεί η πλήρης επαφή του πέλματος με το έδαφος όπου το βάρος μεταφέρεται από το πρόσθιο μέρος του γόνατος λίγο πιο μπροστά από την φτέρνα (στο 12% του κύκλου). Στη συνέχεια έρχεται η μέση στήριξη που ξεκινά με την ανύψωση του άλλου ποδιού και ολοκληρώνεται όταν το βάρος του σώματος ευθυγραμμιστεί με το πόδι στήριξης (στο 30%), στο σημείο αυτό το βάρος μετατοπίζεται από την μέση του πέλματος στα δάχτυλα ενώ βρίσκεται πρόσθια του γόνατος. Η τέταρτη φάση είναι η ανύψωση της φτέρνας (στο 50% του κύκλου) όπου το βάρος πέφτει στα μετατάρσια. Τέλος η φάση στήριξης ολοκληρώνεται στο 62% όπου και αρχίζει η φάση της αιώρησης με την ανύψωση των δαχτύλων όπου οι τρεις αρθρώσεις ισχίου, γόνατος και ποδοκνημικής βρίσκονται σε κάμψη και το βάρος μειώνεται καθώς μεταφέρεται στο άλλο πόδι. Την ανύψωση των δαχτύλων ακολουθεί η περίοδος επιτάχυνσης (στο 73%) και η μέση αιώρηση (στο 87%) η οποία ολοκληρώνεται μόλις το πόδι περάσει μπροστά και ευθυγραμμιστεί η κνήμη με το έδαφος. Τέλος

έρχεται η περίοδος επιβράδυνσης και η επαφή της φτέρνας με το έδαφος στο 100% του κύκλου βάδισης.

Πέρα από τα πόδια και τα άκρα, ο κύκλος βάδισης απαιτεί τον συντονισμό διαφόρων χαρακτηριστικών στη στάση του σώματος. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- **Κεφάλι:** Το κεφάλι πρέπει να είναι στην ίδια ευθεία με την σπονδυλική στήλη με το βλέμμα να κοιτάζει μπροστά και όχι κάτω. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ισορροπία στο σώμα ενώ ταυτόχρονα δεν επιβαρύνονται οι μυς του αυχένα από το βάρος του κεφαλιού.
- **Ώμοι και άκρα:** Οι ώμοι πρέπει να είναι χαλαροί, στην ίδια ευθεία και όχι σηκωμένοι ή γερμένοι μπροστά. Τα άκρα να είναι και αυτά ελεύθερα προς τα κάτω κινούμενα ρυθμικά αντίθετα με τα πόδια (αριστερό χέρι-δεξί πόδι, δεξί χέρι-αριστερό πόδι).
- **Σπονδυλική στήλη και λεκάνη:** Η σπονδυλική στήλη πρέπει να διατηρεί την ανατομικά φυσιική καμπύλη της. Η λεκάνη διατηρεί ουδέτερη -χωρίς πρόσθια ή οπίσθια- κλίση παράγοντας μία μικρή περιστροφή κατά το βάδισμα βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο την κίνηση.
- **Γόνατα:** Στη φάση αιώρησης το γόνατο λυγίζει επιτρέποντας την αποφυγή εμποδίων και προετοιμάζοντας το πόδι να ακουμπήσει το έδαφος. Στη φάση στήριξης το γόνατο προετοιμάζεται για να δεχτεί το βάρος του σώματος.
- **Κέντρο βάρους:** Το κέντρο βάρους μετατοπίζεται κατά τη διάρκεια της βάδισης επιτρέποντας την ισορροπία του ατόμου. Η σωστή μετακίνηση είναι ελαφριά προς τα εμπρός και πλάγια πάνω από τα πόδια.
- **Ρυθμός:** Πρέπει να διατηρείται σταθερός ρυθμός χωρίς απότομες και νευρικές κινήσεις.
- **Ίσος βηματισμός:** Τα βήματα πρέπει να απέχουν την ίδια απόσταση μεταξύ τους εξασφαλίζοντας ομαλή βάδιση. [40]

Σε ακρωτηριασμένα άτομα μηριαίου συχνά το φορτίο, μεταφέρεται μέσω του ισχιακού κυρτώματος, συνθήκη που καθίσταται ακατάλληλη καθώς λόγω της μείωσης του βραχίονα της ασκούμενης δύναμης αυξάνονται οι ροπές ανατροπής στο μετωπιαίο επίπεδο. Με την κατάλληλη κατασκευή θήκης της πρόθεσης μπορεί να μεταφερθεί το 40% του σωματικού βάρους μέσω της άρθρωσης του ισχίου και της σταθεροποίησης της λεκάνης προσφέροντας μια φυσιολογική βάδιση. Πέρα από την σωστή επιλογή θήκης η τελική δραστηριότητα του άκρου εξαρτάται από τους εναπομείναντες μυς και συνεπώς από το ύψος του ακρωτηριασμού καθώς επηρεάζεται από αυτόν η λειτουργικότητά τους. Για τη σωστή κατανομή του βάρους και την κατασκευή μιας σωστής πρόθεσης είναι σημαντικό να οριστεί η γραμμή βαρύτητας (εικ.3.3), μια νοητή γραμμή που υποστηρίζει το σωματικό βάρος και δίνει τις απαραίτητες οριζόντιες δυνάμεις για την πρόκληση

κίνησης. Σε ένα υγιές άτομο η γραμμή βαρύτητας τρέχει στο οβελιαίο επίπεδο μέσω του κέντρου βάρους, 2mm πίσω από την άρθρωση του ισχίου, 15mm μπροστά από την άρθρωση του γόνατος και 60mm μπροστά από την άρθρωση της ποδοκνημικής. Ο κύριος στόχος της πρόθεσης είναι να παρέχει στον χρήστη σταθερότητα, ισορροπία και άνεση, συγκρατώντας το σωματικό του βάρος τόσο κατά τη στάση όσο και κατά τη βάδιση. Ιδιαίτερη σημασία έχει η ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους και της ασυμμετρίας κάτι που επιτυγχάνεται, με τη σωστή ρύθμιση του ύψους της πρόθεσης σε στάση, ώστε και τα δύο άκρα να φορτίζονται ισοδύναμα και να ευθυγραμμίζεται η λεκάνη. Η πρώτη επαφή του ποδιού με το έδαφος κατά τη βάδιση καθώς και η μεταφορά των φορτίων στο πόδι είναι αρκετά σημαντική. Η δύναμη του βάρους περνά μέσω της θήκης στην πρόθεση και από εκεί στο έδαφος επιστρέφοντας σε αυτό με τον ίδιο τρόπο. Το δέρμα του κολοβώματος έτσι, πιέζεται τόσο ώστε οι δυνάμεις να μεταφέρονται από την πρόθεση στο σκελετικό σύστημα, ενώ αν μια περιοχή είναι ιδανική να δεχτεί αξονικές φορτίσεις τότε μπορεί να μεταδοθεί μεγάλη δύναμη μέσω της περιοχής αυτής. Οι δυνάμεις που υποστηρίζουν την πρόθεση στο κολόβωμα είναι παράλληλες με την αντίρροπη δύναμη που αυτή δέχεται από το έδαφος. Η αλλαγή θέσης του άκρου, από ευθύγραμμη σε κάμψη, επηρεάζει τη διαθέσιμη περιοχή μετάδοσης κάθετης δύναμης στο άκρο. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η κάμψη που προστίθεται τόσο αυξάνεται η δύναμη που μεταφέρεται στο σώμα, συνθήκη που βοηθά στα περιπτώσεις δυσκολίας αξονικής φόρτισης. [40,41,42]

3.3 Κίνηση προσθετικού μέλους

Η ταχύτητα βάδισης των ακρωτηριασθέντων μειώνεται περίπου κατά 29% σε σχέση με αυτή ενός υγιούς ατόμου. Κατά τη βάδιση και σε σχέση με το επίπεδο ακρωτηριασμού παρουσιάζεται μια ασυμμετρία στα δυο μέλη η οποία διορθώνεται, όπως προαναφέρθηκε, με το σωστό ύψος της πρόθεσης, αλλά και με την αύξηση της ταχύτητας βάδισης. Η αύξηση αυτή της ταχύτητας συνεπάγεται την αύξηση της φάσης στήριξης του κύκλου βάδισης, στο υγιές μέλος, 63%, και τη μείωση της στο προσθετικό, 53%. Ο κύκλος βάδισης με πρόθεση είναι ίδιος με αυτόν της φυσιολογικής βάδισης. Η κατανομή των δυνάμεων και η δαπάνη ενέργειας εξαρτώνται από τη θέση του γόνατος και τη σωστή συναρμολόγηση των τμημάτων της πρόθεσης. [43,44]

Οι προσθετικές συσκευές παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποκατάσταση μετά τον ακρωτηριασμό [44]. Τουλάχιστον, μπορούν να χρησιμεύσουν ως καλλυντική αποκατάσταση, η οποία μπορεί να προσφέρει ψυχολογικό όφελος και να έχει απλές παθητικές λειτουργίες [45]. Τα πιο προηγμένα προσθετικά προσφέρουν κάποια λειτουργική αποκατάσταση, επιτρέποντας δραστηριότητες της

καθημερινής ζωής, όπως η περιποίηση και το ντύσιμο, και ελαχιστοποιώντας τον τραυματισμό στην ετερόπλευρη πλευρά από αντιστάθμιση και υπερβολική χρήση [46,47]. Για την επιστροφή της βασικής λειτουργίας, τα σωματοκίνητα προσθετικά χρησιμοποιούν την κίνηση μιας εγγύς άρθρωσης για να λειτουργήσουν μια τερματική συσκευή [48]. Με αυτή τη μέθοδο, ο ασθενής χρησιμοποιεί κίνηση στο υπόλοιπο άκρο για να πυροδοτήσει μια φυσιολογικά άσχετη δράση στην πρόσθεση π.χ. η κάμψη και η έκταση του ώμου μπορεί να προκαλέσει το άνοιγμα και το κλείσιμο μιας προσθετικής πένσας. Αν και απλό και αποτελεσματικό, αυτό το σύστημα τροχαλιών και καλωδίων επιτρέπει συνήθως τη λειτουργία μόνο ενός συνδέσμου τη φορά [48]. Η πιο εξελιγμένη λειτουργία απαιτεί ταυτόχρονες αρθρωμένες κινήσεις, ιδιαίτερα για το ανθρώπινο χέρι [49]. Ως εκ τούτου, τα μηχανοκίνητα προσθετικά μέλη έχουν αναπτυχθεί για να προσφέρουν μεγαλύτερη κινητικότητα, επιδεξιότητα και έλεγχο κινητήρα από τα καθαρά δομικά, μη μηχανοκίνητα προσθετικά.

Οι ρομποτικοί βραχίονες με πολλαπλούς DOF και μια ποικιλία τερματικών λαβών έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό στη βιομηχανία κατασκευής [50]. Ομοίως, προηγμένα μηχανοκίνητα προσθετικά μέλη έχουν επίσης σχεδιαστεί με αρθρωτά ανθρωποειδή χέρια και συνοδευτικές ακολουθίες λαβής [51,52]. Αυτά είναι εύκολα πρωτότυπα και παράγονται με την υπάρχουσα τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, που απαιτούν χαμηλά επίπεδα ρυθμιστικής έγκρισης [53]. Παρά αυτές τις προόδους στη μηχανική και πρόσθετη βιοκατασκευή, η πραγματική πρόκληση για την επίτευξη λειτουργικότητας ενός ανθρώπινου προσθετικού μέλους είναι η ενσωμάτωσή του με τη λειτουργική βιολογία. Στην ιδανική περίπτωση, η πρόσθεση θα πρέπει να καθοδηγείται από την κινητική πρόθεση του χρήστη και έτσι να ανταποκρίνεται σε σκόπιμες εγκεφαλικές εντολές. Οι προσπάθειες για την επίτευξη βιολογικού ελέγχου τέτοιων βιονικών συστημάτων έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφορετικών στρατηγικών διεπαφής νευροπροσθετικών. Αυτά τα ηλεκτρόδια διασύνδεσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ευρέως ανά θέση: στις υπόλοιπες μυϊκές ομάδες, στο PNS και στο CNS. [53]

3.4 Η Μυοηλεκτρική Προσθετική

Η πιο κοινή προσέγγιση στη νευροπροσθετική διασύνδεση είναι η χρήση της νεύρωσης των υπόλοιπων μυϊκών ομάδων μετά από έναν ακρωτηριασμό [45]. Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια που εφαρμόζονται στο δέρμα ανιχνεύουν την ενεργοποίηση των μυϊκών ομάδων από κάτω για να ενεργοποιήσουν το ρομποτικό άκρο. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι η προσαρμοστικότητα και η μη επεμβατικότητα και ως εκ τούτου τα επιφανειακά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται σε εμπορικά

διαθέσιμες συσκευές όπως τα συστήματα i-Limb (Touch Bionics), το Michelangelo Hand (Ottobock US) και το SmartHand (The Biorobotics Institute) [52,53,54]. Αυτά τα παραδείγματα αφορούν κυρίως το άνω άκρο, δεδομένων των μοναδικών προκλήσεων που έρχονται με την αποκατάσταση της επιδεξιότητας και της λειτουργίας του χεριού. Σημαντικό εμπόδιο για την επιτυχή εφαρμογή αυτών των προθέσεων είναι η δυσκολία πιστής μετάδοσης από μυ σε ηλεκτρόδιο. Οι περιοριστικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη μεταβλητή αντίσταση στη διεπιφάνεια δέρματος-ηλεκτροδίου, την ανάγκη για καθημερινή τοποθέτηση και βαθμονόμηση και τον περιορισμένο αριθμό μυϊκών ομάδων που είναι διαθέσιμες μετά τον ακρωτηριασμό [52,53]. Το τελευταίο πρόβλημα επιδεινώνεται από υψηλότερους ακρωτηριασμούς, για τους οποίους το ρομποτικό μέλος απαιτεί περισσότερα σημεία σηματοδότησης από αυτά που είναι διαθέσιμα.

Σε μια προσπάθεια να διατηρηθούν τα σημεία σηματοδότησης, τα διατμημένα νεύρα μετά τον ακρωτηριασμό των άκρων μπορούν να μεταφερθούν στις υπόλοιπες μυϊκές ομάδες σε μια χειρουργική διαδικασία γνωστή ως Στοχευμένη Μυϊκή Επανενεύρωση (TMR). Σε μια τεχνική που περιεγράφηκε για πρώτη φορά το 2004 από τους Kuiken και Dumanian, τα υπολειμματικά νεύρα από το άκρο μπορούν να μεταφερθούν σε απονευρωμένα τμήματα του κοντινού μυός. Αυτή η μέθοδος καταδεικνύει την αξιοσημείωτη ικανότητα των μυών να δέχονται νεύρωση από διαφορετικά νεύρα και έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της ενίσχυσης των νευρικών σημάτων και του μετριασμού του σχηματισμού επώδυνων νευρωμάτων. Το πιο σημαντικό είναι ότι τα σήματα από το διατμημένο νεύρο διατηρούνται σε αρκετές νέες θέσεις μυοηλεκτρικού ελέγχου. Ένα άλλο τυχαίο εύρημα από αυτές τις χειρουργικές επεμβάσεις είναι ότι το μεταφερόμενο νεύρο μπορεί επίσης να παρέχει αίσθηση στο υπερκείμενο δέρμα, προσφέροντας πιθανές θέσεις για αισθητηριακή ανάδραση από την πρόσθεση. Ενώ το TMR είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική για τη διατήρηση των νευρικών σημάτων, αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα με τα παραδοσιακά μύοηλεκτρικά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν τη σύνδεση δέρματος-ηλεκτροδίου, τη χρήση πολλαπλών ηλεκτροδίων και ακόμη έναν περιορισμένο συνολικό αριθμό σημείων σηματοδότησης για την ενεργοποίηση του ρομποτικού μέλους. Επιπλέον, αυτές οι στρατηγικές περιορίζονται από το μέγεθος και την καταλληλότητά των γύρω μυών, απαιτούν σημαντικό χρόνο αποκατάστασης και δεν είναι πραγματικά αντιπροσωπευτικές της πρόθεσης του χρήστη.

