



ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Διευθυντής ΠΜΣ : Αναπλ. Καθηγητής ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

<< ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΣΕ ΠΑΡΑΛΥΣΕΙΣ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ >>

<< ROBOTICS IN SPINAL CORD PARALYSIS >>

ΚΟΤΟΥΜΠΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ / ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΗΣ

Υποβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
<<ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ>>

ΛΑΡΙΣΑ , 2022

<<Βεβαιώνω ότι η παρούσα διπλωματική είναι αποτέλεσμα δικής μου δουλειάς και δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής. Στις δημοσιευμένες ή μη δημοσιευμένες πηγές έχω χρησιμοποιήσει εισαγωγικά και όπου απαιτείται έχω παραθέσει τις πηγές τους στο τμήμα της βιβλιογραφίας.

Υπογραφή:
Κοτούμπας Γεώργιος - Χρήστος

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΚΟΤΟΥΜΠΙΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, 2021

**ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ
ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Επιβλέπων:

Ευθύμιος Δαρδιώτης , Αναπληρωτής Καθηγητής Νευρολογίας ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. κ. Δαρδιώτης Ευθύμιος, Αναπλ. Καθηγητής Νευρολογίας Π.Θ
2. κ. Πατεράκης Κωνσταντίνος, Αναπλ. Καθηγητής Νευροχειρουργικής Π.Θ.
3. κ. Σγάντζος Μάρκος, Αναπλ. Καθηγητής Ανατομίας- Ιστορίας της Ιατρικής Π.Θ.

Τίτλος εργασίας στα αγγλικά:

ROBOTICS IN SPINAL CORD PARALYSIS

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος <<ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ>> του τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον Αναπληρωτή καθηγητή Νευρολογίας κ. Δαρδιώτη τόσο για την συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση της εργασίας όσο και για τις πολύτιμες συμβουλές και το χρόνο που μου παρείχε. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόκληρο το εκπαιδευτικό προσωπικό του προγράμματος μεταπτυχιακού που συνέβαλε στα μέγιστα έτσι ώστε να μεταλαμπαδεύσει την γνώση του και να επιλύσει απορίες μας με το μέγιστο δυνατό τρόπο παρόλο τις αντίξοες συνθήκες εν μέσω πανδημίας.

Περίληψη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας αναμφίβολα έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου σε όλα τα επίπεδα της ζωής του. Έτσι λοιπόν τα τελευταία χρόνια, εισέβαλλε με πολύ υποσχόμενο τρόπο μέσω της ρομποτικής και στον κλάδο Υγείας και δη στην αποκατάσταση. Ασθενείς με βλάβες του κεντρικού νευρικού συστήματος και πιο συγκεκριμένα του νωτιαίου μυελού, μπορεί αρκετοί να είχαν εξαιρετικό επίπεδο συνείδησης, ωστόσο πλήττονταν σε κάτι πολύ σημαντικό και ουσιώδες, την λειτουργικότητα τους .

Με την είσοδο της ρομποτικής στο χώρο της νευροαποκατάστασης , δηλαδή στον εξειδικευμένο τύπο αποκατάστασης που στοχεύει στην αντιμετώπιση προβλημάτων που προκαλούνται από διαταραχές που επηρεάζουν το νευρικό και το νευρομυϊκό σύστημα, παρατηρήθηκε βελτίωση της λειτουργικότητας και της ποιότητας ζωής ασθενών με παραλύσεις του νωτιαίου μυελού σε ικανοποιητικά μεγάλο ποσοστό. Παράλληλα, διευκολύνθηκε το έργο και οι προσπάθειες όλων των μελών της ομάδας αποκατάστασης εφόσον τέθηκαν εις πέρας τεχνικές οι οποίες δεν ήταν εύκολο να διεκπεραιωθούν χωρίς την χρήση ρομποτικής τεχνολογίας.

Λέξεις – κλειδιά : ρομποτική , βλάβη νωτιαίου μυελού

Abstract

The evolution of technology has undoubtedly brought about radical changes in the quality of life of people at all levels of his life. So in recent years, it has invades in a very promising way through robotics in the health sector and in particular in rehabilitation. Patients with central nervous system disorders, and more specifically of the spinal cord, may have had an excellent level of consciousness, but they were affected by something very important and essential, their functionality.

With the introduction of robotics in the field of neurorehabilitation, that is the specialized type of rehabilitation that aims to address problems caused by disorders that affect the nervous and neuromuscular system tan improvement in the functionality and quality of life patients with spinal cord paralysis was observed in a sufficiently large percentage. At the same time, the work and efforts of all members of the rehabilitation team were facilitated as techniques were completed which were not easy to accomplish without the use of robotic technology.

Key words: robotics , spinal cord injury

Πίνακας περιεχομένων :

Κεφάλαιο 1 . ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Ρομποτική – ορισμός έννοιας
- 1.2 Ρόλος φυσικοθεραπευτή στην ομάδα αποκατάστασης
- 1.3 Πλαστικότητα εγκεφάλου και κινητική μάθηση
- 1.4 Εξέλιξη ρομποτικής μηχανικής

Κεφάλαιο 2 . ΝΩΤΙΑΙΟΣ ΜΥΕΛΟΣ

- 2.1 Δομή νευρώνα
- 2.2 Ανατομία νωτιαίου μυελού
- 2.3 Αγγείωση νωτιαίου μυελού
- 2.4 Μήνιγγες
- 2.5 Νωτιαία νεύρα
- 2.6 Νωτιαίοι οδοί
- 2.7 Δερμοτόμιο - νευροτόμιο
- 2.8 Κακώσεις νωτιαίου μυελού
 - 2.8.1 Επιδημιολογία
 - 2.8.2 Παθοφυσιολογία
 - 2.8.3 Βλάβη νωτιαίου μυελού
 - 2.8.4 Ταξινόμηση (ASIA scale)

Κεφάλαιο 3 . ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

- 3.1 ρομποτική σε παραλύσεις κάτω άκρων
 - 3.1.1 LOCOMAT
 - 3.1.2 ReWalk
 - 3.1.3 Indego
 - 3.1.4 Erigo
 - 3.1.5 MotionMaker system
 - 3.1.6 Walking assist device
- 3.2 ρομποτική σε παραλύσεις άνω άκρων
 - 3.2.1 exoskeleton robotic systems
 - 1) ρομποτικό γάντι
 - 2) T-WREX
 - 3) AMADEO
 - 4) IPAM
- 3.3 Virtual Reality / Εικονική πραγματικότητα

Εικόνες :

Εικόνα 1. Yagn's running aid – σύστημα εξωσκελετού για υγιή άτομα
Εικόνα 2. Μακροσκοπική όψη νευρώνα
Εικόνα 2Α. Θέση του νωτιαίου μυελού μέσα στην σκληρή μήνιγγα
Εικόνα 2Β. Ιππουρίδα στο σπονδυλικό σωλήνα
Εικόνα 2C. Απεικόνιση ύψους νωτιαίου μυελού μέσα στην σπονδυλική στήλη ανάλογα την ηλικία
Εικόνα 2D. Λευκή και φαιά ουσία νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2Ε. Αρτηριακή τροφοδοσία του νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2F. Αρτηριακή τροφοδοσία των νευροτομιών του νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2G. Φλεβική αποχέτευση ενός νευροτομίου του νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2Η. Μήνιγγες του νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2Ι. Εγκάρσια διατομή νωτιαίου μυελού και μηνιγγών του μέσα στον σπονδυλικό σωλήνα
Εικόνα 2J. Δομή νευροτομίου νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2K. Αυχενικό πλέγμα
Εικόνα 2L. Αυχενικό πλέγμα
Εικόνα 2M. Βραχιόνιο πλέγμα
Εικόνα 2N. Τοπογραφία βραχιονίου πλέγματος στο άνω άκρο
Εικόνα 2O. Οσφυϊκό πλέγμα
Εικόνα 2P. Κατιόντα δεμάτια νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2Q. Ανιόντα δεμάτια νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2R. Δερμοτόμια νωτιαίου μυελού
Εικόνα 2W. Κατανομή των ΤΚΝΜ στις διαφορετικές περιφέρειες του ΠΟΥ
Εικόνα 2Z. Ποσοστά επίπτωσης ΤΚΝΜ εξαρτώμενης από την ηλικία και το φύλο στον Καναδά

Εικόνα 3^α. Ρομποτικά συστήματα α) treadmill gait trainers β) foot – plate – gait trainers γ) overground gait trainers δ) stationary gait and ankle trainers ε) active foot orthoses

Εικόνα 3^β. LOCOMAT

Εικόνα 3^γ. ReoAmbulator ρομποτικό σύστημα

Εικόνα 3^δ. LokoHelp gait trainer

Εικόνα 3. Ρομποτικό σύστημα LOCOMAT

Εικόνα 3Α. Οδηγίες χρήσης ReWalk system

Εικόνα 3Β. Τοποθέτηση ReWalk system

Εικόνα 3C. ReWalk system

Εικόνα 3D. Ρομποτικό σύστημα INDEGO

Εικόνα 3Ε. Ρομποτικό σύστημα ERIGO

Εικόνα 3F. Ρομποτικό σύστημα ERIGO με ενσωμάτωση και της ποδοκνημικής άρθρωσης

Εικόνα 3G. MotionMaker system

Εικόνα 3Η. Προσομοίωσης παραδείγματος της εξέλιξης της δύναμης μετά από 6 εβδομάδες εξάσκησης στο MotionMaker system

Εικόνα 3Ι. MotionMaker system

Εικόνα 3J. Walking assist device

Εικόνα 3K. ρομποτικό γάντι

Εικόνα 3L. T-WREX

Εικόνα 3Μ. AMADEO

Εικόνα 3Ν. AMADEO

Εικόνα 3Ο. IPAM system

Εικόνα 3Ρ. VR-based ορθοπαιδική αποκατάσταση με χρήση ειδικού απτικού γαντιού κατά την διάρκεια θεραπείας. IEEE 2000

Εικόνα 3Q. VR rehabilitation

1.1 Η έννοια της ρομποτικής

Η ρομποτική , είναι ο κλάδος της μηχανοηλεκτρονικής επιστήμης , που περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την κατασκευή και την λειτουργία ενός ρομπότ. Ο στόχος του τομέα της ρομποτικής είναι να δημιουργήσει 'έξυπνες' μηχανές που μπορούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι και η ιατρική επιστήμη είτε σε μικροχειρουργικές επεμβάσεις είτε σαν μέρος της αποκατάστασης ενός ασθενούς (ορθώσεις , ρομποτικά μηχανήματα) .

Με τον όρο ρομποτική αποκατάσταση αναφερόμαστε στο πεδίο έρευνας που ασχολείται με την κατανόηση και προαγωγή της ιατρικής αποκατάστασης με την χρήση ρομποτικών συστημάτων (Pignolo et al.2009).

Ένα ρομποτικό σύστημα περιλαμβάνει παραδοσιακά 5 κύρια συστατικά, και συγκεκριμένα :

- μια μηχανική δομή με βαθμούς ελευθερίας ανάλογα με τις εργασίες που πρέπει να υλοποιηθούν
- ενεργοποιητές ελέγχου άρθρωσης (joint – controlling actuators) είτε ηλεκτρικοί είτε υδραυλικοί
- καθορισμένο περιβάλλον δράσης
- βήματα εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν όπως περιγράφονται λεπτομερώς από το σύστημα υπολογιστή
- ένας υπολογιστής που παράγει τα σήματα που ελέγχουν το ρομπότ.

Τα ηλεκτρομηχανικά συστήματα, προκύπτουν από την εξέλιξη της ρομποτικής και είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογή στο χώρο της νευροαποκατάστασης.

Πρόκειται για συσκευές ή συστήματα με εξαιρετικά ευέλικτες μηχανικές δομές που λειτουργούν στον εξωτερικό κόσμο και τα κύρια χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν:

- ενεργοποιητές
- πηγές ενέργειας
- ιδιοδεκτικοί και εξωτερικοί αισθητήρες που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργική κατάσταση του μηχανήματος και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.
- μεμονωμένα τσιπ υπολογιστών που επεξεργάζονται τα σήματα που μεταδίδονται από τους αισθητήρες και καθοδηγούν τους κινητήρες.
- διεπαφή ανθρώπου/μηχανής που λαμβάνουν πληροφορίες/οδηγίες από χρήστες (είτε από θεραπευτή είτε από τον ασθενή) και παρέχουν ανατροφοδότηση (Pignolo et al.2009).

1.2 Ρομποτική στο χώρο της φυσικοθεραπείας και αποκατάστασης

Ο στόχος της φυσικής αποκατάστασης είναι πρωτίστως η ανάρρωση ενός ασθενούς, από βλάβη ή αναπηρία καθώς και η βελτίωση της κινητικότητας, της λειτουργικότητας και της ποιότητας ζωής του. Η βλάβη αυτή μπορεί να είναι απόρροια διάφορων ορθοπεδικών, νευρολογικών, καρδιαγγειακών ή αναπνευστικών παθήσεων. όσο αναφορά τις νευρολογικές νόσους, η φυσικοθεραπεία βρίσκει ανταπόκριση σε μεγάλο εύρος νευρολογικών παθήσεων όπως εγκεφαλικό επεισόδιο, κακώσεις νωτιαίου μυελού, πολλαπλή σκλήρυνση, Πάρκινσον, κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις, εγκεφαλική παράλυση κ.α. Μια συχνή αιτία αναπηρίας στις ηλικίες 16-40 είναι η κάκωση νωτιαίου μυελού και η επακόλουθη πάρεση, παράλυση ή το οποιοδήποτε άλλο έλλειμα μπορεί να επιφέρει. Οι επιζώντες από κακώσεις νωτιαίου μυελού, ανάλογα το επίπεδο της βλάβης εμφανίζουν συνήθως παραπληγία, τετραπληγία, παράλυση ή απώλεια σωματικής δύναμης. Η βλάβη των άνω άκρων μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στην εκτέλεση βασικών καθημερινών δραστηριοτήτων όπως σίτιση, ένδυση και καθήκοντα υγιεινής, που μπορεί να έχουν τεράστιο αντίκτυπο στη ζωή του ασθενούς. Η φυσικοθεραπεία είναι η κύρια θεραπεία αποκατάστασης για αυτές τις αναπηρίες, μία διαδικασία που επιτρέπει και εκπαιδεύει τον ασθενή με βλάβη νωτιαίου μυελού να ξαναμάθει την καλύτερη δυνατή χρήση του κορμού και των άκρων του, να υιοθετήσει αντισταθμιστικές τεχνικές για την υλοποίηση δραστηριοτήτων καθημερινής ζωής και να ανακτήσει σταδιακά την ανεξαρτησία του και ομαλή ένταξη στην κοινωνία (Hidler et.al 2011).

Οι τρέχουσες υπηρεσίες στα προγράμματα φυσικής αποκατάστασης χρησιμοποιούν κυρίως χειρωνακτική θεραπεία που παρέχεται με την βοήθεια ειδικού φυσικοθεραπευτή καθώς και την χρήση από αυτούς κατάλληλων φυσικών μέσων και άλλων ειδικών θεραπευτικών τεχνικών ανάλογα την πάθηση και την βλάβη του εκάστοτε ασθενούς. Ωστόσο, η θεραπεία αποκατάστασης μπορεί να συνεχιστεί καθ' όλη την διάρκεια ζωής τέτοιων νευρολογικών ασθενών και συχνά ανεξάρτητα του κόστους, δεν είναι σε θέση να παρέχουν επαρκή και έγκαιρη θεραπεία, μειώνοντας το ποσοστό ανάρρωσης των ασθενών (Hidler et.al 2011).

Η ρομποτική στο χώρο της αποκατάστασης έχει την δυνατότητα να ξεπεράσει τους περιορισμούς των συμβατικών μεθόδων αποκατάστασης και μπορεί με την παράλληλη βοήθεια ειδικού φυσικοθεραπευτή να επιτρέψει την ανάπτυξη νέων τύπων θεραπείας αποκατάστασης. Συγκριτικά με την χειρωνακτική θεραπεία, τα ρομπότ αποκατάστασης έχουν την δυνατότητα να παρέχουν εντατική θεραπεία με συνέπεια για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και δεν επηρεάζονται από τις δεξιότητες και το επίπεδο κόπωσης του θεραπευτή. Επίσης τα ρομποτικά μέσα μπορούν να συμβάλλουν στην θεραπεία ακόμα και απουσίας φυσικοθεραπευτή, επιτρέποντας συχνότερη θεραπεία και ενδεχομένως μειώνοντας το κόστος μακροπρόθεσμα. Επιπλέον, είναι πιθανόν ένα ρομπότ αποκατάστασης να μετρήσει με ακρίβεια ποσοτικά δεδομένα για να αξιολογήσει την κατάσταση του ασθενούς. Παράλληλα, πλέον με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων όπως virtual reality (VR) που χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια στις συνεδρίες αποκατάστασης, παρέχεται επιπλέον με το πρόγραμμα αποκατάστασης και ψυχαγωγική- ψυχοθεραπευτική χρήση όντας οι θεραπείες πιο διαδραστικές δίνοντας επιπλέον κίνητρο στον ασθενή να καταβάλει την δική του προσπάθεια στο μέγιστο (Hidler et.al 2011).

1.3 Πλαστικότητα εγκεφάλου και κινητική μάθηση

Ένα μεγάλο ερώτημα της νευροαποκατάστασης ήταν αρχικά αν οι βελτιώσεις στη λειτουργικότητα μετά από τραυματισμό του κεντρικού νευρικού συστήματος προκύπτουν από διαδικασίες επούλωσης της βλάβης ή μέσω αντισταθμιστικών στρατηγικών του νευρικού συστήματος. Η θεωρία της επούλωσης της βλάβης θα έδειχνε ότι τα νευρωνικά κυκλώματα που φυσιολογικά στρατολογούνται για να νευρώσουν μία συγκεκριμένη ομάδα μυών πριν από τον τραυματισμό, μπορούν να επαναστρατολογηθούν για να νευρώσουν τις ίδιες μυϊκές ομάδες μετά τον τραυματισμό. Έναλλακτικά, στη θεωρία των αντισταθμιστικών στρατηγικών θα στρατολογούνταν διαφορετικά νευρωνικά κυκλώματα μετά τον τραυματισμό για να επιτευχθεί παρόμοια λειτουργία. Η δομή του εγκεφάλου δεν είναι στατική αλλά δυναμική και η πλαστικότητα είναι θεμελιώδης ιδιότητα της. Ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών υποδεικνύει ότι οι βελτιώσεις στην λειτουργία μετά από τραυματισμό του κεντρικού νευρικού συστήματος διαμεσολαμβάνονται σε μεγάλο βαθμό από αντισταθμιστικές στρατηγικές παρά σε πραγματική επούλωση και επαναλειτουργία, ιδίως τις πρώτες εβδομάδες μετά τον τραυματισμό. Το φαινόμενο αυτό λοιπόν στηρίζεται στην νευροπλαστικότητα του εγκεφάλου, η οποία αναφέρεται σε μία ιδιότητα του να προσαρμόζει τις δομές και τις λειτουργίες του σε περιβαλλοντικές πιέσεις, εμπειρίες και προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της βλάβης νωτιαίου μυελού (σε όλα τα επίπεδα του ανθρώπινου εγκεφάλου δηλαδή από τα μόρια μέχρι τα μεγάλα φλοιώδη νευρωνικά κυκλώματα) (Johnsson, Zoli; Merzenich, Van Vleet & Nahum, 2014). Με άλλα λόγια είναι μια ιδιότητα που στηρίζεται στην ικανότητα του νευρικού συστήματος να τροποποιεί τον εαυτό του, λειτουργικά και δομικά ως απάντηση στην εμπειρία και τον τραυματισμό (R. von Bernhardi et al. 2017). Η πλαστικότητα είναι βασικό συστατικό της νευρικής ανάπτυξης και της φυσιολογικής λειτουργίας του νευρικού συστήματος, καθώς και μια απάντηση στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον, τη γήρανση ή την παθολογική προσβολή (R. von Bernhardi et al. 2017).

Επιπλέον η νευρωνική αναδιοργάνωση αναφέρεται στην ικανότητα του εγκεφάλου να επεκτείνει ή / και να αλλάζει τον έλεγχο της συμπεριφοράς, της γνώσης και του συναισθήματος, διευρύνοντας τα εμπλεκόμενα νευρωνικά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται σε κάθε λειτουργία μέσω του συντονισμού απόκρισης που προκαλείται από την μάθηση (Merzenich et al., 2014).

Ο θεραπευτής που βοηθά ένα ασθενή στην διαδικασία της εκ νέου μάθησης μιας λειτουργίας πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τις πλαστικές αλλαγές και να διεξάγει την εκάστοτε θεραπεία ανάλογα.

