



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»**

Διευθυντής ΠΜΣ: Αναπλ. Καθηγητής ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

*Η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση σε ασθενείς με
Κάκωση Νωτιαίου Μυελού*

Μαριάνθη Παπανδρικού

Φυσικοθεραπεύτρια

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

«ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»

ΛΑΡΙΣΑ, ΜΑΪΟΣ 2022

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

Υπογραφή:

Παπανδρίκου Μαριάνθη

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, 2022

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Επιβλέπων:

ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

**ΝΕΥΡΟΛΟΓΟΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΥΓΕΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ, Αναπλ. Καθηγητής Νευρολογίας Π.Θ.

2. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΤΕΡΑΚΗΣ, Αναπλ. Καθηγητής Νευροχειρουργικής Π.Θ.

3. ΣΓΑΝΤΖΟΣ ΜΑΡΚΟΣ, Αναπλ. Καθηγητής Ανατομίας- Ιστορίας της Ιατρικής

Αναπληρωματικό μέλος:

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ:

Robotic gait training in people with Spinal Cord Injury

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή κ. Δαρδιώτη όχι μόνο ως εμπνευστή αυτού του μεταπτυχιακού αλλά και ως επιβλέπων καθηγητή της εργασίας μου. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την ομάδα των καθηγητών που οραματίστηκε και οργάνωσε αυτό το μεταπτυχιακό που θεωρώ την πιο εύστοχη επιλογή για επαγγελματίες υγείας που ασχολούνται με νευρολογικούς ασθενείς μιας και το βασικότερο όλων είναι η κατάλληλη οργάνωση και συνεργασία της ομάδας αποκατάστασης γύρω από τον συγκεκριμένο ασθενή για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω την κα Σατήρα, ως βασική συντονίστρια του μεταπτυχιακού αυτού, μιας και μία καλή ομάδα εξαρτάται πάντα από τον συντονιστή της. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τις συναδέλφους που παροτρύναμε και στηρίξαμε η μία την άλλη για την ολοκλήρωση αυτού του κύκλου.

Περίληψη

Πριν από δεκαετίες μία κάκωση του νωτιαίου μυελού σήμαινε καθήλωση σε αναπηρικό αμαξίδιο και μία ζωή με δευτερογενή ιατρική συνοσηρότητα. Το οπλοστάσιο των θεραπειών για ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού ήταν φτωχό, με περιορισμένα αποτελέσματα, με συνέπεια την απογοήτευση των ασθενών και των φροντιστών τους.

Στις μέρες μας οι προηγμένες παρεμβάσεις σε συνδυασμό με την τεχνολογία που βρίσκεται στο δυναμικό της αποκατάστασης δίνει νέες ελπίδες ανάπλασης και λειτουργικής αποκατάστασης.

Οι ασθενείς με κάκωση του νωτιαίου μυελού μπορούν, με την κατάλληλη θεραπεία, να παράγουν νέα κινητικά μοτίβα που θα αντικαταστήσουν τα φυσιολογικά κινητικά πρότυπα που χρησιμοποιούσαν πριν τον τραυματισμό τους.

Η δυσλειτουργία τραυματισμένων νευρωνικών δομών έχει συχνά ως αποτέλεσμα αντισταθμιστικές αλλαγές τους από άλλες υγιείς.

Πρόσφατα δεδομένα υποστηρίζουν την θεωρία της πλαστικότητας και των νευρωνικών δικτύων για τον έλεγχο της κίνησης του ανθρώπου. Τα νέα προγράμματα αποκατάστασης που κάνουν χρήση ρομποτικών συσκευών εκμεταλλεύονται τις παραπάνω αρχές, και δίνουν τη δυνατότητα στους ασθενείς να πραγματοποιούν και να αυτοδιορθώνουν τις κινήσεις τους.

Αρχικά γίνεται αναφορά στην ανατομική τοπογραφία και τον ρόλο του νωτιαίου μυελού στην κίνηση του ανθρώπου, στο μηχανισμό των κακώσεων και την ταξινόμησή τους. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή της αποκατάστασης με τη χρήση ρομποτικών μέσων, που σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες στην αποκατάσταση της βάδισης σε ασθενείς με κάκωση του νωτιαίου μυελού, βρέθηκε όφελος όχι μόνο στην κινητικότητα και την βάδιση αλλά και στην αντιμετώπιση δευτερευόντων ιατρικών προβλημάτων.

Τέλος, η παρούσα κατάσταση της νευροαποκατάστασης είναι πολλά υποσχόμενη με ακόμα μεγαλύτερη αισιοδοξία για το μέλλον αναφορικά με την εξέλιξη και ανάπτυξη περαιτέρω καινοτόμων τρόπων θεραπείας.

Λέξεις κλειδιά : ρομποτική υποβοηθούμενη βάδιση, κάκωση νωτιαίου μυελού, ρομποτική αποκατάσταση

Abstract

Decades ago, a spinal cord injury meant being confined to a wheelchair and living a life of secondary medical comorbidity. The range of treatments for patients with spinal cord injury was poor and very limited resulting in frustration for patients and their caregivers.

Nowadays, the advanced interventions in conjunction with technological means that are in the potential of rehabilitation give new hopes for regeneration and functional rehabilitation.

Patients with spinal cord injury can learn new motor patterns with appropriate treatment instead of relearning the motor patterns they used before their injury.

Dysfunction of injured neural "elements" often results in compensatory solutions of equivalent motion.

Recent data support the theory of plasticity and distributed networks to control human movement. The evolution of robotic devices takes advantage of this and enables patients to learn and self-correct their movements.

Therefore, this work begins with the anatomical topography and the role of the spinal cord in human movement, the mechanism of injuries and their classification. It concludes with a description of rehabilitation with the use of robotic devices, that recent studies seem to suggest gains not only in terms of mobility and gait but also in the treatment of secondary medical conditions in patients with spinal cord injury.

Finally, the current state of neurorehabilitation is very promising with even greater optimism for the future for the development of further innovative treatments.

Key words: robotic gait, spinal cord injury, robotic rehabilitation

Πίνακας περιεχομένων

1	ΝΩΤΙΑΙΟΣ ΜΥΕΛΟΣ	9
1.1	Εισαγωγή	9
1.2	Τοπογραφία – Ανατομία	9
1.3	Δομή του νωτιαίου μυελού	10
1.4	Νωτιαία νεύρα	11
1.5	Αιμάτωση νωτιαίου μυελού	13
2	ΚΑΚΩΣΕΙΣ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ	13
2.1	Εισαγωγή	13
2.2	Αιτιολογία- Μηχανισμοί κακώσεων	13
2.3	Ταξινόμηση με βάση τον χρόνο και τον μηχανισμό της βλάβης	14
2.4	Ταξινόμηση με βάση το επίπεδο της κάκωσης	15
2.5	Ταξινόμηση με βάση την αισθητικοκινητική λειτουργικότητα	15
2.6	ΑΤΕΛΗ ΣΥΝΔΡΟΜΑ	18
2.6.1	Σύνδρομο βλάβης της κεντρικής μοίρας του Νωτιαίου Μυελού (βλάβη Scneider)	18
2.6.2	Σύνδρομο πρόσθιου νωτιαίου μυελού	18
2.6.3	Σύνδρομο Brown-Sequard (BS) - ημιδιατομή του νωτιαίου μυελού	19
2.6.4	Σύνδρομο οπίσθιου νωτιαίου μυελού	19
2.6.5	Σύνδρομο μυελικού κώνου	19
2.6.6	Ιππουριδική Σύνδρομη	19
2.7	Νευρολογική κλινική εξέταση	19
3	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΘΕΝΩΝ ΜΕ ΚΑΚΩΣΗ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ	20
3.1	Εισαγωγή	20
3.2	Central Pattern Generators (CPGs)	21
3.3	Ο ρόλος του εγκεφαλικού στελέχους στην κίνηση	22
3.4	Δίκτυα Έκφρασης Προτύπων Ρυθμικών Κινήσεων	23
3.5	Η ρομποτική αποκατάσταση	23

3.6	Ρομποτική αποκατάσταση στην κάκωση του νωτιαίου μυελού	23
3.7	Ρομποτικές σύσκευές κάτω άκρων σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού	24
3.7.1	LOKOMAT	25
3.7.2	LOPES	27
3.7.3	INDEGO	28
3.7.4	REWALK	29
3.7.5	EKSO	29
4	Μελέτες ρομποτικά υποβοηθούμενης βάδισης στην αποκατάσταση ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού και τα οφέλη της	30
5	Συμπεράσματα	43
6	Κλίμακες αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες για ασθενείς με τραυματισμό νωτιαίου μυελού.....	45
6.1	Walking Index for Spinal Cord Injury έκδοση II (WISCI-II)	45
6.2	Berg Balance Scale	46
6.3	Appendix The Spinal Cord Independence Measure, Version III	47
6.4	Patients'Global impression of change (PGIC) scale	51
7	Βιβλιογραφία.....	53

1 ΝΩΤΙΑΙΟΣ ΜΥΕΛΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Ο νωτιαίος μυελός (NM) είναι αναπόσπαστο τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος. Αποτελεί την πιο σημαντική δομή μεταξύ του σώματος και του εγκεφάλου, μιας και συνδέει τον εγκέφαλο και το σώμα [1]. Ουσιαστικά, ελέγχει την εκούσια κίνηση του κορμού και των άκρων και λαμβάνει αισθητηριακές πληροφορίες από αυτές τις περιοχές [2].