Μια εναλλακτική λύση στα επιφανειακά ηλεκτρόδια για την ανίχνευση της μυϊκής δραστηριότητας είναι το σύστημα εμφυτεύσιμου μυοηλεκτρικού αισθητήρα (IMES). Τα ηλεκτρόδια IMES είναι μικροί κύλινδροι (μήκος 16 mm, διάμετρος 2,5 mm) που μεταδίδουν ασύρματα τη μύοηλεκτρική δραστηριότητα μετά την εισαγωγή τους στην κοιλιά του μυός. Το σύστημα IMES χρησιμοποιεί έξι εμφυτευμένα ηλεκτρόδια για να επιτρέψει τον ταυτόχρονο έλεγχο τριών DOF και μπορεί να ανιχνεύσει την ενεργοποίηση βαθύτερων μυών που δεν είχαν προηγουμένως στρατολογηθεί με

επιφανειακές καταγραφές. Αυτό το σύστημα υπόσχεται επίσης περισσότερη άνεση για τον χρήστη, καθώς δεν εξαρτάται από μια στενή διεπαφή ηλεκτροδίου-δέρματος, και έτσι η πρόσθεση μπορεί να βελτιστοποιήσει την άνεση της. Τα προβλήματα με αυτό το σύστημα είναι και πάλι τα ίδια όπως με όλες τις τρέχουσες μυοηλεκτρικές προσθετικές συσκευές. Υπάρχουν περιορισμένες μυϊκές ομάδες διαθέσιμες μετά τον ακρωτηριασμό και το σύστημα δεν είναι διαισθητικό εάν δεν αξιοποιηθούν τα νευρικά σήματα από το τεμνόμενο νεύρο.[54]

3.4.1. Ηλεκτρόδια Περιφερικών Νεύρων

Μια άλλη στρατηγική για την επίτευξη προσθετικού ελέγχου είναι η απευθείας εγγραφή από τα περιφερικά νεύρα. Τα ηλεκτρόδια μπορούν να εφαρμοστούν είτε εξωνευρικά είτε ενδονευρικά για την ανίχνευση σημάτων που αντικατοπτρίζουν την πρόθεση του κινητήρα του χρήστη. Τα εξωνευρικά ηλεκτρόδια, όπως το ηλεκτρόδιο περιχειρίδας ή το ηλεκτρόδιο νεύρου επίπεδης διεπαφής (FINE), τυλίγονται γύρω από ολόκληρη τη δέσμη των νευρών και καταγράφουν αλλαγές στο ηλεκτρικό δυναμικό στην περίμετρο του νεύρου. Ως εκ τούτου, η χωρική του ανάλυση είναι περιορισμένη λόγω της επιφανειακής του θέσης. Τα ηλεκτρόδια περιχειρίδας έχουν αποδειχθεί ότι αντέχουν τη χρόνια εμφύτευση σε μελέτες ανθρώπινων περιφερικών νευρών και έχουν εφαρμογές για μακροχρόνια νευρική διέγερση για τη θεραπεία καταστάσεων όπως ο χρόνιος πόνος ή η δυσλειτουργία της ουροδόχου κύστης. Ωστόσο, η κακή επιλεκτικότητά του στις εγγραφές από μεμονωμένα περιβλήματα το καθιστά λιγότερο κατάλληλο για την ερμηνεία της ποικιλίας των νευρικών σημάτων που απαιτούνται για την ενεργοποίηση ενός ρομποτικού μέλους. [55,56,57,58,59,60]

Υψηλότερη χωρική ανάλυση μπορεί να επιτευχθεί μέσω διεισδυτικών συστημάτων ενδονευρικών ηλεκτροδίων. Τα διαμήκη ενδοκοιδικά ηλεκτρόδια LIFE, τα εγκάρσια ενδοκοιδικά πολυκαναλικά ηλεκτρόδια (TIME) και η συστοιχία ηλεκτροδίων με κλίση της Γιούτα (USEA) είναι όλα παραδείγματα συστημάτων ηλεκτροδίων που διαπερνούν το επινεύριο και καταγράφουν από έναν αριθμό δεσμίδων μέσα στη δέσμη νευρών. Το LIFE και το TIME είναι ουσιαστικά μεμονωμένα καλώδια με πολλά σημεία εγγραφής, τα οποία εισάγονται κατά μήκος ή εγκάρσια για την αντιμετώπιση πολλαπλών περιβλημάτων.[59,62,61] Τα ενδοκοιδικά ηλεκτρόδια LIFE τοποθετούνται μέσα σε κοίλα οστά όπως είναι το μηριαίο και όχι επιδερμικά ή μέσα στους μυς. Ο σκοπός τους είναι η βελτίωση της συνδεσιμότητας και της απόδοσης των προσθετικών μελών. Αυτή η προσέγγιση, ιδιαίτερα η διαμήκης εισαγωγή, ελαχιστοποιεί τη χειρουργική βλάβη και αυτά τα συστήματα έχουν εμφυτευθεί επιτυχώς για έως και τρεις μήνες σε μελέτες σε ζώα. Υπάρχουν λίγα δεδομένα σχετικά με τις ικανότητες εγγραφής αυτών των ηλεκτροδίων, αλλά οι μελέτες διέγερσης

δείχνουν πολλά υποσχόμενες για τη στρατολόγηση πολλαπλών μυϊκών ομάδων. Το USEA είναι το πιο επεμβατικό παράδειγμα, που αποτελείται από μια σειρά ηλεκτροδίων από κοντό έως μακρύ που εισάγονται στο νεύρο. Αυτά τα ηλεκτρόδια έχουν την υψηλότερη χωρική ανάλυση, με τις περισσότερες δέσμες σε απόσταση εγγραφής από ένα ηλεκτρόδιο. Η υψηλή του πιστότητα καταγραφής αποδείχθηκε σε δύο ανθρώπους, οι οποίοι μετά την εμφύτευση του USEA στα εναπομείναντα νεύρα του άνω άκρου μπόρεσαν να κινήσουν μεμονωμένα δάχτυλα σε ένα εικονικό ρομποτικό χέρι. Το κύριο ζήτημα, ωστόσο, είναι η βλάβη που προκαλείται στο νεύρο μετά από χρόνια εμφύτευση, λόγω της επεμβατικότητας του και τα προβλήματα με τη μικροκίνηση σε όλη τη συστοιχία. [61,62,63,64]

Η τελευταία στρατηγική διεπαφής περιφερικών νεύρων είναι το αναγεννητικό ηλεκτρόδιο. Αυτά τα συστήματα μπορούν να περιγραφούν ως κόσκινα ή συστήματα συστοιχίας κοίλων ηλεκτροδίων, τα οποία τοποθετούνται μεταξύ δύο άκρων ενός κομμένου νεύρου. Ο στόχος είναι το νεύρο να αναγεννηθεί μέσω του πορώδους ηλεκτροδίου, βελτιστοποιώντας έτσι την ανάλυσή του. Η απαίτηση για αποκοπή του νεύρου, ακολουθούμενη από μια εξαιρετικά μεταβλητή διαδικασία νευρικής αναγέννησης, καθιστά αυτήν την τεχνολογία το πιο επεμβατικό από τα ηλεκτρόδια των περιφερικών νεύρων. Ωστόσο, πρώιμα πειράματα σε ζώα έχουν δείξει κάποια νευρική αναγέννηση σε διάστημα τριών έως τεσσάρων μηνών μετά την εμφύτευση και ότι αυτά τα ηλεκτρόδια μπορούν και να καταγράψουν και να διεγείρουν. [60-68]

3.4.2 Διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή

Οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI) καταγράφουν σήματα από το ΚΝΣ για την οδήγηση του ρομποτικού μέλους. Η επεμβατική φύση αυτών των τεχνικών σημαίνει ότι περιορίζεται κυρίως σε άτομα με σοβαρή νόσο, όπως παραπληγία ή τετραπληγία, και ότι ίσως είναι λιγότερο εφαρμόσιμες σε άτομα με ακρωτηριασμό που κατά τα άλλα είναι συστηματικά καλά. Ωστόσο, είναι μια σημαντική στρατηγική διεπαφής που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο πλαίσιο της νευροπροσθετικής τεχνολογίας. Σε καταστάσεις όπου τα περιφερικά νεύρα δεν είναι διαθέσιμα λόγω τραυματισμού της σπονδυλικής στήλης ή του εγκεφάλου ή σοβαρού νευρομυϊκού εκφυλισμού, η κινητική πρόθεση μπορεί να καταγραφεί από τον ίδιο τον εγκέφαλο. Τα ηλεκτρόδια καταγραφής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την επεμβατικότητα, που κυμαίνονται από καταγραφές στην επιφάνεια ή στο τριχωτό της κεφαλής (EEG), εγγραφές φλοιού (ECoG) ή εντός του παρεγχύματος του ίδιου του εγκεφάλου (τοπικά δυναμικά πεδίου και καταγραφές δυναμικού δράσης ενός νευρώνα). [51,52]

Το EEG είναι μια μη επεμβατική προσέγγιση που χρησιμοποιεί επιφανειακά ηλεκτρόδια για την ανίχνευση της εγκεφαλικής δραστηριότητας μέσω του τριχωτού της κεφαλής. Αν και είναι η ασφαλέστερη μέθοδος καταγραφής της εγκεφαλικής δραστηριότητας, η απόσταση μεταξύ του τριχωτού της κεφαλής από τον εγκέφαλο και η κακή μετάδοση μέσω του εγκεφαλονωτιαίου υγρού, του κρανίου και του δέρματος εμποδίζουν σημαντικά τη χωρική ανάλυση. Τα EEG ήταν ωστόσο ένα χρήσιμο εργαλείο για την παροχή ενός καναλιού επικοινωνίας, μέσω του ελέγχου διαφόρων δεικτών υπολογιστή και την δημιουργία προγραμμάτων ορθογραφίας για ασθενείς με σοβαρή παράλυση. Αποτέλεσαν σημείο εκκίνησης για την ερμηνεία της δραστηριότητας του φλοιού για την οδήγηση προσθετικών συσκευών. Ηχογραφήσεις υψηλότερης ανάλυσης μπορούν να ληφθούν με συστήματα ECoG BCI, τα οποία απαιτούν χειρουργική εμφύτευση μιας διάταξης ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του εγκεφάλου. Τα συστήματα ECoG χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες για την διεγχειρητική αναγνώριση επιληπτικών περιοχών για χειρουργική αφαίρεση σε ασθενείς με ανίστες κρίσεις. Πιο πρόσφατα, αυτή η τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή της δραστηριότητας του κινητικού φλοιού για τον έλεγχο της προσθετικής άνω άκρου, ακόμη και για την επίτευξη ατομικού ελέγχου των δακτύλων. [68,70,71]

Η υψηλότερη ανάλυση επιτυγχάνεται με την πιο επεμβατική προσέγγιση, η οποία είναι η εμφύτευση διεισδυτικών ηλεκτροδίων στον κινητικό φλοιό(ή έλικα του προσαγωγίου). Αυτές οι συστοιχίες ηλεκτροδίων είναι σε θέση να καταγράφουν τοπική δραστηριότητα δυναμικού πεδίου ή ακόμη και μεμονωμένους νευρώνες μέσα στον εγκέφαλο. Αν και η υψηλή χωρική ανάλυση αντανακλά πιο διαισθητική και ακριβή λειτουργία του κινητήρα, ο σημαντικός περιορισμός τους έγκειται στη διατήρηση σταθερών μακροχρόνιων καταγραφών λόγω της φλεγμονώδους αντίδρασης και του σχηματισμού ινώδους κάψουλας γύρω από το εμφύτευμα. Παρόλα αυτά, έχουν χρησιμοποιηθεί επεμβατικά ηλεκτρόδια για να κατευθύνουν την κίνηση σε μερικά από τα πιο προηγμένα προσθετικά μέλη, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος βραχίονα DEKA (Möbius Bionics). Συστοιχίες μικροηλεκτροδίων ενενήντα έξι καναλιών εμφυτεύθηκαν στην περιοχή του κινητικού φλοιού των χεριών δύο συμμετεχόντων στη μελέτη με μακροχρόνια τετραπληγία, και οι δύο ήταν σε θέση να χειριστούν τον βραχίονα DEKA για να αγγίζουν και να πιάνουν αντικείμενα. Αυτό το πρωτοποριακό πείραμα πρόσφερε μια ματιά στις δυνατότητες διασύνδεσης BCI σε έναν προσθετικό βραχίονα που διαθέτει δέκα τροφοδοτούμενα DOF. Ωστόσο, αυτό το επίπεδο ελέγχου δεν έχει ακόμη επιτευχθεί μόνο με καταγραφές BCI και πράγματι ο βραχίονας DEKA έχει διατεθεί στο εμπόριο ως μυοηλεκτρική πρόσθεση σε συνδυασμό με ελεγκτές ποδιών. [70,71,73]

Η κύρια αντίσταση στα ευρέως εφαρμοζόμενα συστήματα BCI είναι ο προφανής κίνδυνος χειρουργικής επέμβασης και μόλυνσης που συνοδεύει τις κρανιοτομές για εμφύτευση ηλεκτροδίων στο ΚΝΣ. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, μια πρόσφατη καινοτομία στην τεχνολογία νευρωνικής

διεπαφής είναι η ανάπτυξη μιας συστοιχίας ηλεκτροδίων που παρέχεται ως ενδοαγγειακό stent(μεταλλικός ή πλαστικός σωλήνας που εισάγεται σε μια κοίλη δομή στο σώμα). Μέσω τυπικών τεχνικών αγγειογραφίας, αυτή η συσκευή μπορεί να παραδοθεί και να τοποθετηθεί εντός του εγκεφαλικού αγγείου για την εγγραφή σημάτων σε ανάλυση παρόμοια με τις εγγραφές ECoG. Αυτή η ελάχιστα επεμβατική τεχνική έχει δοκιμαστεί στο μοντέλο προβάτου, όπου τα ηλεκτρόδια χορηγήθηκαν στο εγκεφαλικό φλεβικό σύστημα και εμφυτεύτηκαν για έως και 190 ημέρες . Οι δυνατότητές του σε συστήματα BCI, πρόβλεψη επιληπτικών κρίσεων στην επιληψία και θεραπείες διέγερσης βαθιάς εγκεφάλου παραμένουν προς διερεύνηση. [69-82]

3.5 Οι Προκλήσεις της Διασύνδεσης Ιστού-Ηλεκτροδίου

Είτε ένα ηλεκτρόδιο είναι τοποθετημένο σε μυ, νεύρο ή εγκέφαλο, η αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον θα συμβάλει σημαντικά στην αποτελεσματικότητα και τη μακροζωία του. Η ελαχιστοποίηση της φυσιολογικής απόκρισης ξένου σώματος (foreign body response-FBR) είναι το κλειδί για το σχεδιασμό οποιουδήποτε βιοϊατρικού εμφυτεύματος . Έξω από το ΚΝΣ, το FBR ξεκινά με την άμεση εναπόθεση πρωτεϊνών ξενιστή στην επιφάνεια, όπως η αλβουμίνη, το ινωδογόνο, το συμπλήρωμα και η φιβρονεκτίνη, για να ξεκινήσει η οξεία φλεγμονώδης κυτταρική αντίδραση . Η οξεία φάση χαρακτηρίζεται από την παρουσία ουδετερόφιλων και απελευθέρωσης ισταμίνης από τα μαστοκύτταρα. Μαζί, αυτά τα κύτταρα και οι βιοδραστικοί τους παράγοντες μεσολαβούν στην αρχική αντίδραση σε ένα εμφύτευμα, στρατολογώντας περαιτέρω μονοκύτταρα και μακροφάγους στην περιοχή. Η εναπόθεση πρωτεΐνης παρέχει ένα μέσο προσκόλλησης για τα μακροφάγα, τα οποία μπορούν να συντηχθούν σε γιγαντιαία κύτταρα ξένου σώματος (foreign body giant cells-FBGC) για τη φαγοκυττάρωση μεγαλύτερων σωματιδίων. Οι συσκευές βιοϊατρικών εμφυτευμάτων είναι συνήθως πολύ πέρα από τη φαγοκυτταρική ικανότητα των κυττάρων και ως απόκριση, αυτά τα κύτταρα απελευθερώνουν αντιδραστικά ενδιάμεσα οξυγόνου, ένζυμα και οξέα στο περιβάλλον τους. Τελικά, η υπερβολική ενεργοποίηση των φλεγμονωδών κυττάρων οδηγεί στην υπερβολική εναπόθεση κολλαγόνου από τους ινοβλάστες σε μια διαδικασία γνωστή ως ινώδης ενθυλάκωση, αποκλείοντας έτσι τη συσκευή και συχνά προκαλώντας αστοχία της συσκευής. [65,66,69]

Σχετική με τα συστήματα BCI, η απόκριση ξένου σώματος εντός του ΚΝΣ μπορεί να είναι παρόμοια καταστροφική, με ορισμένες διαφορές που σχετίζονται με τη θέση. Αν και μερικές φορές χαρακτηρίζεται ως «ανοσοποιητική προνομιακή» θέση, το ΚΝΣ έχει στην πραγματικότητα μια εκτεταμένη έμφυτη ανοσολογική απόκριση, με τη μεσολάβηση μικρογλοίας, ολιγοδενδροκυττάρων και αστροκυττάρων, η οποία είναι παρόμοια ικανή να δημιουργήσει ένα FBR. Επιπλέον, το τραύμα

της εμφύτευσης διαταράσσει την εγκεφαλική αγγείωση, σπάζοντας αυτό που είναι γνωστό ως αιματοεγκεφαλικός φραγμός (blood brain barrier-BBB), ο οποίος εισάγει τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος στο ΚΝΣ. Ενώ το χρονικό πλαίσιο της απόκρισης FBR στο ΚΝΣ μπορεί να είναι μεγαλύτερο και η συνολική φλεγμονή κάπως μειωμένη, ο αναπόφευκτος θάνατος των νευρωνικών κυττάρων και η πιθανότητα μόλυνσης είναι σοβαροί κίνδυνοι που πρέπει να ληφθούν υπόψη. [69,83]

Οι εκτιμήσεις σχεδιασμού για την ελαχιστοποίηση του FBR περιλαμβάνουν την αντιστοίχιση του υλικού με την περιβάλλουσα μηχανική ακαμψία του ιστού, την προσαρμογή για τυχόν συστατική δυναμική και τη συμμόρφωση με την τοπογραφία του ιστού για τη μεγιστοποίηση της περιοχής επαφής. Για τη μακροπρόθεσμη νευρωνική διασύνδεση, η κύρια πρόκληση είναι να σχεδιαστούν εμφυτεύματα που μιμούνται το πολύ μαλακό μέτρο του νευρικού ιστού. Οι παραδοσιακοί ανιχνευτές ηλεκτροδίων από πλατίνα ή χρυσό είναι ακατάλληλοι για αυτό το περιβάλλον, καθώς τείνουν να προκαλούν μια χρόνια φλεγμονώδη απόκριση με κυτταρικό θάνατο των νευρώνων-στόχων. Ως εκ τούτου, τα μακροχρόνια επεμβατικά συστήματα καταγραφής είναι δύσκολο να διατηρηθούν σε αυτό το ευαίσθητο νευρωνικό μικροπεριβάλλον, το οποίο είναι ευαίσθητο σε διαταραχές και ανταποκρίνεται γρήγορα με κυτταρικό θάνατο και ουλές. Η ελαχιστοποίηση της επεμβατικότητας, όπως αναφέρθηκε με τα καλώδια ηλεκτροδίων LIFE και TIME, μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του, αλλά με κόστος την ανάλυση της καταγραφής. Μπορούν να υιοθετηθούν πιο γενικές στρατηγικές, οι οποίες περιλαμβάνουν επικάλυψη ηλεκτροδίων με αντιφλεγμονώδη, τροποποίηση επιφάνειας με υδρόφιλα πολυμερή ή χρήση αντικολλητικών επικαλύψεων. Παρά αυτές τις προόδους, η μακροπρόθεσμη νευρωνική διασύνδεση είναι ένα αίνιγμα βιομηχανικής που συνεχώς αμφισβητείται από τη λεπτή νευρική βιολογία. [70-82]

Ως εναλλακτική λύση, η χρήση του σκελετικού μύος ως υποκατάστατο για τη νευρωνική διασύνδεση είναι μια ελκυστική επιλογή, αν και παρουσιάζει τις δικές του μοναδικές προκλήσεις. Οι μύες είναι μια πολύ μεγαλύτερη και πιο σκληρή δομή από το νεύρο, με μεγαλύτερο αναγεννητικό δυναμικό, περισσότερο μεταβολικό απόθεμα και πιο άκαμπτες μηχανικές ιδιότητες. Το πλάτος των σημάτων EMG είναι πολύ μεγαλύτερο από τα νευρικά σήματα και επομένως είναι πιο εύκολο να καταγραφεί. Ο κύριος φυσιολογικός περιορισμός του είναι η συστατική του φύση, η οποία μπορεί να βραχύνει τον ιστό έως και 20% του αρχικού του μήκους. Ως εκ τούτου, απαιτούνται ηλεκτρόδια που είναι εξαιρετικά εύκαμπτα και ελαστικά. Τα αγώγιμα πολυμερή που μπορούν να αντέξουν υψηλές καταπονήσεις σε πολλούς κύκλους έχουν διερευνηθεί, όπως η πολυπυρρόλη, η πολυανιλίνη και το πολυ(3,4-αιθυλενοδιοξυθειοφαίνιο) (PEDOT). Εναλλακτικά, μη αγώγιμα εύκαμπτα υλικά όπως το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS) ή το στυρόλιο-βουταδιένιο-στυρόλιο (SBS) μπορούν να συνδυαστούν με αγώγιμα νανοσωματίδια. Ο λυγισμός του αγώγιμου

υλικού σε προεντεταμένα υποστρώματα μπορεί να αποτρέψει τη ρωγμή του ηλεκτροδίου όταν εμφυτεύεται σε συσταλτικά περιβάλλοντα και η τοποθέτηση ηλεκτροδίων σε ένα πιο μηχανικά ουδέτερο επίπεδο μπορεί επίσης να ελαχιστοποιήσει την πίεση στο υλικό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η διασύνδεση με τον συσταλτικό μυ έχει επιτευχθεί στην κλινική πράξη εδώ και δεκαετίες στον καρδιακό βηματοδότη, όπου τα καλώδια μολύβδου του εμφυτεύονται τυπικά στο ενδοκαρδιακό τοίχωμα της καρδιάς και μπορούν να διαρκέσουν για όλη τη ζωή του ασθενούς. Δεδομένου του πολύ χαμηλότερου βαθμού τραυματισμού ιστού και χειρουργικού κινδύνου, η διεπαφή ηλεκτροδίων με τους μυς είναι βιολογικά πιο εφικτή. Ωστόσο, χωρίς την αξιοποίηση των σημάτων από τα υπολειμματικά νεύρα προς το άκρο που λείπει, αυτή η στρατηγική δεν θα οδηγήσει ποτέ σε διαισθητικό έλεγχο της προσθετικής κίνησης. [83-99]

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.