1.4 Εξέλιξη ρομποτικής μηχανικής

Τα ρομποτικά μηχανήματα χρησιμοποιήθηκαν για λόγους αποκατάστασης από την δεκαετία του 1960 παρόλο που υπάρχουν αναφορές ότι ο πρώτος που χρησιμοποίησε σύστημα εξωσκελετού ήταν ο Yagn το 1890 (Yagn's running aid – σύστημα εξωσκελετού για υγιή άτομα). Η εφαρμογή της ρομποτικής στην αποκατάσταση

επικεντρώθηκε αρχικά στην αντικατάσταση της λειτουργικότητας σε άτομα με σωματικές αναπηρίες με την χρήση συσκευών όπως ρομποτικές ορθώσεις , ρομποτικά μηχανήματα εργασίας , συσκευές σίτισης και ρομποτικές αναπηρικές καρέκλες ή αμαξίδια μεταφοράς. Τις τελευταίες δυο δεκαετίες ωστόσο , υπάρχει μία αυξανόμενη τάση για τη χρήση ρομποτικών μηχανημάτων στο χώρο της φυσικοθεραπείας και νευροαποκατάστασης χρησιμοποιώντας κυρίως ενεργητικό έλεγχο ανατροφοδότησης των συσκευών για να παρέχεται από τους θεραπευτές καθοδήγηση, βοήθεια ή αντίσταση στους ασθενείς κατά την διάρκεια προγραμμάτων αποκατάστασης.

Τα περισσότερα ρομπότ αποκατάστασης εφαρμόζονται πάνω στον άνθρωπο και πρέπει να μπορούν να ελέγχουν πολλαπλές αρθρώσεις ανεξάρτητα και ταυτόχρονα και να μπορούν να διαμορφώνονται και να προσαρμόζονται κατάλληλα για τον εκάστοτε ασθενή βάση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του (Fazekas et al.2019).

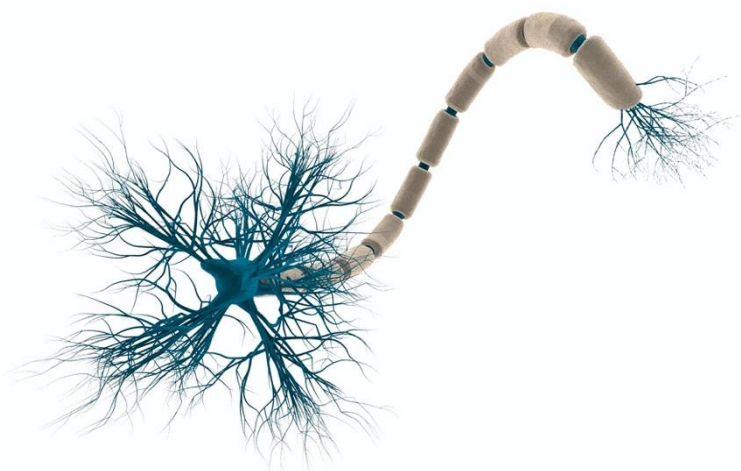


Εικόνα 1.

2.1 Δομή νευρώνα

Ο νευρώνας ή νευρικό κύτταρο αποτελεί την μικρότερη και πιο απλοποιημένη μονάδα του νευρικού μας συστήματος . Αποτελείται από το σώμα του νευρώνα στο οποίο υπάρχουν όλα τα οργανίδια του κυττάρου και από το οποίο εκφύονται δυο διαφορετικοί τύποι αποφυάδων, οι δενδρίτες του νευρώνα και οι νευράξονες. Αρχικά οι δενδρίτες ,αποτελούν το υποδεκτικό τμήμα του νευρώνα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ίδιοι δέχονται ώσεις από άλλους γειτονικούς νευρώνες μέσω των συνάψεων , τις οποίες ώσεις μεταφέρουν προς το σώμα του μετασυναπτικού κυττάρου. Γενικά ένας νευρώνας είναι δυνατόν να έχει πολλούς δενδρίτες οι οποίοι μάλιστα μπορούν να διακλαδίζονται σε μεγάλο βαθμό , αυξάνοντας έτσι κατά πολύ την διαθέσιμη επιφάνεια τους. Από την άλλη , οι νευράξονες αποτελούν το τμήμα διαβίβασης της ώσης μέσω των νευρικών απολήξεων προς άλλους νευρώνες ή άλλα εκτελεστικά κύτταρα (π.χ. σκελετική μυϊκή ίνα / νευρομυϊκή σύναψη). Κάθε νευρώνας έχει έναν μόνο νευράξονα. Οι νευράξονες του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος είναι συνήθως εμμέλαιοι , περιβάλλονται δηλαδή από έλυτρα μυελίνης μέσω των ολιγοδενδροκυττάρων (στο ΠΝΣ μέσω των κυττάρων schwann) συμβάλλοντας στην ταχύτερη αγωγή της ώσης και ουσιαστικά είναι αυτοί που συγκροτούν την λευκή ουσία. Τέλος, στις συνάψεις κατά την διαβίβαση των ώσεων απελευθερώνονται είτε διεγερτικοί είτε ανασταλτικοί νευροδιαβιβαστές οι οποίοι βρίσκονται αποθηκευμένοι σε κυστίδια στις νευρικές απολήξεις του νευρώνα και δρουν από τον προσυναπτικό στον μετασυναπτικό νευρώνα με στόχο την

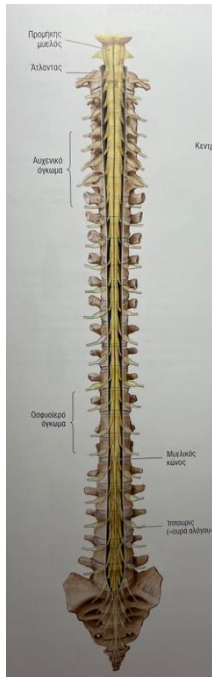
δημιουργία ή αναστολή μετασυναπτικού δυναμικού στο εκτελεστικό κύτταρο στο οποίο δρουν (Schünke et al. 2007).



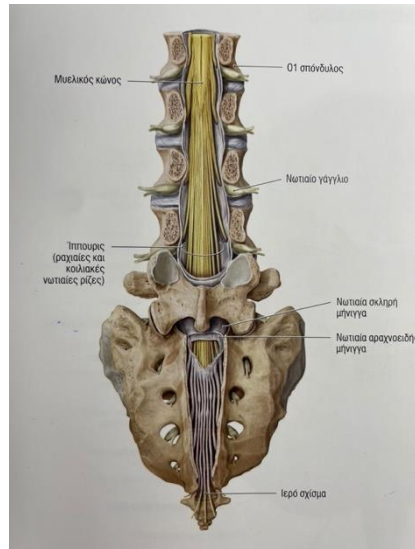
Εικόνα2.

2.2 Ανατομία Νωτιαίου μυελού

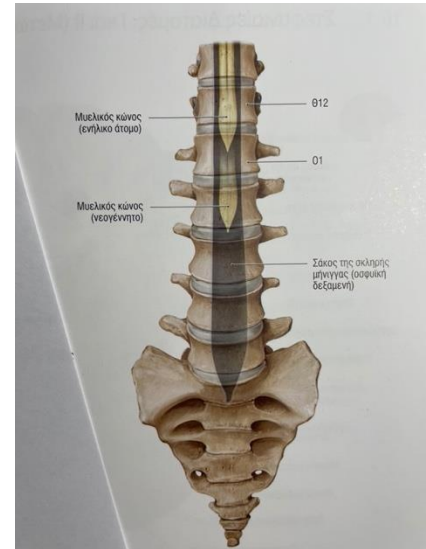
Το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ-CNS) αποτελείται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Ο νωτιαίος μυελός αποτελεί έναν επιμήκη λεπτό, ωοειδούς προς κυκλικού σχήματος νευρικό ιστό ο οποίος γενικά εκτείνεται κάτω από τον προμήκη μυελό του εγκεφαλικού στελέχους και θεωρείται ως η πύλη για την μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ σώματος και εγκεφάλου καθώς και κέντρο νευρωνικών κυκλωμάτων που συντονίζουν πολύπλοκες αισθητηριακές, κινητικές και αυτόνομες λειτουργίες. Το μήκος του είναι περίπου 45cm και η διάμετρος του ποικίλλει ανάλογα με το ανατομικό επίπεδο και εντοπίζεται στα ανώτερα δύο τρίτημώρια του σπονδυλικού σωλήνα της σπονδυλικής στήλης. Ο ίδιος είναι στερεωμένος πάνω στην σκληρή μήνιγγα στον υπαραχοειδή χώρο με τον οδοντωτό σύνδεσμο. Στους ενήλικες ο νωτιαίος μυελός τερματίζεται συνήθως στο επίπεδο του πρώτου οσφυϊκού σπονδύλου (Ο1) ενώ στα νεογνά στο ύψος του Ο3. Ο χώρος χαμηλότερα από το κάτω άκρο του νωτιαίου μυελού καταλαμβάνεται από την ιππουρίδα και το τελικό νημάτιο μέσα στο σάκο της σκληρής μήνιγγας ο οποίος τερματίζεται στο επίπεδο του Ι2 σπονδύλου (Schünke et al. 2007).



Εικόνα 2Α.



Εικόνα 2B.



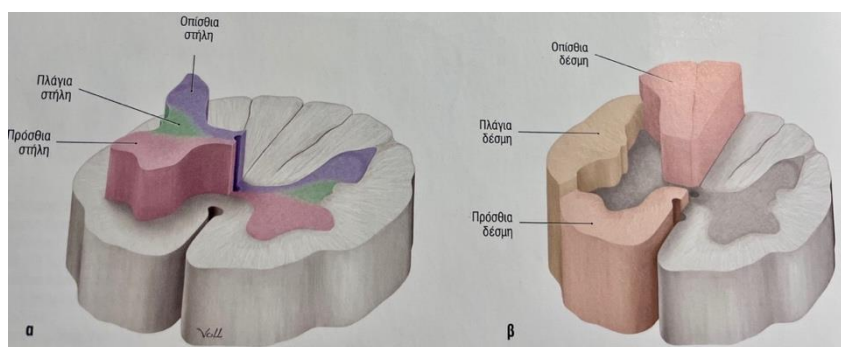
Εικόνα 2C.

Ανατομικά παρουσιάζει δύο ατρακτοειδείς παχύνσεις , το αυχενικό όγκωμα στην αυχενική μοίρα και το οσφυοϊερό όγκωμα στην οσφυϊκή μοίρα. Το κάτω άκρο του σχηματίζει τον μυελικό κώνο και απολήγει στο τελικό νημάτιο (Schünke et al. 2007).

Σε μία εγκάρσια διατομή του νωτιαίου μυελού παρατηρούμε:

-φαιά ουσία : κεντρικά σε σχήμα πεταλούδας (ομοιάζει με το γράμμα Η) . Η φαιά ουσία περιέχει τα κυτταρικά σώματα νευρώνων . Ξεχωρίζουμε αμφοτερόπλευρα ένα οπίσθιο κέρας το οποίο περιέχει αισθητικούς νευρώνες , ένα πρόσθιο κέρας το οποίο περιέχει κινητικούς νευρώνες και τέλος ένα πλάγιο κέρας το οποίο περιέχει συμπαθητικούς (σπλαγχοκινητικούς) νευρώνες. Σε επιμήκη διάταξη φαίνεται ότι τα κέρατα αποτελούν συνεχείς στήλες , την πρόσθια και οπίσθια στήλη. Ανάμεσα τους υπάρχει ο φαιός σύνδεσμος ο οποίος περιέχει και τον κεντρικό νευρικό σωλήνα του νωτιαίου μυελού.

-λευκή ουσία : η οποία περιβάλλει την φαιά ουσία και είναι πλούσια σε νευράξονες νευρώνων (δεμάτια ινών) απ' όπου ανέρχονται και κατέρχονται , συνδέοντας μεταξύ τους διάφορα επίπεδα νωτιαίου μυελού ή είναι υπεύθυνα για την μεταφορά πληροφοριών από και προς τον εγκέφαλο. Το μεγαλύτερο ποσό της λευκής ουσίας βρίσκεται στην αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης και ελαττώνεται συνεχώς ουραίως. Οι ανιούσες αισθητηριακοί οδοί αυξάνονται από την ιερά προς την αυχενική μοίρα επειδή εισέρχονται επιπρόσθετες ίνες ενώ οι κατιούσες κινητικοί οδοί ελαττώνονται σε μέγεθος από την αυχενική προς την ιερά μοίρα. Η λευκή ουσία διαιρείται σε οπίσθια δέσμη , σε πλάγια δέσμη και σε πρόσθια δέσμη. Η πλάγια και πρόσθια δέσμη ενώνονται και σχηματίζουν την προσθιοπλάγια δέσμη. Τέλος ο λευκός σύνδεσμος ενώνει τα δύο ημιμόρια του νωτιαίου μυελού (Schünke et al. 2007).

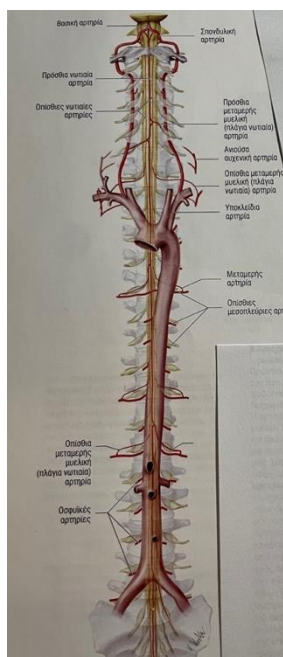


Εικόνα 2D.

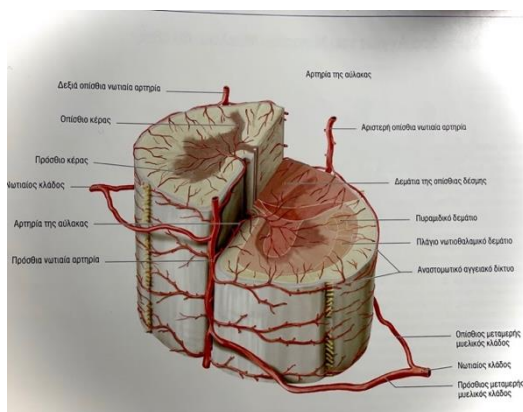
2.3 Αγγείωση νωτιαίου μυελού

Η αρτηριακή αιματική τροφοδοσία του νωτιαίου μυελού προέρχεται τόσο από κατακόρυφο όσο και οριζόντιο στοιχείο άρδευσης. Το κατακόρυφο σύστημα αποτελείται από τις πρόσθιες νωτιαίες αρτηρίες (μία σε κάθε πλευρά) και από τις οπίσθιες νωτιαίες αρτηρίες (δύο σε κάθε πλευρά). Οι νωτιαίες αρτηρίες εκφύονται κατά κανόνα στο εσωτερικό του κρανίου από τις σπονδυλικές αρτηρίες, ωστόσο οι οπίσθιες νωτιαίες αρτηρίες είναι δυνατόν να εκφύονται από την οπίσθια κάτω παρεγκεφαλιδική αρτηρία. Γενικά, οι νωτιαίες αρτηρίες πορεύονται προς τα κάτω, είναι μικρές στην αρχή της έκφυσης τους από τις σπονδυλικές αρτηρίες, ωστόσο η διάμετρος τους προς τα κάτω αντί να μικραίνει, μεγαλώνει μέσω της ενισχυτικής συμβολής των πρόσθιων και οπισθίων μεταμερών μυελικών (πλάγιων νωτιαίων) αρτηριών. Τα μεταμερή αυτά αγγεία εκφύονται από νωτιαίους κλάδους της σπονδυλικής, της οπίσθιας μεσοπλευρίας, της οσφυϊκής και πλάγιας ιερής αρτηρίας (ανάλογα με το επίπεδο του νωτιαίου μυελού). Τα μεταμερή μυελικά αγγεία ποικίλλουν, τόσο ως προς το επίπεδο έκφυσης όσο και ως προς τον αριθμό (υπάρχουν κατά μέσο όρο οκτώ πρόσθιες και δώδεκα οπίσθιες αρτηρίες). Μία από αυτές, η μείζων πρόσθια μεταμερής μυελική αρτηρία (του Adamkiewicz), είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες και ενισχύει την αιματική τροφοδοσία στα δύο τρίτα περίπου του νωτιαίου μυελού και ιδιαίτερα στην θωρακοσφυϊκή περιοχή. Στο 65% των ατόμων η αρτηρία αυτή εκφύεται από την αριστερή πλευρά, στο Θ12 ή Ο1 επίπεδο, όμως μπορεί να εκφύεται οπουδήποτε μεταξύ του Θ7-Ο4. Σε όλα τα άλλα επίπεδα της σπονδυλικής στήλης και του νωτιαίου μυελού μικρές ριζικές αρτηρίες εκφύονται από τους νωτιαίους κλάδους και τροφοδοτούν τις πρόσθιες και οπίσθιες νευρικές ρίζες, καθώς και τα περιφερικά τμήματα των πρόσθιων και οπίσθιων κεράτων. Οι ριζικές αρτηρίες δεν φτάνουν στις νωτιαίες αρτηρίες ούτε συμβάλλουν στον σχηματισμό του. Περιορισμός της αιματικής τροφοδοσίας σε μία τέτοια περιοχή είναι δυνατόν να προκαλέσει ισχαιμική βλάβη νωτιαίου μυελού. Ιδιαίτερα ευπαθή είναι τα Θ1-Θ4 και Ο1 νευροτόμια του νωτιαίου μυελού (Schünke et al. 2007).

Όσο αναφορά την αιματική τροφοδοσία νευροτομίων νωτιαίου μυελού, σε κάθε νευροτόμιο του νωτιαίου μυελού η πρόσθια νωτιαία αρτηρία δίνει αρκετές αρτηρίες της αύλακας, οι οποίες κατευθύνονται προς τα πάνω στην πρόσθια μέση αύλακα. Τυπικά, κάθε μια από αυτές τις αρτηρίες εισχωρεί σε ένα ημιμόριο νωτιαίου μυελού, τροφοδοτώντας το πρόσθιο κέρασ, τη βάση του οπίσθιου κέρατος και την πρόσθια πλάγια δέσμη. Οι διπλές οπίσθιες νωτιαίες αρτηρίες τροφοδοτούν τα οπίσθια τριτημόρια του νωτιαίου μυελού, στο οποίο περιλαμβάνεται το οπίσθιο κέρασ ή οπίσθια δέσμη. Και οι τρεις νωτιαίες αρτηρίες σχηματίζουν πολυάριθμα λεπτά αναστωμοτικά δίκτυα, τα οποία με την σειρά τους στέλνουν κλάδους στην περιοχή του μυελού. Οι αρτηρίες της αύλακας είναι οι μόνες τελικές αρτηρίες μέσα στον νωτιαίο μυελό και η απόφραξη τους μπορεί να προκαλέσει κλινικά συμπτώματα. Απόφραξη της πρόσθιας νωτιαίας αρτηρίας στο επίπεδο ενός νευροτομίου είναι δυνατόν να βλάψει το πρόσθιο κέρασ και στην πρόσθια ρίζα και να προκαλέσει χαλαρή παράλυση των μυών που νευρώνονται από αυτά τα νευροτόμια. Σε περίπτωση προσβολής του πυραμιδικού δεματίου στην πλάγια δέσμη, θα αναπτύξει σπαστική παράλυση κάτω από το επίπεδο της βλάβης (Schünke et al. 2007).



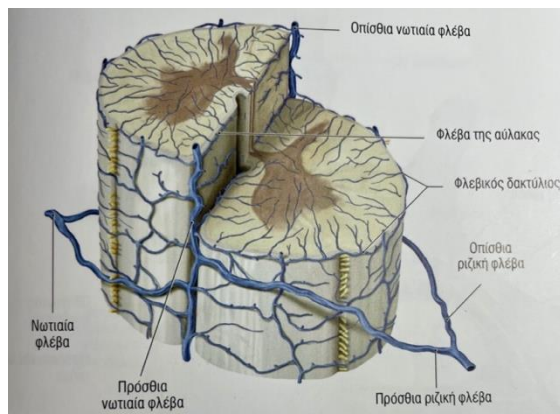
Εικόνα 2Ε.



Εικόνα 2F.

Η φλεβική αποχέτευση του νωτιαίου μυελού αποτελείται από ένα οριζόντιο σύστημα (φλεβικός δακτύλιος) και ένα κατακόρυφο σύστημα που αποχτεύει τους φλεβικούς δακτυλίους. Ενώ η αρτηριακή αιματική τροφοδοσία βασίζεται σε τρία αγγεία, το εσωτερικό του νωτιαίου μυελού διοχετεύεται διαμέσου φλεβικών πλεγμάτων σε δύο μόνο μονά αγγεία: μία πρόσθια και μία οπίσθια νωτιαία φλέβα. Η πρόσθια νωτιαία φλέβα επικοινωνεί προς τα άνω με φλέβες του εγκεφαλικού στελέχους. Το κατώτερο τμήμα της εισχωρεί στα τελικά νημάτια. Η παχύτερη οπίσθια νωτιαία φλέβα επικοινωνεί με τις ριζικές φλέβες στο αυχενικό επίπεδο και καταλήγει στον μυελικό κόνο. Οι ριζικές φλέβες διασυνδέουν τις φλέβες αυτές που βρίσκονται μέσα στην χοριοειδή μήνιγγα με το έσω σπονδυλικό φλεβικό πλέγμα. Αίμα από την

θωρακική μοίρα του νωτιαίου μυελού αποχετεύεται στις μεσοπλευρικές φλέβες οι οποίες εκβάλλουν στην άνω κοίλη φλέβα μέσω του συστήματος άζυγης και ημιάζυγης φλέβας (Schünke et al. 2007).