1.2 Τοπογραφία – Ανατομία

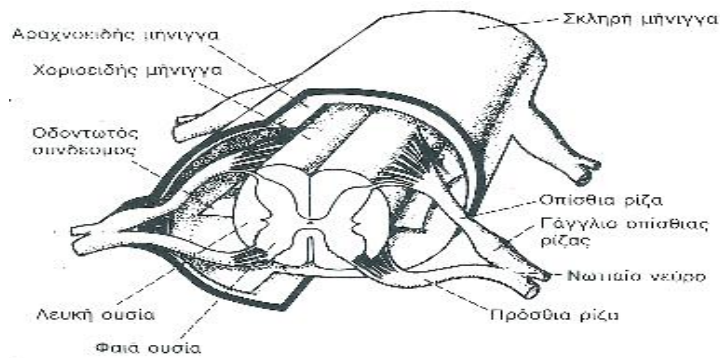
Ο νωτιαίος μυελός εμφανίζεται ως προέκταση του κάτω τμήματος του εγκεφαλικού στελέχους, δηλαδή του προμήκη μυελού. Στον μέσο ενήλικα εκτείνεται από τον πρώτο αυχενικό σπόνδυλο, έως το μεσοσπονδύλιο δίσκο μεταξύ 1^{ου} και 2^{ου} οσφυϊκού σπονδύλου, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων [3]. Στο ουριαίο άκρο του ο μυελός έχει σχήμα κωνικό, κι επομένως αυτό το συγκεκριμένο τμήμα είναι γνωστό ως μυελικός κώνος από τον οποίο εκτείνεται το τελικό νημάτιο, το οποίο καταφύεται στον κόκκυγα. Από το τελικό νημάτιο εκφύεται μία δέσμη νευρικών

ριζών που ονομάζεται ιππούριδα.

Ο νωτιαίος μυελός είναι λευκόφαιο σχοινοειδές μόρφωμα με σχεδόν κυλινδρικό σχήμα, αφού στην αυχενική μοίρα του, από την οποία εκπορεύεται το βραχιόνιο πλέγμα, και στην κατώτερη θωρακική και την οσφυοϊερή μοίρα του, από τις οποίες εκπορεύεται το οσφυοϊερο πλέγμα, είναι διογκωμένος ατρακτοειδώς, σχηματίζοντας αντίστοιχα το αυχενικό και το οσφυϊκό όγκωμα. Τοπογραφικά βρίσκεται κεντρικά στον σπονδυλικό (ή νωτιαίο) σωλήνα που σχηματίζεται από την σπονδυλική στήλη, και περιβάλλεται από τρεις μήνιγγες: τη σκληρή, την αραχνοειδή και την χοριοειδή μήνιγγα. Περαιτέρω προστασία παρέχεται από το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, το οποίο βρίσκεται στον υπαραχνοειδή χώρο και περιβάλλει το νωτιαίο μυελό [4].



Εικόνα 1 Εγκέφαλος και νωτιαίος μυελός, ρίζες νωτιαίων νευρών και νωτιαία νεύρα [4]



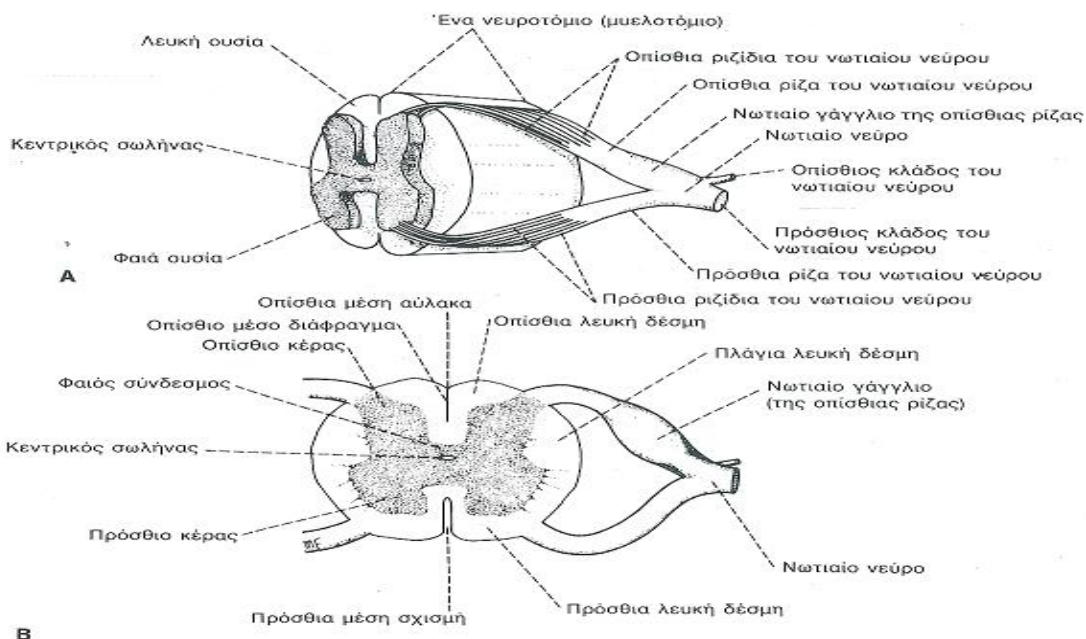
Εικόνα 2 Εγκάρσια διατομή της θωρακικής μοίρας του νωτιαίου μυελού[4]

Ο νωτιαίος μυελός χωρίζεται σε 31 τμήματα που ονομάζονται μυελοτόμια: 8 αυχενικά (Α1 – Α8), 12 θωρακικά (Θ1 – Θ12), 5 οσφυϊκά (Ο1 – Ο5), 5 ιερά (Ι1 -Ι5) και 1 κοκκυγικό. Αυτά τα τμήματα αποτελούνται από 31 ζεύγη νωτιαίων νεύρων με το κάθε μυελοτόμιο να δέχεται από την

κάθε πλευρά του την πρόσθια (κοιλιακή) και την οπίσθια (ραχιαία) νευρική ρίζα [5]. Τα νωτιαία νεύρα περιέχουν τις κινητικές, αισθητικές και αυτόνομες ίνες και εξέρχονται μέσω του μεσοσπονδύλιου τρήματος [6].

1.3 Δομή του νωτιαίου μυελού

Ο νωτιαίος μυελός διαχωρίζεται με την πρόσθια και με την οπίσθια μέση αύλακα σε δεξιό και αριστερό ημιμόριο. Στην εγκάρσια τομή του ο νωτιαίος μυελός εμφανίζει δύο ευδιάκριτα τμήματα. Εσωτερικά βρίσκονται δύο πλάγιες μάζες φαιάς ουσίας που συνδέονται με μια στενή λωρίδα φαιάς ουσίας, τον φαιό σύνδεσμο, και σχηματίζουν ένα «Η» ή μία πεταλούδα, και ένα



Εικόνα 3 Α. Εγκάρσια διατομή της οσφυϊκής μοίρας του νωτιαίου μυελού, λοξή όψη.

Β. Εγκάρσια διατομή της οσφυϊκής μοίρας του νωτιαίου μυελού, πρόσθια όψη [4]

εξωτερικό τμήμα λευκής ουσίας που περιβάλλει την φαιά [4, 7].

Η φαιά ουσία αποτελείται από νευρικά κύτταρα με τις αποφυάδες τους, νευρογλοία και αιμοφόρα αγγεία, ενώ η λευκή ουσία οργανώνεται σε δεσμίδες γύρω από την φαιά ουσία και αποτελείται από μυελινωμένους νευράξονες που προέρχονται από νευρώνες των οποίων τα σώματα βρίσκονται στον εγκέφαλο και μεταφέρουν πληροφορίες από και προς τον εγκέφαλο ή μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της φαιάς ουσίας του νωτιαίου μυελού. Κεντρικά στο φαιό σύνδεσμο του νωτιαίου μυελού διαπερνά ο κεντρικός νευρικός σωλήνας που περιέχει εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Τα πρόσθια κέρατα της φαιάς ουσίας σχετίζονται με κινητικές ίνες ενώ τα οπίσθια κέρατα με αισθητικές.