4 Πληροφοριακά συστήματα και λογισμικό.

Για την ανάπτυξη των προσθετικών μελών είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε διάφορα πληροφοριακά συστήματα καθώς επίσης και το κατάλληλο λογισμικό. Αυτά έχουν υψηλή σημασία, τόσο στην επεξεργασία των δεδομένων όσο και στον ίδιο τον έλεγχο των συσκευών. Για να μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες λειτουργίες, βελτίωση της κίνησης των άρθρώσεων αλλά και να λαμβάνονται δείγματα χρησιμοποιούνται κάποια εργαλεία τα οποία θα συζητηθούν παρακάτω. Το BCI, δηλαδή οι διεπαφές εγκεφάλου- υπολογιστή (Brain - Computer Interfaces) αποτελούν την πιο σύγχρονη τεχνολογία για την μελέτη της κίνησης λόγω κάποιας παράλυσης ή προσθετικού μέλους. Επιτυγχάνουν την άμεση επικοινωνία μεταξύ της συσκευής και του εγκεφάλου σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι τους χρήστες να ελέγχουν τα προσθετικά μέλη μέσω της σκέψης τους. [100,102]

4.1 BCI: Brain Computer Interfaces

Η επικοινωνία μεταξύ του εγκεφάλου και του υπολογιστή είναι άμεση, αφού για να ελεγχθούν οι εξωτερικές συσκευές, οι υπολογιστές και τα προσθετικά μέλη χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά σήματα τα οποία παράγονται από τους νευρώνες του εγκεφάλου.

Έπειτα από την επικοινωνία του εγκεφάλου με τον υπολογιστή, ακολουθεί η ανίχνευση καθώς και η αποκωδικοποίηση των ηλεκτρικών σημάτων από την περιοχή του κινητικού φλοιού του εγκεφάλου. Η συγκεκριμένη περιοχή ευθύνεται τόσο γι' αυτόν τον προγραμματισμό των κινήσεων όσο και για την υλοποίηση αυτών, δηλαδή την εκτέλεση.

Για να παρθούν δεδομένα πρέπει αρχικά να καταγραφούν τα σήματα των νευρώνων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μικροηλεκτρικών διατάξεων οι οποίες εμφυτεύονται στον κινητικό φλοιό και στη συνέχεια φιλτράρονται και αποκωδικοποιούνται με σκοπό να παραχθούν οι απαραίτητες εντολές.

Συγκεκριμένα, για την ενσωμάτωση νευρωνικών σημάτων σε προσθετικά μέλη, έχουν αναπτυχθεί από τους επιστήμονες νέες μέθοδοι. Μάλιστα, υποστηρίζεται πως μπορεί να επιτευχθεί εκπαίδευση των νευρώνων, έχοντας ως αποτέλεσμα οι κινήσεις των προσθετικών μελών να γίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια και σταθερότητα. [100,102]

4.2 Τεχνική καταγραφής ECoG.

Οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain-Computer Interfaces - BCI) αποτελούν μία από τις πιο προηγμένες τεχνολογίες στον τομέα των προσθετικών μελών. Αυτές οι διεπαφές επιτρέπουν την άμεση επικοινωνία μεταξύ του εγκεφάλου και των προσθετικών συσκευών, επιτρέποντας στους χρήστες να ελέγχουν τα προσθετικά τους μέλη με τις σκέψεις τους.

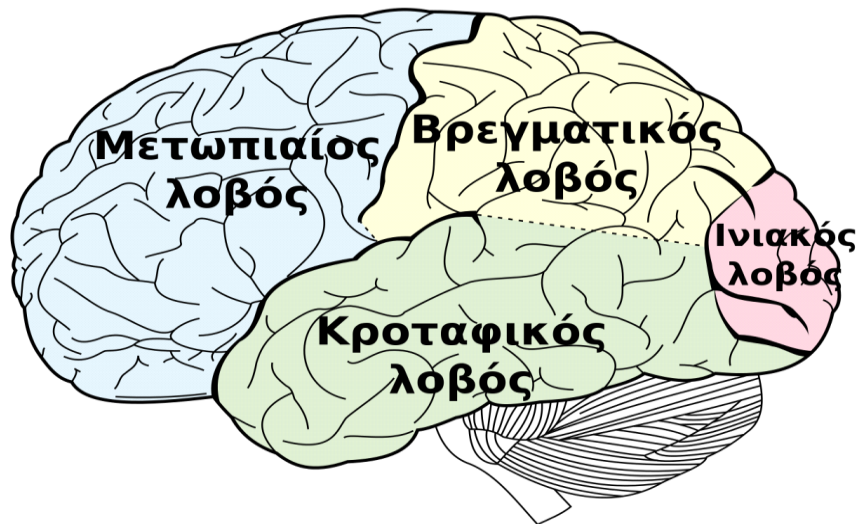
Η ECoG αποτελεί μία επεμβατική μέθοδο, η οποία χρησιμοποιείται για την καταγραφή των ηλεκτρικών δυναμικών σε πραγματικό χρόνο. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν εξωκρανικά (στο τριχωτό της κεφαλής) είτε ενδοκρανικά (στον υποσκληρίδιο-εγκεφαλικό χώρο του κρανίου). Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μελετηθούν τα νευρικά σήματα που εκπέμπει ο εγκέφαλος και να αξιολογήσουν τη λειτουργία του. Στη σημερινή εποχή, αποτελεί πλέον μία κλασική εφαρμογή στον τομέα της επιληψίας όπου και πρώτο εφαρμόστηκε, της σχιζοφρένειας αλλά φυσικά και στον συγχρονισμό των προσθετικών μελών από το ανθρώπινο σώμα. [101]

Υπάρχουν πολλές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν, ανάλογα με την κατάσταση και τον βαθμό περιπλοκότητας της κάθε πάθησης. Για να υπάρξει επιτυχής επέμβαση είναι απαραίτητη η χαρτογράφηση του εγκεφαλικού φλοιού. Οι γιατροί, έπειτα από την χαρτογράφηση, λαμβάνουν σημαντικά ζητήματα όπως είναι ο στόχος της επέμβασης, η κατάσταση της υγείας του ασθενούς, τα αναισθητικά αποτελέσματα, οι παράμετροι διέγερσης, οι λειτουργίες του φλοιού που διαφέρουν καθώς και οι μέθοδοι που θα ακολουθηθούν για την ίδια τη χαρτογράφηση. Οι πληροφορίες αυτές είναι πολύ σημαντικές καθώς χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των ορίων εκτομής. Η διαδικασία ξεκινάει με την άμεση ηλεκτρική διέγερση του εύγλωττου φλοιού. Ο εύγλωττος φλοιός ή αλλιώς Broca's area είναι μία περιοχή του εγκεφάλου που βρίσκεται στο μετωπιαίο λοβό και είναι κρίσιμη για την παραγωγή ομιλίας. Ο Γάλλος Paul Broca, έπειτα από μελέτες που πραγματοποίησε το 1861 κατάφερε να συσχετίσει τη συγκεκριμένη περιοχή με τη λειτουργία της ομιλίας. Βρίσκεται πολύ κοντά στο πρωτεύον κινητικό φλοιό που είναι υπεύθυνο για τις κινήσεις των χειρών, της γλώσσας, της γνάθου και του λάρυγγα. Η κύρια λειτουργία του εύγλωττου φλοιού είναι η παραγωγή λόγου, η σύνταξη προτάσεων και η κατανόηση της ομιλίας. Οι

ασθενείς με αφασία του Broca τείνουν να μιλάνε αργά, με απλές προτάσεις και πολλές φορές κατανοούν τους διαλόγους αλλά είναι ανίκανοι να συμμετάσχουν σε αυτούς. Για αυτό τον λόγο, είναι πολύ επικίνδυνο οποιαδήποτε λάθος τομή στον συγκεκριμένο φλοιό ή στους συγγενείς του καθώς μπορεί να προκαλέσουν σημαντική και εμφανή νευρολογική αναπηρία.

Τα πιο σημαντικά τμήματα του εγκεφαλικού φλοιού θεωρούνται ο:

- Πρωτογενής Κινητικός φλοιός (M1- μετωπιαίος λοβός)
- Πρωτογενής σωματοαισθητικός φλοιός (S1-βρεγματικός λοβός)
- Πρωτογενής οπτικός φλοιός (V1, ινιακός λοβός)
- Broca's και Wernicke περιοχές



Εικόνα 7: Λοβοί του εγκεφάλου.

Ο νευρολόγος με τον νευροχειρουργό και τον αναισθησιολόγο θα πρέπει να έχουν μελετήσει εις βάθος τον φλοιό στον οποίο θα γίνει η επέμβαση και οι κινήσεις να είναι ακριβείς και συγκεκριμένες. Ο πολυτροπικός φλοιός (ο οποίος συνδυάζει και επεξεργάζεται πληροφορίες απο διάφορες αισθήσεις όπως γεύση, ακοή, όσφρηση, όραση και γεύση) βρίσκεται συνήθως κοντά σε άλλο πρωτογενή μονότροπο φλοιό και είναι υπεύθυνος για λειτουργίες όπως είναι η κίνηση, η ομιλία η ιδιοδεκτικότητα η ικανότητα δηλαδή του ανθρώπινου νου να αντιλαμβάνεται πού βρίσκεται το σώμα του στον χώρο. Παρ' όλα αυτά αν και έχει παρατηρηθεί πώς τα ελλείμματα που παρατηρούνται στην ομιλία και στην κίνηση δεν είναι μόνιμα αλλά συνήθως ανακάμπτουν στους 3 με 6 μήνες θα πρέπει η διαδικασία να είναι εξαιρετικά ακριβής έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μία επιτυχημένη διεγχειρητική χαρτογράφηση. [113]

4.2.1 Ιστορία της ECoG

- **19ος αιώνας:** Ο Richard Caton και ο Adolf Beck φαίνεται πως ήταν οι πρώτοι επιστήμονες οι οποίοι κατέβαλαν προσπάθειες για να καταγράψουν την ηλεκτρική δραστηριότητα. Οι έρευνες επικεντρωνόντουσαν γύρω από τις ηλεκτρικές διεγέρσεις και κατάλαβαν πως ήταν σε θέση να τις μετρήσουν και να τις καταγράψουν. Μάλιστα, φαίνεται πως η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) είναι μία από τις παλαιότερες τεχνικές χαρτογράφησης της δραστηριότητας του εγκεφάλου η οποία ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να είναι εξίσου σημαντική.
- **1929:** Ο Hans Berger είναι ο 1ος επιστήμονας ο οποίος κατάφερε για πρώτη φορά να καταγράψει ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα (EEG) από την επιφάνεια του κρανίου. Κάθε ρυθμός που καταγραφόταν, ονομαζόταν με ένα ελληνικό γράμμα: α, β, γ και δ. Μέχρι στιγμής όμως δεν είχε γίνει κάποια σύνδεση του κάθε γράμματος με την αντίστοιχη εγκεφαλική περιοχή.
- **1930-1960:** Ξεκίνησαν να πραγματοποιούνται τα πρώτα πειράματα στα ζώα με τα ηλεκτρόδια να τοποθετούνται απευθείας στον εγκεφαλικό φλοιό. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν και στον άνθρωπο δίνοντάς του μεγαλύτερη ακρίβεια στην καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων. Αυτές οι προσπάθειες διαφοροποίησαν την απλή ανάλυση EEG οδήγησαν στην ανάπτυξη της ECoG μεθόδου. Πλέον, ο Herbert Jasper και ο Hawke που ειδικεύονται στο κομμάτι της επιληψίας, χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία στις χειρουργικές επεμβάσεις τους και ανακαλύπτουν πως μπορούν με επιτυχία να εντοπίσουν επιληπτογενείς ζώνες και να τις χαρτογραφήσουν. Στα τέλη της δεκαετίας του 1930 ο Jasper μαζί με τους συνεργάτες, κατάφεραν να συνδυάσουν τα γράμματα με τις αντίστοιχες περιοχές. Έτσι, διαπίστωσαν πως οι ρυθμοί άλφα είναι πιο έντονοι στην ινιακή περιοχή, οι βήτα ρυθμοί είναι πιο έντονοι στις μετωποκεντρικές περιοχές. Το 1936, ο Walter, ανεξάρτητος από την υπόλοιπη ομάδα, έπειτα από μία σειρά περιπτώσεων κατά τις οποίες εμφανιζόντουσαν αργά κύματα - που συνδυάστηκαν με την δραστηριότητα δέλτα- κατάφερε να συσχετίσει και τελικά να προβλέψει πιθανή βλάβη στο χειρουργείο.
- **1990-2000:** Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επιτρέπει την πρόοδο των υπολογιστικών αλγορίθμων έχοντας ως αποτέλεσμα την μέτρηση και ανάλυση σημάτων με τρομερή ακρίβεια. Εκτός από την επιληψία, η χρήση της ECoG χρησιμοποιείται και για άλλες ασθένειες όπως είναι η σχιζοφρένεια, η χρήση ουσιών όπως της κεταμίνης που φαίνεται να αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας του εγκεφάλου αλλά και για τον έλεγχο των προσθετικών μελών.

- **2000-Σήμερα:** Η ECoG χρησιμοποιείται ευρέως σε έρευνες που αφορούν την διεπαφή του εγκεφάλου και του υπολογιστή (BCI). Πλέον, αναπτύσσονται συστήματα που επιτρέπουν τον έλεγχο των ρομποτικών βραχιόνων και των προσθετικών μελών. Εκτιμάται πως στο μέλλον η ECoG θα εξακολουθεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρόοδο της νευροεπιστήμης και της νευροτεχνολογίας. [103]

4.2.2 Μέθοδοι καταγραφής ECoG

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο ξεκίνημα των πρώτων καταγραφών της ECoG ήταν ηλεκτρόδια φυτυλιού με βαμβάκι και η καταγραφή γινόταν σε μία χάρτινη λωρίδα 16 καναλιών.