Εικόνα 2G.

2.4 Μήνιγγες νωτιαίου μυελού

Ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός καλύπτονται από υμένες ή χιτώνες συνδετικού ιστού που ονομάζονται μήνιγγες και σχηματίζουν ένα σάκο γεμάτο με εγκεφαλονωτιαίο υγρό (ENY). Οι μήνιγγες αποτελούνται από τα εξής τρία στρώματα:

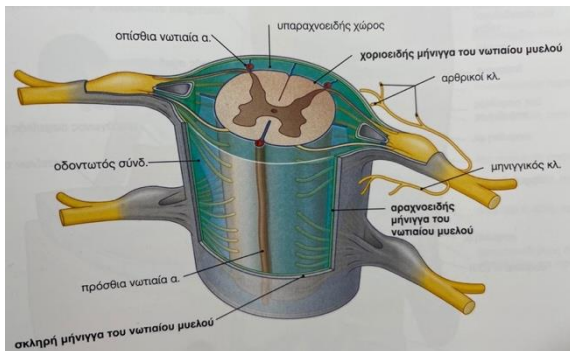
-εξωτερικό στρώμα : Η σκληρή μήνιγγα είναι ένα ανθεκτικό στρώμα κολλαγονώδους συνδετικού ιστού. Η νωτιαία σκληρή μήνιγγα διαχωρίζεται από τα οστά του σπονδυλικού σωλήνα με τον εξωσκληρίδιο χώρο. Προς τα κάτω ο σκληρός σάκος στενεύει απότομα στο επίπεδο του I2 σπονδύλου και απολήγει σε μία λεπτή αποφυάδα η οποία φέρεται σαν το εξωτερικό τελικό νημάτιο μέχρι το περίοστεο του κόκκυγα. Τα νωτιαία νεύρα που βγαίνουν από το πλάι και οι ρίζες του περιβάλλονται από το σωληνοειδές μηνιγγικό έλυτρο, που ακτινοβολεί μέσα στο έλυτρο των νωτιαίων νεύρων (επινεύριο) και συμφύεται με αυτό (Schünke et al. 2007).

-μεσαίο στρώμα : Η αραχνοειδής μήνιγγα είναι ένας διαφανής υμένας που έρχεται σε επαφή χωρίς να συμφύεται με την έξω επιφάνεια της χοριοειδούς μήνιγγας από την οποία χωρίζεται από τον υπαραχνοειδή χώρο και τελειώνει στο επίπεδο του I2 σπονδύλου.

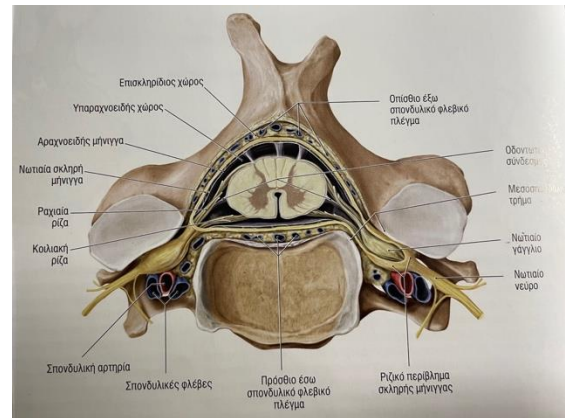
-εσωτερικό στρώμα : Η χοριοειδής μήνιγγα η οποία είναι πλούσια σε αγγειακό δίκτυο και προσφύεται στερεά στην επιφάνεια του νωτιαίου μυελού. Η αραχνοειδής και η χοριοειδής μήνιγγα μαζί είναι γνωστές ως λεπτομήνιγγες.

Ο υπαραχνοειδής χώρος μεταξύ της αραχνοειδούς και της χοριοειδούς μήνιγγας περιέχει το εγκεφαλονωτιαίο υγρό και τερματίζεται στο κάτω χείλος του I2 σπονδύλου. Οι αραχνοειδείς δοκίδες γεμίζουν τον υπαραχνοειδή χώρο και συνδέουν τις δύο μήνιγγες και υποστηρίζουν μεγάλα αιμοφόρα αγγεία (Schünke et al. 2007).

Αμφοτερόπλευρα του νωτιαίου μυελού , ένα πέταλο συνδετικού ιστού που λέγεται οδοντωτός σύνδεσμος κατευθύνεται από το νωτιαίο μυελό προς τη σκληρή μήνιγγα και είναι προσανατολισμένος στο στεφανιαίο επίπεδο. Κύριος ρόλος είναι η στερέωση του νωτιαίου μυελού στη θέση του , ο οποίος φυσιολογικά αιωρείται στον σπονδυλικό σωλήνα (Schünke et al. 2007).



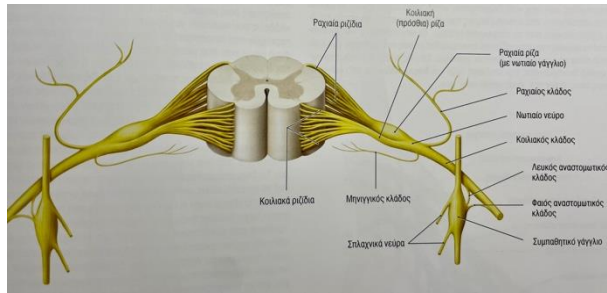
Εικόνα 2Η.



Εικόνα 2Ι.

2.5 Νωτιαία νεύρα

Στους ανθρώπους υπάρχουν 31 ζεύγη νωτιαίων νεύρων, τα οποία αναδύονται από τον σπονδυλικό σωλήνα μέσω των μεσοσπονδύλιων τρημάτων. Κάθε ζεύγος νωτιαίων νεύρων εξυπηρετεί μόνο ένα τμήμα του σώματος. Ο νωτιαίος μυελός αποτελείται από 31 αλληλοδιάδοχα τμήματα (νευροτόμια) το ένα επάνω στο άλλο. Τα νωτιαία νεύρα διαιρούνται σε αυχενικά, θωρακικά , οσφυϊκά , ιερά και κοκκυγικά νεύρα. Υπάρχουν: 8 ζεύγη αυχενικών νεύρων όπου το 1^ο ζεύγος αναδύεται μεταξύ του ινιακού οστού και του άτλαντα, 12 ζεύγη θωρακικών νεύρων όπου το 1^ο ζεύγος αναδύεται μεταξύ του 1^{ου} και 2^{ου} θωρακικού σπονδύλου , 5 ζεύγη οσφυϊκών νεύρων όπου το 1^ο ζεύγος αναδύεται μεταξύ του 1^{ου} και 2^{ου} οσφυϊκού σπονδύλου , 5 ζεύγη ιερών νεύρων όπου το 1^ο ζεύγος αναδύεται από το ανώτερο ιερό τμήμα και τέλος 1 ζεύγος κοκκυγικών νεύρων το οποίο αναδύεται μεταξύ του 1^{ου} και 2^{ου} κοκκυγικού σπονδύλου (Schünke et al. 2007).

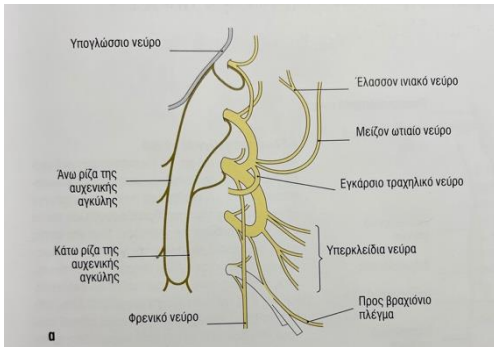


Εικόνα 2J.

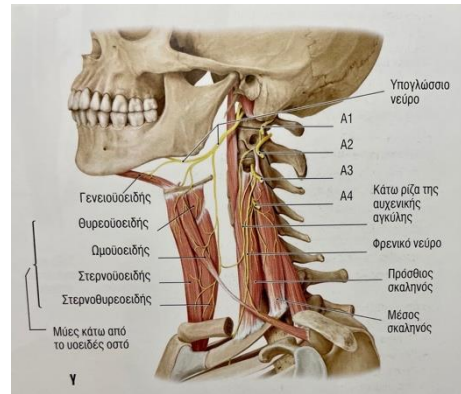
Κάθε νωτιαίο νεύρο συνδέεται με τον νωτιαίο μυελό με οπίσθιες και πρόσθιες ρίζες. Η οπίσθια ρίζα περιέχει τις αποφυάδες αισθητικών νευρώνων που μεταφέρουν πληροφορίες στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα. Τα κυτταρικά σώματα των αισθητικών νευρώνων είναι συσσωρευμένα σε ένα νωτιαίο γάγγλιο οπίσθιας ρίζας συνήθως στο μεσοσπονδύλιο τμήμα. Η πρόσθια ή κοιλιακή ρίζα περιέχει κινητικές νευρικές ίνες που μεταφέρουν σήματα από το κεντρικό νευρικό σύστημα προς την περιφέρεια και τα κυτταρικά σώματα τους βρίσκονται στις πρόσθιες περιοχές του νωτιαίου μυελού. Κεντρικά, οι οπίσθιες και πρόσθιες ρίζες διαχωρίζονται σε πολλά ριζίδια τα οποία προσφύονται πάνω στον νωτιαίο μυελό. Το τμήμα του νωτιαίου μυελού από το οποίο εκφύονται δεξιά και αριστερά τα οπίσθια και πρόσθια ριζίδια ονομάζεται μυελοτόμιο. Οι οπίσθιες και πρόσθιες ρίζες ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τα νωτιαία νεύρα (Schünke et al. 2007).

Μετά την έξοδο τους από το αντίστοιχο μεσοσπονδύλιο τμήμα κάθε νωτιαίο νεύρο διαιρείται σε δύο πρωτεύοντες κλάδους, έναν μεγάλο πρόσθιο κλάδο και ένα μικρό πρόσθιο κλάδο. Οι οπίσθιοι κλάδοι νευρώνουν μόνο αυτόχθονες μύες της ράχης και το δέρμα της ράχης ενώ οι πρόσθιοι νευρώνουν τους περισσότερους άλλους σκελετικούς μύες στο πρόσθιο και οπίσθιο τοίχωμα σώματος και άκρα. Από τους πρόσθιους κλάδους σχηματίζονται και όλα τα μεγάλα πλέγματα : (Schünke et al. 2007).

-Αυχενικό πλέγμα (A1-A4) από όπου εκφύεται το φρενικό νεύρο (A3-A5) το οποίο είναι πολύ σημαντικό γιατί νευρώνει το διάφραγμα (ζωτικής σημασίας για αναπνοή). Επίσης δίνει κλάδους για τον γενιοειδή και θυροϋοειδή μυ καθώς και μέσω της αυχενικής αγκύλης (A1-A3) τους ομοϋοειδή, στερνοϋοειδή, στερνοθυροειδή μυ όλοι εκ των οποίων είναι σημαντικοί για την κατάποση και την ομιλία (Schünke et al. 2007).

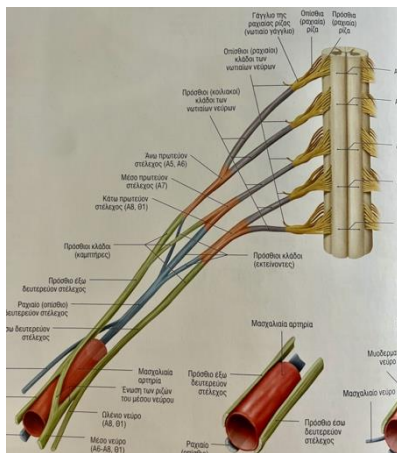


Εικόνα 2Κ.

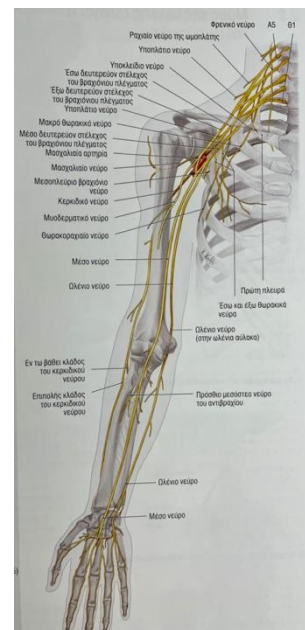


Εικόνα 2Λ.

-Βραχιόνιο πλέγμα (A5-Θ1) από το οποίο εκφύονται τα νεύρα που νευρώνουν όλους σχεδόν τους μύες του άνω άκρου με εξαίρεση τον τραπεζοειδή, στερνοκλειδομαστοειδή και ωμοϋσείδη μυ οι οποίοι νευρώνονται από το παραπληρωματικό νεύρο (XI εγκεφαλικό) (Schünke et al. 2007).

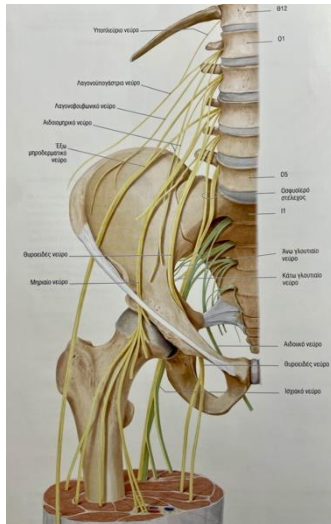


Εικόνα 2Μ.



Εικόνα 2Ν.

-οσφυοϊερό πλέγμα : όπου πιο συγκεκριμένα το οσφυϊκό πλέγμα (Θ12-Ο4) δίνει τα κύρια μηριαία και θυρεοειδές νεύρο ενώ το ιερό πλέγμα (Ο5-Ι3) δίνει το άνω και κάτω γλουτιαίο νεύρο, το ισχιακό νεύρο, το κοινό περωνιαίο νεύρο και το κνημιαίο νεύρο. Το πλέγμα αυτό είναι υπεύθυνο για την νύρωση όλων των μυών του κάτω άκρου (Schünke et al. 2007).



Εικόνα 20.

Τέλος :

Οι μηνιγγικοί κλάδοι επανεισέρχονται στο νωτιαίο σωλήνα και προσφέρουν αισθητική νεύρωση στις νωτιαίες μήνιγγες και σε άλλα μορφώματα.

Ο λευκός αναστομωτικός κλάδος μεταφέρει λευκές (εμμύελες) ίνες στο γάγγλιο του συμπαθητικού στελέχους.

Ο φαιός αναστομωτικός κλάδος (αμύελος) μεταφέρει ίνες από το συμπαθητικό γάγγλιο πίσω στο νωτιαίο νεύρο (Schünke et al. 2007).

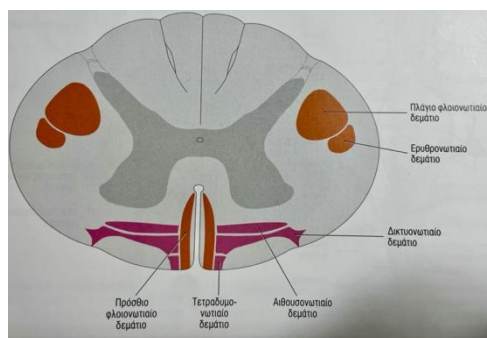
2.6 Νωτιαίες οδοί

Οι νευρικές ίνες μέσα στο νωτιαίο μυελό σχηματίζουν δεμάτια , τα οποία με την σειρά τους ανήκουν σε διάφορες οδούς. Υπάρχουν δύο τύποι οδών, οι ανιούσες οδοί και οι κατιούσες νωτιαίες οδοί. Οι κατιούσες νωτιαίοι οδοί περιλαμβάνουν νευράξονες που προέρχονται από νευρώνες που βρίσκονται στον εγκέφαλο και σχετίζονται με την κινητική λειτουργία όπου δηλαδή μεταφέρουν την πληροφορία από ανώτερα κινητικά κέντρα στους νευρώνες του νωτιαίου μυελού. Μπορούμε να χωρίσουμε τις οδούς σε έξω κινητικό σύστημα και έσω κινητικό σύστημα (Schünke et al. 2007).

Έξω κινητικό σύστημα : το οποίο σχετίζεται με λεπτές ακριβείς κινήσεις των χεριών.

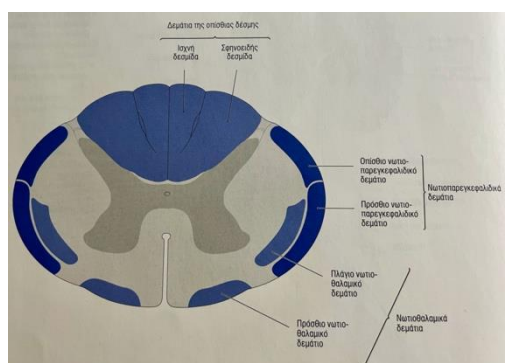
Οι πλευρικές οδοί σχετίζονται με τις εκούσιες κινήσεις και ελέγχονται άμεσα από τον εγκεφαλικό φλοιό. Τα δύο δεμάτια των πλευρικών οδών είναι η πυραμιδική οδός ή φλοιονωτιαίο δεμάτιο και το ερυθρονωτιαίο δεμάτιο (εξωπυραμιδικό). Μεγάλος αριθμός ινών της πυραμιδικής οδού χιάζονται μεταξύ προμήκη μυελού και νωτιαίου μυελού σε μία περιοχή γνωστή ως χιασμός των πυραμίδων, με αποτέλεσμα το κάθε ημισφαίριο να ελέγχει την αντίθετη πλευρά του σώματος όσο αναφορά την νεύρωση.

Έσω κινητικό σύστημα : το οποίο σχετίζεται με έλεγχο κινήσεων και στάσης κορμού. Αποτελείται από το πρόσθιο δικτυονωτιαίο δερμάτιο , το πλάγιο αιθουσονωτιαίο δερμάτιο και το τετραδυμονωτιαίο δερμάτιο (Schünke et al. 2007).



Εικόνα 2P.

Τα ανιόντα δερμάτια (αισθητικές, κεντρομόλες οδοί) μεταφέρουν πληροφορίες από τον κορμό και τα άκρα του εγκεφάλου. Τα πιο σημαντικά είναι το νωτιοθλαμικό δερμάτιο (πρόσθιο: αίσθηση αδρής αφής και πλάγιο: αίσθηση πόνου και θερμοκρασίας) ,τα δερμάτια της οπίσθιας δέσμης στα οποία ανήκουν το ισχνό δερμάτιο (λεπτή αφή και ενσυνείδητη ιδιοδεκτικότητα κάτω άκρων) και το σφηνοειδές δερμάτιο (λεπτή αφή και ενσυνείδητη ιδιοδεκτικότητα άνω άκρων) και τέλος το νωτιοπαραεγκεφαλιδικό δερμάτιο (πρόσθιο και οπίσθιο : ασυνείδητη ιδιοδεκτικότητα προς παρεγκεφαλίδα).Με τον όρο ιδιοδεκτικότητα αναφερόμαστε στην αντίληψη της θέσης των άκρων στο χώρο (αίσθηση θέσης) (Schünke et al. 2007).

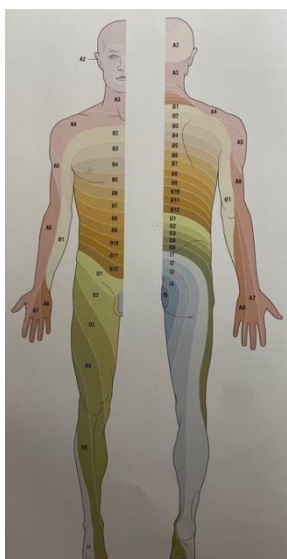


Εικόνα 2Q.

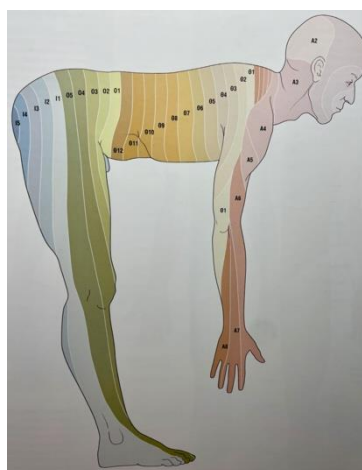
2.7 Δερμοτόμιο – Μυοτόμιο

Η αισθητική νεύρωση του δέρματος είναι αντίστοιχη με τις αισθητικές ρίζες των νωτιαίων νευρών. Κάθε νευροτόμιο του νωτιαίου μυελού (εκτός από τον Α1) νευρώνει μία συγκεκριμένη περιοχή του δέρματος (δερμοτόμιο). Από κλινική άποψη, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ακριβή αντιστοιχία μεταξύ δερμοτομίων και νευροτομίων, ούτως ώστε το επίπεδο μιας βλάβης του νωτιαίου μυελού να μπορεί να καθορισθεί με βάση τη θέση του δερμοτομίου που έχει προσβληθεί. Επειδή το Α1 (1^ο αυχενικό νεύρο) είναι καθαρά κινητικό, δεν υπάρχει Α1 δερμοτόμιο. Από την άλλη, το τμήμα ενός σκελετικού μύος που νευρώνεται από ένα ορισμένο επίπεδο του νωτιαίου μυελού ή στη μία πλευρά από ένα ορισμένο νωτιαίο νεύρο ονομάζεται μυοτόμιο (Schünke et al. 2007).