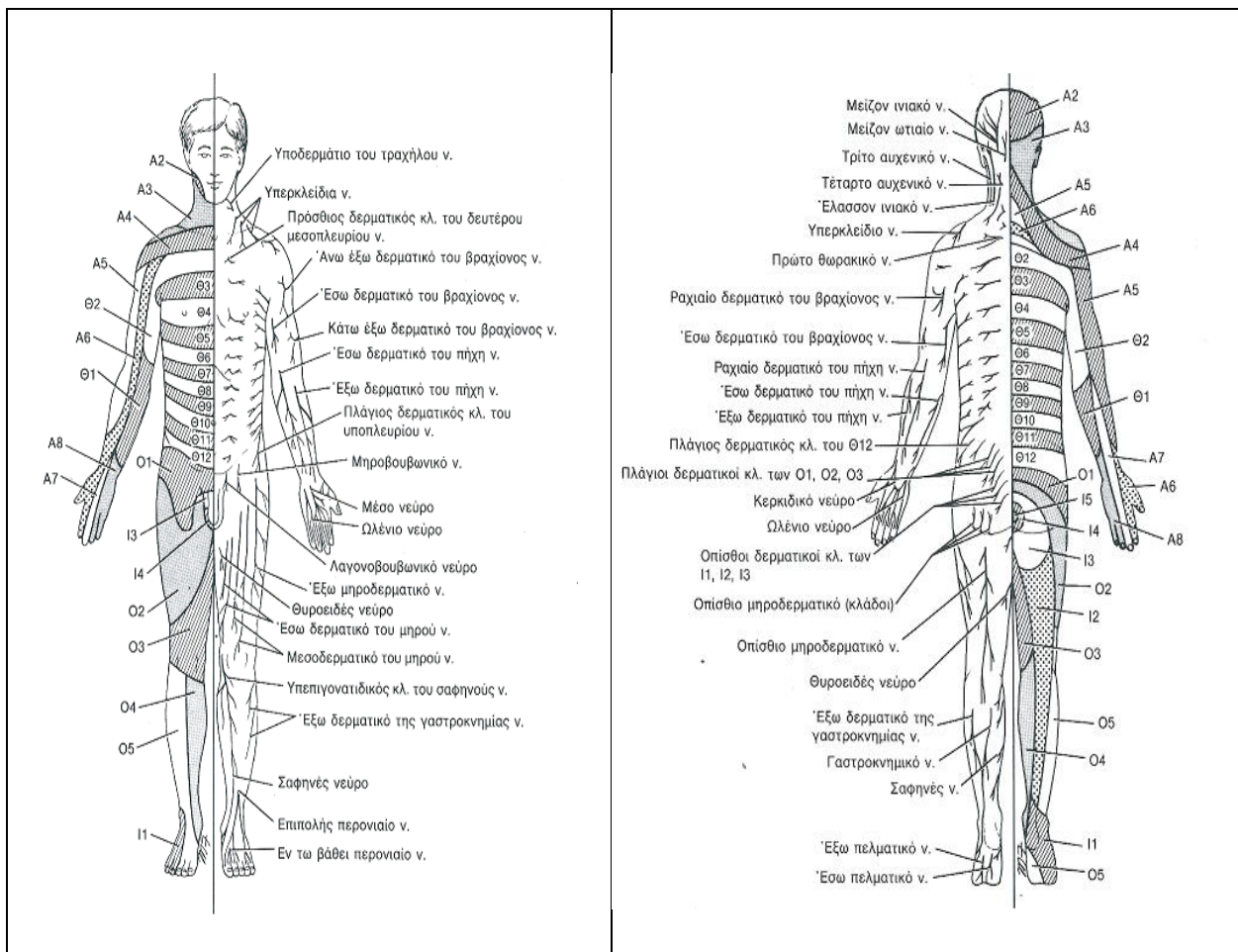
Η λευκή ουσία χωρίζεται από τα κέρατα της φαιάς ουσίας σε οπίσθια, πλάγια και πρόσθια δέσμη. Κάθε δέσμη περιέχει επιμέρους δεμάτια, τα οποία σχετίζονται με διαφορετικές οδούς που μεταφέρουν σήματα από και προς τον εγκέφαλο. Τα δεμάτια αυτά μπορεί να είναι είτε κινητικών είτε αισθητικών ινών [4].

1.4 Νωτιαία νεύρα

Εκτός από το πρώτο αυχενικό που δεν έχει ραχιαία νευρική ρίζα, κάθε τμήμα του νωτιαίου μυελού έχει ένα ζευγάρι ραχιαίας (αισθητηριακής) και κοιλιακής ή πρόσθιας (κινητικής) ρίζας που ενώνονται και σχηματίζουν ένα μεικτό νωτιαίο νεύρο [8]. Αυτά τα μεικτά νεύρα μεταδίδουν αισθητικές και κινητικές πληροφορίες, καθώς και πληροφορίες από το αυτόνομο νευρικό σύστημα, μεταξύ του νωτιαίου μυελού και του υπόλοιπου σώματος [9].

Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι παρόλο που τα νωτιαία νεύρα διακλαδίζονται από τον νωτιαίο μυελό ταξινομούνται και αποτελούν μέρος του περιφερικού νευρικού συστήματος [9].

Η ραχιαία ρίζα αποτελείται από κεντρομόλες νευρικές ίνες που μεταδίδουν σπλαχνικές και σωματικές αισθητηριακές πληροφορίες από τους περιφερειακούς υποδοχείς στον εγκέφαλο και ονομάζονται αισθητικές ίνες καθώς μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την αφή, την πίεση, τον πόνο την θερμοκρασία και την παλλαισθησία [4]. Κάθε ένα από τα νωτιαία νεύρα, εκτός από το πρώτο αυχενικό νεύρο, μεταφέρει αισθητηριακές πληροφορίες από μία συγκεκριμένη δερματική περιοχή νεύρωσης που ονομάζεται δερμοτόμιο. Το σώμα λοιπόν του κάθε ανθρώπου έχει τριάντα (30) δερμοτόμια τμηματικά κατανεμημένα σε όλο το σώμα.



Εικόνα 5 Πρόσθια επιφάνεια του σώματος. Δερματικά νεύρα αριστερά και δερμοτόμια δεξιά.[4]

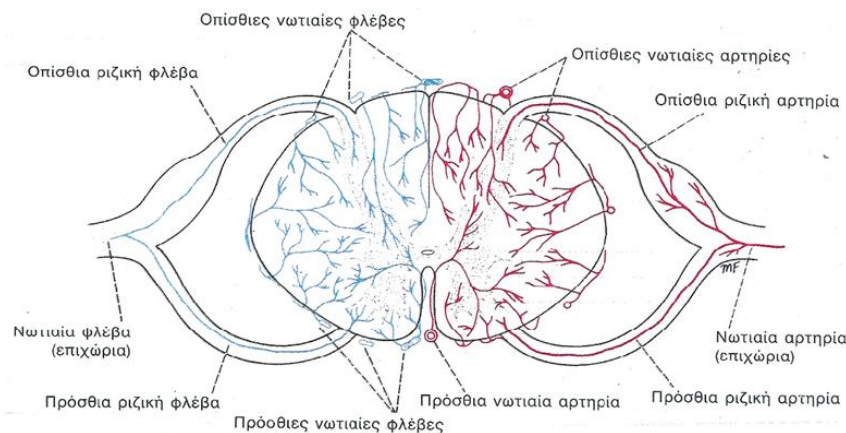
Εικόνα 6 Οπίσθια επιφάνεια του σώματος. Δερματικά νεύρα αριστερά και δερμοτόμια δεξιά.[4]

Οι κοιλιακές ρίζες, που αποτελούνται από δεσμίδες κινητικών νευρικών ινών οι οποίες απάγουν τις νευρικές ώσεις από το κεντρικό νευρικό σύστημα (απαγωγοί ή φυγόκεντρες ίνες), είναι υπεύθυνες για την μετάδοση της κινητικής πληροφορίας από τον εγκέφαλο προς τους σκελετικούς μύες διεγείροντας τους προς συστολή για την παραγωγή της κίνησης. Αντίστοιχα, το μυοτόμιο είναι τμήμα ή ομάδα σκελετικών μυών που νευρώνονται από ένα νωτιαίο νεύρο [9].