Σήμερα χρησιμοποιούνται:

- 1 Υποδερμικές πλάκες ηλεκτροδίων (Subdural Electrodes): τοποθετούνται κάτω από τις μήνιγγες του εγκεφάλου και πάνω στην επιφάνεια του εγκεφαλικού φλοιού. Παρέχουν υψηλή και άμεση ανάλυση σημάτων από τον εγκεφαλικό φλοιό και χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων έτσι ώστε να γίνει εντοπισμός αλλά και καταγραφή επιληπτικών σημείων.
- 2 Επιφανειακά πλέγματα ηλεκτροδίων (Surface Grid Electrodes): σε αντίθεση με τις επιδερμικές πλάκες, αυτά τα ηλεκτρόδια αποτελούν πλέγματα τα οποία τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια του εγκεφάλου και καλύπτουν έτσι μεγαλύτερες περιοχές ταυτόχρονα. Χρησιμοποιούνται τόσο σε κλινικές μελέτες όσο και σε έρευνες.
- 3 Μικροηλεκτρόδια (Microelectrodes): λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους μπορούν να απομονώσουν μικρότερες ομάδες νευρώνων παρέχοντας ακόμη πιο ακριβή αποτελέσματα. Προσφέρουν εξαιρετικά υψηλή χωρική ανάλυση, η οποία αξιοποιείται από ερευνητικές μελέτες χωρίς όμως να έχει πραγματοποιηθεί προς το παρόν σε ανθρώπινη χειρουργική επέμβαση. [104]

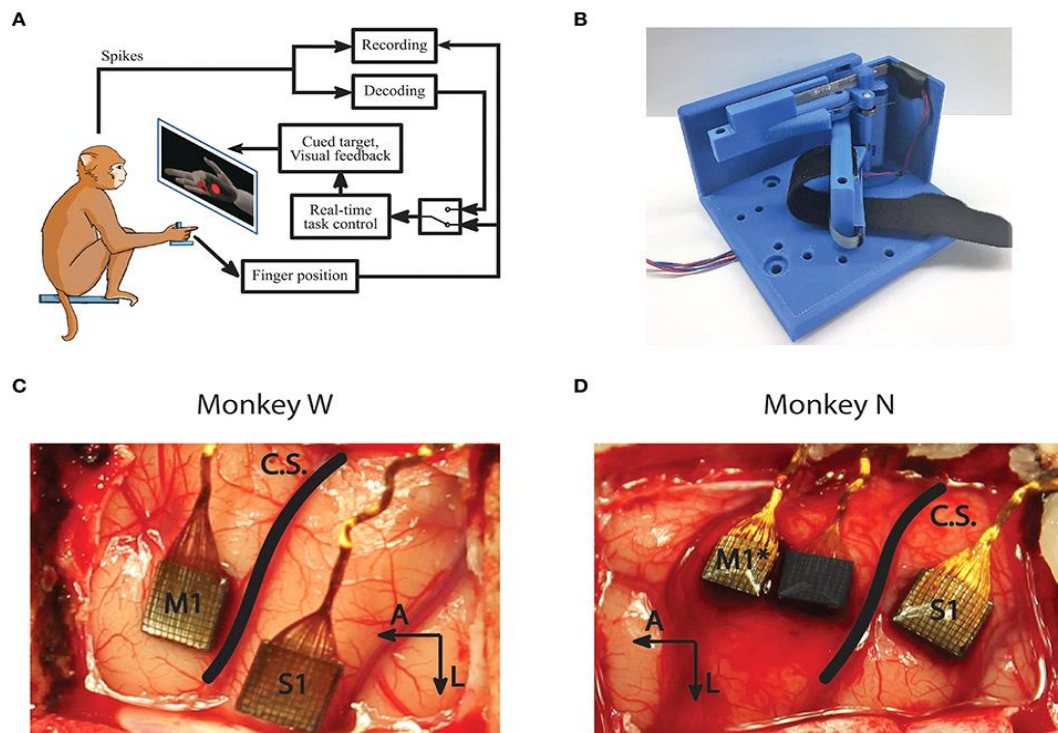
4.2.3 Υλικά Ηλεκτροδίων

- Τα απλά συμβατικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται ευρέως και είναι τα πιο κοινά. Κατασκευάζονται από κράματα μετάλλων όπως είναι η πλατίνα και το ιρίδιο. Θεωρούνται αξιόπιστα καθώς παράγουν σταθερά σήματα.

- Τα εύκαμπτα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από πολυμερή , ένα υλικό με αρκετά μεγάλη ευλυγισία. Αυτό τα βοηθά να προσαρμόζονται καλύτερα στην επιφάνεια του εγκεφάλου. Τα πολυμερή υλικά (polymers) είναι οργανικές ενώσεις με βάση τον άνθρακα και το πυρίτιο. Γνωστά πολυμερή υλικά είναι το νάυλον (nylon) και το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Λόγω αυτής της ευελιξίας, προσαρμόζονται καλύτερα στην καμπυλότητα του εγκεφάλου μειώνοντας τις πιθανότητες για μηχανική βλάβη στον εγκεφαλικό ιστό. Η χρήση τους προς το παρόν επικεντρώνεται κυρίως σε έρευνες.
- Οι αισθητήρες από νανούλες αν και βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, φαίνεται πως παρέχουν τα καλύτερα αποτελέσματα μέχρι στιγμής αφού καταγράφουν σήματα με πολύ υψηλή ανάλυση. Το μέγεθος τους είναι πιο συρρικνωμένο και λεπτό από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια στοχεύοντας με ακρίβεια ακόμα και στον νευρώνα που απαιτείται. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται υλικά όπως είναι τα νανοσύρματα και τα νανοσωματίδια. [105,106,107,108,109,110,111]

4.3 Έρευνα σχετικά με την Refit τεχνολογία.

Από την έρευνα "Αποκωδικοποίηση μεμονωμένων ομάδων δακτύλων με χρήση του φίλτρου Kalman Refit" στο οποίο πήραν μέρος 9 επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, συμπεράναν πως και στα δύο πειράματα το φίλτρο Kalman Refit ξεπέρασε το κλασικό φίλτρο Kalman. Για τον σκοπό της έρευνας, ύστερα από το χειρουργείο, τοποθετήθηκαν στον εγκέφαλο δύο πιθήκων 2 συστοιχίες ενδοφλοιωδών ηλεκτροδίων που στόχευαν στην καλύτερη κίνηση των δακτύλων και συγκεκριμένα στον δείκτη και στο παράμεσο. Από άλλες πρόσφατες κλινικές δοκιμές είχαν αντλήσει στοιχεία για την αποκατάσταση της κινητικής δραστηριότητας σε άτομα με σοβαρή παράλυση. Όντως τα σήματα που στέλνονταν από τη χρήση νευρικών προθέσεων επαρκούσαν για να διοχετεύσουν ηλεκτρικούς παλμούς στους μυς, έτσι ώστε να παράγουν κίνηση. Οι συσπάσεις που προκαλούνταν, αν και κατάφερναν να παράγουν μία σχετική κίνηση και άρα να βελτιώσουν κατά πολύ την ποιότητα ζωής, από μόνες τους δεν επαρκούσαν. Ο λόγος είναι ότι εξακολουθούσε να υπάρχει ταυτόχρονη ενεργοποίηση των αρθρώσεων με αποτέλεσμα οι κινήσεις να είναι σχετικά άγριες και απότομες. Ο στόχος της έρευνας είναι η μεμονωμένη κίνηση επιμέρους αρθρώσεων όπως είναι ο βραχίονας.



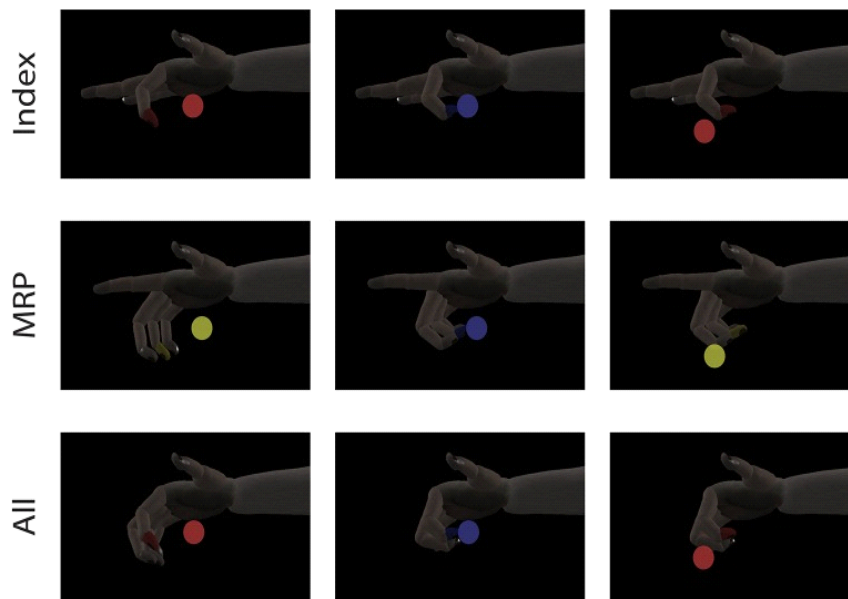
Εικόνα 8: Φωτογραφίες έρευνας.

Αυτό έδωσε στην κοινότητα το έναυσμα να ξεκινήσει να ερευνά εάν οι αποκωδικοποιητές θα μπορούν να ελέγχουν κινήσεις πολλαπλών αρθρώσεων. Για να γίνεται αντιληπτό η κινησιολογία της κάθε άρθρωσης υπάρχει η μονάδα μέτρησης σε DOF δηλαδή, πόσους βαθμούς ελευθερίας μπορούν να πραγματοποιήσουν τα μέρη ενός φυσικού συστήματος. Ο όρος χρησιμοποιείται σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, όπως η φυσική, η μηχανική και η ρομποτική και η ιατρική. Η άρθρωση του βραχίονα έχει 2 DOF (κάμψη και έκταση) ενώ ο καρπός έχει 5 DOF (κάμψη-έκταση, απαγωγή - προσαγωγή και περιστροφή). Όσους περισσότερους βαθμούς έχει μία άρθρωση τόσο αυξάνεται η πολυπλοκότητά της.

Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν 2 αρσενικοί πίθηκοι, ο monkey W και ο monkey N. Και στους δύο δόθηκε το μηχανήμα manipulandum το οποίο ήταν ειδικά σχεδιασμένο να απομονώνει τις κινήσεις των δαχτύλων. Διαθέτει δύο πόρτες διαχωριστικά, έτσι ώστε να μπορεί να ελέγχει ξεχωριστά την κίνηση του αντίχειρα από τα υπόλοιπα δάχτυλα.

Πάρθηκαν τρία παραδείγματα χρήσης από τον κάθε πίθηκο:

- Κίνηση μόνο του δείκτη
- Ο δείκτης κλειδωμένος με κίνηση των υπολοίπων δαχτύλων.
- Κίνηση όλων των δαχτύλων ταυτόχρονα.



Εικόνα 9: Προσομοίωση των κινήσεων των δαχτύλων της έρευνας.

Η εκτέλεση των κινήσεων πραγματοποιήθηκε σε πραγματικό χρόνο εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο πως τα δεδομένα θα συγχρονιστούν με ακρίβεια χιλιοστού του δευτερολέπτου. Γινόταν καταγραφή των δεδομένων στην αρχή κάθε συνεδρίας αφού πρώτα μετατρεπόντουσαν απο αναλογικά σε ψηφιακά 10bit σε μία ειδική πλακέτα κυκλώματος. Για κάθε κίνηση DOF σημειωνόταν η κάμψη πέρνοντας την τιμή 1 και η έκταση πέρνοντας την τιμή 0. Τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν στους πιθήκους χειρουργικά στοχεύοντας στις περιοχές M1 και S1. [112]

M1(Primary Motor Cortex): Πρόκειται για τον πρωτογενή κινητικό φλοιό, που είναι υπεύθυνος για τον εκούσιο έλεγχο των κινήσεων των μυών και βρίσκεται στον προκεντρικό έλικα του εγκεφάλου.

S1(Primary Somatosensory Cortex): Πρόκειται για τον πρωτογενή σωματοαισθητικό φλοιό που είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των αισθητικών πληροφοριών απο το σώμα όπως η αφή, η πίεση, ο πόνος και η θερμοκρασία και βρίσκεται στον μετακεντρικό έλικα του εγκεφάλου.[113]

Τα ηλεκτρόδια που εμφυτεύθηκαν είχαν μήκος 1,5 mm σε απόσταση μεταξύ τους με βήμα 400μm.

Στον monkey W υπήρξαν 96 κανάλια τόσο στο M1 όσο και στο S1 ενώ στο monkey N υπήρξαν 96 κανάλια στο M1 και 128 στο S1.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως οι μετρήσεις του monkey W ήταν καλύτερες με αυτές του monkey N. Κάθε μέρα γινόντουσαν 300 νέες μετρήσεις οι οποίες έδειξαν πως η κίνηση είναι πιο στοχευμένη και ακριβής όταν υπάρχει ένας βαθμός ελευθερίας κίνησης κάθε φορά. Οι τεχνολογίες BCI (Brain-Computer Interface) έχουν τεράστιες προοπτικές στην ανάπτυξη προσθετικών μελών που μπορούν να ελεγχθούν μέσω της σκέψης. Η επιτυχία των πειραμάτων στους πιθήκους υποδηλώνει

ότι τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να μεταφερθούν και στον άνθρωπο, παρέχοντας τη δυνατότητα σε άτομα με αναπηρίες να ανακτήσουν την ικανότητα ελέγχου των άκρων τους μέσω προσθετικών μελών. [112]

4.4 Αντιμετώπιση PLP μέσω μυοηλεκτρικών προτύπων

Ο πόνος φάντασμα PLP(phantom limb pain) αφορά τον πόνο που νιώθουν οι ασθενείς ύστερα από κάποιον ακρωτηριασμό ή ακόμα μετά απο εγχείρηση και αφαίρεση κάποιου οργάνου. Φαίνεται πως περίπου το 70% των ασθενών εμφανίζει αυτά τα συμπτώματα ανεξαρτήτως το είδος του ακρωτηριασμού.

Αν και σαν φαινόμενο είχε πρώτο παρατηρηθεί ήδη απο τον 16ο αιώνα απο τον Ambroise Paré, δεν είχε γίνει καμία ενέργεια για την ανάλυση και την κατανόησή του. Πολύ αργότερα, τον 19ο αιώνα, ο νευροχειρουργός Silas Weir Mitchell με καταγωγή απο την Αμερική περιέγραψε με λεπτομέρεια το φαινόμενο προσπαθώντας να αποτυπώσει τις αιτίες και τα χαρακτηριστικά του. Μέχρι και τα μέσα του 20ου αιώνα η θεραπεία του PLP περιοριζόταν στη λήψη φαρμάκων, κυρίως αναλγητικών και αντικαταθλιπτικών καθώς και ψυχοθεραπείες, για την αντιμετώπιση του πόνου. Επιπλέον, δοκιμαστικά και χωρίς να σημειώσουν κάποια βελτίωση, είχαν σημειωθεί ελάχιστες νευροτομές κατά την διάρκεια του Β παγκοσμίου πολέμου.

Στα μέσα του 20ου αιώνα έγινε μία τεράστια συσχέτιση απο τους επιστήμονες Patrick Wall και Ronald Melzack που αφορούσε τον εγκέφαλο με τον πόνο που δημιουργείται στο κολόβωμα. Η θεωρία τους (Gate Control Gate), της πύλης ελέγχου δηλαδή, τοποθετούσε τον εγκέφαλο στο επίκεντρο για την αντίληψη του πόνου, μετατοπίζοντας τις έρευνες που κινόντουσαν μόνο γύρω από τα νεύρα στο ακρωτηριασμένο σημείο, ανοίγοντας με αυτόν τον τρόπο νέους δρόμους για την κατανόηση και αντιμετώπιση του πόνου φάντασμα.

Καθοριστική και σημαντική ανακάλυψη ήταν η μέθοδος καθρέφτη, η οποία σήμερα έχει εξελιχθεί και συνδυάζεται μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) στο σήμερα. Η αρχή της μεθόδου είναι ένας καθρέφτης ο οποίος τοποθετείται μπροστά απο τον ασθενή ώστε ο ίδιος να μπορεί να παρατηρεί την απεικόνισή του. Φαίνεται πως κατά της παρατήρηση της εικόνας του , βλέποντας την κίνηση στο υγιές μέλος , μπορεί να αντιγράψει τις κινήσεις και να νιώθει μία ψευδαίσθηση ενός αποκατεστημένου μέλους. Ως μειονέκτημα αυτής της θεωρίας θεραπείας θεωρείται ότι απαιτείται το υγιές άκρο για την αντιγραφή των κινήσεων, επομένως είναι κατάλληλη μόνο για ασθενείς με μονόπλευρους ακρωτηριασμούς.

Σήμερα, η μέθοδος καθρέφτη έχει εξελιχθεί και για την αντιμετώπιση του PLP χρησιμοποιούνται προηγμένες τεχνολογίες όπως η χρήση εμφυτευμάτων εγκεφάλου, νευροπροσθετικών συσκευών και διέγερση του νωτιαίου μυελού για την ανακούφιση του πόνου. [114]

4.4.1 Έρευνα PLP

Στην έρευνα που διεξήχθη το 2014 από πέντε επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων (βιοατρικής μηχανικής, μαθηματικά, ορθοπαιδικής) μελετήθηκε η χρήση εικονικής πραγματικότητας (VR) στην αντιμετώπιση του πόνου φάντασμα. Το VR που αναπαριστώντας ένα ψηφιακό παιχνίδι, αντικατέστησε τον προηγούμενο κλασικό καθρέφτη, εφαρμόστηκε σε ασθενή με μονόπλευρο ακρωτηριασμό αν και ο μελλοντικός στόχος της έρευνας είναι να μπορεί να απευθυνθεί τόσο και σε αμφίπλευρους ακρωτηριασμούς. Ο ασθενής που επιλέχθηκε για την έρευνα έκανε ήδη αρκετά χρόνια θεραπεία με συμβατικές μεθόδους χωρίς κάποια εμφανή σημάδια βελτίωσης. Παρατηρήθηκε πως ο πόνος του σταδιακά μειώθηκε με τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας φέροντας αισθητά αποτελέσματα στην κινησιολογία του φανταστικού άκρου (το μέλος το οποίο δεν υπάρχει λόγω ακρωτηριασμού).

Για την έναρξη της έρευνας, δημιουργήθηκε μια εικονική αναπαράσταση από το ακρωτηριασμένο άκρο του ασθενούς, ίδιο με το υγιές, το οποίο θα αντιγράφει τις κινήσεις του δημιουργώντας έτσι οπτική ανατροφοδότηση. Ο ασθενής θα ήταν σε θέση να βλέπει, να παρατηρεί το άκρο του καθώς και να αλληλεπιδρά με αυτό μέσω της οθόνης. Αναπαριστώντας το φάντασμα άκρο, ο ασθενής το αντιλαμβάνεται στο χώρο, αυξάνεται η ιδιοδεκτικότητά του και ο πόνος μειώνεται. Ο στόχος της έρευνας είναι να καταφέρουν την κίνηση στο εικονικό μέλος μέσω των επιφανειακών ηλεκτροδίων που τοποθετούνται πάνω στον μυώδη ιστό του κολοβώματος παράγοντας με αυτόν τον τρόπο ηλεκτρομαγνητικά σήματα (SEMG).

Ο άνδρας που επιλέχθηκε για την έρευνα ήταν ηλικίας 72 ετών, ο οποίος το 1965 έχασε το χέρι ακριβώς κάτω από την άρθρωση του αγκώνα λόγω τραυματισμού. Τα τελευταία 48 χρόνια είχε λάβει πλήθος θεραπειών όπως είναι ο βελονισμός, η ύπνωση, φάρμακα, η μέθοδος του καθρέφτη χωρίς όμως κάποιο από αυτά να έχει βελτιώσει το PLP. Ο πόνος που ένιωθε καθημερινά χαρακτηρίστηκε ως ένας σταθερός και καυστικός πόνος ενώ βαθμολογήθηκε με τον αριθμό 3 σε κλίμακα από το 0 έως το 10. Κατά την διάρκεια της ημέρας, κάθε ώρα και για λίγα λεπτά ο πόνος έφτανε στη μέγιστη ένταση ενώ τα βράδια ξυπνούσε λόγω αυτού.