Οι δοκιμασίες ελέγχου του μυοτομίου είναι πιο δύσκολες από αυτές των δερμοτομίων επειδή κάθε σκελετικός μύς νευρώνεται συνήθως από περισσότερα του ενός επίπεδα νωτιαίου μυελού.



Εικόνα 2R.



Εικόνα 2S.

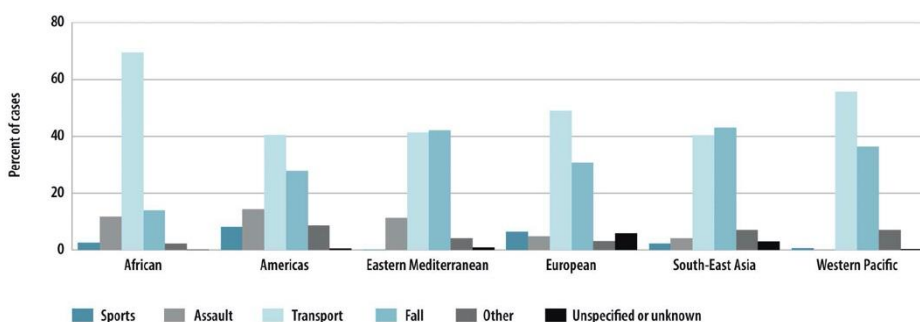
2.8 Κακώσεις νωτιαίου μυελού

2.8.1 επιδημιολογία

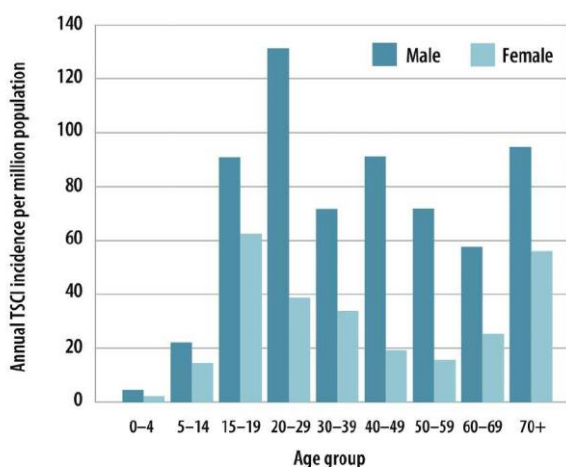
Άρθρα σχετικά με κακώσεις νωτιαίου μυελού στις ΗΠΑ μεταξύ ηλικιών 28 και 55, αναφέρουν 10000 νέα περιστατικά κάθε χρόνο. Οι κύριες αιτίες περιλαμβάνουν τραυματική κάκωση όπως τροχαία ατυχήματα (36-48%), βία (5-29%), πτώσεις (17-21%) ή ψυχαγωγικές δραστηριότητες (7-16%). Έτσι, το εκτιμώμενο μέγεθος του πληθυσμού στις ΗΠΑ με τραυματική κάκωση νωτιαίου μυελού είναι 183.000 με

230.000. Η μέση ηλικία τραυματισμού με κάκωση νωτιαίου μυελού είναι τα 31 έτη. Έρευνες όσο αναφορά τον επιπολασμό δείχνουν ότι ο αριθμός θα ήταν υπερτετραπλάσιος αν συμπεριληφθούν υπόψιν και τα μη τραυματικά αίτια (συνήθως οφείλονται σε υποκείμενη παθολογία όπως λοιμώδη νοσήματα, όγκοι, μυοσκελετικές παθήσεις όπως οστεοαρθρίτιδα, και συγγενείς παθήσεις όπως η δισχιδής ράχη, η οποία είναι έλλειμμα του νευρικού σωλήνα που προκύπτει κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του εμβρύου). Επίσης η αναλογία μεταξύ αντρών – γυναικών είναι 4:1 .Το μέσο κόστος ζωής για θεραπεία ενός ατόμου με τραυματική κάκωση νωτιαίου μυελού κυμαίνεται μεταξύ 500.000 – 2 εκατομμύρια δολάρια για τις κρατικές ανάγκες (Singh et al. 2014).

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν μεγάλες επιδημιολογικές μελέτες σχετικά με την κάκωση νωτιαίου μυελού (SCI- spinal cord injury). Μία έρευνα που αφορά μικρό αριθμό δείγματος στην Θεσσαλονίκη (συμπεριλαμβανομένου της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας) αναφέρει ετήσιο ποσοστό επίπτωσης 33,6 ανά εκατομμύριο και τα τροχαία ατυχήματα αναφέρονται ως κύρια αιτία τραυματισμού. Παράλληλα η ίδια έρευνα αναφέρει ότι ο επιπολασμός των ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού τραυματικής ή μη τραυματικής αιτιολογίας αντιπροσωπεύει το 5,7% του συνολικού αριθμού των κλινών αποκατάστασης στη χώρα μας. Τέλος , στη χώρα μας η συχνότητα τραυματισμού των αντρών είναι επίσης αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των γυναικών.



Εικόνα 2W.



Εικόνα 2Z.

2.8.2 Παθοφυσιολογία

Πρωτογενής τραυματισμός

Ο αρχικός μηχανικός τραυματισμός περιλαμβάνει δυνάμεις έλξης και συμπίεσης. Η άμεση συμπίεση των νευρικών στοιχείων από σπασμένα και μετατοπισμένα θραύσματα οστών, δίσκου και συνδέσμων τραυματίζει τόσο το κεντρικό όσο και το περιφερικό νευρικό σύστημα. Τα αιμοφόρα αγγεία καταστρέφονται, οι νευράξονες των νευρώνων διαταράσσονται και οι μεμβράνες τους σπάζονται. Οι μικροαιμορραγίες εμφανίζονται μέσα σε λίγα λεπτά στην κεντρική φαιά ουσία και εξαπλώνονται ακτινικά και αξονικά τις επόμενες ώρες. Μέσα σε λίγα λεπτά, ο νωτιαίος μυελός διογκώνεται για να καταλάβει ολόκληρη τη διάμετρο του σπονδυλικού σωλήνα σε επίπεδο τραυματισμού. Η δευτεροπαθής ισχαιμία προκύπτει όταν το οίδημα του μυελού υπερβαίνει την φλεβική πίεση του αίματος. Η αυτορρύθμιση της ροής του αίματος παύει και το νευρογενές σοκ της σπονδυλικής στήλης οδηγεί σε συστηματική υπόταση, επιδεινώνοντας έτσι την ισχαιμία. Η ισχαιμία προκαλεί απελευθέρωση τοξικών χημικών ουσιών από τις διαταραγμένες νευρικές μεμβράνες οι οποίες πυροδοτούν ένα δευτερεύοντα καταρράκτη που ουσιαστικά ενισχύει την αρχική μηχανική βλάβη βλάπτοντας ή σκοτώνοντας γειτονικά κύτταρα (Schünke et al. 2007).

Δευτερογενής τραυματισμός

Η κατανόηση των δευτερογενών γεγονότων (0-48ώρες) που ξεκίνησαν από τον πρωτογενή τραυματισμό, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην γνώση και κατανόηση του εγκεφαλικού τραύματος και της ισχαιμίας. Μετά τον τραυματισμό, η υποδιάχυση που αναπτύσσεται στη φαιά ουσία επεκτείνεται στην περίγυρα λευκή ουσία. Αυτή η υποδιάχυση επιβραδύνει ή αποκλείει εντελώς τη διάδοση των δυναμικών κατά μήκος νευραξόνων, συμβάλλοντας στο σπονδυλικό σοκ. Αν και ο όρος χρησιμοποιείται για πάνω από 150 χρόνια, ο παθοφυσιολογικός μηχανισμός του νωτιαίου σοκ παραμένει ελάχιστα κατανοητός. Φαίνεται ότι τα κατεστραμμένα κύτταρα, οι νευράξονες και τα αιμοφόρα αγγεία απελευθερώνουν τοξικές χημικές ουσίες που προσβάλλουν άθικτα γειτονικά κύτταρα. Το γλουταμινικό, παίζει βασικό ρόλο σε μια εξαιρετικά διαταρακτική διαδικασία γνωστή ως διεγερτοτοξικότητα. Το γλουταμινικό υπερεκκρίνεται από τραυματισμένα κύτταρα νωτιαίου μυελού και αστροκύτταρα προκαλώντας υπερδιέγερση στα υγιή γειτονικά κύτταρα. Τα υπερδιεγερμένα κύτταρα, δημιουργούν κύματα ιόντων ασβεστίου που πυροδοτούν μία σειρά καταστροφικών συμβάντων, συμπεριλαμβανομένης της υπερπαραγωγής ελεύθερων ριζών. Αυτά τα εξαιρετικά δραστικά μόρια επιτίθενται στις μεμβράνες και σε άλλα κυτταρικά συστατικά, σκοτώνοντας υγιείς νευρώνες (Schünke et al. 2007).

Η διεγερτοτοξικότητα πιστευόταν ότι επηρέαζε μόνο νευρώνες αλλά πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι σκοτώνει επίσης και τα ολιγοδενδροκύτταρα, τα κύτταρα που μυελινώνουν το κεντρικό νευρικό σύστημα. Υποδοχείς γλουταμινικού που ονομάζονται AMPA (-amino-3-hydroxy-5-methyl-4- isoxazole propionic acid) παίζουν βασικό ρόλο στην βλάβη των ολιγοδενδροκυττάρων. Αυτή η δράση θα μπορούσε να εξηγήσει γιατί μη τραυματισμένοι νευράξονες απομυελινώνονται και ως εκ τούτου αδυνατούν να επιτελέσουν την δράση τους μετά από τραύμα νωτιαίου μυελού (Schünke et al. 2007).

2.8.3 Διαταραχές λόγω βλάβης νωτιαίου μυελού.

Η Κάκωση Νωτιαίου Μυελού (ΚΝΜ) είναι μια ιατρικώς πολύπλοκη κατάσταση που διαταράσσει την ζωή. Από ιστορικής πλευράς, έχει συσχετιστεί με πολύ υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Ωστόσο σήμερα, σε χώρες με υψηλά εισοδήματα, η ΚΝΜ μπορεί να θεωρηθεί λιγότερο ως το τέλος μιας αξιόλογης ή παραγωγικής ζωής και περισσότερο ως μια προσωπική και κοινωνική πρόκληση που μπορεί να ξεπεραστεί με επιτυχία. Αυτή η αλλαγή αντικατοπτρίζει μια καλύτερη πρόγνωση, που σημαίνει ότι όσοι καταφέρουν να ξεπεράσουν την κρίσιμη οξεία φάση, μπορούν να ζήσουν και να προοδεύσουν. Για παράδειγμα, τα άτομα που θα υποστούν ΚΝΜ μπορούν πλέον να επωφεληθούν κυρίως από τη βελτιωμένη αντιμετώπιση στα τμήματα των επειγόντων περιστατικών, από τις αποτελεσματικές παρεμβάσεις στην ιατρική και στην αποκατάσταση, και από τεχνολογικά μέσα, όπως αναπνευστικά βοηθήματα, κατάλληλα αναπηρικά αμαξίδια, σε συνδυασμό με πιο εκτεταμένες κοινωνικές υπηρεσίες και πιο προσβάσιμα περιβάλλοντα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να σώζονται ζωές και να μεγιστοποιείται η λειτουργικότητα. Πολλά άτομα με ΚΝΜ μπορούν πλέον να προσδοκούν όχι απλά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά επίσης μια πιο πλήρη και πιο παραγωγική ζωή, σε σχέση με αυτή που θα είχαν οι παλαιότερες γενεές.

Σε χώρες με χαμηλά εισοδήματα η κατάσταση είναι διαφορετική. Η τραυματική κάκωση νωτιαίου μυελού συχνά παραμένει μια καταληκτική κατάσταση. Τα περισσότερα άτομα με ΚΝΜ σε μια χώρα όπως η Σιέρρα Λεόνε πεθαίνουν μετά από λίγα χρόνια μετά την κάκωση.

Το συνολικό αντίκτυπο της κάκωσης νωτιαίου μυελού στο άτομο καθώς και στην κοινωνία στο σύνολο της, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, στους οποίους περιλαμβάνονται: α)η ηλικία που εμφανίζεται η κάκωση (νωρίς ή αργά κατά την παραγωγική περίοδο ζωής του ατόμου) β)η έκταση της βλάβης γ)η διαθεσιμότητα και τα χρονικά πλαίσια των παροχών και των υπηρεσιών και δ)το περιβάλλον στο οποίο ζει το άτομο, όσο αφορά φυσικούς παράγοντες, κοινωνικούς, οικονομικούς και νοοτροπίες.

Η βλάβη του νωτιαίου μυελού μπορεί να είναι τραυματική ή μη τραυματική. Η τραυματική ΚΝΜ μπορεί να είναι το αποτέλεσμα πολλών αιτιών - συμπεριλαμβανομένων των πτώσεων, των τροχαίων ατυχημάτων, των εργατικών και των αθλητικών τραυματισμών και της κακοποίησης. Η μη τραυματική ΚΝΜ, από την άλλη πλευρά, συνήθως οφείλεται σε υποκείμενη παθολογία όπως λοιμώδη νοσήματα, όγκοι, μυοσκελετικές παθήσεις όπως οστεοαρθρίτιδα, και συγγενείς παθήσεις όπως η δισχιδή ράχη, η οποία είναι έλλειμμα του νευρικού σωλήνα που προκύπτει κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του εμβρύου.

Γενικά, όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο της βλάβης στο νωτιαίο μυελό τόσο πιο εκτεταμένο θα είναι το εύρος των διαταραχών. Η αυχενική ΚΝΜ κυρίως προκαλεί αισθητική και κινητική απώλεια (παράλυση) στα άνω άκρα, στον κορμό και στα κάτω άκρα, μια κατάσταση που ονομάζεται τετραπληγία. Ένα άτομο με Α4 ή υψηλότερη βλάβη μπορεί να χρειάζεται αναπνευστήρα για να αναπνέει επειδή η βλάβη επιδρά άμεσα στον έλεγχο του αυτόνομου συστήματος. Πιο αναλυτικά βλάβες του νωτιαίου μυελού πάνω από το Α3 επίπεδο είναι θανατηφόρες επειδή διακόπτουν την κινητική νεύρωση του φρενικού νεύρου (κύρια ρίζα στο Α4 επίπεδο), που νευρώνει το διάφραγμα και διατηρεί την κοιλιακή αναπνοή, ενώ η νεύρωση των μεσοπλεύριων μυών χάνεται και αυτή, προκαλώντας κατάργηση της θωρακικής αναπνοής. Μία πλήρης βλάβη του κατώτερου τμήματος της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού προκαλεί παράλυση και των τεσσάρων άκρων του σώματος (τετραπληγία), ενώ η

αναπνοή είναι επισφαλής, λόγω παράλυσης των μεσοπλευρίων μυών (Schünke et al. 2007).

Η θωρακική KNM κυρίως προκαλεί αισθητική και/ή κινητική απώλεια του κορμού και των κάτω άκρων, μια κατάσταση που ονομάζεται παραπληγία. Βλάβες του ανώτερου τμήματος της θωρακικής μοίρας του νωτιαίου μυελού (χαμηλότερα του Θ2) δεν βλάπτουν τα άνω άκρα, βάζουν σε κίνδυνο όμως της αναπνοής λόγω παράλυσης των κοιλιακών μυών. Μία βλάβη του κατώτερου τμήματος της θωρακικής μοίρας του νωτιαίου μυελού έχει μικρή επίδραση στους κοιλιακούς μυς και η αναπνοή δεν παρεμποδίζεται (Schünke et al. 2007).

Η οσφυϊκή KNM τυπικά προκαλεί αισθητική και κινητική απώλεια στα κάτω άκρα. Στις βλάβες της οσφυϊκής μοίρας του νωτιαίου μυελού γίνεται διάκριση μεταξύ συνδρόμου επικώνου (Ο4-Ι2) και συνδρόμου κώνου (Ι3 και πιο κάτω). Η πρώτη περίπτωση χαρακτηρίζεται από χαλαρή παράλυση των κάτω άκρων (περιφερική παράλυση) με διατήρηση της λειτουργίας της κύστης και του ορθού. Η σεξουαλική ικανότητα χάνεται. Στην δεύτερη περίπτωση, τα κάτω άκρα δεν παραλύουν (Schünke et al. 2007). Όλοι οι τύποι KNM μπορούν επίσης να προκαλέσουν χρόνιο πόνο.

Η έκταση και η σοβαρότητα της απώλειας του αισθητικού, κινητικού και αυτόνομου συστήματος από την KNM δεν εξαρτάται μόνο από το επίπεδο της βλάβης του νωτιαίου μυελού αλλά και από το αν η βλάβη είναι "πλήρης" ή "ατελής". Σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα Νευρολογικής Ταξινόμησης της KNM (ASIA), η KNM θεωρείται πλήρης αν δεν υπάρχει αισθητική και κινητική λειτουργία στα Ι4-Ι5 νευροτόμια. Μία ατελής KNM δεν είναι λιγότερη σοβαρή βλάβη και επίσης μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή αναπηρία, παρόλο που μία μερική αισθητική και/ή κινητική λειτουργικότητα διατηρείται κάτω από το επίπεδο της βλάβης συμπεριλαμβανομένων των περιφερικότερων ιερών μυελοτομιών Ι4-Ι5. Ένα παράδειγμα ατελούς βλάβης αποτελεί το σύνδρομο νωτιαίας ημιπληγίας (σύνδρομο Brown-Sequard). Σ αυτό, στην πλευρά της βλάβης (και κάτω από το επίπεδο της βλάβης) παρατηρείται σπαστική παράλυση, λόγω διακοπής του πυραμιδικού δεματίου. Η διακοπή των οπίσθιων δεσμών προκαλεί διαταραχή στην αίσθηση της θέσης, την αίσθηση της δόνησης και την διάκριση δυο σημείων στην πλευρά της βλάβης. Από την άλλη σε μία πλήρη βλάβη νωτιαίου μυελού, μετά από έναν αιφνίδιο τραυματισμό, εκδηλώνεται αρχικά με νωτιαίο σοκ. Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από χαλαρή παράλυση κάτω από το σημείο της βλάβης με πλήρη κατάργηση της αισθητικότητας από το σημείο της βλάβης και προς τα κάτω. Εμφανίζεται επίσης κατάργηση της λειτουργίας της ούρησης και της αφόδευσης καθώς και στύσης. Επειδή η βλάβη διακόπτει και τις συμπαθητικές ίνες παρατηρείται διαταραχή της εφίδρωσης και της θερμορύθμισης. Η φαιά ουσία του νωτιαίου μυελού ανανήπτει μετά από ένα χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από λίγες μέρες έως οκτώ εβδομάδες. Τα νωτιαία αντανακλαστικά επανέρχονται και η χαλαρή παράλυση μεταβάλλεται σε σπαστική παράλυση. Παρατηρείται επάνοδος της λειτουργίας της κύστης και του ορθού, αλλά μόνο σε αντανακλαστικό επίπεδο, επειδή έχει χαθεί οριστικά ο εκούσιος έλεγχος. Η σεξουαλική ανικανότητα είναι μόνιμη (Schünke et al. 2007).



Εικόνα 2Τ

Νευρογενές σοκ :

- βλάβες πάνω από τον Θ6
 - διάρκεια από λεπτά έως ώρες (η πτώση των κατεχολαμίνων μπορεί να διαρκέσει πάνω από 24 ώρες)
 - διαταραχή της συμπαθητικής απάντησης
 - περιφερική αγγειοδιαστολή
 - υπόταση
 - βραδυκαρδία
 - ζεστός
- (Echert/ Martin Surg Clin N Am 97 (2017) 1031–1045)

Βαθμολόγηση μυϊκής ισχύος:

0. Καμία κινητικότητα
1. Ελάχιστη κινητικότητα
2. Φυσιολογικό εύρος κίνησης όχι όμως ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας
3. Φυσιολογικό εύρος κίνησης ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας
4. Φυσιολογικό εύρος κίνησης ενάντια σε αντίσταση
5. Πλήρως φυσιολογική μυϊκή ισχύς

Μύες – κλειδιά που καθορίζουν το κινητικό επίπεδο της βλάβης:

- A1-A4:** Διάφραγμα
- A5:** καμπτήρες του πήχη (δικέφαλος)
- A6:** εκτείνοντες τον καρπό

- A7: εκτείνοντες τον πήχη (τρικέφαλος)
A8: καμπτήρες των δακτύλων
Θ1: μεσόστυοι
Θ2-Θ1: χρήση του αισθητικού επιπέδου
O2: καμπτήρες του ισχίου (λαγονογοίτης)
O3: εκτείνοντες την κνήμη (τετρακέφαλος)
O4: ραχιαία κάμψη του άκρου ποδός (πρόσθιος κνημιαίος)
O5: μακρύς εκτείνων το μεγάλο δάκτυλο
Π1: πελματιαία κάμψη του άκρου ποδός (γαστροκνήμιος)
I2-I5: χρήση του αισθητικού επιπέδου.