Το νωτιαίο νεύρο εξέρχεται από την σπονδυλική στήλη μέσω του μεσοσπονδύλιου τμήματος εκτός από το πρώτο αυχενικό νεύρο που εξέρχεται μεταξύ του άτλαντα και του ινιακού οστού. Τα υπόλοιπα αυχενικά νεύρα εξέρχονται από το μεσοσπονδύλιο τμήμα πάνω από τους αντίστοιχους σπονδύλους, ενώ το όγδοο αυχενικό νεύρο εξέρχεται πάνω από τον Θ1 σπόνδυλο μιας και οι αυχενικοί σπόνδυλοι είναι επτά. Όλα τα εναπομείναντα νωτιαία νεύρα εξέρχονται από την σπονδυλική στήλη κάτω από τους σχετικούς σπονδύλους [9].

1.5 Αιμάτωση νωτιαίου μυελού

Η αιμάτωση του νωτιαίου μυελού γίνεται από ένα δίκτυο αρτηριών με πολλές διακλαδώσεις. Συγκεκριμένα, η αιμάτωση του νωτιαίου μυελού γίνεται από τρεις λεπτές επιμήκειες αρτηρίες, μία πρόσθια και δύο οπίσθιες νωτιαίες αρτηρίες. Οι οπίσθιες αρτηρίες διανέμονται στο οπίσθιο τριτημόριο του νωτιαίου μυελού ενώ κλάδοι της πρόσθιας εισέρχονται και διανέμονται στα δύο πρόσθια τριτημόρια του νωτιαίου μυελού [4]. Οι τρεις αυτές αρτηρίες εισέρχονται στο νωτιαίο σωλήνα μέσω του μεσοσπονδύλιου τρήματος μαζί με τα νεύρα, κι έπειτα διακλαδίζονται ώστε να



Εικόνα 7 Εγκάρσια διατομή του νωτιαίου μυελού. Αρτηριακή και φλεβική αιμάτωση. [4]

παροχετεύσουν με αίμα τη λευκή και φαιά ουσία. Η μεγαλύτερη απ' αυτές τις αρτηρίες είναι η μεγάλη ριζική αρτηρία ή η αρτηρία Adamkiewicz [10].

2 ΚΑΚΩΣΕΙΣ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Περίπου 250 με 500 χιλιάδες άνθρωποι στον κόσμο υποφέρουν από κάκωση νωτιαίου μυελού (KNM) κάθε χρόνο. Βλάβες των ιστών μπορούν να προκληθούν από μηχανικές δυνάμεις, ρήξη, συμπίεση, διατομή, μόλυνση ή εκφυλισμό του νωτιαίου μυελού [11, 13]. Ο τραυματισμός του νωτιαίου μυελού συνήθως προκαλεί μη αναστρέψιμες κινητικές και αισθητικές βλάβες. Κάθε χρόνο καταγράφονται 40 με 80 νέα περιστατικά KNM ανά εκατομμύριο ανθρώπων σε κάθε χώρα, ενώ η αναλογία αντρών προς γυναικών είναι περίπου 2:1 [12, 13].

2.2 Αιτιολογία- Μηχανισμοί κακώσεων

Τραυματική: Η κάκωση από τραυματισμό είναι το συχνότερο αίτιο βλάβης του νωτιαίου μυελού, που τις περισσότερες φορές συμβαίνει από απότομη αλλαγή στην ταχύτητα του σώματος. Μπορεί να



Εικόνα 8 Παγκόσμια Ημέρα Κάκωσης Νωτιαίου Μυελού, 5 Σεπτεμβρίου [14]

είναι αποτέλεσμα πτώσης, τροχαίου ή εργατικού ατυχήματος, αθλητικών τραυματισμών ή κακοποίησης. Με εξαίρεση το τραύμα από πυροβολισμό ή μαχαιριά, οι περισσότερες βλάβες του νωτιαίου μυελού επέρχονται έμμεσα από δυνάμεις προκαλούμενες από κινήσεις της κεφαλής και του κορμού και σπάνια προέρχονται από δυνάμεις που δρουν άμεσα σε κάποιο σπόνδυλο. Κατάγματα ή μετατοπίσεις στην αυχενική μοίρα, έχουν 40% μεγαλύτερη πιθανότητα να προκαλέσουν βλάβη στο νωτιαίο μυελό συγκριτικά με άλλες περιοχές της σπονδυλικής στήλης, λόγω της αστάθειας των συγκεκριμένων σπονδύλων. Αυτή η πιθανότητα είναι 4% στη θωρακική μοίρα και 10% στο θωρακοσφυϊκό όριο [15].

Τραυματισμός της σπονδυλικής στήλης συνήθως προέρχεται από απότομη κάμψη ή έκταση σε συνδυασμό με στροφή, συμπίεση, δυνάμεις που ασκούνται εγκάρσια ή περισπασμό σπονδύλου. Οι δυνάμεις αυτές συνήθως προκαλούν κατάγματα στους σπονδύλους, μετατόπιση ή συνδυασμό και των δύο. Η κάμψη και μια ελαφρά στροφή είναι ο μηχανισμός που συνήθως προκαλεί βλάβες στην αυχενική μοίρα. Αυτό συνήθως συμβαίνει με απότομη κάμψη της κεφαλής υπό την πίεση μεγάλων δυνάμεων που ασκούνται στους σπονδύλους A4 – A5. Βλάβες λόγω υπερέκτασης λαμβάνουν χώρα κυρίως στην αυχενική μοίρα και συνήθως προκαλούν ρήξη του πρόσθιου επιμήκη συνδέσμου και κατάγματα οπίσθια της αυχενικής μοίρας. Συνήθως συμβαίνουν στους ηλικιωμένους σε περίπτωση πτώσης, αν το κεφάλι ή το σαγόνι τους χτυπήσει σε κάποιο αντικείμενο ή στο πάτωμα. Η απότομη κάμψη του κορμού συνήθως επιδρά στο θωρακοσφυϊκό όριο και εξηγεί την μεγάλη συχνότητα καταγμάτων στους σπονδύλους T12 – O2 [15].

Μη τραυματική: Είναι η βλάβη που δεν σχετίζεται με τραυματισμό αλλά οφείλεται σε υποκείμενη παθολογία. Σε αυτήν περιλαμβάνεται η σπονδυλική στένωση, η κυκλοφορική ανεπάρκεια (λόγω εμβόλου, θρόμβωσης ή αιμορραγίας) και η συμπίεση του νωτιαίου μυελού που μπορεί να προκληθεί από διάφορες παθολογικές καταστάσεις όπως: 1) Λοιμώδη νοσήματα, 2) Μυοσκελετικές παθήσεις όπως η οστεοαρθρίτιδα, 3) Όγκοι, και 4) Συγγενείς παθήσεις όπως η δισχιδής ράχη, η οποία είναι έλλειμμα του νευρικού σωλήνα που προκύπτει κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του εμβρύου [16, 17].

2.3 Ταξινόμηση με βάση τον χρόνο και τον μηχανισμό της βλάβης

Οι κακώσεις του νωτιαίου μυελού μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το χρόνο που προκλήθηκε η βλάβη, σε οξείες και χρόνιες. Μια άλλη ταξινόμηση μπορεί να γίνει με βάση το μηχανισμό της βλάβης, σε πρωτοπαθείς και δευτεροπαθείς βλάβες. Αυτές οι ταξινομήσεις αλληλοκαλύπτονται, εφόσον η πρωτοπαθής και η δευτεροπαθής βλάβη έχουν οξεία και χρόνια φάση.

Η πρωτοπαθής βλάβη δημιουργείται από τη μεταφορά κινητικής ενέργειας στο νωτιαίο μυελό, προκαλώντας τη ρήξη των νευραξόνων, των αγγείων και των νευρώνων. Οι πρώτες 8 ώρες από τη στιγμή της κάκωσης ορίζονται ως η οξεία φάση. Κατά την πρώτη ώρα παρουσιάζεται αιμορραγία στη φαιά ουσία που οδηγεί σε νέκρωση, ενώ στις επόμενες 7 ώρες ακολουθεί το οίδημα και η αιμορραγία της λευκής ουσίας του νωτιαίου μυελού.

Η δευτεροπαθής βλάβη δημιουργείται από την ισχαιμία λόγω μειωμένης αιματικής ροής στην περιοχή, και οφείλεται στην αιμορραγία, στο οίδημα και στην πτώση της αρτηριακής πίεσης. Στην οξεία φάση η ισχαιμία πυροδοτεί μία αλυσίδα βιοχημικών αντιδράσεων με τελικό αποτέλεσμα τη ρήξη της κυτταρικής μεμβράνης και τη νέκρωση των φυσιολογικών νευρικών κυττάρων.

Στη χρόνια φάση τα φλεγμονώδη κύτταρα μεταναστεύουν στην περιοχή της βλάβης παράγοντας νευρογλοία. Σε 1-4 εβδομάδες οι νευρώνες προσπαθούν χωρίς επιτυχία να επιδιορθώσουν τους νευράξονες και τα δενδριτικά κύτταρα, καταλήγοντας στη δημιουργία ουλής, κύστεων και μετατραυματικών ενδυομυελικών συριγγίων [18].