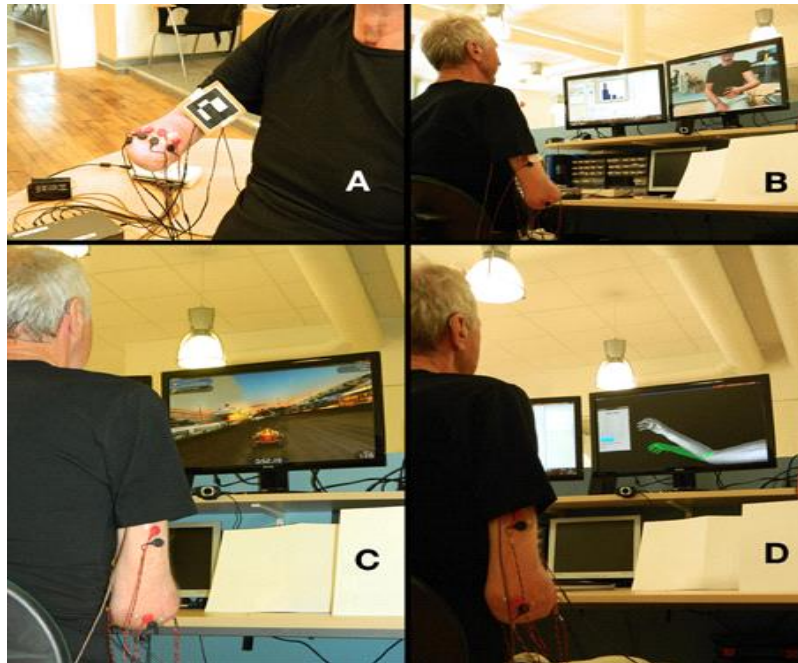
Η κλίμακα του πόνου είναι η SF-MPQ και πρόκειται για μία παγκόσμια μονάδα αξιολόγησης του πόνου έτσι ώστε να γίνεται αντιληπτό από όλες τις ειδικότητες.

Στόχος της έρευνας ήταν να αποδείξει πως ο ασθενής είναι σε θέση να διακρίνει ανάμεσα στο να φαντάζεται μία κίνηση φάντασμα (του μέλους που δεν υπάρχει) και όντως να την εκτελεί σ'αλήθεια. Αυτό οδηγεί σε δύο συμπεράσματα :

Πρώτον, ότι η ικανότητα φυσικής εκτέλεσης μιας κίνησης διατηρείται μετά τον ακρωτηριασμό
Δεύτερον, ότι η επικοινωνία μεταξύ των ημισφαιρίων διαφοροποιείται κατά την εξάσκηση της κινητικής εκτέλεσης και της κινητικής φαντασίας. Ο εγκέφαλος δηλαδή χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά ημισφαίρια κατά την εκτέλεση κανονικής και φανταστικής κίνησης. [115]

4.4.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του προγράμματος.

Το πρόγραμμα στο οποίο μελετήθηκε ο ασθενής είναι το MCARE το οποίο συνδυάζει για πρώτη φορά VR δημιουργώντας έναν ψηφιακό κόσμο, το gaming καθώς και η πρόβλεψη της κίνησης της πρόθεσης μέσω μυοηλεκτρικών προτύπων. Η πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η BioPatRac η οποία μπορούσε να προβλέψει την πρόθεση της κίνησης βασιζόμενη σε αλγόριθμο αναγνώρισης προτύπων. Αυτό φυσικά έγινε με την χρήση μυοηλεκτρικής δραστηριότητας στο κολόβωμα με αυτή να μπορεί να προσδιορίσει την κίνηση που επιθυμεί ο ασθενής να εκτελέσει. Αφού γίνει γνωστή η κίνηση τότε προβάλλεται σε εικονικό περιβάλλον. Σε πραγματικό χρόνο μέσω AR ο ασθενής παρατηρεί του εαυτό του στην οθόνη στην οποία αποτυπώνεται ο εικονικός βραχίονας του στη θέση του ακρωτηριασμένου άκρου. Χρησιμοποιείται μία κάμερα web επιτρέποντας στον ασθενή να κινείται με το εικονικό άκρο να προσαρμόζεται και να παραμένει ανατομικά στη σωστή θέση. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οχτώ , με διάμετρο 1cm και με 2cm απόσταση μεταξύ τους. Για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ζητήθηκε απο τον ασθενή να κάνει διάφορες ασκήσεις όπως η κάμψη-έκταση καρπού, πρηνισμός-υπτιασμός, ανοιγοκλείσιμο χεριών, κάμψη-έκταση αγκώνα καθώς και ψηλάφησης της μυικής δραστηριότητας. Αυτή η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρόδια να λαμβάνουν πιο ενεργά σήματα έναντι της προκαθορισμένης επιλεκτικής τοποθέτησης.



Εικόνα 10: Οι εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν στον ασθενή.

A: Ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κολόβωμα του ασθενούς.

B: Μέσω της κάμερας web εμφανίζεται στην οθόνη το εικονικό άκρο επιτρέποντας στον ασθενή να κινείται και αυτό να παραμένει ανατομικά στη σωστή θέση.

C: Ο ασθενής μέσω gaming καταφέρνει να οδηγήσει ένα αυτοκίνητο με κινήσεις τις οποίες τις φαντάζεται.

D: Ο ασθενής χρησιμοποιεί το AR μέσω μίας δοκιμαστικής εφαρμογής, την Target Achievement Control (TAC) ως εργαλείο αποκατάστασης κατά το οποίο οπτικοποιεί το φανταστικό του μέλος.

Ενισχυτές

Οι ενισχυτές που χρησιμοποιήθηκαν ονομάζονται MyoAmpF2F4-VG18 και κατασκευάστηκαν για την συγκεκριμένη έρευνα. Τα φίλτρα ήταν της 4ης τάξης στα 20Hz, της 2ης τάξης στα 400Hz και το Notch στα 50Hz. Ψηφιοποιήθηκαν στα 2kHz και 16bit και ενισχύθηκαν με κέρδος 2000.

- Ενεργό φίλτράρισμα: Αναφέρεται στη χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συχνοτήτων από το σήμα.
- Υψηλοπερατό φίλτρο 4ης γενιάς στα 20Hz: Αυτό το φίλτρο επιτρέπει στις συχνότητες πάνω από τα 20Hz να περάσουν και μπλοκάρει όσες είναι κάτω από αυτό το όριο. Είναι ένα πολύ

ισχυρό φίλτρο που απομακρύνει με επιτυχία χαμηλές συχνότητες όπως είναι τα σήματα θορύβου.

- Φίλτρο χαμηλής διέλευσης 2ης τάξης στα 400Hz: Αυτό το φίλτρο επιτρέπει στις συχνότητες κάτω από τα 400Hz να περάσουν και μπλοκάρει όλες όσες είναι πάνω από αυτό. Θεωρείται πιο ήπιο φίλτρο από αυτό της 4ης τάξης, παρ' όλα αυτά επαρκεί για να απομακρύνει υψηλές συχνότητες.
- Notch φίλτρο στα 50Hz: Αυτό το φίλτρο έχει σχεδιαστεί για να απομακρύνει συγκεκριμένα την συχνότητα των 50Hz. Αυτή η συχνότητα συνήθως είναι του ηλεκτρικού δικτύου (AC power line) και μπορεί να εισάγει θόρυβο στα σήματα EMG.
- Κέρδος 2000:: Το σήμα EMG των μυών είναι πολύ χαμηλής τάσης και για να αναλυθεί πρέπει να ενισχυθεί. Για αυτόν τον λόγο πολλαπλασιάζεται επί 2000 για να είναι πιο εύκολο να μετρηθεί.
- Ψηφιοποίηση στα 2kHz και bit: Το σήμα δειγματοληπτείται 2000 φορές ανά δευτερόλεπτο καταγράφοντας με ακρίβεια τις πληροφορίες του σήματος EMG και στη συνέχεια αναλύεται σε 16bit.

Ταξινομητές

Οι τύποι ταξινομητών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατηγοριοποίηση των μυοηλεκτρικών σημάτων (EMG) είναι οι:

Linear Discriminant Analysis (LDA): Είναι μία τεχνική στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των δεδομένων. Μπρέι να αναγνωρίσει τις διαφορετικές κινήσεις που εμφανίζονται στα μυοηλεκτρικά σήματα και να τα κατηγοριοποιήσει.

One Vs One (OVO) : Αναφέρεται στην πολυκατηγορική ταξινόμηση των δεδομένων. Για κάθε σήμα που παράγεται πρέπει το σύστημα να το τοποθετεί στην κατηγορία που θα αντιστοιχεί. Αυτό πολλές φορές είναι δύσκολο όταν χρησιμοποιείται δυαδική ταξινόμηση όπως η LDA. Η μέθοδος OVO απλοποιεί τα πράγματα, αναγνωρίζοντας κοινά σημεία των σημάτων και οργανώνοντάς τα. Ο γενικός κανόνας είναι για N κατηγορίες αντιστοιχούν $N(N-1)/2$ ταξινομητές. Κάθε σήμα που εισάγεται, περνάει απ' όλους τους ταξινομητές και τελικά αποθηκεύεται στην πιο σωστή κατηγορία.

Multi-layer Perceptron (MLP): Ταξινομητής που χρησιμοποιείται για πολύπλοκα μοτίβα από δεδομένα.

MPL-AAM: Κάθε DOF ελέγχεται από έναν ξεχωριστό MLP.

Και οι δύο ταξινομητές ελέγχθηκαν τόσο στην κίνηση μεμονωμένων όσο και ταυτόχρονων κινήσεων. Οι μεμονωμένες κινήσεις είναι αυτές που εκτελούνται ξεχωριστά (μόνο κάμψη, μόνο έκταση) ενώ οι ταυτόχρονες κινήσεις είναι αυτές που εκτελούνται μαζί (έκταση και περιστροφή ταυτόχρονα). Κατά την εκτέλεση της έρευνας δινότουσαν οδηγίες στον ασθενή για ποιες κινήσεις θα πραγματοποιήσει λέγοντας του να τις εκτελεί σαν να είχε ακόμα το άκρο που λείπει. Οι εγγραφές γινότουσαν σε πραγματικό χρόνο εκτελώντας και τις 8 κινήσεις σε τυχαία σειρά σε μία συνεδρία διάρκειας 10 λεπτών στο AR. Το μήκος και η κίνηση του εικονικού άκρου αποτυπωνόταν στην οθόνη και ο ασθενής προσπαθούσε να το ακολουθήσει. Γι' αυτού του είδους την δραστηριότητα χρησιμοποιήθηκε το LDA-OVO. Ύστερα από αυτές τις κινήσεις η έρευνα συνεχίστηκε με συνδυασμό κινήσεων χρησιμοποιώντας το MLP-AAM με στόχο ο ασθενής αν παίξει ένα παιχνίδι αγώνων, το Trackmania Nations forever. Το παιχνίδι ελεγχόταν μέσω της κάμψης-έκτασης καρπού που μεταφραζόταν ως αριστερά-δεξιά και της κάμψης-έκτασης του καρπού που μεταφραζόταν ως επιτάχυνση-επιβράδυνση του αυτοκινήτου. Ως τελευταία δοκιμή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος TAC (Target Achievement Control) κατά την οποία εκτελεί ξανά όλες τις κινήσεις ως εργαλείο αποκατάστασης, με τον ασθενή να οπτικοποιεί το προσθετικό του μέλος στην οθόνη. [115]

4.4.3 Αποτελέσματα έρευνας

Η διάρκεια της έρευνας ήταν 18 εβδομάδες, τις πρώτες 13 εβδομάδες εφαρμοζόταν μία φορά την εβδομάδα ενώ τις τελευταίες 5 εβδομάδες 2 φορές την εβδομάδα με εξαίρεση την τελευταία κατά την οποία ο ασθενής απουσίασε για προσωπικούς λόγους. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, ο ασθενής ήταν χρόνιος με PLP για τον οποίο πολλές άλλες θεραπείες είχαν αποδειχθεί αναποτελεσματικές. Μετά την πρώτη συνεδρία ο πόνος του ασθενή φαίνεται που σημείωσε μία αύξηση, φαινόμενο σπάνιο παρόλα αυτά εφικτό. Κατά τη μέθοδο του καθρέφτη υπήρξαν ασθενείς η οποίοι αντί να βελτιώσουν το PLP, φαίνεται πως το ενέτειναν. Σε αυτή την περίπτωση δεν φαίνεται να ισχύει κάτι τέτοιο αφού ήδη από τη δεύτερη συνεδρία και μετά, ο πόνος μειώθηκε ελαφρώς σημειώνοντας μία αργή αλλά σταθερή βελτίωση. Από την τέταρτη εβδομάδα έως και την δωδέκατη ο ασθενής αναφέρει ότι εμφανίζει επεισόδια χαμηλότερης έντασης πόνου ενώ από την 12η και μετά υπάρχει σχεδόν απουσία πόνου έως και την τελευταία εβδομάδα που χαρακτηρίζεται πλήρως ανώδυνη. Σημαντική σημείωση αποτελούν οι περίοδοι χωρίς πόνο 15 με 60 λεπτών αμέσως μετά τις συνεδρίες. Ο ασθενής σχολίασε τα αποτελέσματα πώς είναι κάτι νέο για αυτόν και είναι μια εξαιρετικά ευχάριστη αίσθηση. Ο ασθενής λόγω αγροτικής δραστηριότητας, εκτελούσε καθημερινά μιας σειράς από σωματικές εργασίες χρησιμοποιώντας την πρόθεσή του. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να επιβαρύνει με επιπλέον πόνο το κολόβωμα τις επόμενες μέρες. Φαίνεται πως η

έρευνα σημείωσε πρόοδο και σε αυτό το κομμάτι μειώνοντας το PLP και άρα βοηθώντας τον δουλέψει ποιοτικότερα και περισσότερο. Εν απουσία της οπτικής ανατροφοδότησης αναφέρει πως είναι σε θέση να ελέγχει την κίνηση του φαντάσματος άκρου του κατά βούληση. Επίσης είναι σε θέση να σταματάει τα επεισόδια πόνου ενώ το συνεχές ξύπνημα λόγω πόνου το βράδυ έχει ελαττωθεί πλήρως. Η αυτοαντίληψη του ασθενούς, σε συνδυασμό με την οπτική ανάδραση δίνουν στον ασθενή τη δυνατότητα να βιώνει το άκρο του μέσω της σκέψης. Παράδειγμα της θέσης του ακρωτηριασμένου χεριού του αναφέρεται όταν το ακουμπάει στο τραπέζι. Κατά την επαφή του χεριού του στο έπιπλο η αντιληπτή θέση του χεριού μετακινείται πίσω στο άκρο του κολοβώματος (μόνο με την αισθητηριακή ανάδραση). Όταν όμως αρχίσει να σκέφτεται φανταστικές κινήσεις η αντιληπτή θέση αποκαθίσταται στην φυσιολογική ανατομία. Αυτό ακριβώς το παράδειγμα αποδεικνύει την πολυπλοκότητα της αυτοαντίληψης και το πως μπορεί να αλλοιωθεί μέσω της αισθητηριακής ανάδρασης και της κινητικής εκτέλεσης. Ο ασθενής περιγράφει πως το χέρι φάντασμα το νιώθει ως μία κλειστή γροθιά σφιγμένη, η οποία κατά το πέρασμα των συνεδριών μετατράπηκε σε ένα μισό χαλαρό χέρι. Η εικόνα που περιγράφει είναι η εικόνα της απεικόνισης που παρακολουθούσε όμως δεν έχει εξακριβωθεί εάν αυτό οφείλεται όντως στην εικονική απεικόνιση και επηρέασε την αντίληψη του ασθενή ή είναι η ίδια η ικανότητά του να κινεί το άκρο φάντασμα. Οι συνεδρίες δεν έχουν τερματιστεί για να αξιολογείται το μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα. Επιπλέον, οι επιστήμονες το θεωρούν ανήθικο να τερματίσουν τη θεραπεία, δεδομένης της ικανοποίησης που ανέφερε ο ασθενής έπειτα από 48 χρόνια χρόνιου πόνου. Του έχει παρασχεθεί ένα αυτόνομο μηχανήμα για χρήση στο σπίτι του με την παρακολούθηση του να γίνεται κάθε δύο μήνες για έναν χρόνο και έπειτα κάθε χρόνο για πέντε χρόνια. Το σίγουρο συμπέρασμα της έρευνας είναι πως ο συνδυασμός μυοηλεκτρικού ελέγχου ενός εικονικού άκρου, η χρήση της AR που μεταφέρει την ενισχυμένη ψευδαίσθηση και η ψυχαγωγία του gaming επέτρεψε στον ασθενή να ελέγχει την κίνηση φάντασμα κατά βούληση ακόμα και εκτός των συνεδριών. Μείωσε τον πόνο φάντασμα τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας επιτρέποντας στον ασθενή να επιστρέψει έπειτα από 48 χρόνια σε μία φυσιολογική ζωή. [115]

5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.

5. Συμπεράσματα.