- 1) Αντανακλαστικό του σφιγκτήρα του πρωκτού
2) Βολβοσηραγωγώδες αντανακλαστικό

2.8.4 Ταξινόμηση

ASIA		OMURİLİK YARALANMASI NÖROLOJİK SINIFLAMASI İÇİN ULUSLARARASI STANDARTLAR		ISCOS		Hasta adı	Değerlendirme tarih/saati
AMERICAN SPINAL INJURY ASSOCIATION		(ISNCSCI)		INTERNATIONAL SCORING SYSTEM		Değerlendiren	İmza
SAĞ		DUYUSAL		DUYUSAL		SOL	
MOTOR		ANAHTAR DUYUSAL NOKTALAR		ANAHTAR DUYUSAL NOKTALAR		MOTOR	
ANAHTAR KASLAR		Hafif Dokunma (HD) İğne batırma (İB)		Hafif Dokunma (HD) İğne batırma (İB)		ANAHTAR KASLAR	
C2		C2		C2		C2	
C3		C3		C3		C3	
C4		C4		C4		C4	
C5		C5		C5		C5	
C6		C6		C6		C6	
C7		C7		C7		C7	
C8		C8		C8		C8	
T1		T1		T1		T1	
T2		T2		T2		T2	
T3		T3		T3		T3	
T4		T4		T4		T4	
T5		T5		T5		T5	
T6		T6		T6		T6	
T7		T7		T7		T7	
T8		T8		T8		T8	
T9		T9		T9		T9	
T10		T10		T10		T10	
T11		T11		T11		T11	
T12		T12		T12		T12	
L1		L1		L1		L1	
L2		L2		L2		L2	
L3		L3		L3		L3	
L4		L4		L4		L4	
L5		L5		L5		L5	
S1		S1		S1		S1	
S2		S2		S2		S2	
S3		S3		S3		S3	
S4-5		S4-5		S4-5		S4-5	
SAĞ TOPLAM		(MAKSİMUM)		(MAKSİMUM)		SOL TOPLAM	
(50)		(56)		(56)		(50)	
MOTOR ALT SKORLAR		DUYUSAL ALT SKORLAR		DUYUSAL ALT SKORLAR		MOTOR ALT SKORLAR	
ÜEG + ÜEL = ÜEMS TOPLAM		HDG + HDL = HD TOPLAM		İBG + İBL = İB TOPLAM		AEG + AEL = AEMS TOPLAM	
MAKS (25) (25)		MAKS (56) (56)		MAKS (56) (56)		MAKS (25) (25)	
NÖROLOJİK SEVİYELER		3. NÖROLOJİK YARALANMA SEVİYESİ (NYS)		4. KOMPLET VEYA İNKOMPLET?		5. ASIA BOZUKLUK SKALASI (ABS)	
Sınıflama için 1-5 basamaklar Arka sayfada		1. DUYUSAL <input type="checkbox"/> 2. MOTOR <input type="checkbox"/>		İnkomplet: S4-5'te duyuusal veya motor fonksiyon		KİSMİ KORUNMA ALANI <input type="checkbox"/> DUYUSAL <input type="checkbox"/> MOTOR <input type="checkbox"/>	
		G <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>		(Eğerce komplet yaralanmalarda) Herhangi bir inkomplet olan en alt seviye		G <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	

Bu form çoğaltılabilir fakat American Spinal Injury Association'ın izni olmadan değiştirilemez.

REV 02/13

Εικόνα 2U.

Η έκταση και η σοβαρότητα της απώλειας του αισθητικού, κινητικού και αυτόνομου συστήματος από την κάκωση νωτιαίου μυελού δεν εξαρτάται μόνο από το επίπεδο της βλάβης του νωτιαίου μυελού αλλά και από το αν η βλάβη είναι "πλήρης" ή "ατελής".

Σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα Νευρολογικής Ταξινόμησης της κάκωσης νωτιαίου μυελού [International Standards for Neurological Classification of SCI, (ISNCSCI)], η κάκωση νωτιαίου μυελού θεωρείται πλήρης αν δεν υπάρχει αισθητική και κινητική λειτουργία στα I4-I5 νευροτόμια (Schünke et al. 2007).

Η κλίμακα βαρύτητας βλάβης νωτιαίου μυελού που χρησιμοποιείται με ευρεία κλινική αποδοχή, είναι η κλίμακα ASIA (American Spinal Injury Association).

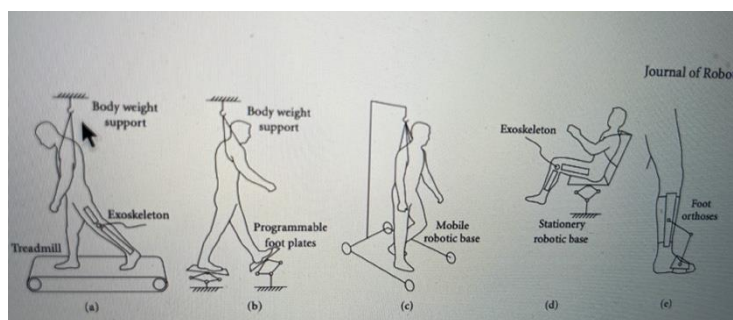
3.1 ρομποτική σε αποκατάσταση κάτω άκρων

Την τελευταία δεκαετία, έχουν αναπτυχθεί αρκετά ρομποτικά συστήματα κάτω άκρων για την αποκατάσταση της κινητικότητας των προσβεβλημένων άκρων. Αυτά τα συστήματα μπορούν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τις αρχές αποκατάστασης που ακολουθούν (Diaz et al.2011) :

- 1) Treadmill gait trainers (μηχανήματα βάρδισης σε διάδρομο)
- 2) Foot plate based gait trainers (μηχανήματα βάρδισης με υποστήριξη βάσης στο πόδι)
- 3) Overground gait trainers
- 4) Stationary gait trainers (στατικοί εκπαιδευτές βάρδισης)
- 5) Ankle rehabilitation system (συστήματα αποκατάστασης ποδοκνημικής)

a)Stationary systems (στατικά συστήματα)

b)active foot orthoses (ενεργές ορθώσεις ποδιών) (Diaz et al.2011)



Εικόνα 3^α.

Τα treadmill gait trainers αποτελούν σήμερα στα περισσότερα κέντρα αποκατάστασης βασικό σύστημα για την βελτίωση της λειτουργικότητας των ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού. Αυτά ως τεχνικές αποκατάστασης είναι γνωστά επίσης ως προπόνηση μερικής υποστήριξης σωματικού βάρους σε διάδρομο. Τρεις θεραπευτές βοηθούν τις ποδοκνημικές και τα ισχία του ασθενούς στην βάρδιση στο ρομποτικό μηχάνημα, ενώ μέρος του σωματικού βάρους του υποστηρίζεται από μάντες υποστήριξης πάνω από το κεφάλι. Πολλά καινούργια ρομποτικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί με στόχο την αυτοματοποίηση και την βελτίωση αυτής της τεχνικής αποκατάστασης με στόχο της μείωση της εργασίας των θεραπευτών. Συνήθως αυτά τα συστήματα βασίζονται σε ρομπότ τύπου εξωσκελετού σε συνδυασμό με διάδρομο βάρδισης (Diaz et al.2011). Από όλα τα συστήματα που συνθέτουν την ρομποτική ομάδα αυτής της κατηγορίας μόνο τα τρία από αυτά κυκλοφορούν στην αγορά, το Locomat,

το Lokohelp και το ReoAmbulator εκ των οποίων το πρώτο έχει τις περισσότερες ενδεδειγμένες μελέτες όσο αναφορά την αποτελεσματικότητα σε ασθενείς με κάκωσεις νωτιαίου μυελού (Diaz et al. 2011).



Εικόνα 3^β



εικόνα 3^γ



Εικόνα 3^γ

3.1.1 LOCOMAT system / RAGT (robot-assisted gait training)

Το locomat αποτελείται από μια ρομποτική όρθωση βάρδισης και ένα προηγμένο σύστημα υποστήριξης σωματικού βάρους, σε συνδυασμό με διάδρομο βάρδισης. Χρησιμοποιεί κινητήρες (drives) ρυθμιζόμενους και ελεγχόμενους από υπολογιστή, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στις ορθώσεις του ισχίου και γόνατος. Οι μηχανισμοί κίνησης του συστήματος συγχρονίζονται επακριβώς με την ταχύτητα του διαδρόμου για να διασφαλιστεί η ακριβής αντιστοίχιση μεταξύ ταχύτητα διαδρόμου – κίνησης από όρθωση (Diaz et al. 2011).

Η εκπαίδευση βάρδισης με την βοήθεια ρομποτικού συστήματος LOCOMAT βελτιώνει την λειτουργικότητα και την δραστηριότητα βάρδισης σε άτομα με τραυματισμό νωτιαίου μυελού. Πιο συγκεκριμένα μετά από τραυματισμό νωτιαίου μυελού προκαλεί πολλούς και διαφορετικούς νευροφυσιολογικούς μηχανισμούς για την αποκατάσταση της ικανότητας βάρδισης, συμπεριλαμβανομένης της ενεργοποίησης προτύπων- μηχανισμών που εδρεύουν στο ΚΝΣ, επανεκπαίδευσης και εξάσκησης βηματισμού για συγκεκριμένους στόχους. Η κινητική ανικανότητα και αναπηρία είναι ένα από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζει ένας ασθενής με παράλυση νωτιαίου μυελού και από την οποία ξεκινάει ένας καταρράκτης προβλημάτων, κοινωνικά, ψυχολογικά, οικονομικά, ηθικά κ.α. Η κινητική εκπαίδευση επικεντρώνεται στην επανεκπαίδευση της κινητικής λειτουργίας μέσω της

πλαστικότητας του εγκεφάλου και άλλων νευροφυσιολογικών μηχανισμών (Nam et al. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017)).



Fig. 1. The Lokomat® is a driven gait orthosis with electromechanical drives for hip and knee joint (2 degrees of freedom per leg) [1, 2]. (With permission of Hocoma AG, Volketswil, Switzerland)

Εικόνα 3.

Αναμενόμενες επιπτώσεις της προπόνησης με το σύστημα LOCOMAT σε παραπληγικούς ασθενείς :

Η εκπαίδευση με LOCOMAT χρησιμοποιείται κυρίως για ασθενείς με μερική κάκωση νωτιαίου μυελού ή με άλλα λόγια σε ασθενείς που έχουν ακόμα κάποια υπολειπόμενη λειτουργικότητα στα άνω και κάτω άκρα τους. Η ικανότητα βάδισης τέτοιων ασθενών μπορεί να βελτιωθεί με την υποστήριξη από το σύστημα LOCOMAT. Το μηχανήμα υποστήριξης βάδισης μπορεί να προσαρμοστεί βάση του λειτουργικού επιπέδου κάθε ασθενή , αλλά όσο τον δυνατόν με λιγότερη υποβοήθεια έτσι ώστε ο ασθενής να έχει το μέγιστο ενεργητικό αποτέλεσμα (Gery Colombo et al.2005).

Σύμφωνα με μία άλλη έρευνα (Nam et al Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017)) το συγκεκριμένο σύστημα επιτυγχάνει τα εξής :

- βελτίωση στην ταχύτητα βάδισης
- βελτίωση στην απόσταση βάδισης
- ενδυνάμωση των μυών του κάτω άκρου

- ευεργετική επίδραση στο λειτουργικό επίπεδο κινητικότητας και ανεξαρτησίας του ασθενούς
- βελτίωση στην ισορροπία
- βελτίωση στην ιδιοδεκτικότητα

Παρόλο που η προπόνηση με το LOCOMAT δεν προκαλεί καμία λειτουργική βελτίωση σε περιπτώσεις πλήρους παραπληγίας, μελέτες έχουν αποδείξει ότι μπορεί ωστόσο να οδηγήσει σε βελτίωση δευτερογενών επιδράσεων όπως :

- τόνωση του μεταβολισμού του ασθενούς
- βελτίωση της κυκλοφορίας
- μακροχρόνια βελτίωση της λειτουργίας του εντέρου και της ουροδόχου κύστης.

Ωστόσο να τονιστεί ότι όλα τα παραπάνω δεν επιτυγχάνονται αποκλειστικά με την χρήση του συγκεκριμένου ρομποτικού συστήματος αλλά πάντα σε συνδιασμό με κατάλληλο και εξατομικευμένο πρόγραμμα φυσικοθεραπείας βάση της κλινικής εικόνας του εκάστοτε ασθενή (Nam et al. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017)).

Πόσο συχνά πρέπει να γίνεται η εκπαίδευση με χρήση LOCOMAT ;

Συνιστώνται τρεις έως πέντε φορές την εβδομάδα για τριάντα με σαράντα πέντε λεπτά, ανάλογα πάντα και με την αντοχή του εκάστοτε ασθενούς και το σχέδιο θεραπείας. Το παραπάνω σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και αποδεδειγμένα στις εξής καταστάσεις :

- Αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια (ΑΕΕ)
- Κακώσεις νωτιαίου μυελού / παραπληγία
- Πολλαπλή σκλήρυνση (MS)
- Εγκεφαλική παράλυση (CP)
- Νόσος Parkinson
- Κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις (ΚΕΚ)
- Εκφυλιστικές παθήσεις των αρθρώσεων των κάτω άκρων (π.χ. οστεοαρθρίτιδα γόνατος)
- Νωτιαία μυϊκή ατροφία

(Nam et al. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017))

Πριν αλλά και κατά τη χρήση του LOCOMAT, ο αρμόδιος φυσικοθεραπευτής είναι πάντα υπεύθυνος για την σωστή εκπαίδευση του ασθενούς στο διάδρομο όσο αναφορά τη σωστή τεχνική χρήσης του μηχανήματος καθώς και πρέπει να ελέγχει αν ο ασθενής που προορίζεται για χρήση της συσκευής πληροί όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για χρήση του συγκεκριμένου ρομποτικού συστήματος. Ειδικότερα πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες αντενδείξεις :

- Χρήση ορθώσεων μη σωστά προσαρμοσμένων στα κάτω άκρα του ασθενούς

- Σωματικό βάρος > 125 kg
- Σοβαροί μυϊκοί σπασμοί
- Αστάθεια οστών (μη συμπαγή κατάγματα , αστάθεια σπονδυλικής στήλης , σοβαρή οστεοπόρωση)
- Ανοιχτές δερματικές βλάβες στην περιοχή των κάτω άκρων και του κορμού
- Σοβαρές κυκλοφορικές διαταραχές
- Μη συνεργάσιμος ασθενής ή αυτοεπιθετική συμπεριφορά (παροδικό ψυχωσικό επεισόδιο)
- Σοβαρά γνωστικά ελλείματα
- Μηχανικός αερισμός
- Ασθενείς με εξαιρετικά δυσανάλογη ανάπτυξη των ποδιών και/ή της σπονδυλικής στήλης (δυσπλασία οστών ή χόνδρου)
- Αρθρόδεση ισχίου , γόνατος ή αστραγάλου

Σε περίπτωση χρόνιων ασθενών ή/και ασθενών που έχουν μείνει ακίνητοι για μεγάλο χρονικό διάστημα , συνιστώνται αρχικά σύντομες προπονήσεις , χρησιμοποιώντας αυξημένη υποστήριξη από το σύστημα ως προς το βάρος τους. Αυτό γιατί αναμένεται υπερβολική αρνητική αντίδραση από τους ασθενείς αυτούς ως προς τις θεραπείες τέτοιου είδους εάν οι προπονήσεις είναι μεγάλες και επίπονες πολύ απότομα. Ο αυξημένος κίνδυνος εμφάνισης οστεοπόρωσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σε χρόνιους ασθενείς . Από την άλλη πλευρά , οι ασθενείς συχνά τείνουν να έχουν μία αντίδραση ευφορίας μετά την αρχική θεραπεία και θέλουν να έχουν μεγαλύτερες ή/και συχνότερες προπονήσεις με κίνδυνο τον τραυματισμό και επιδείνωση της ήδη επιβαρυνμένης κατάστασης τους (Nam et al. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation (2017)).

3.1.2 ReWalk™

Το ReWalk είναι μία πρωτοποριακή εξωσκελετική ρομποτική συσκευή (exoskeleton) που σχεδιάστηκε ειδικά για άτομα με κακώσεις νωτιαίου μυελού και στηρίζεται στο επίπεδο κινητικής λειτουργικότητας του χρήστη για να ελέγξει και να ρυθμίσει το επίπεδο δυσκολίας και υποστήριξης της βάρδιση. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα μηχανοκίνητο εξωσκελετό , μία μονάδα μπαταρίας και έναν ελεγκτή με υπολογιστή που περιέχεται σε ειδικό σακίδιο , έναν ασύρματο ρυθμιστή λειτουργίας και μία σειρά αισθητήρων οι οποίοι μετρούν την γωνία κλίσης του σώματος από την μέση και πάνω , τις γωνίες των αρθρώσεων και την επαφή με το έδαφος. Υπάρχει επίσης ένα ενσωματωμένο εφεδρικό σύστημα τόσο για την μπαταρία όσο και τον κεντρικό υπολογιστή. Ο εξωσκελετός ReWalk έχει αμφίπλευρους πλευρικούς ορθοστάτες για τον μηρό και την ποδοκνημική και αρθρώνεται στις πλάκες των ποδιών περιφερικά.

Χρησιμοποιεί ένα λογισμικό μέσω αλγορίθμου κλειστού συστήματος (closed-loop algorithm software control). Οι κινητήρες ελέγχουν τις κινήσεις στις αρθρώσεις του ισχίου και του γόνατος αλλά όχι στον αστράγαλο όπου χρησιμοποιείται ειδική μηχανική άρθρωση με ραχιαία κάμψη υποβοηθούμενη από ενσωματωμένο ελατήριο (Zeilig at al.2016).

Γενικά υπάρχουν οι εξής πέντε λειτουργίες :

- 1) Walk
- 2) Sit-stand
- 3) Stand-sit
- 4) Up-step
- 5) Down-step

Όταν βρίσκεται σε λειτουργία «βάδισης» (walk) , η κάμψη του ισχίου και του κορμού προς τα εμπρός ανιχνεύεται από ειδικό αισθητήρα και ενεργοποιεί ένα βήμα. Η μέγιστη ταχύτητα βαδίσματος είναι 0,6 m/sec (2.2 km/hour) .

Δεδομένου ότι η ενεργοποίηση των κινήσεων είναι υπό τον έλεγχο του χρήστη-ασθενή , η συσκευή είναι εγγενώς πιο ασφαλής. Το λογισμικό είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να αποτρέπεται η ταχεία κάμψη του ισχίου και του γόνατος όπως μπορεί να συμβεί σε μηχανισμό πτώσης και επίσης παρέχει ελεγχόμενη ταχύτητα με υποστήριξη βάρους κατά το κάθισμα. Η χειροκίνητη λειτουργία επιτρέπει την ρύθμιση της θέσης των κάτω άκρων. Η σταθερότητα και η επιπλέον ασφάλεια του χρήστη κατά την ορθοστασία και την πορεία επιτυγχάνονται με την ταυτόχρονη χρήση βοηθημάτων βάδισης (π.χ. πατερίτσες , βακτηρίες αγκώνα) (Zeilig at al.2016).

Παράλληλα δίνονται και οι εξής οδηγίες χρήσης στον χρήστη :

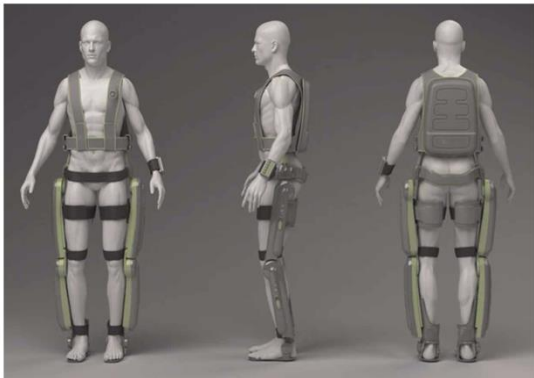
- 1)τοποθετήστε τις βακτηρίες στήριξης μπροστά από το σώμα και μετατοπίστε τη μάζα του σώματος προς το εμπρός
- 2)στηριζόμενοι με τις βακτηρίες στο έδαφος, λυγίστε τους αγκώνες και συνεχίστε να πέφτετε ελαφρά προς τα εμπρός προς το πόδι που έχετε φέρει μπροστά
- 3)ξεκινήστε να σηκώνετε το πίσω πόδι ελαφρώς από το έδαφος, μετατοπίζοντας το προς τα μπροστά
- 4)σπρώξτε τις πατερίτσες ώστε να έρθουν σε ευθεία για καλύτερη στήριξη , επιτρέποντας έτσι στο πίσω πόδι να συνεχίσει να κινείται προς τα εμπρός.
- 5)καθώς το πίσω πόδι ολοκληρώσει την κίνηση του, ετοιμαστείτε να επαναλάβετε την διαδικασία.

Το σύστημα ReWalk έχει αποδειχθεί από πληθώρα μελετών ασφαλές και καλά ανεκτό για τον χρήστη χωρίς σημαντικές επιπλοκές. Οι περισσότερες από τις επιπλοκές που παρατηρήθηκαν μάλιστα οφείλονται σε δερματικούς ερεθισμούς από το μηχάνημα λόγω της εξωτερικής πίεσης που ασκείται στο δέρμα από τον εξωσκελετό πάνω στο σώμα του ασθενούς , χωρίς ωστόσο να θεωρείται σημαντικό για μελέτη αναφοράς καθώς έχουν βρεθεί τρόποι επίλυσης. Επίσης σημαντικό ως προς την ασφάλεια είναι ότι μέχρι τώρα έχουν παρατηρηθεί ελάχιστα περιστατικά μικρών πτώσεων (Zeilig at al.2016).