2.4 Ταξινόμηση με βάση το επίπεδο της κάκωσης

Η απλούστερη ανατομική ταξινόμηση γίνεται βάση της ακτινολογικής εξέτασης, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του σκελετικού επιπέδου της βλάβης. Ο σπόνδυλος ή οι δυο παρακείμενοι σπόνδυλοι με την μεγαλύτερη καταστροφή καθορίζουν το σκελετικό επίπεδο της βλάβης [19].

2.5 Ταξινόμηση με βάση την αισθητικοκινητική λειτουργικότητα

Ο τραυματισμός του νωτιαίου μυελού επηρεάζει σοβαρά ή διακόπτει τελείως τη μεταφορά αισθητηριακών και κινητικών πληροφοριών, καθώς και τη λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος [20]. Η λειτουργικοανατομική ταξινόμηση λαμβάνει υπ' όψιν τα ευρήματα της νευρολογικής εξέτασης. Ως νευρολογικό επίπεδο της βλάβης χαρακτηρίζεται το τελευταίο νευροτόμιο με καλή κινητική και αισθητική λειτουργικότητα. Καλή κινητική λειτουργικότητα θεωρείται ότι έχει το τελευταίο μυοτόμιο με τουλάχιστον 3 βαθμούς στην κλίμακα βαθμολόγησης μυϊκής ισχύος [19].

	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΥΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
0	καμία κινητικότητα
1	ελάχιστη κινητικότητα
2	φυσιολογικού εύρους κίνηση, όχι όμως ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας

3	φυσιολογικού εύρους κίνηση, ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας
4	φυσιολογικού εύρους κίνηση, ενάντια σε προβαλλόμενη αντίσταση
5	φυσιολογική μυϊκή ισχύς

Η τετραπληγία ορίζεται ως βλάβη ή απώλεια κινητικής και/ή αισθητικής λειτουργίας κατόπιν τραυματισμού στα αυχενικά τμήματα του νωτιαίου μυελού και κάτω. Αποτέλεσμα βλάβης σε αυτή την περιοχή είναι η εξασθένηση της λειτουργίας των άνω άκρων, του κορμού, των κάτω άκρων, και των πυελικών οργάνων.

Η παραπληγία ορίζεται ως βλάβη ή απώλεια κινητικής και/ή αισθητικής λειτουργίας κατόπιν τραυματισμού σε θωρακικά, οσφυϊκά ή ιερά τμήματα του νωτιαίου μυελού. Μπορεί να επηρεαστεί ο κορμός, τα κάτω άκρα και τα πυελικά όργανα. Στα αίτια της παραπληγίας συμπεριλαμβάνονται κακώσεις της υποουρίδας και του μυελικού κόνου, αλλά όχι βλάβες του οσφυϊκού πλέγματος ή τραυματισμοί των περιφερικών νεύρων [21].

Επίσης, γίνεται ο διαχωρισμός σε ατελή ή πλήρη κάκωση. Στην ατελή υπάρχει διατήρηση της κινητικής ή/και της αισθητηριακής λειτουργίας με μειωμένο ηλεκτρομυογραφικό σήμα κάτω από το επίπεδο του τραυματισμού. Ενώ στην πλήρη υπάρχει ολοκληρωτική απώλεια της αισθητικοκινητικής δραστηριότητας και του ηλεκτρομυογραφικού σήματος κάτω από το επίπεδο της βλάβης [11].

Η Αμερικάνικη Ένωση Σπονδυλικών Κακώσεων (American Spinal Injury Association – ASIA) ανέπτυξε την εξέταση The International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury – ISNCSCI – (Διεθνή Πρότυπα της Νευρολογικής Ταξινόμησης Κάκωσης Νωτιαίου Μυελού), που για συντομία αναφέρονται ως εξέταση ASIA, ως ένα καθολικό εργαλείο ταξινόμησης των κακώσεων του νωτιαίου μυελού με βάση μια τυποποιημένη αισθητικοκινητική αξιολόγηση. Γίνεται εξέταση κάθε πλευράς του σώματος χωριστά, του νευρολογικού επιπέδου τραυματισμού (Neurological Level of Injury – NLI), καθώς και αν ο τραυματισμός είναι πλήρης ή ατελής [20].

RIGHT **MOTOR KEY MUSCLES** **SENSORY KEY SENSORY POINTS** **SENSORY KEY SENSORY POINTS** **MOTOR KEY MUSCLES** **LEFT**

Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR) Light Touch (LT) Pin Prick (PPL)

UER (Upper Extremity Right) **UEL (Upper Extremity Left)**

LER (Lower Extremity Right) **LEL (Lower Extremity Left)**

NEUROLOGICAL LEVELS **3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)** **4. COMPLETE OR INCOMPLETE?** **5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)**

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 11/15

Εικόνα 8 Updates of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury

Κλίμακα ASIA [21]	
ASIA A	Πλήρης: Δεν διατηρείται καμία κινητική ή αισθητηριακή λειτουργία στους σπονδύλους της ιερής μοίρας
ASIA B	Ατελής: Διατηρείται μόνο η αισθητηριακή λειτουργία κάτω από το νευρολογικό επίπεδο της βλάβης συμπεριλαμβανομένης της ιερής μοίρας
ASIA C	Ατελής: Η κινητική λειτουργία διατηρείται κάτω από το επίπεδο της βλάβης, περισσότεροι από τους μισούς βασικούς μύες κάτω από το νευρολογικό επίπεδο βαθμολογούνται κάτω του 3
ASIA D	Ατελής: Η κινητική λειτουργία διατηρείται κάτω από το επίπεδο της βλάβης, τουλάχιστον οι μισοί από τους βασικούς μύες βαθμολογούνται με 3 ή περισσότερο

Βασικοί μύες [21, 58]	
A5	καμπτήρες αγκώνα (δικέφαλος, βραχιόνιος)
A6	A6 εκτείνοντες καρπού (extensor carpi radialis longus and brevis)
A7	εκτείνοντες αγκώνα (τρικέφαλος)
A8	καμπτήρες δακτύλων (flexor digitorum profundus)
Θ1	απαγωγόι δακτύλων (abductor digiti minimi)
O2	καμπτήρες ισχίου (iliopsoas)
O3	εκτείνοντες γόνατος (τετρακέφαλος)
O4	ραχιαίοι καμπτήρες ποδοκνημικής (tibialis anterior)
O5	μακρύς εκτείνοντας του μεγάλου δακτύλου (extensor hallucis longus)
I1	πελματιαίοι καμπτήρες ποδοκνημικής (γαστροκνήμιος, soleus)

2.6 ΑΤΕΛΗ ΣΥΝΔΡΟΜΑ

2.6.1 Σύνδρομο βλάβης της κεντρικής μοίρας του Νωτιαίου Μυελού (βλάβη Scneider)

Το σύνδρομο βλάβης της κεντρικής μοίρας του νωτιαίου μυελού συμβαίνει, σχεδόν αποκλειστικά από τραυματισμούς της αυχενικής μοίρας και χαρακτηρίζεται από κινητική αδυναμία που είναι μεγαλύτερη στα άνω άκρα, ενώ περιλαμβάνει δυσλειτουργία της ουροδόχου κύστης (συνήθως κατακράτηση ούρων) και ποικίλες μορφές αισθητηριακής απώλειας κάτω από το επίπεδο της βλάβης [22, 18].

2.6.2 Σύνδρομο πρόσθιου νωτιαίου μυελού

Το σύνδρομο πρόσθιου νωτιαίου μυελού περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Preobrascheski το 1904. Χαρακτηρίζεται από μία βλάβη που επηρεάζει τα πρόσθια δύο τρίτα του νωτιαίου μυελού ενώ διατηρεί τις οπίσθιες στήλες, έτσι υπάρχει σοβαρή απώλεια της κινητικότητας και απώλεια της αίσθησης του πόνου και της θερμοκρασίας, ενώ υπάρχει μία σχετική διατήρηση της αφής, της ιδιοδεκτικότητας και της εν τω βάθει αισθητικότητας [22].

2.6.3 Σύνδρομο Brown-Sequard (BS) - ημιδιατομή του νωτιαίου μυελού

Ο Brown-Sequard το 1846 περιέγραψε μία ημιδιατομή της σπονδυλικής στήλης που προκαλεί ομόπλευρη ημιπληγία (απώλεια κινητικότητας) και υπαισθησία και ετερόπλευρη ημιαναλγησία (απώλεια αισθήσεως του πόνου και της θερμοκρασίας) [22].