Ο εγκέφαλος ορίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Όλες οι σκέψεις, τα συναισθήματα, η μνήμη, η βούληση αλλά και η επικοινωνία του οργανισμού τόσο με το έξω όσο και με το εσωτερικό περιβάλλον (τα όργανα), ελέγχονται από τον εγκέφαλο. Οι κύριες κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται το σύστημά του είναι το ΚΝΣ και το ΠΝΣ. Η επικοινωνία με τα εσωτερικά όργανα και τις εξωτερικές συνθήκες κρίνουν απαραίτητη την επιβίωση του ανθρώπου. Τα κύτταρα του νευρικού συστήματος ονομάζονται νευρώνες και η δουλειά του είναι ακριβώς αυτή, να δέχονται και να μεταφέρουν οποιαδήποτε πληροφορία για τον οργανισμό. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι ότι αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος είτε κάποια φλεγμονή σε κάποιο όργανο (άρα πρέπει να σταλθούν περισσότερα λευκά κύτταρα για να την αντιμετωπίσουν) είτε λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (άρα πρέπει να ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός της εφίδρωσης για να το αποτρέψει). Για κάθε λειτουργία που παράγεται στο ανθρώπινο σώμα, υπάρχουν τα αντίστοιχα νεύρα πίσω από αυτές εκτελώντας κινήσεις ακούσιες όπως είναι ο χτύπος της καρδιάς, αλλά και εκούσιες όπως είναι το περπάτημα. Τα νευρικά κύτταρα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του νευρικού δικτύου που σχηματίζουν. Μέσα στον εγκέφαλο καταλαμβάνουν πολύ χώρο δημιουργώντας δίκτυα επικοινωνίας και συνάψεις μέσω των οποίων επιτρέπεται η αλληλεπίδραση τους. Οποιοδήποτε πρόβλημα παρατηρηθεί στους νευρώνες οδηγεί στην νευροπάθεια δηλαδή, στην ασθένεια και διαταραχή των νεύρων. Ανάλογα με τη θέση της βλάβης και το είδος των νευρώνων επηρεάζονται διαφορετικές λειτουργίες, παρουσιάζοντας μία σειρά συμπτωμάτων. Επειδή οι λειτουργίες που καλείται να εκτελέσει ο εγκέφαλος είναι εξαιρετικά πολλές, είναι χωρισμένος σε δύο βασικές κατηγορίες. Το ΚΝΣ αποτελείται από τον νωτιαίο μυελό και τον εγκέφαλο τα οποία περιβάλλονται και προφυλάσσονται από τα κόκαλα του κρανίου και της σπονδυλικής στήλης. Εκτελεί τις πιο βασικές, δύσκολες και ζωτικής σημασίας λειτουργίες. Είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία της πληροφορίας που λαμβάνει από τις αισθήσεις του οργανισμού, δέχεται και επεξεργάζεται τα ερεθίσματα από τον έξω κόσμο, ευθύνεται για την εκδήλωση της σκέψης και της λογικής καθώς και όλων των ζωτικών λειτουργιών. Χρησιμοποιεί τα μάτια, την αφή, την μυρωδιά, τη γεύση και την ακοή για να λαμβάνει τις πληροφορίες που χρειάζεται. Χωρίς αυτά

η επιβίωση του ανθρώπου καθίσταται αδύνατη. Το σύμπλεγμα αυτών των χειρισμών, ο συνδυασμός τους και η ομαλή λειτουργία δημιουργούν τον άνθρωπο, κάθε έναν απόλυτα ξεχωριστό, απόλυτα μοναδικό. Η επιστήμη που παρατηρεί, ερευνά και μελετά το νευρικό σύστημα ονομάζεται νευροεπιστήμη και έχει εφαρμογές στη ψυχολογία, στη ψυχιατρική, στη φαρμακολογία και στην τεχνολογία. Πραγματοποιούνται συνεχώς έρευνες για το νευρικό σύστημα ώστε να μπορέσουν να γίνουν κατανοητές οι νευρολογικές διαταραχές. Μόνο εάν μπορέσουν να κατανοηθούν πλήρως και να βρεθεί η αιτία δημιουργίας τους θα καταφέρουν να αναπτύξουν θεραπείες. Οι πιο γνωστές και σημαντικές τεχνικές που χρησιμοποιούν οι νευροεπιστήμονες είναι η EEG, η MRI, η BCI και η χρήση νευροχημικών μεθόδων. Με αυτούς τους τρόπους καταφέρνουν να μελετήσουν τις νευροδιαβιβάσεις και να εντοπίσουν πιθανόν πρόβλημα. Από την άλλη πλευρά, το ΠΝΣ αποτελείται κυρίως από τα νεύρα και δεν προστατεύεται από οστά. Αποτελείται από τα περιφερικά γάγγλια, τα νεύρα, τις νευρικές απολήξεις, τους υποδοχείς και τους εκτελεστές του σώματος. Τα νευρικά κύτταρα για να μπορούν να καλύψουν ολόκληρη την υποδομή του σώματος είναι χωρισμένα σε κατηγορίες όπου κάθε μία αναλαμβάνει τη διεκπεραίωση ενός σκοπού. Έτσι, υπάρχουν τα αισθητικά, τα κινητικά και τα μεικτά νεύρα. Το σώμα μας έχει πολλούς μηχανισμούς άμυνας που μας προστατεύουν από κινδύνους και από ατυχήματα. Σε έναν ακρωτηριασμό, στην απώλεια δηλαδή κάποιου μέλους του σώματος, πολλές φορές ο εγκέφαλος αδυνατεί να κατανοήσει τι έχει συμβεί δημιουργώντας μία αναστάτωση στον οργανισμό. Σε αυτή την πτυχιακή, εξετάζουμε και ερευνούμε με ποιους τρόπους επηρεάζεται ο οργανισμός κατά τον ακρωτηριασμό και πως η τεχνολογία σε συνδυασμό με την ιατρική έχει βελτιώσει το επίπεδο ζωής των ασθενών. Για να μπορούμε να φτάσουμε μέχρι τα ηλεκτρικά συστήματα, πρέπει να καταλάβουμε τι είναι επί της ουσίας ο ακρωτηριασμός και τι προκαλεί.

Με τον όρο ακρωτηριασμός ορίζεται η αφαίρεση μέλους ή τμήματος αυτού από το υπόλοιπο σώμα. Ως σημαντική απώλεια, από την πλευρά της ιατρικής, θεωρείται η αποκοπή των άκρων πάνω από τον αστράγαλο και τον καρπό, ενώ ως η μικρότερη απώλεια θεωρείται η αποκοπή κάτω του αστραγάλου και του καρπού. Διάφοροι είναι οι λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια μέλους με την επιστήμη να τους διακρίνει στους τραυματικούς και τους ιογενείς παράγοντες. Ατυχήματα εν ώρα εργασίας, ατυχήματα με μέσα συγκοινωνίας, πόλεμος, παθήσεις που κρίνεται αναγκαίο η αφαίρεση του άκρου όπως ο διαβήτης, κακοήθειες νεοπλασίες είναι οι πιο συχνές αιτίες ακρωτηριασμών. Η διαδικασία επούλωσης και εκμάθησης της νέας πλέον ζωής απαιτεί υπομονή και χρόνο. Οι άνθρωποι χρειάζονται ψυχολογική υποστήριξη αφού μόνο μετά το χειρουργείο συνειδητοποιούν ότι η ζωή τους πλέον αλλάζει οριστικά. Μία τέτοια εγχείρηση αποτελεί μία από τις σοβαρότερες χειρουργικές επεμβάσεις και σε κανένα σημείο δεν πρέπει να θεωρείται ως αποτυχημένη προσπάθεια αλλά το σημαντικότερο βήμα για την εξασφάλιση της ζωής του ασθενή.

Οι πρώτοι ακρωτηριασμοί είχαν αναφερθεί από τον Ιπποκράτη το 460-337 π.Χ. όπου είχε προτείνει την αποκοπή μέλους ως αντιμετώπιση της γάγγραινας. Βέβαια, χωρίς την κατάλληλη αποστείρωση και λήψη φαρμάκων, οι περισσότεροι άνθρωποι κατέληγαν είτε από σήψη, είτε από μόλυνση, είτε από τον ίδιο τον πόνο. Ύστερα από τον ακρωτηριασμό, το κολόβωμα, δηλαδή το τμήμα μέλους ή οργάνου που απομένει μετά την εγχείρηση, παρουσιάζει το λεγόμενο RLP. Φαίνεται πως οι ασθενείς, έπειτα από την αφαίρεση κάποιου άκρου ή οργάνου εξακολουθούσαν να το αισθάνονται και να νιώθουν πόνο σαν αυτό να βρίσκεται ακόμα εκεί. Ο Ambroise Pare ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στο RLP. Η αιτία βρίσκεται στα νευρικά δίκτυα τα οποία κατά τον τραυματισμό και έπειτα τον ακρωτηριασμό μεταφέρουν λανθασμένα σήματα κάνοντας τους ασθενείς να νιώθουν πόνο και αν αισθάνονται το μέλος που λείπει. Μάλιστα, οι ασθενείς αναφέρουν πως ο πόνος είναι τόσο επώδυνος, καυστικός και συνεχής που πολλές φορές εμποδίζουν την καθημερινότητά τους. Ανά τα χρόνια, έχουν υπάρξει πολλοί επιστήμονες που ασχολήθηκαν με το να βρουν τον λόγο για τον οποίο δημιουργείται ο πόνος φάντασμα. Θεραπείες όπως ο βελονισμός, η νευροδιέγερση, ο υπνωτισμός, και τα αντικαταθλιπτικά χάπια δεν έφεραν κάποιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα έγινε μία τεράστια συσχέτιση από τους επιστήμονες Patrick Wall και Ronald Melzack. Η θεωρία τους, τράβηξε το επίκεντρο της προσοχής από τους νευρώνες που φαινόταν πως ήταν ο λόγος της δημιουργίας του πόνου και μεταφέρθηκε στον εγκέφαλο. Αυτή η μετατόπιση άνοιξε νέους ορίζοντες στη μελέτη και την κατανόηση της ασθένειας. Μερική βελτίωση υπήρξε με την μέθοδο του καθρέφτη κατά την οποία ο ασθενής τοποθετείται μπροστά σε έναν καθρέφτη και καλείται να παρατηρεί και να επαναλαμβάνει τις κινήσεις που εκτελεί ο ίδιος με το υγιές του μέλος. Φαίνεται πως ο εγκέφαλος μπερδεύεται με την οπτική ανάδραση ελαττώνοντας τα επίπεδα πόνου του. Σήμερα, η συγκεκριμένη έρευνα έχει εξελιχθεί και στη θέση του καθρέφτη υπάρχει υπολογιστής, ο οποίος είναι σε θέση να αναπαριστά το ακρωτηριασμένο μέλος και παράλληλα να λαμβάνει τις απαραίτητες μετρήσεις. Το πλεονέκτημα συγκριτικά με την απλή μέθοδο του καθρέφτη είναι πως μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ανθρώπους χωρίς τον περιορισμό του μονού ακρωτηριασμού, αφού χρειαζόταν το υγιές μέλος για να εκπαιδεύεται το μέλος φάντασμα. Τώρα, διπλοί ακρωτηριασμοί αναπαρίστανται στην οθόνη βελτιώνοντας τη ζωή περισσότερων ανθρώπων. Δυστυχώς, ακόμα και σήμερα, σίγουρη θεραπεία δεν υπάρχει, με τις έρευνες να συνεχίζονται για την ενδελεχέστερη κατανόηση της αιτίας.

Ο ασθενής όταν πρόκειται να εγχειριστεί για ακρωτηριασμό προετοιμάζεται σε 3 διαφορετικές φάσεις. Η πρώτη είναι η προ εγχειρητική προετοιμασία κατά την οποία γίνονται οι απαραίτητες εξετάσεις στα ζωτικά του όργανα όπως ορίζεται πριν από κάθε χειρουργείο, πραγματοποιείται πρόγραμμα με ασκήσεις ενδυνάμωσης για να μπορεί το υγιές μέλος να αντέξει το βάρος του σώματος του καθώς αυτό πλέον θα είναι το μόνο λειτουργικό, ασκήσεις εκμάθησης της νέας

χρήσης του υγιές του μέλους ενώ ταυτόχρονα παρέχεται ψυχολογική υποστήριξη από ειδικό γιατρό. Αμέσως μετά ακολουθεί η ίδια η επέμβαση του ακρωτηριασμού που μπορεί να είναι προγραμματισμένη, συνήθως κάποιας σοβαρής ασθένειας, με τον ασθενή να γνωρίζει τα βήματα της διαδικασίας αλλά μπορεί να είναι και απρόοπτη, συνήθως λόγω ατυχήματος με τον ασθενή να βιώνει το μετέπειτα σοκ πολύ πιο έντονα αφού δεν είχε προλάβει να προετοιμαστεί ψυχολογικά. Μετά την εγχείρηση ακολουθεί η μετά εγχειρητική περίοδος κατά την οποία λαμβάνει την απαραίτητη φροντίδα που χρειάζεται. Το κολόβωμα δένεται με ελαστικό επίδεσμο και ξεκινούν οι διαδικασίες για κατασκευή προσωρινής πρόθεσης. Η πρόθεση στην οποία θα καταλήξει να χρησιμοποιεί ο ασθενής, επηρεάζεται από το σημείο και το ύψος του ακρωτηριασμού, την κατάσταση της υγείας και την αντοχής του, της ηλικίας του, της φυσικής δραστηριότητάς και επαγγελματικής απασχόλησής του. Η απώλεια ενός άκρου ή τμήματος του, δυσχεραίνει τη ζωή των ανθρώπων οι οποίοι ζητούν τρόπο αντικατάστασης του εκλιπόντος μέλους. Υπάρχουν πολλές αναφορές σε προσπάθειες προσθετικής πρόθεσης ήδη από τη μυθολογία των Αζτέκων, την αρχαία Ελλάδα και Αίγυπτο αλλά και πιο σύγχρονες όπως στον Α Παγκόσμιο πόλεμο που δείχνουν ακριβώς αυτό, την αναγκαιότητα και την σπουδαιότητα του ανθρώπου να είναι αρτιμελής στη ζωή. Το πιο απλό είδος πρόθεσης είναι οι κοσμητικές προθέσεις ή αλλιώς παθητικές. Στα υπέρ τους συγκαταλέγονται το ότι είναι όμορφες, αντιγράφουν το υγιές μέλος στην εμφάνιση, είναι οικονομικές χωρίς πρόσθετο βάρος. Δεν είναι κατασκευασμένες για να παρέχουν λειτουργικότητα και κίνηση γι' αυτό δεν μπορεί να εξυπηρετήσει πολλές ανάγκες. Επόμενη κατηγορία προθέσεων είναι οι τροφοδοτούμενες προθέσεις, οι οποίες λειτουργούν μέσω των ιμάντων. Παρέχουν και αυτές περιορισμένη κίνηση, είναι οικονομικές όμως σχετικά βαριές. Η επόμενη και πιο σημαντική πρόθεση, την οποία μελετάει η εργασία μας, είναι η μύσηλεκτρική πρόθεση. Κατάλληλα ηλεκτρόδια τοποθετημένα στην επιφάνεια του μυ επεξεργάζονται τις μυϊκές τάσεις και με τη βοήθεια ενός ενσωματωμένου συσσωρευτή επιτυγχάνεται η κίνηση του μέλους. Για παράδειγμα, μία ισχυρή μυϊκή σύσπαση μπορεί να πραγματοποιήσει την κάμψη και αντίστοιχα, μία αδύναμη την έκταση. Προσφέρουν ένα όμορφο αισθητικό αποτέλεσμα εξυπηρετώντας τους ανθρώπους αφού μπορούν να ξανά πραγματοποιήσουν δουλειές όπως το ντύσιμο, η οδήγηση, το μαγείρεμα. Ο έλεγχος που προσφέρουν στον αντίχειρα παρέχει έλεγχο σε λεπτομερείς κινήσεις όπως είναι το κλείσιμο ενός κουμπιού και η τοποθέτηση του κλειδιού στην πόρτα. Όταν εκτελείται μία κίνηση, οι νευρώνες του εγκεφάλου δίνουν σήμα στους μυς για να συσπαστούν και να εκτελέσουν την εντολή-κίνηση. Με αυτόν τον τρόπο παράγονται ηλεκτρικά σήματα τα οποία καταγράφονται από τους ηλεκτροδιακοπτικούς αισθητήρες. Αυτά με την σειρά τους μεταφράζονται σε ψηφιακά δεδομένα μέσω ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Κάθε εταιρεία παρασκευής μύσηλεκτρικών προσθετικών χρησιμοποιεί ατομικευμένους αισθητήρες, ηλεκτρόδια επιφάνειας για την καταγραφή των EMG

σημάτων. Αυτά αναλύονται και ερμηνεύονται από ειδικούς υπολογιστικούς αλγορίθμους λαμβάνοντας υπόψιν τη δύναμη, το χρόνο και την ταχύτητα κίνησης.

Οι πιο γνωστές και ευρέως διαδεδομένες μυοηλεκτρικές προθέσεις άνω άκρων είναι το Michelangelo από τον οίκο Otto Bock, ένα εξαιρετικό προσθετικό άκρο παρέχοντας στον αντίχειρα κίνηση και δυνατότητα ενεργής κάμψης και έκτασης καρπού. Οι άνθρωποι που το χρησιμοποιούν έχουν επιστρέψει ολοκληρωτικά σε κάθε είδους καθημερινής εργασίας. Είναι ελαφρύ, γρήγορο, αθόρυβο, δυνατό όμως το κόστος του παραμένει υψηλό αποθαρρύνοντας πολλούς ανθρώπους από το να το δοκιμάσουν. Εξίσου σημαντικά θεωρούνται το Mind Controlled Bionic Arm από την εταιρεία Stepper και το I-limb από την εταιρεία Össur, η οποία διαθέτει το βιονικό δέρμα. Πρόκειται για έναν πολύ ευλύγιστο αισθητήρα, ο οποίος τοποθετείται στα άκρα των δαχτύλων κάποιων προθέσεων έχοντας την ιδιότητα να αντιγράφει την αίσθηση της αφής, κάτι που οι άνθρωποι με προθέσεις αδυνατούν να αισθανθούν. Η ίδια φιλοσοφία με κάποιες έντονες διαφορές ακολουθείται στους ακρωτηριασμούς των κάτω άκρων. Ανάλογα το σημείο ακρωτηριασμού διακρίνεται στον μερικώς ακρωτηριασμό άκρου πόδα και πρόκειται για απώλεια δαχτύλου ή μέρους του πέλματος. Από πλευρά ιατρικής, θεωρείται αμελητέα απώλεια αφού ο ασθενής χρησιμοποιεί πολύ εύκολο ένα ορθοτικό πέλμα χωρίς να χάσει τη λειτουργικότητά του. Οι βαδιστικές απαιτήσεις ξεκινούν από τον ακρωτηριασμό όλου του πέλματος (Symes) και όσο ανεβαίνει πιο ψηλά αυξάνεται η πολυπλοκότητα και η δυσκολία τόσο της εγχείρησης όσο της αποκατάστασης. Ο πιο ψηλός ακρωτηριασμός στα κάτω άκρα είναι η ημιπυελοτομή, κατά τον οποίο αφαιρείται μέρος της πυέλου και όλο το κάτω άκρο. Ευτυχώς, αποτελεί σπάνια περίπτωση και πραγματοποιείται σε μεγάλες κακοήθειες σε αυτήν την περιοχή. Πολύ γνωστή μυοηλεκτρική πρόθεση κάτω άκρων είναι το C-leg της εταιρείας Otto Bock. Δεν χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια αλλά μικροεπεξεργαστές προσφέροντας ακριβείς αναπροσαρμογές κατά τον βηματισμό, στήριξη και ισορροπία. Τοποθετούνται αισθητήρες γωνίας και επιτάχυνσης που λαμβάνουν δεδομένα και αυτά με την σειρά τους αποστέλλονται στον μικροεπεξεργαστή ο οποίος προσαρμόζει τη θέση της κίνησης ανάλογα με την ανάγκη που έχει ο χρήστης. Το σύστημα που χρησιμοποιεί η Otto Bock για να αντιγράψει το ΚΝΣ του ανθρώπου είναι το AxonBus. Άλλα σημαντικά προσθετικά είναι το Proprio foot της Össur, το Empower Ankle και το iWalkBiom που χρησιμοποιεί ρομποτική τεχνολογία δίνοντας το ίδιο ώθηση στον χρήστη κατά την πραγματοποίηση της κίνησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην τον επιβαρύνει επιπλέον και να μην τον καταπονεί. Παρ' όλα αυτά, ο ακρωτηριασμός είτε άνω είτε κάτω άκρων επηρεάζει σημαντικά την ψυχολογία των ανθρώπων και αλλάζει ριζικά τη ζωή τους. Οι ασθενείς έρχονται αντιμέτωποι με το σοκ και το τραύμα, και το πρώτο διάστημα του ακρωτηριασμού πενθούν την απώλεια ενός σημαντικού μέρους του σώματος τους. Συχνά αντιμετωπίζουν συναισθήματα κατάθλιψης, δυσκολεύονται να ενταχθούν στην

κοινωνία λόγω δικιάς τους ανασφάλειας, είτε άλλοτε δεν είναι πρακτικά εφικτό. Δεν είναι λίγες οι φορές μάλιστα, που τέτοια άτομα περιθωριοποιούνται και δυσκολεύονται να δημιουργήσουν προσωπικές και κοινωνικές σχέσεις. Είναι σημαντικό λοιπόν να παρέχεται ψυχολογική υποστήριξη από ψυχολόγους, από τον κοινωνικό περίγυρο και το ίδιο το κράτος να μεριμνά για την επανένταξή τους.