Συνοψίζοντας, τα οφέλη του ασθενούς από τη ρομποτική συσκευή ReWalk είναι :

- βελτίωση κινητικής λειτουργίας
- βελτίωση αναπνευστικής κατάστασης
- βελτίωση καρδιαγγειακής κατάστασης

- βελτίωση μεταβολισμού
- βελτίωση ουροδόχου κύστης και εντέρου
- μείωση νευροπαθητικού πόνου
- βελτίωση σπαστικότητας κάτω άκρων



Εικόνα 3B.

Εικόνα 3C.

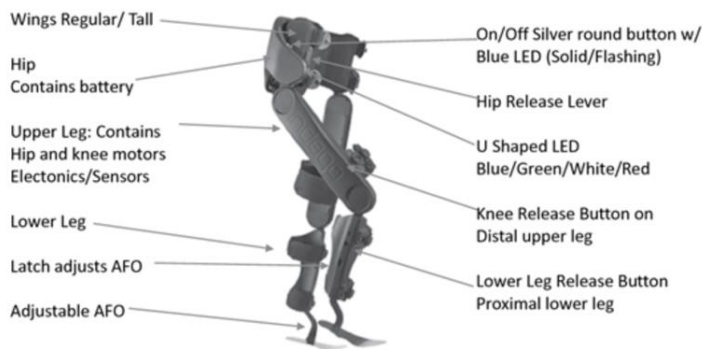


3.1.3 Indego

Ο εξωσκελετός Indego έχει σχεδόν ίδια οφέλη με το ReWalk καθώς η νοοτροπία κατασκευής του και η δράση του είναι παρόμοια με εκείνο. Οι ενσωματωμένοι στο μηχανήμα κινητήρες λαμβάνουν σήματα από ενσωματωμένους αισθητήρες που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη στάση και την κλίση του χρήστη. Όταν ο χρήστης ξεκινάει να κινείται, μετακινείται το κέντρο βάρους προς μια πρόσθια ή οπίσθια κατεύθυνση. Αυτό δίνει σήμα στον κινητήρα να μεταβεί σε διαφορετική λειτουργία και δραστηριότητα. Τα χειριστήρια Indego είναι αυτόνομα, γεγονός που επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιεί μία βοηθητική συσκευή αποκλειστικά για σταθερότητα ενώ στέκεται και περπατά. Ο εξωσκελετός ζυγίζει είκοσι έξι κιλά και χρησιμοποιείται σε συνδιασμό με ένα iPod μέσω ασύρματης σύνδεσης.

Το Indego αποτελείται από πέντε αρθρωτά εξαρτήματα:

- 1 σύστημα ισχίου
- 1 δεξί και 1 αριστερό τμήμα άνω ποδιού (μηρό)
- 1 δεξί και 1 αριστερό τμήμα κάτω ποδιού (κνήμη και ποδοκνημική)



Εικόνα 3D.

Η κινητήρια δύναμη στα ισχία και τα γόνατα παρέχεται από 4 κινητήρες που περιέχονται σε κάθε εξάρτημα του ποδιού μαζί με ενσωματωμένους αισθητήρες και ελεγκτές. Το σύστημα διαθέτει ενσωματωμένες ορθώσεις AFO (ankle foot orthosis) που παρέχουν σταθερότητα στον αστράγαλο. Το εξάρτημα στο ισχίο, φιλοξενεί επίσης μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου που παρέχει ισχύ στο σύστημα.

3.1.4 Erigo

Το ERIGO είναι ένα ρομποτικό σύστημα με πλήρως ελεγχόμενους μηχανισμούς κίνησης των ποδιών από ειδικούς υπολογιστές. Υποστηρίζει και διευκολύνει την κινητοποίηση ασθενών που είναι κλινήρης όπως συμβαίνει σε ασθενείς με κακώσεις νωτιαίου μυελού, με τρόπο ώστε να συνεισφέρει στην προφύλαξη των δευτερογενών επιπλοκών, οι οποίες προκαλούνται από παρατεταμένη περίοδο ακινησίας όπως για παράδειγμα είναι η θρομβοφλεβίτιδα, η ορθοστατική υπόταση, οι δυσκαμψίες κάτω άκρων, κ.λ.π. Το ERIGO επιτρέπει στους ασθενείς να έρχονται σε κάθετη θέση (90μοιρών), ενώ τα κάτω άκρα τους κινούνται σε ένα φυσιολογικό πρότυπο κίνησης με ηλεκτρονική ρύθμιση αντίστασης για εκγύμναση μέσω υπολογιστή. Από την άλλη πλευρά, η εκγύμναση σε ένα συμβατικό μη ρομποτικό ανακλινόμενο κρεβάτι σε αντίθεση με το Erigo είναι μια τυπική θεραπεία που δεν προφυλάσσει τον ασθενή από τις δευτερογενείς επιπλοκές στη φάση της πρώιμης κινητοποίησης νευρολογικών ασθενών (αισθητικοκινητική βλάβη) (Ancona et al.2019).

Η επιτυχία της κάθετης θέσης με το Erigo έχει οριστεί στην επίτευξη σταδιακά των 80-90 μοιρών (επίτευξη 60 μοιρών στην πρώτη συνεδρία, 65 μοιρών στην δεύτερη συνεδρία, 70 μοιρών στην τρίτη συνεδρία, 75 μοιρών στην τέταρτη συνεδρία και 80-90 μοιρών στην πέμπτη συνεδρία). Επίσης στην αρχή και στο πέμπτο λεπτό κάθε συνεδρίας παρακολουθούνταν τα ζωτικά σημεία του ασθενούς (καρδιακός ρυθμός, αρτηριακή πίεση, περιφερικός κορεσμός σε οξυγόνο) καθώς ασθενείς που είναι κλινήρης για μεγάλο χρονικό διάστημα εμφανίζουν ορθοστατική υπόταση πιθανώς λόγω μη ορθής λειτουργίας του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Αυτή η κατάσταση

μπορεί να προκαλέσει μία σειρά συμπτωμάτων που περιλαμβάνουν ζάλη , ωχρότητα , αίσθημα παλμών , θολή όραση , εφίδρωση , ναυτία , διαταραχές ακοής και συγκοπή.

Τα κριτήρια καθετοποίησης ορίστηκαν έτσι σύμφωνα με μελέτες διότι μία μείωση της αρτηριακής πίεσης έως και 15mmHg και μία αύξηση του καρδιακού ρυθμού έως και 20bpm κατά τα πρώτα έξι λεπτά της καθετοποίησης αντιπροσωπεύουν μια φυσιολογική προσαρμοστική ανταπόκριση του ασθενούς (Ancona et al.2019).



Εικόνα 3E.

Το Ergo συνδυάζει τη σταδιακή καθετοποίηση με την ρομποτική κινησιοθεραπεία για να εξασφαλίσει την απαραίτητη ασφάλεια για την σταθεροποίηση των ασθενών σε όρθια θέση καθώς και την εκπαίδευση και αποκατάσταση από την οξεία φάση του προβλήματος. Ένα από τα οφέλη της χρήσης του Ergo είναι η καρδιαγγειακή υποστήριξη του ασθενούς καθώς ο συνδυασμός άμεσης ορθοστάτησης και ρομποτικής κινητοποίησης του ασθενούς είναι κρίσιμα ερεθίσματα για το κεντρικό νευρικό σύστημα.

Αυτό οδηγεί σε ενεργοποίηση του μυοσκελετικού συστήματος , βελτιωμένη λειτουργία μυϊκής αντλίας και φλεβικής επαναφοράς επιτυγχάνοντας στην σταθεροποίηση της καρδιαγγειακής λειτουργίας τους. Παράλληλα φαίνεται ότι παρέχει θετική επίδραση στην βελτίωση της συνείδησης του ασθενούς λόγω των αυξημένων προσαγωγών ερεθισμάτων που δέχεται το κεντρικό νευρικό σύστημα. Τέλος φαίνεται να βελτιώνει και την κινητικότητα του εντέρου τους (Ancona et al.2019).



Εικόνα 3F

3.1.5. MotionMaker system

Το MotionMaker είναι ένα σταθερό προγραμματιζόμενο σύστημα εκπαίδευσης για τα κάτω άκρα που αναπτύχθηκε στην “Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne” επιτρέποντας την εκτέλεση ασκήσεων φυσικής κατάστασης με ενεργή συμμετοχή των παραλυμένων άκρων. Το σύστημα αποτελείται από δυο ρομποτικές ορθώσεις που περιλαμβάνουν αισθητηριακές και κινητικές μονάδες και μία μονάδα ελέγχου που διαχειρίζεται τη διαδερμική ηλεκτρική μυϊκή διέγερση η οποία ρυθμίζεται εν ώρα θεραπείας από τον ειδικό φυσικοθεραπευτή. Ο έλεγχος της μυϊκής δύναμης που προκαλείται από την λειτουργική ηλεκτρική διέγερση (FES) που είναι απαραίτητη για τη μίμηση της φυσικής άσκησης διασφαλίζεται από τη μονάδα ελέγχου που λαμβάνει μια συνεχή πληροφόρηση (input) από τους αισθητήρες θέσης και δύναμης που είναι τοποθετημένοι πάνω στο ρομποτικό σύστημα. Επιπλέον, το FES μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διεγείρει και συμβάλλει στην ανάκτηση κάποιας εκούσιας κινητικής δραστηριότητας, ειδικά σε ασθενείς με μερική κάκωση νωτιαίου μυελού. Για μέγιστη αποτελεσματικότητα, το FES πρέπει να μιμείται όσο το δυνατόν περισσότερο τις φυσικές κινήσεις. Τα κλασσικά συστήματα FES μπορεί να είναι σε θέση να ακολουθούν τη φυσική συχνότητα ενεργοποίησης των μυών που εμπλέκονται σε μία κίνηση, αλλά δεν είναι σε θέση να προσαρμόσουν την ένταση διέγερσης κάθε μυός καθώς η κίνηση συνεχίζεται. Η χρήση του FES είναι απαραίτητη για την επίτευξη πολύπλοκων και επαναλαμβανόμενων κινήσεων, όπως το πάτημα του ποδιού ομαλά στο έδαφος, το ποδήλατο κ.λ.π παρόμοια με τον τρόπο που αυτά επιτελούνται φυσιολογικά. Οι κινήσεις αυτές που πραγματοποιούνται φαίνεται να έχουν αυξημένο θετικό αντίκτυπο στην επαναλειτουργία νευρωνικών κυκλωμάτων που δυσλειτουργούσαν μετά τον τραυματισμό και στην επακόλουθη επίτευξη χαμένων κινητικών λειτουργιών, πιθανώς μέσω της νευροπλαστικότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος (Schmitt et al.2005).

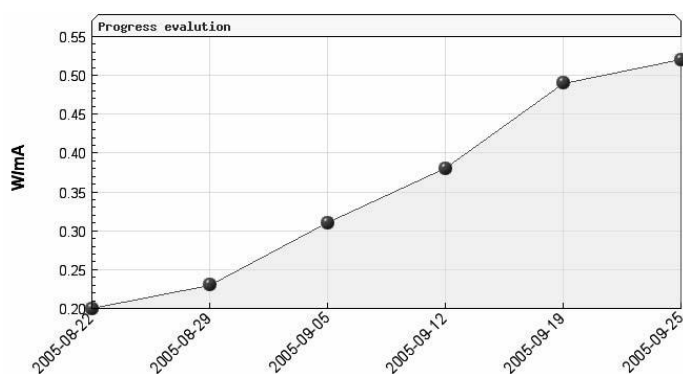


Εικόνα 3G.

Τα πέλματα συνδέονται μόνο με τις ορθώσεις στο επίπεδο της ποδοκνημικής άρθρωσης για να προσομοιώσουν τις φυσικές δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους. Οι ελαστικοί σύνδεσμοι που υπάρχουν από την συσκευή στα άκρα είναι μόνο οδηγοί για την αποφυγή προσαγωγής και απαγωγής της άρθρωσης του ισχίου και υπερέκτασης του γόνατος. Οι δυο ορθώσεις με τρεις βαθμούς ελευθερίας (ισχίο, γόνατο και αστράγαλος) κινούνται με ηλεκτρικούς ενεργοποιητές. Αισθητήρες θέσης και δύναμης είναι τοποθετημένοι σε κάθε άρθρωση για να παρέχουν τις πληροφορίες που

απαιτούνται τόσο για έλεγχο κίνησης όσο και για τον έλεγχο FES. Η ηλεκτρική διέγερση των μυών πραγματοποιείται με ειδικό διεγέρτη «stimwave2» που είναι ουσιαστικά ένας ειδικός διεγέρτης περιφερικών νεύρων με ηλεκτρόδια (Schmitt et al.2005).

Με το motionMaker από κλινική άποψη ως φυσικοθεραπευτές μπορούμε να ρυθμίσουμε ένα σύνολο ασκήσεων που έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένους θεραπευτικούς σκοπούς, όπως ανάπτυξη μυϊκής μάζας, βελτίωση του εύρους κίνησης στις αρθρώσεις, βελτίωση της κυκλοφορίας του αίματος, έλεγχος της σπαστικότητας κλπ. Επιπλέον πρέπει να ορίζουμε τις παραμέτρους που πρέπει να χρησιμοποιούνται για κάθε άσκηση όπως συνολικός αριθμός επαναλήψεων, συχνότητα των συνεδριών, όρια ροπής, εύρος κίνησης της άρθρωσης, μέγιστο ρεύμα διέγερσης. Στη συνέχεια, διασφαλίζουμε την παρακολούθηση των ασθενών μας, δηλαδή θα ελέγχουμε ποιες ασκήσεις έχουν επιτευχθεί, και για κάθε άσκηση που εκτελείται, θα εμφανίζεται ένα σύνολο γραφημάτων που ουσιαστικά συνοψίζουν τις επιδόσεις των ασθενών. Αυτά τα γραφήματα μπορούν να αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη δύναμη που αναπτύσσεται από τον ασθενή, τις ενεργές ροπές των αρθρώσεων, την εξέλιξη της κόπωσης κατά την διάρκεια μιας άσκησης και την εμφάνιση σπασμών. Έτσι μπορούμε να έχουμε εικόνα και για την πρόοδο του εκάστοτε ασθενούς ή την τροποποίηση της θεραπείας, εάν χρειάζεται (Schmitt et al.2005).

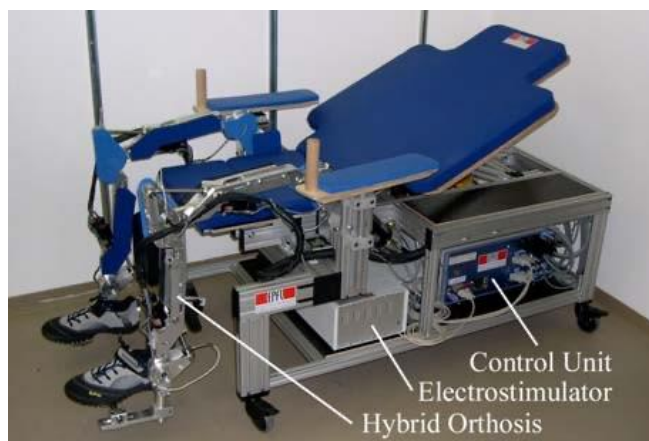


Εικόνα 3Η. Προσομοίωση παραδείγματος της εξέλιξης της δύναμης μετά από 6 βδομάδες εξάσκησης στο motionMaker.

Βάση μιας κλινικής δοκιμής με πέντε άτομα με κάκωση νωτιαίου μυελού εκ των οποίων τα τέσσερα είχαν μερική βλάβη και το ένα πλήρη βλάβη νωτιαίου μυελού τα οποία χρησιμοποίησαν για δύο μήνες το πρόγραμμα στο ρομποτικό σύστημα motionMaker, καταλήξανε στο συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο σύστημα είναι εξαιρετικά ικανό να ανιχνεύει και να διαχειρίζεται τους μυϊκούς σπασμούς. Σημαντικό επίσης είναι ότι όλοι οι ασθενείς ένιωθαν ασφάλεια κατά τη χρήση του μηχανήματος. Παράλληλα παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στην αντιμετώπιση της σπαστικότητας (επίπεδα τρία έως τέσσερα στην τροποποιημένη κλίμακα Ashworth) και για τα άκρα που είναι δύσκολο να κινητοποιηθούν παθητικά από τους θεραπευτές. Τα άτομα με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού μπόρεσαν να απαπτύξουν περισσότερη δύναμη με ηλεκτρική διέγερση από ότι χωρίς και παρατήρησαν επίσης αυξημένο έλεγχο της μυϊκής δραστηριότητας κατά τις ηλεκτρικά επαγόμενες μυϊκές συσπάσεις (Schmitt et al.2005).

Εν κατακλείδι, το ρομποτικό σύστημα motionMaker είναι ένα νέο μηχάνημα που παρέχει καινοτόμες δυνατότητες στο χώρο της αποκατάστασης σε ασθενείς με

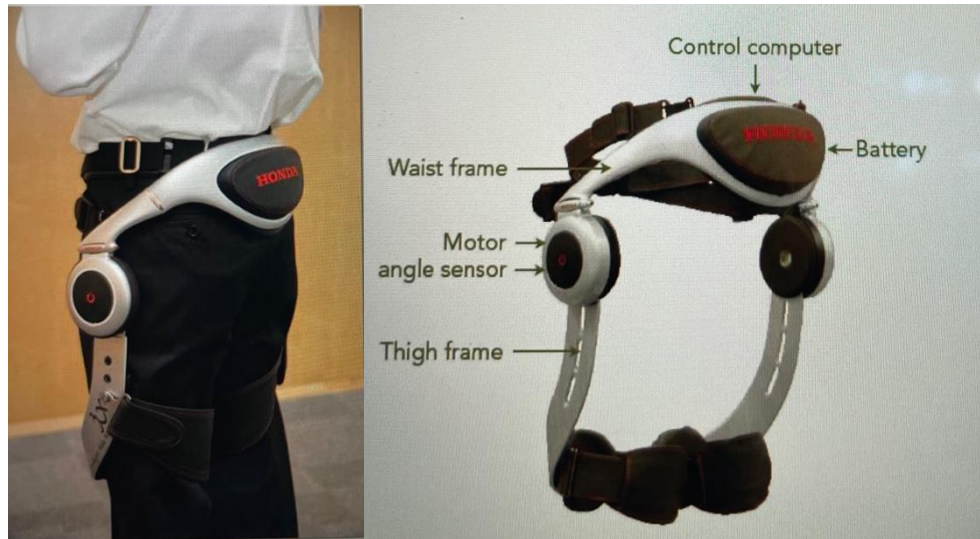
κακώσεις του νωτιαίου μυελού. Τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται προσφέρουν στον ασθενή την δυνατότητα να κάνει ελεγχόμενες ασκήσεις με ηλεκτρικά επαγόμενη, υποβοηθούμενη ή συνδυασμένη μυϊκή δράση. Αυτός ο νέος τύπος άσκησης διεγείρει όχι μόνο την υπολειπόμενη κινητική λειτουργία αλλά μπορεί επίσης να ενισχύσει την δυνατότητα της εκ νέου εκμάθησης της δραστηριότητας μέσω της νευροπλαστικότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος (Schmitt et al.2005).



Εικόνα 3I.

3.1.6 walking assist device

Η συσκευή υποβοήθησης βάδισης με ρυθμιζόμενο διασκελισμό, έχει αναπτυχθεί για ασθενείς με εξασθενημένους μύες των κάτω άκρων που εξακολουθούν να είναι ωστόσο σε θέση να περπατούν. Ένας κινητήρας βοηθά στην ανύψωση του κάθε ποδιού καθώς ο ασθενής κινείται προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Αυτό βοηθά στην επιμήκυνση του βηματισμού του χρήστη, παρέχοντας του καλύτερη βάση στήριξης και διευκολύνοντας στην κάλυψη μεγαλύτερης απόστασης βάδισης με μεγαλύτερη ταχύτητα. Ο ελαφρύς και απλός σχεδιασμός του με ζώνη που φοριέται γύρω από τους γοφούς και τους μηρούς του ασθενή μειώνει το φορτίο του χρήστη και επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους ασθενείς ανεξαρτήτως των προσωπικών χαρακτηριστικών τους. Η συσκευή ζυγίζει δύο κιλά και οκτακόσια γραμμάρια με τις μπαταρίες η διάρκεια ζωής των οποίων είναι οι δύο ώρες (Arakelyan et al. 2013).



Εικόνα 3J.