2.6.4 Σύνδρομο οπίσθιου νωτιαίου μυελού

Το σύνδρομο οπίσθιου νωτιαίου μυελού χαρακτηρίζεται από μία βλάβη που περιλαμβάνει τις ραχιαίες στήλες και προκαλεί απώλεια της ιδιοδεκτικότητας ενώ διατηρεί τις κινητικές και τις υπόλοιπες αισθητικές λειτουργίες [22].

2.6.5 Σύνδρομο μυελικού κώνου

Το σύνδρομο του μυελικού κώνου χαρακτηρίζεται από διαταραχή της αισθητικότητας, δυσλειτουργία της κύστης και του ορθού, καθώς και από σεξουαλική ανικανότητα. Εμφανίζεται οσφυαλγία, υπέρταση ή/και σπαστικότητα σε μύες των κάτω άκρων που νευρώνονται από τα μυελοτόμια της ιερής μοίρας (καμπτήρες δαχτύλων του ποδιού, πελματιαίους καμπτήρες της ποδοκνημικής και τους οπίσθιους μηριαίους μύες) [23].

2.6.6 Ιππουριδική Συνδρομή

Η ιππουριδική συνδρομή, εμφανίζει διαταραχή της αισθητικότητας, ορθοκυστικές διαταραχές περιφερικού τύπου, διαταραχές στύσης και εκσπερμάτωσης, και έντονη οσφυαλγία. Η αισθητική και κινητική απώλεια καθορίζεται από το επίπεδο της κάκωσης, ενώ υπάρχει πλήρης απώλεια των αντανακλαστικών του ποδιού και του πέλματος. Επίσης, κακώσεις της ιππουρίδας μπορεί να προκαλέσουν απώλεια του πρωκτικού αντανακλαστικού, ακράτεια ούρων και κοπράνων. Γενικά, η διάκριση του συνδρόμου της ιππουρίδας με το σύνδρομο του μυελικού κώνου είναι πολύ δύσκολη στην κλινική εξέταση [23].

2.7 Νευρολογική κλινική εξέταση

Η κλινική εξέταση του ασθενή με νευρολογική βλάβη γίνεται από τον νευρολόγο ιατρό και περιλαμβάνει την εξέταση της κινητικότητας, της αισθητικότητας, και των αντανακλαστικών συμπεριλαμβανομένων αυτού του πρωκτού και της ούρησης.

Κατά την εξέταση της κινητικότητας ζητείται από τον υποψήφιο ασθενή να αναπνέει βαθιά ώστε να αξιολογηθεί η σύσπαση των μεσοπλευρίων μυών. Ζητείται από τον ασθενή να βήξει και γίνεται ψηλάφηση των κοιλιακών μυών. Ξεκινώντας από την περιφέρεια προς το κέντρο εξετάζεται η μυϊκή δύναμη των βασικών μυϊκών ομάδων των κάτω άκρων (πρόσθιος κνημιαίος,

γαστροκνήμιος, τετρακέφαλος, έσω - έξω στροφείς και προσαγωγοί - απαγωγοί του ισχίου) με τη χρήση της κλίμακας αξιολόγησης μυϊκής ισχύος.

Κατά την εξέταση της αισθητικότητας αξιολογείται η επικριτική αισθητικότητα, η ιδιοδεκτικότητα, η αίσθηση του πόνου, και η αίσθηση της θερμοκρασίας, ξεκινώντας πάντα από τα άκρα.

Η αξιολόγηση συνεχίζεται με τα αντανακλαστικά άνω και κάτω άκρων και κορμού. Συγκεκριμένα, εξετάζονται τα αντανακλαστικά του δικεφάλου, τρικεφάλου, βραχιονοκερκιδικού, επιγονατιδικού και αχίλλειου τένοντα, τα κοιλιακά αντανακλαστικά, η ύπαρξη κλόνου και το σημείο Babinski.

Στη συνέχεια, εξετάζεται ο έλεγχος του σφιγκτήρα του πρωκτού, κατά πόσο υπάρχει σύσπαση και κατά πόσο είναι εμφανές το βολβοσηραγγώδες αντανακλαστικό, καθώς και η πρωκτική και περιπρωκτική αισθητικότητα του ασθενή. Τέλος, ελέγχεται κατά πόσο είναι ικανός να συγκρατεί τα ούρα του και να ουρεί εκούσια χωρίς ατυχήματα, στον δε άνδρα εξετάζεται αν υπάρχει στύση για την πλήρη αξιολόγηση [18].

3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΘΕΝΩΝ ΜΕ ΚΑΚΩΣΗ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Η μελέτη του ελέγχου της κίνησης βοηθάει στην βελτίωση της αποκατάστασης ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού. Μελέτες σε ζώα απέδειξαν την ύπαρξη νευρωνικών κυκλωμάτων που παράγουν ρυθμικές κινήσεις εν απουσία ερεθίσματος, συμπεριλαμβανομένης και της ρυθμικού βηματισμού. Παρόλο που αυτά τα κυκλώματα υπάρχουν και στους ανθρώπους, για την εκτέλεση της κίνησης στον άνθρωπο είναι αναγκαίος ο έλεγχος και από εγκεφαλικές δομές [24].

Τα νωτιαία νευρωνικά δίκτυα ανταποκρίνονται σε πληροφορίες και σήματα από τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς και τους προσαγωγούς του δέρματος, προσαρμόζουν και τροποποιούν το κινητικό τους πλάνο σύμφωνα με σήματα που λαμβάνουν από τις δομές του εγκεφαλικού στελέχους και τον εγκεφαλικό φλοιό. Η επεξεργασία των πληροφοριών μεταξύ της παρεγκεφαλίδας, των βασικών γαγγλίων και του εγκεφαλικού στελέχους επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση του μυϊκού τόνου και την ασυνείδητη εκτέλεση των ρυθμικών κινήσεων των άκρων. Ωστόσο, όταν κάποιος κινείται μπορεί να συναντήσει εμπόδια, με συνέπεια να χρειαστεί προσαρμογή της κίνησης του σώματος. Μια τέτοια σκόπιμη προσαρμογή και τροποποίηση της βάδισης απαιτεί κινητικό σχεδιασμό από τους προκινητικούς φλοιούς. Γίνεται επεξεργασία

σωματικών πληροφοριών, όπως η στάση του σώματος, και καταλήγουν στον κροταφοβρεγματικό φλοιό. Πληροφορίες για τον κινητικό σχεδιασμό μεταδίδεται στο εγκεφαλικό στέλεχος από το φλοιονωτιαίο σύστημα, με σκοπό τον προοπτικό έλεγχο της στάσης του ατόμου. Οι παραπάνω διαδικασίες επιτρέπουν στο φλοιονωτιαίο σύστημα να τροποποιεί την τροχιά και θέση των άκρων για την επιτυχή και ακριβή τοποθέτηση τους σύμφωνα με τον εκάστοτε σκοπό. Βρόχοι από κινητικές περιοχές του φλοιού μέχρι τα βασικά γάγγλια και τη παρεγκεφαλίδα μπορούν να πραγματοποιήσουν και να εξυπηρετήσουν αυτό το σκοπό [25].

Οι ασθενείς με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού βασίζονται στις οπτικές πληροφορίες για να αντισταθμίσουν τα ιδιοδεκτικά τους ελλείματα και την διαταραχή της ισορροπίας ώστε να επανακτήσουν κινητική λειτουργία. Επιπλέον, χρειάζεται να είναι σε θέση να ορθοστατήσουν, να βαδίσουν και να χειριστούν τα βοηθήματα τους [24].

Σε πείραμα που έγινε στην οσφυϊκή μοίρα του μυελού θηλαστικών, στην οποία διαταράχθηκε η επικοινωνία με τα υπερνωτιαία συστήματα, έδειξε ότι παραμένει ικανός να παράξει κίνηση με την κατάλληλη διέγερση. Αυτό οφείλεται στα νευρωνικά κυκλώματα της σπονδυλικής στήλης, ικανά να παράγουν ρυθμικά κινητικά σχέδια. Σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού, η ρυθμική δραστηριότητα σε παράλυτους μύες των κάτω άκρων μπορεί να ενεργοποιηθεί με φασική ιδιοδεκτική ανάδραση κατά τη διάρκεια βάρδισης σε διάδρομο, με τη βοήθεια του θεραπευτή ή ρομποτικά υποβοηθούμενα [26].