Προτού προηγηθεί ο σχεδιασμός της πρόθεσης, έχει μελετηθεί η κινησιολογία και ο κύκλος βάδισης που τηρεί ο ασθενής. Τα στάδια είναι συγκεκριμένα και αυστηρά. Υπάρχουν κανόνες που ακολουθούνται όπως είναι η φάση στήριξης και η φάση αιώρησης. Κάθε μία φάση έχει δικά της χαρακτηριστικά, με την κίνηση των ποδιών να διαφοροποιείται σε κάθε ένα στάδιο. Με τη χρήση πρόθεσης, η ταχύτητα βάδισης των ακρωτηριασθέντων μειώνεται περίπου κατά 29%, πάντα συγκριτικά με αυτή ενός υγιούς ατόμου. Μια τεχνική που προσπαθεί να διαφοροποιηθεί από τα μυοηλεκτρικά συστήματα είναι η TMR. Σε αυτήν την τεχνική γίνεται μία προσπάθεια τα διατετημένα νεύρα μετά τον ακρωτηριασμό να μεταφερθούν σε άλλες μυϊκές ομάδες με απονευρωμένα νεύρα αναδημιουργώντας έτσι την αίσθηση της αφής. Η τεχνική είναι δύσκολη στη χρήση της καθώς συχνά δεν υπάρχει κατάλληλη μυϊκή μάζα στην γύρω περιοχή και χρειάζεται μεγάλος αριθμός ηλεκτροδίων. Μια λύση στα επιφανειακά ηλεκτρόδια, είναι τα ηλεκτρόδια IMES, πολύ μικροί κύλινδροι που τοποθετούνται στη γαστέρα του μυ. Το πλεονέκτημά τους βασίζεται στο μέγεθος και το βάθος τοποθέτησης που τα καθιστά ικανά να αντιληφθούν μυϊκές συσπάσεις σε εν τω βάθει μυς στους οποίους πιο πριν δεν είχαν καταγράψει σήματα. Για ακόμα μία φορά, υπάρχουν περιορισμένες μυϊκές ομάδες διαθέσιμες μετά τον ακρωτηριασμό πράγμα που τα καθιστά αχρείαστα. Άλλη κατηγορία ηλεκτροδίων αποτελούν τα ενδοκοιδικά ηλεκτρόδια LIFE τα οποία τοποθετούνται μέσα σε κοίλα οστά όπως είναι το μηριαίο. Πρόκειται για μία προηγμένη τεχνολογία για την συλλογή μυϊκών σημάτων αφού λόγω αυτής της εμφύτευσης τους μπορούν να καταγράψουν καθαρά και ισχυρά σήματα μειώνοντας τις παρεμβολές και τον θόρυβο συγκριτικά με τα επιφανειακά. Εξίσου σημαντικά είναι τα ηλεκτρόδια USES και TIME.

Άλλο πληροφοριακό σύστημα για την ανάπτυξη των προσθετικών μελών είναι το BCI. Πρόκειται για διεπαφές εγκεφάλου και υπολογιστή. Κατάλληλα ηλεκτρόδια τοποθετούνται είτε εξωκρανικά είτε ενδοκρανικά στον υποσκληρίδιο εγκεφαλικό χώρο του κρανίου. Αποτελούν την πιο σύγχρονη τεχνολογία για τη μελέτη της κίνησης ή σύλλεξης σημάτων για τοποθέτηση μυοηλεκτρικής πρόθεσης. Η επικοινωνία της συσκευής και του εγκεφάλου πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο επιτρέποντας στους ασθενείς να ελέγχουν την πρόθεση με την σκέψη τους. Για μία επιτυχή επέμβαση πραγματοποιείται χαρτογράφηση του εγκεφαλικού φλοιού και συζητούνται τα όρια της εκτομής. Αμέσως μετά ξεκινάει η διέγερση του εύγλωττου φλοιού, μία εξαιρετικά επικίνδυνη διαδικασία καθώς η περιοχή αυτή (Broca's area) βρίσκεται στον μετωπιαίο λοβό και είναι

υπεύθυνη για τη λειτουργία της ομιλίας, της σκέψης, της έκφρασής και της σύνταξης προτάσεων. Περιθώριο λάθους δεν υπάρχει και αυτό καθιστά τη δυσκολία της διαδικασίας πολύ μεγάλη. Τα συστήματα ECoG χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά περίπου το 1950 από τον Herbert Jasper και τον Wilder Penfield οι οποίοι ειδικεύονταν στο κομμάτι της επιληψίας καθώς μέσω των σημάτων παρατήρησαν πως μπορούν να εντοπίσουν επιληπτογενείς περιοχές και να τις χαρτογραφήσουν. Στο σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την καταγραφή της δραστηριότητας του κινητικού φλοιού, για τον έλεγχο της προσθετικής και τον έλεγχο των δαχτύλων. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες, σε όλα τα συστήματα στα οποία υπάρχει διεπαφή νευρώνων με ηλεκτρόδια οποιασδήποτε τεχνολογίας και μορφής, είναι εάν αυτά είναι βιώσιμα για τον εγκέφαλο και τους μύες και αν ναι για πόσο διάστημα. Οι έρευνες έχουν δείξει πως η FBR μπορεί να προκαλέσει χρόνια φλεγμονή και κυτταρικό θάνατο ενώ μπορεί να προκαλέσει στον εγκέφαλο εγκεφαλική αγγείωση, σπάζοντας αυτό που είναι γνωστό ως αιματοεγκεφαλικός φραγμός. Αντίθετα, η διεπαφή ηλεκτροδίων στους μύες είναι πιο βιώσιμη αλλά απαιτεί ειδικά σχεδιασμένα και εύκαμπτα υλικά για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της συσταλτικής φύσης των μυών. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι είτε υποδερμικές πλάκες που τοποθετούνται κάτω από τις μήνιγγες του εγκεφάλου και πάνω στην επιφάνεια του φλοιού, είτε επιφανειακά πλέγματα τα οποία τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια του εγκεφάλου καλύπτοντας μεγαλύτερες περιοχές ταυτόχρονα, είτε τα μικροηλεκτρόδια τα οποία έχουν πολύ μικρό μέγεθος και μπορούν να απομονώσουν μικρότερες ομάδες νευρώνων. Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλεκτροδίων είναι τα πολυμερή υλικά, το νάιλον, η πλατίνα, το ιρίδιο, τα νανοσύρματα και τα νανοσωματίδια.

Δύο αξιοσημείωτες έρευνες που έχουν διεξαχθεί με την χρήση BCI είναι η έρευνα «Αποκωδικοποίηση μεμονωμένων δαχτύλων με τη χρήση του φίλτρου Kalman Refit» και η «Η αντιμετώπιση του PLP μέσω του προγράμματος MCARE. Στην πρώτη έρευνα κατασκευάστηκε το μηχανήμα manipulandum το οποίο ήταν ειδικά σχεδιασμένο να απομονώνει τις κινήσεις των δαχτύλων. Χρησιμοποιήθηκαν 2 πίθηκοι, ο monkey W και ο monkey N στους οποίους τοποθέτησαν ηλεκτρόδια στους M1 και S1 φλοιούς. Ο λόγος που επιλέχτηκαν οι συγκεκριμένοι φλοιοί είναι γιατί ο πρώτος είναι υπεύθυνος για τον εκούσιο έλεγχο της κίνησης των μυών και ο δεύτερος είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία των αισθητικών πληροφοριών στο σώμα. Η έρευνα αξιολόγησε κατά πόσο τα διάφορα DOF εκπροσωπούνται σωστά στις καταγραφές νευρικών μονάδων. Για να γίνει αυτό, οι πίθηκοι εκτελούσαν συγκεκριμένες κινήσεις των δαχτύλων μέσω του συστήματος που δημιούργησαν. Το φίλτρο Refit μείωσε τα προβλήματα στην αποκωδικοποίηση, όπως είναι η περιφορά της τροχιάς που επηρεάζουν την ακρίβεια και την ταχύτητα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός DOF, τόσο αυξάνεται και η δυσκολία στο να ελεγχθούν οι ξεχωριστές κινήσεις, γι' αυτό

χρησιμοποιήθηκε ένας ταξινομητής θα μπορεί να τις διακρίνει με υψηλή ακρίβεια. Τα αποτελέσματα της έρευνας απέδειξαν πως η ανάλυση και η αποκωδικοποίηση νευρικών σημάτων μπορεί να επιτρέψει τον έλεγχο προσθετικών μελών μέσω της σκέψης και της νευρωνικής δραστηριότητας. Στη δεύτερη έρευνα εφαρμόστηκε μία πιο σύγχρονη και εξελιγμένη έκδοση του καθρέφτη για την αντιμετώπιση του PLP. Χρησιμοποιήθηκε VR αναπαριστώντας ένα ψηφιακό παιχνίδι και μέσω μίας κάμερας web εμφανιζόταν στην οθόνη το εικονικό μέλος φάντασμα. Ο άνδρας που πήρε μέρος στην έρευνα ήταν ηλικίας 72 ετών, με ακρωτηριασμό κάτω από την άρθρωση του αγκώνα και PLP επί 48 χρόνια. Στο παρελθόν έλαβε πολλές συμβατικές μεθόδους αντιμετώπισης χωρίς όμως κάποιο αποτέλεσμα. Στον ασθενή τοποθετήθηκαν ηλεκτρόδια στο κολόβωμα για να μπορούν να λαμβάνονται σήματα και να γίνει η επικοινωνία με τα υπολογιστικά συστήματα. Παρατηρήθηκε πως είχε σημαντική βελτίωση στην αίσθηση του μέλους φάντασμα φτάνοντας στο συμπέρασμα πως χρησιμοποιούνται διαφορετικά ημισφαίρια κατά την κινητική εκτέλεση και την κινητική φαντασία. Παρατηρώντας το εικονικό χέρι του στην οθόνη και ελέγχοντας το αυτοκίνητο στο gaming με την σκέψη του κατάφερε να εκπαιδεύσει τον εγκέφαλο να σκέφτεται πως το μέλος φάντασμα βρίσκεται εκεί. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ελαττωθεί ο πόνος του, η στάση του μέλους φάντασμα να χαλαρώσει αλλά και να μπορεί να ελέγχει τον πόνο και να τον περιορίζει. Ο ασθενής έπειτα από 48 χρόνια κατάφερε να ανακουφίσει τον πόνο του, ανοίγοντας νέους δρόμους θεραπείας και δοκιμασιών στους ασθενείς.

Με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας και της διαρκής μελέτης των επιστημόνων, υπάρχει ελπίδα πως στο μέλλον θα βρεθούν απλές και εύχρηστες λύσεις για όλους τους ανθρώπους. Ο τραυματισμός του νωτιαίου μυελού αποτελεί αντικείμενο έρευνας εδώ και πολλά χρόνια. Άνθρωποι με αναπηρίες, άνθρωποι με ακρωτηριασμένα μέλη έχουν πάρει μέρος σε σημαντικές έρευνες βοηθώντας πραγματικά στην επίλυση προβλημάτων. Ίσως στο μέλλον, τα ηλεκτρόδια, οι διεπαφές και τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα αποτελέσουν παρελθόν αφού θα υπάρξουν νέα, πολύ πιο καινοτόμα υλικά. Η ιατρική και η τεχνολογία είναι δύο επιστήμες που όταν ενωθούν έχουν τεράστια δύναμη, βοηθώντας ανθρώπους που το έχουν πραγματικά ανάγκη. Σε αυτήν την πτυχιακή προσπαθήσαμε να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του εγκεφάλου και με ποιους τρόπους μπορεί το πιο περίπλοκο όργανο του ανθρώπινου σώματος να μεταφραστεί σε ψηφιακά σήματα μπροστά σε μία οθόνη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. National Cancer institute, SEER, training modules, Organization of the Nervous System [ανακτήθηκε 10/11/2022]
- [2]. Jaseph Feher, Quantitative Human Physiology, an Introduction, 2^η Έκδοση 2017.
- [3]. Γεώργιος Κ. Παρασκευάς, 2021, Νευροανατομία: Κεντρικό Νευρικό σύστημα, 3^η έκδοση, εκδόσεις University studio press.
- [4]. Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., Mooney, R. D., Platt, M. L., & White, L. E. 2018, Neuroscience, 6^η έκδοση, εκδόσεις Oxford University Press.
- [5]. Παπαδόπουλος, Σ., 2016, Κλινική Νευροφυσιολογία: Ηλεκτροεγκεφαλογραφία και Εφαρμογές της, Εκδόσεις Λίτσας.
- [6]. Baron, R., & Janig, W., 2005, Pain: Peripheral Nervous System, Elsevier Academic Press.
- [7]. Σκαλτσάς, Π. 2014. Το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα και τα Γάγγλια: Δομή και Λειτουργία, Εκδόσεις Παρισιάνου.
- [8]. Γεώργιος Σάπκας, Καθηγητής Ορθοπαιδικής, «Σύγχρονες απόψεις επί των κακώσεων του νωτιαίου μυελού» Ιατρικές εκδόσεις Καυκάς, Εκδότης Γ.Σ Σάπκας, 2010.
- [9]. Παναγής Γεώργιος, 2002, «Νευροεπιστήμη της Συμπεριφοράς, Βασικές αρχές, μέθοδοι, τεχνικές» Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.
- [10]. Kandel E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M., 2012, Principles of Neural Science, 5^η έκδοση, εκδόσεις McGraw-Hill Education.
- [11]. Ντελή Ι. ,2015, Νευροεπιστήμες: Θεωρητική και κλινική προσέγγιση, εκδόσεις Λίτσας.
- [12]. Nishimura, Y., & Isa, T. (2009). Cortical and subcortical compensatory mechanisms after spinal cord injury in primates. Neuroscience Research.
- [13]. Γιαννακόπουλος Παναγιώτης. 2022, Επιστημονικό άρθρο Ακρωτηριασμός: Ορισμός, ενδείξεις και ανάκτηση, iatriko.net
- [14]. Καραπάνος Δημήτριος, 2008, Διπλωματική Εργασία Σύνδρομο οξέας επαναιμάτωσης των κάτω άκρων, Εριστετέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, DOI 10.12681/eadd/19320.
- [15]. Τζάνος Γ. , Μπάκας Ε. , 2007, Αίσθηση και Πόνος φάντασμα μετά των ακρωτηριασμό, σελ. 149-257, Κεφάλαιο Β).
- [16]. Bischu Subedi, George Grossberg, 2011, phantom limb Pain: Mechanism and treatment approaches, Hindawi, 10.1155/2011/864605.
- [17]. Katherine Ott, David Serlin, Stephen Mihm, 2002, Artificial Parts, Practical lives: Modern History of prosthetics, New York University Press.