3.2 Ρομποτική σε παραλύσεις άνω άκρων

Το ανθρώπινο άνω άκρο είναι μία πολύπλοκη περιοχή με 3 κύρια είδη αρθρώσεων , αυτά του ώμου , του αγκώνα και της πηχεοκαρπικής άρθρωσης. Μέσω αυτών το άνω άκρο έχει εννέα βαθμούς ελευθερίας κίνησης. Η άρθρωση του ώμου έχει ουσιαστικά πέντε βαθμούς ελευθερίας κίνησης , τρεις από την γληνοβραχιόνια άρθρωση και δύο από την στερνοκλειδική άρθρωση. Οι κινήσεις από την άρθρωση του ώμου είναι απαγωγή/προσαγωγή ώμου, κάμψη/έκταση ώμου, έσω/έξω στροφή ώμου , ανάσπαση/κατάσπαση ωμοπλάτης και περιαγωγή. Οι αρθρώσεις του αγκώνα και της πηχεοκαρπικής άρθρωσης έχουν δύο βαθμούς ελευθερίας κίνησης η καθεμία που είναι η κάμψη/έκταση αγκώνα , πρηνισμός/υπτιασμός αντιβραχίου , κάμψη έκταση καρπού και ωλένια/κερκιδική απόκλιση καρπού. Η ικανότητα ενός ατόμου να χρησιμοποιεί λειτουργικά τα άνω άκρα του είναι απαραίτητη για την εκτέλεση βασικών δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής (ADL). Οι κινητικές διαταραχές μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ζωής του ασθενούς. Οι διαταραχές των άνω άκρων περιορίζουν συγκεκριμένα την ανεξαρτησία των προσβεβλημένων ατόμων σε μεγάλο βαθμό. Για το λόγο αυτό η χρήση ρομποτικής τεχνολογίας αποκατάστασης είναι αναγκαία για την βελτίωση αυτού του προβλήματος στον μέγιστο δυνατό βαθμό παράλληλα με το συνδυασμό όλων των υπόλοιπων μεθόδων αποκατάστασης (Maciejasz et al. 2014).

Πολλά άτομα με παράλυση των άνω άκρων μετά από κάκωση νωτιαίου μυελού που διατηρούν ωστόσο την κινητική λειτουργία του καρπού, μπορούν να δημιουργήσουν έναν τύπο παθητικής σύλληψης που ονομάζεται tenodesis grasp (Capello et al. 2018). Αυτή η παθητική σύλληψη βασίζεται στην ασθενή ελαστικότητα των μυϊκών ινών του άνω άκρου και του συνδετικού ιστού της περιοχής. Το tenodesis grasp δημιουργείται με την σύσπαση των εκτεινόντων μυών του καρπού και του αντιβραχίου μέσω της έκτασης του καρπού. Αυτό έλκει τους τένοντες των δακτύλων προς τον

καρπό , δημιουργώντας μία δύναμη ροπής κάμψης , η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει μια θέση σύλληψης στο παραλυτικό χέρι. Ωστόσο οι παθητικές δυνάμεις που παράγονται από το tenodesis grasp είναι αδύναμες και γενικά επαρκούν μόνο για την ανύψωση ελαφρών αντικειμένων όταν το αντιβράχιο είναι σε υπτιασμό , με την υποβοήθηση της δύναμης της βαρύτητας. Η ρομποτική προτείνεται επί του παρόντος ως μία μη επεμβατική λύση για την βελτίωση της λειτουργικότητας των άνω άκρων μέσω ρομποτικών συστημάτων , σχεδόν εξ ολοκλήρου εξωσκελετών , οι οποίοι είναι σε θέση να κινούν χέρια των ατόμων με αναπηρία και να συμβάλλουν στην βελτίωση της λειτουργικότητας τους, τα οποία χρησιμοποιούνται ιδίως σε οργανωμένα κέντρα αποκατάστασης και απαιτούν έμπειρο προσωπικό για την επίβλεψη της ασφάλειας και της ευημερίας του ασθενούς κατά τη χρήση τους (Capello et al. 2018).



(tenodesis grasp)

3.2.1 Exoskeleton robotic systems

Η πλειονότητα των ρομποτικών συσκευών , ιδίως των εξωσκελετών που αναπτύχθηκαν για το άνω άκρο παρέχουν ενεργοποίηση μόνο στον ώμο και στον αγκώνα.(Nef et al. 2015) . Με τον όρο εξωσκελετό αναφερόμαστε σε ένα φορητό ρομπότ που συνδέεται με τα άκρα του χρήστη , προκειμένου να ενισχύσει τις κινήσεις του.(Agoggeri et al. 2019) Μόνο λίγες συσκευές παρέχουν πρόσθετη ενεργοποίηση για τις φάλαγγες , τον καρπό και τις στερνοκλειδικές αρθρώσεις (Ball et al. 2007).

Μόνο ένας εξωσκελετός (Kim et al.2013) στους δέκα που χρησιμοποιήθηκαν σε κλινικές δοκιμές και στην κλινική πράξη υποστηρίζουν επτά βαθμούς ελευθερίας κίνησης, οι υπόλοιποι παρέχουν βοήθεια μόνο στον ώμο και στην άρθρωση του αγκώνα (Frisoli et al. 2008) . Εκπαιδεύοντας με τους εξωσκελετούς την άρθρωση του ώμου και του αγκώνα καλύπτεται όλο το εύρος κίνησης του άνω άκρου στις αντίστοιχες αρθρώσεις. Έτσι η αποτελεσματικότητα αυτών των ρομποτικών συστημάτων όσο αναφορά την λειτουργικότητα του άνω άκρου είναι σχετικά περιορισμένη , καθώς το μεγαλύτερο μέρος στις δραστηριότητες καθημερινής ζωής (ADL) περιλαμβάνει τη χρήση της πηγεοκαρπικής και δαχτύλων. Ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού στους οποίους λόγω του επιπέδου της βλάβης έχει περιοριστεί η κινητικότητα των άνω άκρων φαίνεται ότι τα συστήματα εξωσκελετών δρουν ευεργετικά (Frisoli et al.2008).

Πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος:

- 1) Πρώιμη κινητοποίηση του άνω άκρου με ρυθμιζόμενη ένταση δύναμης

- 2) Υποβοηθούμενη ρομποτική κινητοποίηση κατά την διάρκεια των ασκήσεων αποκατάστασης και λιγότερη επιβάρυνση για τον θεραπευτή
- 3) Αυξημένη αποδοτικότητα ασθενούς
- 4) Αυξημένη παρακίνηση του ασθενή καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενσωματωμένα και συνδυαστικά με σύστημα εικονικής πραγματικότητας (VR).

1) Ρομποτικό γάντι

Ένα από τα νέα ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι το ρομποτικό γάντι (Capello et al. 2018). Η συσκευή αυτή έχει σχεδιαστεί για να πραγματοποιεί πολύπλοκες κινήσεις που μιμούνται και υποβοηθούν τις φυσικές κινήσεις του χεριού. Για τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής και της απόδοσης της συσκευής, υιοθετήθηκε ένα νέο ηλεκτρονικό σύστημα προκειμένου κάθε ασθενής να έχει την καλύτερη εφαρμογή με βάση το δικό του μέγεθος του χεριού και δακτύλων του. Το μαλακό ρομποτικό γάντι έχει σχεδιαστεί για να ασκεί επαρκή δύναμη κάμψης και έκτασης κάθε δακτύλου, κάτι που επιτρέπει τη σύλληψη και την ανύψωση ελαφρών αντικειμένων. Λόγω του τρόπου κατασκευής του επίσης μπορεί να πιάνει αντικείμενα με διαφορετικά σχήματα (Capello et al. 2018).



Εικόνα 3Κ.

2) T-WREX

Ο ρομποτικός εξωσκελετός Therapy Wilmington robotic exoskeleton (T-WREX) είναι μία όρθωση που τοποθετείται στο βραχίονα που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει σε άτομα με σημαντική αδυναμία σε αυτόν να επιτύχουν έντονη κινησιολογική προπόνηση χωρίς την αυστηρή επίβλεψη και σωματική επιβάρυνση του θεραπευτή (Housman et al. 2007). Είναι μια παθητική με πέντε βαθμούς ελευθερίας κίνησης ,

τροφοδοτούμενη από το σώμα, ρομποτική συσκευή που δεν περιέχει ρομποτικούς ενεργοποιητές . Παρέχει έναν μεγάλο τρισδιάστατο χώρο εργασίας , επιτρέποντας φυσιολογική κίνηση σε περίπου το εξήντα έξι της εκατό του κανονικού χώρου του βραχίονα στο κατακόρυφο επίπεδο και εβδομήντα δύο της εκατό στο οριζόντιο επίπεδο. Είναι ένα δυναμικό μηχάνημα το οποίο υποστηρίζει το βάρος ολόκληρου του άνω άκρου . (Housman et al. 2007) Αποτελείται από έναν εξωσκελετό που τοποθετείται στο βραχίονα που απαρτίζεται από δύο συνδέσμους, έναν απλό σύνδεσμο στο μπροστινό μέρος και τον παραλληλόγραμμο σύνδεσμο στον βραχίονα. Ελαστικές ταινίες τοποθετούνται στον εξωσκελετό για να επιτευχθεί ισορροπία βαρύτητας μεταξύ του άνω και του κάτω άκρου σε όλες τις θέσεις στον τρισδιάστατο χώρο. Οι θεραπευτές μπορούν να προσαρμόσουν τον αριθμό αυτών των ελαστικών ταινιών για να παρέχουν μεταβλητά επίπεδα στήριξης στον βραχίονα. Μόλις ο βραχίονας τοποθετηθεί στο T-WREX , τα προσβεβλημένα και πιο αδύναμα μυϊκά άτομα μπορούν να μετακινήσουν το προσβεβλημένο άνω άκρο τους ευκολότερα λόγω της υποστήριξης που παρέχεται από αυτό το σύστημα ενάντια στη βαρύτητα. Το σύστημα αυτό αυτή τη στιγμή παράγεται και διατίθεται στην αγορά μέσω του ARMEO springs . Επίσης είναι ένα μηχάνημα το οποίο έχει σχεδιαστεί κατάλληλα έτσι ώστε να μπορεί να συνδυάζεται από το χρήστη με αναπαραγωγή ηλεκτρονικού παιχνιδιού από υπολογιστή γίνοντας πιο διαδραστικό για τον ίδιο. Τα παιχνίδια αυτά έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα έτσι ώστε να μιμούνται τις λειτουργικές κινήσεις των χεριών και παρέχουν έναν τρόπο εκπαίδευσης σε ένα απλό περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας (Housman et al. 2007).



Εικόνα 3L.

3) **AMADEO**

Το AMADEO έχει σχεδιαστεί ειδικά για την αποκατάσταση του χεριού , των δακτύλων και του αντίχειρα (Cuerda et al. 2017). Έχει την μοναδική ικανότητα να επιτυγχάνει υψηλή εντατική επανάληψη της κίνησης του χεριού έτσι ώστε να δουλέψει πάνω στην ευλυγισία των αρθρώσεων και των μυών και να συμβάλλει στην ανάκτηση της κίνησης στο παραλυμένο άνω άκρο ύστερα από κάκωση νωτιαίου μυελού. Το σύστημα αυτό

μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από ενήλικες όσο και από παιδιά και μπορεί να στοχεύσει ολόκληρο το χέρι ή μεμονωμένα δάχτυλα (Cuerda et al. 2017). Είναι ένα ρομπότ αποκατάστασης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις φάσεις της νευρολογικής αποκατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και αν βρίσκεται ο ασθενής στα αρχικά στάδια της ανάρρωσης ή αν το πρόβλημα είναι χρόνιο το σύστημα αυτό έχει αποδειχθεί ότι δρα ευεργετικά τόσο στην αντιμετώπιση των κινητικών όσο και αισθητικών λειτουργιών του χεριού και των δακτύλων του ασθενούς (Cuerda et al. 2017). Ανάλογα με την πρόοδο του ασθενούς κατά την διάρκεια της θεραπείας, ο θεραπευτής μπορεί να επιλέξει και να ρυθμίσει το σύστημα σε παθητική, υποστηρικτική ή ενεργητική λειτουργία. Το AMADEO βελτιώνει την κίνηση και τη δύναμη των δακτύλων ή/και του χεριού καθώς και συμβάλλει στη μείωση της σπαστικότητας.

Οφέλη από χρήση αυτού του συστήματος :

- 1) Συνεχής προσομοίωση φυσικών κινήσεων λαβής
- 2) Ιδανικό για όλες τις φάσεις νευρολογικής αποκατάστασης με την μορφή ενεργών, υποστηρικτικών ή παθητικών θεραπειών
- 3) Μέτρηση της μυϊκής δραστηριότητας και δύναμης του ασθενούς και παρατήρηση της προόδου του ως προς την λειτουργικότητα του σε βάθος χρόνου.
- 4) Ενσωματωμένη βιοανάδραση σε πραγματικό χρόνο
- 5) Υψηλή ευελιξία και φιλικό προς το χρήστη (Cuerda et al. 2017)



Εικόνα 3M

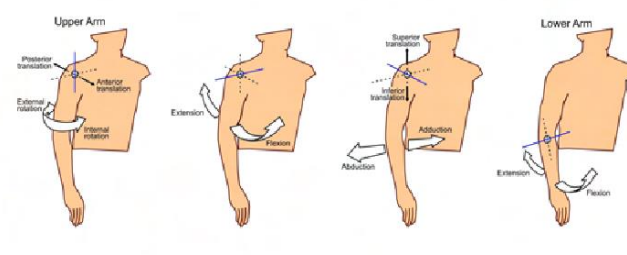
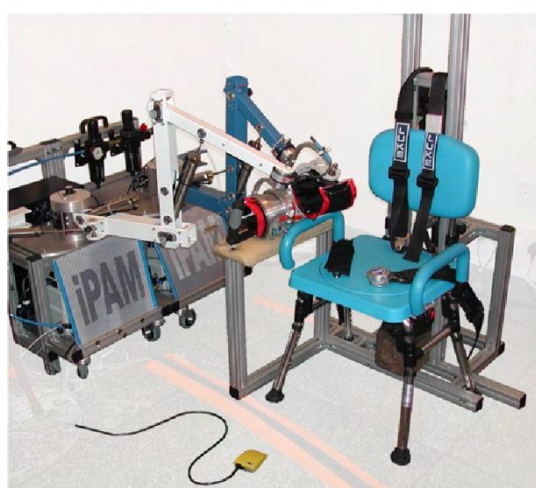


Εικόνα 3N.

4) Intelligent pneumatic arm movement (IPAM)

Το IPAM είναι ένα σύστημα ρομποτικής αποκατάστασης που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει υποβοηθούμενη θεραπευτική κινητοποίηση του άνω άκρου κατά την διάρκεια των προγραμμάτων ασκήσεων αποκατάστασης ιδίως μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο αλλά και κακώσεων νωτιαίου μυελού (Culmer et al. 2011). Είναι ένα ακόμα ρομποτικό σύστημα που έχει σχεδιαστεί για να αυξάνει την αποτελεσματικότητα των

θεραπειών και να χρησιμοποιείται παράλληλα με την κλασική φυσικοθεραπεία και ουσιαστικά μιμείται την παρέμβαση ενός φυσικοθεραπευτή. Αποτελείται από δύο πανομοιότυπους ρομποτικούς βραχίονες: α) την περιφερική όρθωση ρομπότ η οποία επιτρέπει την κίνηση του αντιβραχίου του ασθενούς, ενώ β) η εγγύς ρομποτική όρθωση προσαρμόζεται στο μέσο του άνω βραχίονα για να ελέγχει την κίνηση του εγγύς βραχίονα σε σχέση με την κίνηση του περιφερικού βραχίονα. Με συνολικά έξι βαθμούς ελευθερίας κίνησης (DoF) είναι δυνατός ο έλεγχος έξι DoF του άνω άκρου και πιο συγκεκριμένα πέντε DoF στον ώμο και ένα DoF στον αγκώνα. Το ρομποτικό σύστημα διαμορφώνεται γύρω από ένα μοντέλο του ανθρώπινου βραχίονα, διασφαλίζοντας έτσι την σωστή χρήση αυτής της συσκευής με τον εκάστοτε ασθενή βάσει τα ατομικά του χαρακτηριστικά (Culmer et al. 2011). Για να λειτουργήσει αυτό, ο ανθρώπινος βραχίονας πρέπει να βαθμονομηθεί και να χαρτογραφηθεί εντός του συστήματος έτσι ώστε το ρομπότ να γνωρίζει σε ποια σημεία ακριβώς στο βραχίονα είναι τοποθετημένα οι ρομποτικοί κινητήρες. Έτσι πρέπει να αντιστοιχιστεί το μοντέλο ρομποτικού βραχίονα σε ειδικό λογισμικό με το πραγματικό χέρι του ασθενούς. Μόλις βαθμονομηθεί, ο φυσιοθεραπευτής είναι σε θέση να δημιουργήσει ένα ειδικό ασκησιολόγιο για τον ασθενή βάσει της κλινικής του εικόνας. Το IPAM θα δημιουργήσει αυτόματα μοτίβα άσκησης με βάση την κατηγορία άσκησης που καθορίζεται κατάλληλη από τον φυσικοθεραπευτή. Στην συνέχεια, ο ασθενής καλείται να προσπαθήσει να φέρει εις πέρας θεραπευτικές ασκήσεις, χρησιμοποιώντας έναν εικονικό χώρο εργασίας που περιέχει στόχους που βρίσκονται σε τρισδιάστατο χώρο. Το επίπεδο βοήθειας ή/και το μέγεθος του χώρου εργασίας θα προσαρμοστεί αυτόματα με βάση την απόδοση του ασθενούς και τη στρατηγική θεραπείας. Μια τυπική συνεδρία ρομποτικής θεραπείας διάρκειας μίας ώρας, απαιτεί δεκαπέντε λεπτά χρόνο προετοιμασίας και σαράντα πέντε λεπτά άσκησης με την βοήθεια ρομπότ με άμεση φυσικοθεραπεία (Culmer et al. 2011). Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του συστήματος ολοκληρώθηκε και το ρομπότ έχει εγκατασταθεί ήδη στα πρώτα κέντρα αποκατάστασης και νοσοκομεία όπως το St Mary's .



Εικόνα 30.

3.3 Virtual Reality / Εικονική Πραγματικότητα

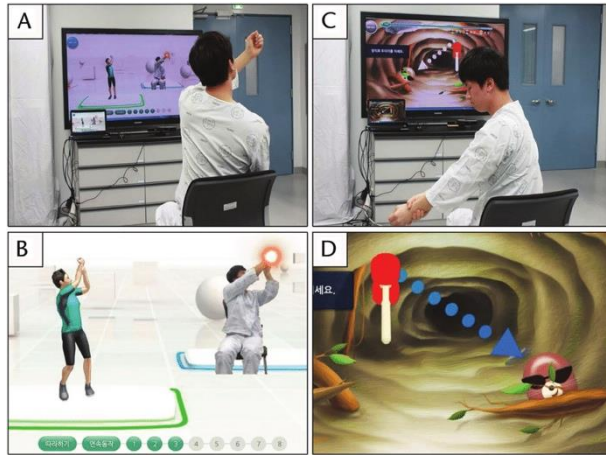
Το σύστημα της εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο σήμερα στον χώρο της αποκατάστασης και μπορεί να οριστεί ως ένα μέσο το οποίο αποτελείται από αλληλεπιδραστικές εξομοιώσεις του χρήστη, και αντικαθιστούν ή επαυξάνουν την ανάδραση σε μία ή παραπάνω αισθήσεις, δίνοντας το αίσθημα της πνευματικής εμπύθισης ή παρουσίας στην εξομοίωση. Ως εικονική αποκατάσταση από την άλλη μπορεί να οριστεί η διαδικασία θεραπείας με χρήση υλικού VR και προσομοιώσεων εικονικής πραγματικότητας, τοπικά ή απομακρυσμένα. Σύντομα στις επιστημονικές κοινότητες θα αποφεύγεται η χρήση του όρου εικονική πραγματικότητα και θα χρησιμοποιείται ο όρος εικονικό περιβάλλον (Burdea et al).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμησης της εικονικής αποκατάστασης. Μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ άλλων την μυοσκελετική εικονική αποκατάσταση όπως για παράδειγμα κατά την αποκατάσταση ύστερα από βλάβες οστών, μυών ή συνδέσμων, την εικονική αποκατάσταση έπειτα από νευρολογική βλάβη όπως κάποια κάκωση του νωτιαίου μυελού και την γνωστική εικονική αποκατάσταση που αφορά κυρίως άτομα με ψυχολογικές διαταραχές που κυμαίνονται από ελλειμματική προσοχή, υπερκινητικότητα έως και μετατραυματικό στρές.

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης της εικονικής αποκατάστασης σχετίζεται και γίνεται με βάση το πρωτόκολλο της αποκατάστασης. Εδώ διακρίνουμε τη θεραπεία VR-augmented δηλαδή επαυξημένης βιοανάδρασης και την VR-based θεραπεία. Στην VR-augmented αποκατάσταση, οι ασθενείς λαμβάνουν μία φόρμα ασκήσεων που υλοποιούνται σε εξοπλισμό διαθέσιμο στην κλινική αποκατάστασης ή στο σπίτι, καθώς και ένα σχήμα VR ασκήσεων προσομοίωσης. Από την άλλη πλευρά η VR-based αποκατάσταση εξαλείφει πλήρως τις συμβατικές ασκήσεις και είναι μια νεότερη προσέγγιση σε σύγκριση με την πρώτη η οποία βρίσκεται ακόμα υπό εξέλιξη (Burdea et al.2003). Τα οφέλη της VR-augmented είναι βάση γνώσης αποτελέσματος το οποίο αναφέρεται στο αποτέλεσμα της προσπάθειας με αντικειμενικό και ποσοτικό τρόπο : α)δυνατότητα αυτό-αξιολόγησης της επίδοσης β)παροχή επιπλέον κινήτρου στον ασθενή και γ)οι στόχοι για την επίτευξη μιας άσκησης είναι ξεκάθαροι. Τα οφέλη τώρα της VR-augmented βάση γνώσης απόδοσης/εκτέλεσης το οποίο κομμάτι ασχολείται με τη διαδικασία εκτέλεσης της ενδεδειγμένης κίνησης είναι : α)καλή συνεργασία τους ασθενή β)ευκολότερη εκμάθηση της άσκησης/δραστηριότητας γ)ενεργή παρέμβαση από τον ίδιο τον ασθενή κατά την διάρκεια της άσκησης και δ)συντονισμός και γνωστική προσπάθεια.