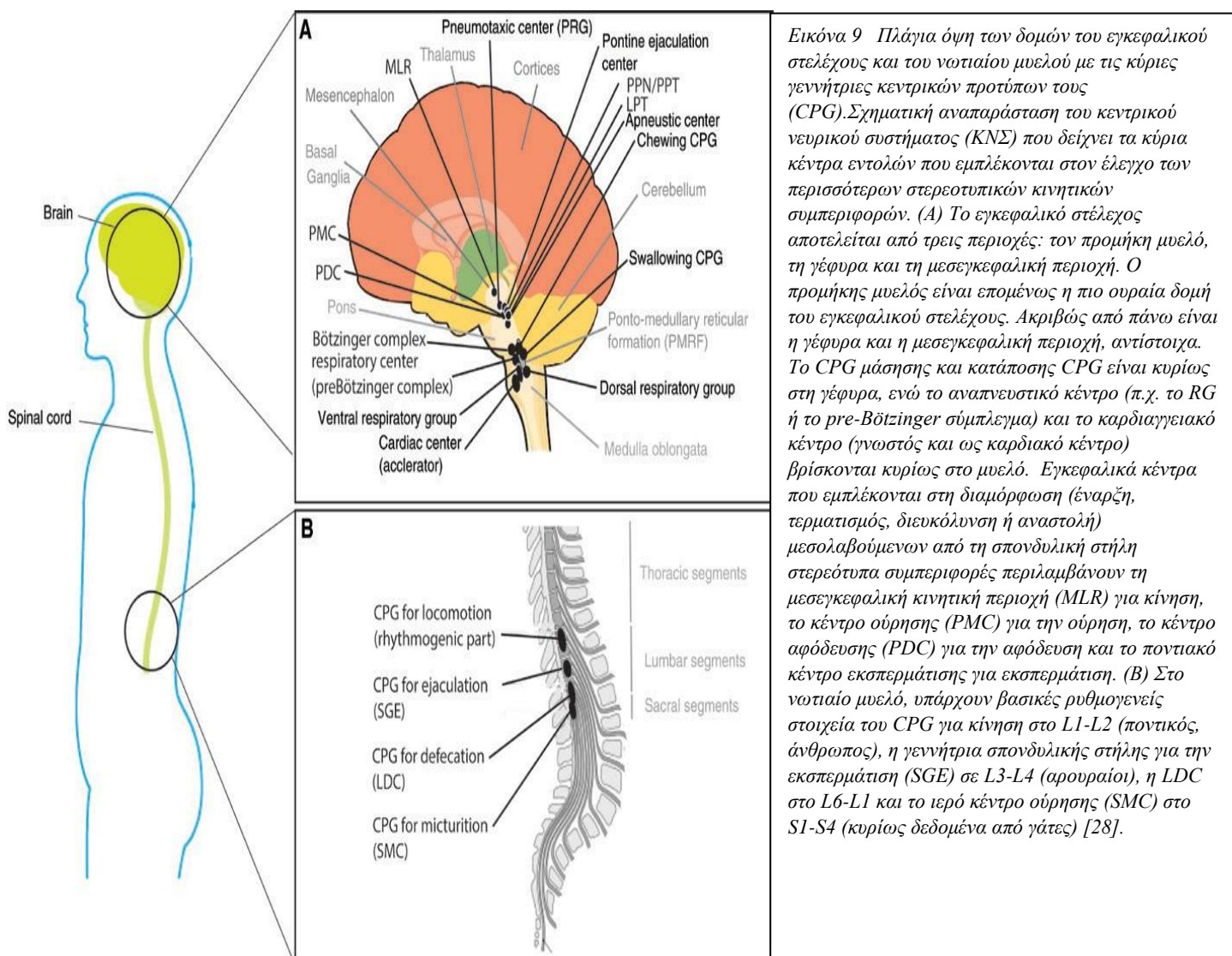
3.2 Central Pattern Generators (CPGs)

Το κεντρικό νευρικό σύστημα του ανθρώπου ζυγίζει περίπου 1285 γραμμάρια και απ' αυτά τα 1250 γραμμάρια ανήκουν στον εγκέφαλό και μόνο τα 35 γραμμάρια στον νωτιαίο μυελό [27].

Υπήρχε η πεποίθηση σχετικά με το νωτιαίο μυελό ότι λειτουργούσε μόνο ως μεταφορέας πληροφοριών μεταξύ του εγκεφάλου και των οργάνων, του δέρματος, των σκελετικών μυών κ.ά. Πράγματι, η λευκή ουσία του νωτιαίου μυελού συμβάλλει στην μεταφορά πληροφοριών, όμως σχετικά πρόσφατα, παρατηρήθηκε ότι η φαιά ουσία έχει καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο στερεότυπων κινητικών συμπεριφορών. Παρά λοιπόν το μικρότερο μέγεθος και το χαμηλό βάρος του νωτιαίου μυελού σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος, ο νωτιαίος μυελός μελετήθηκε εκτενώς και φάνηκε ότι αποτελεί ένα κέντρο ελέγχου δικτύων που εμπλέκονται στην έκφραση ρυθμικών κινήσεων (όπως το περπάτημα, το κολύμπι, η αναπνοή ή το μάσημα [29]), της εκσπερμάτωσης, της αφόδευσης και της ούρησης (Truitt and Coolen, 2002; Shimizu et al., 2006; Guertin and Steuer, 2009) [28].

3.3 Ο ρόλος του εγκεφαλικού στελέχους στην κίνηση

Το βασικό μοτίβο και ο ρυθμός της κίνησης παράγεται στο νωτιαίο μυελό από τα δίκτυα έκφρασης ρυθμικών κινήσεων, αλλά ο έλεγχος της έναρξης και της ταχύτητας της κίνησης γίνεται από την μεσεγκεφαλική κινητική περιοχή που βρίσκεται στο εγκεφαλικό στέλεχος. Αυτό είχε αποδειχθεί από Ρώσους ερευνητές τη δεκαετία του '60 με τη χρήση ηλεκτρικής διέγερσης διαφόρων εγκεφαλικών περιοχών σε γάτες μετά από αφαίρεση δομών του εγκεφάλου τους. Πράγματι, ο Shik και οι συνεργάτες του το 1966 ανακάλυψαν ότι ηλεκτρική διέγερση της κινητικής περιοχής του μεσεγκεφάλου μπορούσε να πυροδοτήσει τη βάδιση. Η αύξηση της έντασης της διέγερσης οδηγούσε σε αύξηση της ταχύτητας της κίνησης [28].



Εικόνα 9 Πλάγια όψη των δομών του εγκεφαλικού στελέχους και του νωτιαίου μυελού με τις κύριες γεννήτριες κεντρικών προτύπων τους (CPG). Σχηματική αναπαράσταση του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ) που δείχνει τα κύρια κέντρα εντολών που εμπλέκονται στον έλεγχο των περισσότερων στερεοτυπικών κινητικών συμπεριφορών. (Α) Το εγκεφαλικό στέλεχος αποτελείται από τρεις περιοχές: τον προμήκη μυελό, τη γέφυρα και τη μεσεγκεφαλική περιοχή. Ο προμήκης μυελός είναι επομένως η πιο ουραία δομή του εγκεφαλικού στελέχους. Ακριβώς από πάνω είναι η γέφυρα και η μεσεγκεφαλική περιοχή, αντίστοιχα. Το CPG μάσησης και κατάποσης CPG είναι κυρίως στη γέφυρα, ενώ το αναπνευστικό κέντρο (π.χ. το RG ή το pre-Bötzinger σύμπλεγμα) και το καρδιαγγειακό κέντρο (γνωστός και ως καρδιακό κέντρο) βρίσκονται κυρίως στο μυελό. Εγκεφαλικά κέντρα που εμπλέκονται στη διαμόρφωση (έναρξη, τερματισμός, διευκόλυνση ή αναστολή) μεσολαβούμενων από τη σπονδυλική στήλη στερεότυπα συμπεριφορές περιλαμβάνουν τη μεσεγκεφαλική κινητική περιοχή (MLR) για κίνηση, το κέντρο ούρησης (PMC) για την ούρηση, το κέντρο αφόδευσης (PDC) για την αφόδευση και το ποντιακό κέντρο εκσπερμάτισης για εκσπερμάτιση. (Β) Στο νωτιαίο μυελό, υπάρχουν βασικές ρυθμογενείς στοιχεία του CPG για κίνηση στο L1-L2 (ποντικός, άνθρωπος), η γεννήτρια σπονδυλικής στήλης για την εκσπερμάτιση (SGE) σε L3-L4 (αρουραίοι), η LDC στο L6-L1 και το ιερό κέντρο ούρησης (SMC) στο S1-S4 (κυρίως δεδομένα από γάτες) [28].