- [18]. Δρ. Γεώργιος α. Πιτούλιας, 2006, Τεύχος 4 Η αποκατάσταση και επανένταξη του ασθενούς μετά από ακρωτηριασμό άκρου, Αγγειοχειρουργικό τμήμα Β΄ Χειρουργικής Κλινικής του ΑΠΘ Νοσοκομείο Γεννηματάς.
- [19]. Boon E, 2000, Tezcatlipoca: Trickster Deity, The art Bulletin (349-371)
- [20]. Καραβασιλειάδου Σ. Δελιόπουλος Γ, 2006, Η χρήση Πρόσθετων μελών στην Αρχαία Ελλάδα και Ρώμη, Ειδικό άρθρο, Τμήμα Προϊστορικής Αρχαιολογίας, Φιλοσοφική Σχολή ΑΠΘ(231-236).
- [21]. Charles q. Choi, World's first prosthetic: Egyptian Mummy's Fake Toe, Liscence.
- [22]. Owen Jarus, 2016, Prosthetic Leg with Hooded Foot discovered in Ancient Chinese Tomb, Liscence.
- [23]. Alan Thurston, 2007, Pare and Prosthetics: The early History of Artificial limbs, Anz journal of surgery.
- [24]. Gitter A, Bosker G, 2005, Upper and lower extremity prosthesis, 4^η έκδοση, Philadelphia.
- [25]. Biddiss, E., & Chau, T. 2007, Upper-limb prosthetics: A research review, Springer.
- [26]. Παπαδόπουλος, Ν., & Σαββίδης, Γ. 2015, Μυσηλεκτρικές προθέσεις και η χρήση τους στην αποκατάσταση ακρωτηριασμένων άνω άκρων. Ιατρική Επιθεώρηση Ελλάδας, 78-85.
- [27]. The Michelangelo Hand in Practice, Therapy and rehabilitation, Ottobock.
- [28]. Farina D. Aszmann O, 2014, Bionic limbs: Clinical reality and academic promises, Science Translational Medicine.
- [29]. Keybert P, Goulermas J, 2016, Advances in bionic limb technology, Journal of Rehabilitation Research and Development.
- [30]. Heibi Reidel, 2017, the Successes and Failures of 3D Printed Prosthetics, Prescouter.
- [31]. Καραμανίδης, Κ., Ζέρβας, Ν. (2017). Νέες εξελίξεις στις προσθετικές συσκευές κάτω άκρων: Θεωρητική και κλινική ανασκόπηση. Ελληνικό Περιοδικό Ορθοπδικής και Προσθητικής.
- [32]. Biddiss, E., Chau, T. 2007, Upper-limb prosthetics, Επιστημονικό άρθρο Springer.
- [33]. Ron Seymour , 2002, prosthetics and orthotics: Lower limp and Spinal, Lippincott Williams and Wilkins
- [34]. Chronopoulos, 2021-2022, Τεχνητά Μέλη Κάτω Άκρων.
- [35]. Gallagher P, Desmond D. 2007 Measuring quality of life in prosthetic practice: Benefits and challenges. ProsthetOrthot
- [36]. Sprangers MAG, Schwartz CE. 1999 Integrating response shift into health-related quality of life research: A theoretical model. SocSci Med
- [37]. Asano M, Rushton P, Miller WC, Deathe BA. 2008 Predictors of quality of life among individuals who have a lower limb amputation. ProsthetOrthotInt

- [38]. M. P. J. H. A. M. P. H. J. d. J. P. Sonja M. H. J. Jaegers, 1995 , «Prosthetic Gait of Unilateral Transfemoral Amputees;» American Congress of Rehabilitation Medicine and the American Academy of Physical Medicine and,
- [39]. SANDERS, J.E., BELL, D.M., OKUMURA, R.M., DRALLE, A.J 1998.: Effects of alignment changes on stance phase pressures and shear stresses on transtibial amputees: measurements from 13 transducer sites. IEEE Trans Rehabil
- [40]. K. Peeters, "Kinematic Modeling of Ankle and Foot Bone Motion for Applications in Orthopedics and Gait Analysis"
- [41]. Prakash, C., Kumar, R., & Mittal, N. 2016. Recent developments in human gait research parameters, approaches, applications, machine learning techniques,datasets and challengs.
- [42]. J M B Jacquelin Perry 2010, Gait analysis-normal and pathological function,thorofare, New jersey.
- [43]. Marniemi J., Parkki M.G.,1975, Radiochemical assay of glutathione S-epoxide transferase and its enhancement by phenobarbital in rat liver In Vivo.
- [44]. Østlie K., Lesjø I.M., Franklin R.J., Garfelt B., Skjeldal O.H., Magnus P. ,2012,Prosthesis use in adult acquired major upper-limb amputees: Patterns of wear, prosthetic skills and the actual use of prostheses in activities of daily life.
- [45]. Pedersen M.R., Nalpantidis L., Andersen R.S., Schou C., Bøgh S., Krüger V., Madsen O. ,2016, Robot skills for manufacturing: From concept to industrial deployment
- [46]. Kuiken T.A., Dumanian G.A., Lipschutz R.D., Miller L.A., Stubblefield K.A.,2004, The use of targeted muscle reinnervation for improved myoelectric prosthesis control in a bilateral shoulder disarticulation amputee.
- [47]. Cheesborough J.E., Smith L.H., Kuiken T.A., Dumanian G.A.,2015, Targeted muscle reinnervation and advanced prosthetic arms.
- [48]. Pasquina P.F., Evangelista M., Carvalho A.J., Lockhart J., Griffin S., Nanos G., McKay P., Hansen M., Ipsen D., Vandersea J., et al. ,2015, First-in-man demonstration of a fully implanted myoelectric sensors system to control an advanced electromechanical prosthetic hand.
- [49]. Christie B.P., Freeberg M., Memberg W.D., Pinault G.J.C., Hoyer H.A., Tyler D.J., Triolo R.J., 2017, Long-term stability of stimulating spiral nerve cuff electrodes on human peripheral nerves.
- [50]. Christensen M.B., Pearce S.M., Ledbetter N.M., Warren D.J., Clark G.A., Tresco P.A.,2014,. The foreign body response to the Utah Slant Electrode Array in the cat sciatic nerve.

- [51]. Yanagisawa T., Hirata M., Saitoh Y., Kishima H., Matsushita K., Goto T., Fukuma R., Yokoi H., Kamitani Y., Yoshimine T. Electrocorticographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients
- [52]. Morishita S., Sato K., Watanabe H., Nishimura Y., Isa T., Kato R., Nakamura T., Yokoi H. Brain-machine interface to control a prosthetic arm with monkey ECoGs during periodic movements
- [53]. Pasquina P.F., Evangelista M., Carvalho A.J., Lockhart J., Griffin S., Nanos G., McKay P., Hansen M., Ipsen D., Vandersea J., et al. 2015 First-in-man demonstration of a fully implanted myoelectric sensors system to control an advanced electromechanical prosthetic hand.
- [54]. Christie B.P., Freeberg M., Memberg W.D., Pinault G.J.C., Hoen H.A., Tyler D.J., Triolo R.J. 2017 Long-term stability of stimulating spiral nerve cuff electrodes on human peripheral nerves. *J. Neuroeng. Rehabil.*
- [55]. Dodick D.W., Silberstein S.D., Reed K.L., Deer T.R., Slavin K.V., Huh B., Sharan A.D., Narouze S., Mogilner A.Y., Trentman T.L., et al. 2015 Safety and efficacy of peripheral nerve stimulation of the occipital nerves for the management of chronic migraine: Long-term results from a randomized, multicenter, double-blinded, controlled study. *Cephalalgia*.
- [56]. Booth J., Connelly L., Dickson S., Duncan F., Lawrence M. 2018 The effectiveness of transcutaneous tibial nerve stimulation (TTNS) for adults with overactive bladder syndrome: A systematic review.
- [57]. Lawrence S.M., Dhillon G.S., Jensen W., Yoshida K., Horch K.W. 2004 Acute peripheral nerve recording characteristics of polymer-based longitudinal intrafascicular electrodes.
- [58]. Boretius T., Badia J., Pascual-Font A., Schuettler M., Navarro X., Yoshida K., Stieglitz T. 2010 A transverse intrafascicular multichannel electrode (TIME) to interface with the peripheral nerve. *Biosens.*
- [59]. Branner A., Stein R.B., Normann R.A 2001. Selective stimulation of cat sciatic nerve using an array of varying-length microelectrodes.
- [60]. Navarro X., Lago N., Vivo M., Yoshida K., Koch K.P., Poppendieck W., Micera S. 2007 Neurobiological evaluation of thin-film longitudinal intrafascicular electrodes as a peripheral nerve interface; Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics; Noordwijk,
- [61]. Kundu A., Harreby K.R., Yoshida K., Boretius T., Stieglitz T., Jensen W. 2014 Stimulation selectivity of the “thin-film longitudinal intrafascicular electrode” (tflIFE) and the ‘transverse intrafascicular multi-channel electrode’ (TIME) in the large nerve animal model. *IEEE Trans.*
- [62]. Davis T.S., Wark H.A.C., Hutchinson D.T., Warren D.J., O’Neill K., Scheinblum T., Clark G.A., Normann R.A., Greger B. 2016 Restoring motor control and sensory feedback in people with

- upper extremity amputations using arrays of 96 microelectrodes implanted in the median and ulnar nerves.
- [63]. Branner A., Stein R.B., Fernandez E., Aoyagi Y., Normann R.A. 2004 Long-term stimulation and recording with a penetrating microelectrode array in cat sciatic nerve. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*
- [64]. Christensen M.B., Pearce S.M., Ledbetter N.M., Warren D.J., Clark G.A., Tresco P.A. 2014 The foreign body response to the Utah Slant Electrode Array in the cat sciatic nerve.
- [65]. Thompson C.H., Zoratti M.J., Langhals N.B., Purcell E.K. 2016 Regenerative Electrode Interfaces for Neural Prostheses.
- [66]. Desai V.H., Anand S., Tran M., Kanneganti A., Vasudevan S., Seifert J.L., Cheng J., Keefer E.W., Romero-Ortega M.I. 2014 Chronic sensory-motor activity in behaving animals using regenerative multi-electrode interfaces; Proceedings of the 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
- [67]. Musick K.M., Rigosa J., Narasimhan S., Wurth S., Capogrosso M., Chew D.J., Fawcett J.W., Micera S., Lacour S.P. 2015 Chronic multichannel neural recordings from soft regenerative microchannel electrodes during gait
- [68]. Burle B., Spieser L., Roger C., Casini L., Hasbroucq T., Vidal F. 2015 Spatial and temporal resolutions of EEG: Is it really black and white? A scalp current density view.
- [69]. Birbaumer N., Hinterberger T., Kübler A., Neumann N. 2003 The thought-translation device (TTD): Neurobehavioral mechanisms and clinical outcome
- [70]. Neuper C., Müller-Putz G.R., Scherer R., Pfurtscheller G. 2006 Motor imagery and EEG-based control of spelling devices and neuroprostheses.
- [71]. Pfurtscheller G., Müller-Putz G.R., Pfurtscheller J., Rupp R. 2005 EEG-based asynchronous BCI controls functional electrical stimulation in a tetraplegic patient.
- [72]. Palmini A., Gambardella A., Andermann F., Dubeau F., Da Costa J.C., Tampieri D., Gloor P., Quesney F., Andermann E., Paglioli-Neto E 1995., et al. Intrinsic epileptogenicity of human dysplastic cortex as suggested by corticography and surgical results.
- [73]. Yang T., Hakimian S., Schwartz T.H. 2014 Intraoperative ElectroCorticoGraphy (ECog): Indications, techniques, and utility in epilepsy surgery.
- [74]. Yanagisawa T., Hirata M., Saitoh Y., Kishima H., Matsushita K., Goto T., Fukuma R., Yokoi H., Kamitani Y., Yoshimine T. 2012 ElectroCorticoGraphic control of a prosthetic arm in paralyzed patients.

- [75]. Morishita S., Sato K., Watanabe H., Nishimura Y., Isa T., Kato R., Nakamura T., Yokoi H. 2014 Brain-machine interface to control a prosthetic arm with monkey ECoGs during periodic movements.
- [76]. Hotson G., McMullen D.P., Fifer M.S., Johannes M.S., Katyal K.D., Para M.P., Armiger R., Anderson W.S., Thakor N.V., Wester B.A., et al. 2016 Individual finger control of a modular prosthetic limb using high-density electrocorticography in a human subject.
- [77]. Bjornsson C.S., Oh S.J., Al-Kofahi Y.A., Lim Y.J., Smith K.L., Turner J.N., De S., Roysam B., Shain W., Kim S.J. 2006 Effects of insertion conditions on tissue strain and vascular damage during neuroprosthetic device insertion.
- [78]. Hochberg L.R., Bacher D., Jarosiewicz B., Masse N.Y., Simeral J.D., Vogel J., Haddadin S., Liu J., Cash S.S., Van Der Smagt P., et al. 2012 Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm.
- [79]. Resnik L., Klinger S.L., Etter K. 2014 User and clinician perspectives on DEKA arm: Results of VA study to optimize DEKA arm.
- [80]. Oxley T.J., Opie N.L., Rind G.S., Liyanage K., John S.E., Ronayne S., McDonald A.J., Dornom A., Lovell T.J.H., Mitchell P.J., et al. 2018 An ovine model of cerebral catheter venography for implantation of an endovascular neural interface.
- [81]. Oxley T.J., Opie N.L., E John S., Rind G.S., Ronayne S.M., Wheeler T.L., Judy J.W., McDonald A.J., Dornom A., Lovell T.J.H., et al. 2016 Minimally invasive endovascular stent-electrode array for high-fidelity, chronic recordings of cortical neural activity.
- [82]. Anderson J.M., Rodriguez A., Chang D.T. 2008 Foreign body reaction to biomaterials.
- [83]. Wilson C.J., Clegg R.E., Leavesley D.I., Percy M.J. 2005 Mediation of biomaterial-cell interactions by adsorbed proteins: A review.
- [84]. Esche C., Stellato C., Beck L.A. 2005 Chemokines: Key players in innate and adaptive immunity.
- [85]. Jones J.A., Chang D.T., Meyerson H., Colton E., Kwon I.K., Matsuda T., Anderson J.M. 2007 .Proteomic analysis and quantification of cytokines and chemokines from biomaterial surface-adherent macrophages and foreign body giant cells.
- [86]. Henson P.M. 1971. The immunologic release of constituents from neutrophil leukocytes. I. The role of antibody and complement on nonphagocytosable surfaces or phagocytosable particles.
- [87]. Ratner B.D. 2002 Reducing capsular thickness and enhancing angiogenesis around implant drug release systems.
- [88]. Ransohoff R.M., Brown M.A. 2012. Innate immunity in the central nervous system.

- [89]. Pachter J.S., de Vries H.E., Fabry Z. 2003 .The Blood-Brain Barrier and Its Role in Immune Privilege in the Central Nervous System.
- [90]. Griffith R.W., Humphrey D.R. 2006. Long-term gliosis around chronically implanted platinum electrodes in the Rhesus macaque motor cortex.
- [91]. Fitch M.T., Silver J. 1997. Activated Macrophages and the Blood–Brain Barrier: Inflammation after CNS Injury Leads to Increases in Putative Inhibitory Molecules.
- [92]. Polikov V.S., Tresco P.A., Reichert W.M. 2005. Response of brain tissue to chronically implanted neural electrodes.
- [93]. Blomstedt G.C. 1985 Infections in neurosurgery: A retrospective study of 1143 patients and 1517 operations.
- [94]. Helton K.L., Ratner B.D., Wisniewski N.A. 2011. Biomechanics of the Sensor-Tissue Interface—Effects of Motion, Pressure, and Design on Sensor Performance and the Foreign Body Response—Part I: Theoretical Framework.
- [95]. McKee C.T., Last J.A., Russell P., Murphy C.J. 2011. Indentation Versus Tensile Measurements of Young’s Modulus for Soft Biological Tissues.
- [96]. Zhong Y., Bellamkonda R.V. 2007. Dexamethasone-coated neural probes elicit attenuated inflammatory response and neuronal loss compared to uncoated neural probes.
- [97]. Cağavi F., Akalan N., Celik H., Gür D., Güçiz B. 2004. Effect of hydrophilic coating on microorganism colonization in silicone tubing.
- [98]. Greene G.W., Ortiz V., Gonzalo C.P., Moulton S.E., Wang X., Martin L.L., Michalczyk A., Howlett P.C. 2018. Lubricin Antiadhesive Coatings Exhibit Size-Selective Transport Properties that Inhibit Biofouling of Electrode Surfaces with Minimal Loss in Electrochemical Activity.
- [99]. Hatzipantelis K.P., Natsis K., Albani M. 2001 Effect of acute limb ischaemia on neuromuscular function in rats.
- [100]. Jonathan R, Wolpaw, Theresa Vaughan, 2000, Brain- Computer Interface Technology: A Review Of The First International Meeting, IEEE
- [101]. Κάζης Δ. Αριστείδης, 1989, Κλινική Νευροφυσιολογία: Ηλεκτροεγκεφαλογραφία- Ηλεκτρονευρομυογραφία, University Studio Press.
- [102]. Bruce H. Dobkin, 2007, Brain-computer Interface technology, The journal of Physiology
- [103]. Md Eshrat, yonghong Liu, Zhen Xu, Hao Wang, Tianzhu Wu, 2021, Recent advancement of electrocorticography (ECoG) electrodes for chronic neural recording/stimulation, Materials today communications
- [104]. Leuthardt E, Miller K, Schalk G, Rao R, Ojeman J, 2009, Electrocorticography based brain computer interface- the seattle experience, IEEE, 134-138.

- [105]. Wang D.-W., Li F., Zhao J., Ren W., Chen Z.-G., Tan J., Wu Z., Gentle I., Lu G., Cheng H.M. 2009. Fabrication of Graphene/Polyaniline Composite Paper via In Situ Anodic Electropolymerization for High-Performance Flexible Electrode.
- [106]. Hansen T.S., West K., Hassager O., Larsen N.B. 2007. Highly Stretchable and Conductive Polymer Material Made from Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) and Polyurethane Elastomers.
- [107]. Park J., Choi S., Janardhan A.H., Lee S.-Y., Raut S., Soares J., Shin K., Yang S., Lee C., Kang K.W., et al. 2016. Electromechanical cardioplasty using a wrapped elasto-conductive epicardial mesh.
- [108]. Liang G., Givanasen G.S., Xi L., Tuthill C., Nichols T.R., DeWeerth S.P. 2013. A PDMS-based integrated stretchable microelectrode array (isMEA) for neural and muscular surface interfacing.
- [109]. Lobodzinski S.S., Laks M. 2009. New material for implantable cardiac leads.
- [110]. Παπαδάκης Χ. , 2015, Βιοιατρική Τεχνολογία: Αρχές και Εφαρμογές, Παρισσιανού.
- [111]. Vivendi J, Xiao J, Kim L, 2010, Dissolvable films of bio- integrated electronice, Nature Materials, 511-517.
- [112]. Alex Vaskov, 2018, Cortical Decoding of Individual Finger Group Motions Using Refit Kalman filter, FrontierNeuroscience.
- [113]. Ελληνική ομάδα Νευροογκολογίας, ανατομία και Φυσιολογία του Εγκεφάλου, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [114]. Flor H, 2002, Phantom Limb Pain : Characteristics, causes and treatment, The lancet Neurology, 182-189.
- [115]. Max Catalan, Richard Branemark, 2014, Treatment of phantom limb pain PLP based an augment reality and gaming controlled by myoelectric pattern recognition: a case study of a chronic PLP patient, FrontierNeuroscience.