Εικόνα 3Ρ.



Εικόνα 3Q.

Τεχνολογία της VR:

- 1) Οθόνες
- 2) Συσκευές τοποθέτησης στην κεφαλή
- 3) Απτικές συσκευές
- 4) Ενεργοποιητές
- 5) Ιχνηλάτες
- 6) Ειδικά συστήματα κάμερας

Πλεονεκτήματα της εικονικής πραγματικότητας :

- 1) Η ένταση της άσκησης και των αισθητηριακών ανατροφοδοτήσεων , όπως οπτικές , ακουστικές , αφής , μπορεί να είναι ελεγχόμενη. (Merians et al)
- 2) Αξιολογεί αλλαγές στην απόδοση του ασθενούς (Weiss et al; Riva et al; Rizzo et al)
- 3) Παρέχει ένα πλαίσιο ψυχαγωγίας μεγιστοποιώντας έτσι το αποτέλεσμα της θεραπείας μέσω καλύτερης απόδοσης στο πρόγραμμα αποκατάστασης του ασθενούς (Henderson et al)
- 4) Επιτρέπει εύελικτα σενάρια, που η ένταση τους και η ανατροφοδότηση μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του ατόμου (Cameira et al; Holdden; Lucca; Merians)
- 5) Παρέχει τη δυνατότητα προγραμμάτων ομαδικής θεραπευτικής άσκησης
- 6) Με χρήση κατάλληλων συσκευών επιτρέπει την αποκατάσταση εξ ‘ αποστάσεως
- 7) Επιτρέπει συνδυασμό περισσότερων της μίας νέων τεχνολογιών όπως ηλεκτροδιέγερση με εικονική πραγματικότητα ή/και ρομποτική τεχνολογία
- 8) Παράγει σενάρια που είναι δύσκολα ή αδύνατο να δημιουργηθούν στην πραγματικότητα και προστατεύει τους χρήστες από πραγματικούς φυσικούς κινδύνους
- 9) Αποσπά την προσοχή των χρηστών από τον πόνο (Burdea et al.2003)

Τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με την χρήση του VR στο χώρο της αποκατάστασης είναι πολλά. Το ίδιο υλικό VR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους τύπους ασθενών , καθώς και για διάφορους τύπους ασκήσεων που γίνονται

σε αυτούς τους ασθενείς . Ένα σημαντικό πλεονέκτημα επίσης είναι η διαδραστικότητα που προσφέρει στον ασθενή το συγκεκριμένο σύστημα , τραβώντας το ενδιαφέρον του ασθενή ο οποίος συμμετέχει πιο ενεργά στα προγράμματα αποκατάστασης. Αυτό ισχύει ιδίως στις θεραπευτικές προσεγγίσεις που βασίζονται σε βιντεοπαιχνίδια, όπου ο ασθενής ανταγωνίζεται κατά κάποιο τρόπο το σύστημα του υπολογιστή. Παρέχοντας οπτικές και ακουστικές ανταμοιβές , όπως η εμφάνιση ευχάριστων μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο , οι ασθενείς παρακινούνται να ασκηθούν. Έχει μάλιστα προταθεί ότι στο μέλλον οι ασθενείς μπορούν να ανταγωνίζονται μεταξύ τους σε τέτοια παιχνίδια αποκατάστασης βάση και το λειτουργικό τους επίπεδο (Burdea at al.2003).

Το σύστημα εικονικής αποκατάστασης βασίζεται σε υπολογιστές για την απόδοση και εμφάνιση των ασκήσεων και σε διεπαφές με αισθητήρες για την μεσολάβηση των ενεργειών του ασθενούς. Τέτοια δεδομένα ρέουν φυσικά στον κεντρικό υπολογιστή , σε συχνότητα και ανάλυση που δεν ταίριαζε με τα παραδοσιακά εργαλεία μηχανικής αξιολόγησης. Η υψηλή χρονική ευαισθησία των δεδομένων του συστήματος εικονικής πραγματικότητας όπως κάθε ποια χρονική στιγμή θα υλοποιείται η κίνηση της άρθρωσης είναι επίσης σημαντική .Τα δεδομένα του εκάστοτε ασθενούς που συγκεντρώθηκαν κατά την διάρκεια του προγράμματος αποκατάστασης τους αποθηκεύονται με διαφάνεια σε διαδικτυακές βάσεις δεδομένων , χωρίς τη δράση του ασθενούς ή του θεραπευτή έχοντας έτσι σε βάθος χρόνου μία εικόνα της θεραπευτικής πορείας του ασθενούς (Burdea at al.2003).

Αδυναμίες της εικονικής πραγματικότητας :

- 1) Μέθοδοι αλληλεπίδρασης
- 2) Καλώδια , οθόνες και ηλεκτρικός εξοπλισμός ανάλογα το είδος του συστήματος VR
- 3) Ανώριμη μηχανική διαδικασία εννοώντας ότι λόγω του ότι δεν έχει γίνει ακόμα ευρεία χρήση αυτών των συστημάτων στο χώρο της αποκατάστασης είναι πιθανόν να υπάρξουν σφάλματα τα οποία να καθυστερούν τις συνεδρίες μιας φυσικοθεραπείας
- 4) Συμβατότητα πλατφόρμας
- 5) Εξαγωγή, διαχείριση , ανάλυση δεδομένων
- 6) Παρενέργειες

Η χρήση της τεχνολογίας της VR σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα και σε εικονικά προγράμματα οδήγησης αυτοκινήτου σε τέτοιους ασθενείς όπου ουσιαστικά επιτυγχάνονται δοκιμές όρασης , χρόνος αντίδρασης του ασθενούς σε διάφορα ερεθίσματα κατά την οδήγηση , έλεγχος αντανάκλαστικών , εύρος κίνησης και ένταση μυϊκής δύναμης με στόχο τον έλεγχο του επιπέδου ετοιμότητας του ασθενούς στην προσπάθεια επανένταξης στην καθημερινότητα του στα τελικά στάδια της αποκατάστασης. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά χρήσιμη σε ασθενείς που δεν έχουν οδηγήσει μετά το ατύχημα , ασθενείς που έχουν μειωμένη λειτουργικότητα μετά το ατύχημα και σε ασθενείς που είναι αγχωμένοι μετά το ατύχημα κατά την προσπάθεια επανένταξης στις κοινωνικές και λειτουργικές τους δραστηριότητες.

Τέλος, σήμερα έχει αποδειχθεί η ευεργετική επίδραση της θεραπείας μέσω των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας. Παρατηρήθηκαν στοιχεία που επιβεβαιώνουν την βελτίωση της κινητικής λειτουργίας , των κινητικών δεξιοτήτων , της ισορροπίας και της αερόβιας λειτουργίας και για την μείωση του επιπέδου του πόνου. Ωστόσο θα πρέπει να πραγματοποιηθούν παραπάνω μελέτες τόσο για τα θετικά αποτελέσματα όσο και για τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις του VR σε άτομα με βλάβη νωτιαίου μυελού όσο απαραίτητες είναι επίσης μελέτες και για την παροχή ισχυρών κατευθυντήριων οδηγιών και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα πιθανά

οφέλη της VR πριν από την ενσωμάτωση της στα πρωτόκολλα αποκατάστασης για άτομα με κάκωση νωτιαίου μυελού (Burdea et al.2003).

Συμπεράσματα:

Η κάκωση νωτιαίου μυελού είναι μια αρκετά συχνή νευρολογική πάθηση στις μέρες μας με αρκετά μεγάλο αντίκτυπο στη ζωή του ασθενούς. Τα συμπτώματα της βλάβης του νωτιαίου μυελού εξαρτώνται από την έκταση της κάκωσης ή της μη τραυματικής αιτίας, και μπορούν να περιλαμβάνουν απώλεια της αισθητικότητας ή του κινητικού ελέγχου των κάτω άκρων, του κορμού και των άνω άκρων, καθώς επίσης την απώλεια της αυτόνομης (ακούσιας) ρύθμισης του σώματος. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την αναπνοή, τον καρδιακό ρυθμό, την αρτηριακή πίεση, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, τον έλεγχο της κύστης και του εντέρου και τη σεξουαλική λειτουργία. Η ένταξη της ρομποτικής τεχνολογίας στο χώρο της φυσικοθεραπείας σε συνδυασμό με τις συμβατικές τεχνικές αρχίζει να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της αποκατάστασης αυτών των ασθενών. Οι συσκευές αυτές έχουν πετύχει κυρίως να βελτιώνουν τις συνεδρίες αποκατάστασης τόσο για τον ίδιο τον ασθενή αλλά όσο και για τους ίδιους φυσικοθεραπευτές. Οι πρώτοι, επωφελούνται μέσω των ρομποτικών συστημάτων στο ότι οι θεραπείες τους είναι πιο διαδραστικές σε σχέση με τις κλασσικές φυσικοθεραπείες το οποίο επιτυγχάνεται με την βοήθεια συστημάτων όπως η εικονική πραγματικότητα, σε συνδυασμό παράλληλα με όλα τα οφέλη από την ρομποτική κινησιοθεραπεία πετυχαίνοντας την σταδιακή αύξηση της μυϊκής ισχύος τους, βελτίωση της βάρδισης τους, βελτίωση ισορροπίας και ιδιοδεκτικότητας καθώς και της αερόβιας κατάστασης τους με επακόλουθα οφέλη στο καρδιαγγειακό, αναπνευστικό, ουροποιητικό αλλά και γαστρεντερικό τους σύστημα. Μηχανήματα όπως οι εξωσκελετοί, δίνουν την δυνατότητα ακόμα και σε βαρέως πάσχοντες από κακώσεις νωτιαίου μυελού όπως τετραπληγικοί ή και παραπληγικοί ασθενείς να κερδίζουν σε κάθε θεραπεία τα οφέλη της σταδιακής ορθοστάτισης, της βάρδισης των ασθενών με πλήρη υποστήριξη του βάρους σώματος τους, καταστάσεις οι οποίες ίσως να ήταν αδύνατον να επιτευχθούν από ανθρώπινο δυναμικό και μέσω ειδικού προγραμματισμού να ελέγχεται παράλληλα η πρόοδος των ασθενών σε βάθος χρόνου στις θεραπείες με δυνατότητα τροποποίησης του ειδικού ασκησιολογίου και των παραμέτρων δυσκολίας τους με στόχο την επάνοδο των ασθενών στην αυτοεξυπηρέτηση και ανεξαρτησία τους. Οι συσκευές αυτές διευκολύνουν επίσης το έργο των ίδιων των φυσικοθεραπευτών καθώς τους αποφορτίζει από την σωματική επιβάρυνση χωρίς ωστόσο να τους αντικαθιστούν. Σε κάθε πρόγραμμα αποκατάστασης, επίκεντρο είναι πάντα ο ασθενής, η χρήση των ρομποτικών συστημάτων πρέπει να είναι πάντα εξατομικευμένη βάση την κλινική κατάσταση του κάθε ασθενή και τα ατομικά του χαρακτηριστικά με στόχο την ομαλότερη επανένταξη του στην κοινωνία.

Βιβλιογραφία:

Kahle, W., M. Frotscher: taschenatlas der anatomie, Bd. 1, Thueme, Stuttgart 2001

Schunke, M.: Funktionelle Anatomie – Topographie und Funktion des Bewegungssystems. Thieme, Stuttgart 2000

A. Chantraine, Rééducation neurologique: Guide pratique de la rééducation des affections neurologiques. Paris: MEDSI/McGraw-Hill, 1990.
[2] M. Maury, La paraplégie chez l'adulte et chez l'enfant. Paris: Flammarion Médecine Sciences, 1981.

Winchester PK, Carollo JJ, Parekh RN, Lutz LM, Aston Jr. JW, A comparison of paraplegic gait performance using two types of reci- procating gait orthoses. Prosthet Orthot Int 1993;17(2):101–6.

Stallard J, Major RE. A review of reciprocal walking systems for paraplegic patients: factors affecting choice and economic justifica- tion. Prosthet Orthot Int 1998;22(3):240–7.

Kobetic CS, To JR, Schnellenberger ML, Audu TC, Bulea R, Gaudio G, et al. Development of hybrid orthosis for standing, walking, and stair climbing after spinal cord injury. J Rehabil Res Dev 2009;46(3):447–62.

Colombo G, Joerg M, Schreier R, Dietz V. Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. J Rehabil Res Dev 2000;37(6):693–700.

BanalaS, KimS, AgrawalSK, ScholzJP. Robotassistedgaittrain- ing with active leg exoskeleton (ALEX). IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2009;17(1):2–8.

Banala S, Agrawal SK, Fattah A, Krishnamoorthy V, Hsu WL, Scholz JP, et al. Gravity-balancing leg orthosis and its performance evaluation. IEEE Trans Robot 2006;22(6):1228–37.

American Spinal Injury Association/International Medical Society of Paraplegia. International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury Patients. Chicago, IL: American Spinal Injury Association/International Medical Society of Paraplegia; 2000.

Waring WP, Biering-Sorenson F, Burns S, Donovan W, Graves D, Jha A, et al. 2009 review and revisions of the International Standards for the Neurological Classification of Spinal Cord Injury. J Spinal Cord Med 2010;33(4):346–62.

Esquenazi A, Talaty M. Gait analysis: technology and clinical application. In: Braddom RL (ed.) Physical medicine and rehabili- tation. 3rd edn. Philadelphia, PA: Saunders, Elsevier Inc.; 2007. Chapter 5, p. 93–110.

Bijur PE, Silver W, Gallagher EJ. Reliability of the visual analog scale for measurement of acute pain. Acad Emerg Med 2001; 8(12):1153–7.

Gjone R, Nordlie L. Incidence of traumatic paraplegia and tetraplegia in Norway: a statistical survey of the years 1974 and 1975. *Paraplegia*. 1978;16(1):88–93.

Soopramanien A. Epidemiology of spinal injuries in Romania. *Paraplegia*. 1994;32(11):715–722.

Garcia-Reneses J, Herruzo-Cabrera R, Martinez-Moreno M. Epidemiological study of spinal cord injury in Spain 1984–1985. *Paraplegia*. 1991;29:180–190.

Pérez K, Novoa AM, Santamariña-Rubio E, et al; Working Group for Study of Injuries of Spanish Society of Epidemiology. Incidence trends of traumatic spinal cord injury and traumatic brain injury in Spain, 2000–2009. *Accid Anal Prev*. 2012;46:37–44.

M. N. Akman, R. Bengi, M. Karatas, S. Kilinc, S. Sozay, and R. Ozker, "Assessment of spasticity using isokinetic dynamometry in patients with spinal cord injury," *Spinal Cord*, vol. 37, pp. 638-43., 1999.

A. C. Franzoi, C. Castro, and C. Cardone, "Isokinetic assessment of spasticity in subjects with traumatic spinal cord injury (ASIA A)," *Spinal Cord*, vol. 37, pp. 416-20., 1999.

T. H. Kakebeeke, H. Lechner, M. Baumberger, J. Denoth, D. Michel, and H. Knecht, "The importance of posture on the isokinetic assessment of spasticity," *Spinal Cord*, vol. 40, pp. 236-43., 2002.

Winchester P, McColl R, Query R, Foreman N, Mosby J, Tansey K, Williamson J. Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2005; 19: 313-24.

Katoh S, el Masry WS. Motor recovery of patients presenting with motor paralysis and sensory sparing following cervical spinal cord injuries. *Paraplegia* 1995; **33**: 506–09.

Penrod LE, Hegde SK, Ditunno JF Jr. Age effect on prognosis for functional recovery in acute traumatic central cord syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; **71**: 963–68.

Roth EJ, Lawler MH, Yarkony GM. Traumatic central cord syndrome: clinical features and functional outcomes. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; **71**: 18–23.

Delamarter RB, Sherman J, Carr JB. Pathophysiology of spinal cord injury. Recovery after immediate and delayed decompression. *J Bone Joint Surg Am* 1995; **77A**: 1042–49.

Dimar JR, Glassman SD, Raque GH, Zhang YP, Shields CB. The influence of spinal canal narrowing and timing of decompression on neurologic recovery after spinal cord contusion in a rat model. *Spine* 1999; **24**: 1623–33.

T. G. Hornby, D. H. Zemon, and D. Campbell, "Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury," *Physical Therapy*, vol. 85, no. 1, pp. 52–66, 2005.

Hidler, D. Nichols, M. Pelliccio et al., “Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke,” *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 23, no. 1, pp. 5–13, 2009.

K. P. Westlake and C. Patten, “Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 6, no. 1, article 18, 2009.

S. Freivogel, J. Mehrholz, T. Husak-Sotomayor, and D. Schmalohr, “Gait training with the newly developed “LokoHelp”-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke, spinal cord and brain injury. A feasibility study,” *Brain Injury*, vol. 22, no. 7-8, pp. 625–632, 2008.

S. Freivogel, D. Schmalohr, and J. Mehrholz, “Improved walking ability and reduced therapeutic stress with an electromechanical gait device,” *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 41, no. 9, pp. 734–739, 2009.

G. R. West, “Powered gait orthosis and method of utilizing same,” Patent number 6 689 075, 2004.

C. Werner, S. Von Frankenberg, T. Treig, M. Konrad, and S. Hesse, “Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized crossover study,” *Stroke*, vol. 33, no. 12, pp. 2895–2901, 2002.

M. Pohl, C. Werner, M. Holzgraefe et al., “Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (deutsche gangtrainerstudie, degas),” *Clinical Rehabilitation*, vol. 21, no. 1, pp. 17–27, 2007.

S. H. Peurala, O. Airaksinen, P. Huuskonen et al., “Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke,” *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 41, no. 3, pp. 166–173, 2009.

H. Schmidt, “Hapticwalker—anovelhapticdeviceforwalking simulation,” in *Proceedings of the EuroHaptics Conference*, pp. 60–67, Munich, Germany, June 2004.

S. Hesse and C. Werner, “Connecting research to the needs of patients and clinicians,” *Brain Research Bulletin*, vol. 78, no. 1, pp. 26–34, 2009.

H. Yano, S. Tamefusa, N. Tanaka, H. Saitou, and H. Iwata, “Gait rehabilitation system for stair climbing and descending,” in *Proceedings of the IEEE Haptics Symposium, (HAPTICS '10)*, pp. 393–400, Waltham, Mass, USA, March 2010.

S. Chen, Y. Wang, S. Li, G. Wang, Y. Huang, and X. Mao, “Lower limb rehabilitation robot,” in *Proceedings of the ASME/IFTOMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots, (ReMAR '09)*, pp. 439–443, London, UK, June 2009.

J. Yoon, B. Novandy, C. H. Yoon, and K. J. Park, "A 6- DOF gait rehabilitation robot with upper and lower limb connections that allows walking velocity updates on various terrains," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 15, no. 2, Article ID 5424007, pp. 201–215, 2010.

M. Peshkin, D. A. Brown, J. J. Santos-Munne et al., "KineAs- sist: a robotic overground gait and balance training device," in *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, (ICORR '05)*, pp. 241–246, Evanston, Ill, USA, July 2005.

J. K. Burgess, G. C. Weibel, and D. A. Brown, "Overground walking speed changes when subjected to body weight support conditions for nonimpaired and post stroke individuals," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 7, no. 1, article 6, 2010.

M. Bouri, Y. Stauffer, C. Schmitt et al., "The walktrainer: a robotic system for walking rehabilitation," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, (ROBIO '06)*, pp. 1616–1621, Kunming, China, December 2006.

Y. Allemand and Y. Stauffer, "Overground gait rehabilitation: first clinical investigation with the walktrainer," in *Proceedings of the European Conference on Technically Assisted Rehabilitation, (TAR '09)*, Berlin, Germany, 2009.

S.L.Wolf,C.J.Winstein,J.P.Miller,E.Taub,G.Uswatte,D. Morris, C. Giuliani, K. E. Light, and D. Nichols-Larsen, "Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9monthsafterstroke:theEXCITE randomizedclinicaltrial,"*JAMA*, vol. 296(17), pp. 2095-2104, Nov. 2006.

Development of the iPAM MkII system and description of a randomized control trial with acute stroke patients. Jackson AE, Levesley MC, Makower SG, Bhakta BB, Cozens JA, 2013 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)

A novel robotic system for quantifying arm kinematics and kinetics: description and evaluation in therapist-assisted passive arm movements post-stroke. Culmer PR, Jackson AE, Makower SG, Cozens JA, Levesley MC, Mon-Williams M, Bhakta B, *Journal of Neuroscience Methods* 197(2):259-269 30 Apr 2011.