3.4 Δίκτυα Έκφρασης Προτύπων Ρυθμικών Κινήσεων

Η κίνηση είναι η εκτέλεση αυτοπροώθησης τόσο στα ασπόνδυλα (Delcomyn, 1977) όσο και στα σπονδυλωτά (Muybridge, 1979; Grillner, 1981). Μορφές επίγειας κίνησης περιλαμβάνουν γενικά το περπάτημα, το τρέξιμο και το άλμα. Στα σπονδυλωτά, ο έλεγχος της κίνησης εξαρτάται από πολλά νευρικά συστήματα για την προώθηση, τον προσανατολισμό του σώματος (εξισορρόπηση ή έλεγχο στάσης) και την κατεύθυνση (στοχοκατευθυνόμενο έλεγχο). Ορισμένες υπερνωτιαίες περιοχές όπως η MLR έχουν κεντρικό ρόλο για την έναρξη της κίνησης μέσω σημάτων που αποστέλλονται μέσω κατιόντων νευρικών οδών (με τη μεσολάβηση των δικτυωτών νευρώνων) στον νωτιαίο μυελό. Το τελευταίο είναι το κύριο κέντρο ελέγχου μαζί με τα εξιδεικευμένα δίκτυα έκφρασης ρυθμικών κινήσεων που εντοπίζονται στην οσφυϊκή μοίρα του νωτιαίου μυελού (Grillner, 1981, Guertin, 2009) [28].

3.5 Η ρομποτική αποκατάσταση

Η λέξη ρομποτική προέρχεται από την λέξη ρομπότ, η οποία προέρχεται από την σλαβική λέξη *robot* που σημαίνει δουλειά και είναι κλάδος της μηχανοηλεκτρικής επιστήμης. Η ρομποτική ελέγχει την λειτουργία διαφόρων μηχανημάτων παρέχοντας λύσεις σε πολλούς άλλους κλάδους [30].

Η ρομποτική αποκατάσταση είναι ένα πεδίο που βασίζεται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας, και στόχος της είναι η βελτίωση των υπηρεσιών της κινητικής αποκατάστασης ασθενών. Γίνεται χρήση δύο βασικών τύπων ρομποτικών συσκευών, αυτών που βασίζονται σε τελικούς τελεστές και οι εξωσκελετοί. Το σύστημα του τελικού τελεστή έχει ως προτέρημα ότι είναι ευκολότερο να ρυθμιστεί και να προσαρμοστεί στις ανάγκες του ασθενή. Από την άλλη οι εξωσκελετοί προσφέρουν ακριβέστερη απομόνωση της άρθρωσης και βελτιώνουν την διαφάνεια στη βάδιση [31].

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα κέντρα αποκατάστασης έχουν συμπεριλάβει στο πλαίσιο θεραπείας εξελιγμένες ρομποτικές συσκευές, που διαθέτουν ακριβείς ρυθμίσεις όσο αφορά τα χαρακτηριστικά της κίνησης, δηλαδή ταχύτητα, κατεύθυνση, εύρος, συντονισμό κίνησης των αρθρώσεων και ελεγχόμενη διαταραχή της ισορροπίας. Με αυτόν τον τρόπο πλεονεκτούν από την συμβατική θεραπεία [32].

3.6 Ρομποτική αποκατάσταση στην κάκωση του νωτιαίου μυελού

Μετά από κάκωση του νωτιαίου μυελού, ο βασικότερος στόχος της αποκατάστασης του ασθενή, για τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής του, είναι η κινητικότητα. Συγκεκριμένα, σε ασθενείς με

τετραπληγία έμφαση δίνεται στην αποκατάσταση της κινητικότητας των άνω άκρων, ενώ στους παραπληγικούς ασθενείς δίνεται έμφαση στη βάδιση. Εάν έχει χαθεί η λειτουργικότητα των άνω άκρων, τότε δίνεται έμφαση στη βελτίωση της προσβασιμότητας, με την επιλογή της κατάλληλης βοηθητικής τεχνολογίας, του περιβάλλοντος του ασθενή. Όμως παρόλο αυτά, εξακολουθεί να είναι απαραίτητη η βοήθεια από το φροντιστή για πολλές δραστηριότητες της καθημερινότητας.

Για ασθενείς με ατελή παραπληγία, υπάρχουν ορθώσεις που βελτιώνουν τη βάδιση αλλά απαιτείται αρκετά μεγάλη μυϊκή δύναμη για τη χρήση τους. Οι επιλογές των ασθενών με πλήρη παραπληγία περιορίζονται στη χρήση αναπηρικού αμαξιδίου. Παρόλο που τα αναπηρικά αμαξίδια παρέχουν κάποιο επίπεδο ανεξαρτησίας, οι χρήστες τους εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν προβλήματα προσβασιμότητας και κινητικότητας.

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στην αποκατάσταση ατόμων με κάκωση νωτιαίου μυελού έχει επεκταθεί σε νέους τομείς, συμπεριλαμβανομένων εξωτερικών κινητικών ή ρομποτικών συσκευών που ευοδώνουν την έναρξη της κίνησης ή τη βελτιώνουν.

Οι ρομποτικές συσκευές αυτές έχουν δύο βασικούς στόχους, πρώτον την ενίσχυση της αποκατάστασης μέσω επαναλαμβανόμενων κινήσεων που προάγουν τη νευροπλαστικότητα και δεύτερον την παροχή μιας εναλλακτικής επιλογής ως βοήθημα κινητικότητας, πέρα από τις ορθώσεις και τα ειδικά αμαξίδια.

Επιπλέον, οι εξωσκελετοί των κάτω άκρων αποδεδειγμένα παρέχουν θεραπευτικά οφέλη σε δευτερογενή ιατρικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού ως συνέπεια του τραυματισμού τους, όπως ο πόνος, η σπαστικότητα, η μειωμένη οστική πυκνότητα και το νευρογενές έντερο.

3.7 Ρομποτικές συσκευές κάτω άκρων σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού

Κακώσεις του νωτιαίου μυελού από τη θωρακική μοίρα και κάτω μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την μερική ή πλήρη παράλυση των κάτω άκρων, με αποτέλεσμα περιορισμένα αποτελέσματα από την αποκατάσταση. Η ανεξάρτητη κινητικότητα και μετακίνηση των ασθενών αυτών μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την χρήση αναπηρικού αμαξιδίου, παρόλα αυτά η βάδιση παραμένει ο πρωταρχικός στόχος της αποκατάστασης και αυτών των ασθενών [33].

Οι ΚΝΜ χαρακτηρίζονται από μερική ή πλήρη απώλεια των αισθητηριακών και κινητικών οδών. Οι βλάβες αυτού του τραυματισμού μπορεί να έχουν αρνητικά αποτελέσματα στη μυϊκή ισχύ και τον κινητικό σχεδιασμό, μειώνοντας έτσι τη λειτουργικότητα και αυτονομία του ατόμου.

Η λειτουργική κινητική αποκατάσταση είναι ένας από τους στόχους της αποκατάστασης σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού [11].

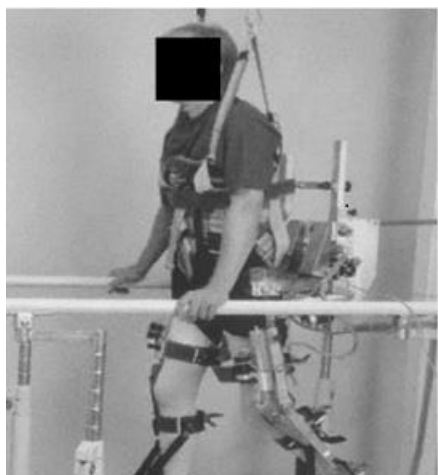
Οι ασθενείς με KNM παρουσιάζουν συνήθως ψυχολογικά, εντερικά, ουροποιητικά, οστεομυοαρθρικά, και καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και νευρικές αλλοιώσεις που επιδεινώνονται στη χρόνια φάση. Ένας από τους στόχους της νευροαποκατάστασης είναι η αποκατάσταση αυτών των προβλημάτων με πρωταρχικό μέλημα τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την ανεξαρτησία. Οι σύγχρονες έρευνες μελετούν και αποδεικνύουν τα οφέλη των ρομποτικών θεραπειών βάδισης σε άτομα με κάκωση νωτιαίου μυελού [11].

Η εξάσκηση του ασθενή σε διάδρομο για την αποκατάσταση της κίνησης των κάτω άκρων έχει ήδη καθιερωθεί σε πολλά κέντρα αποκατάστασης παγκοσμίως. Ο συνδυασμός της με την συστηματική φυσικοθεραπεία οδηγεί σε επιπλέον βελτίωση της κινητικότητας του ασθενή με κάκωση του νωτιαίου μυελού. Παρόμοια εξάσκηση μπορεί να επιτευχθεί και με συμβατικά, μη ρομποτικά, μέσα τοποθετώντας τον ασθενή σε δίζυγο, και υποστηρίζοντας το σωματικό βάρος του από ένα σύστημα ειδικής ανάρτησης. Με αυτό τον τρόπο, και τη συμβολή δύο τουλάχιστον θεραπειών, μπορεί να επιτευχθεί βάρδιση πάνω σε ένα διάδρομο [34].

3.7.1 LOKOMAT

Για να βελτιωθεί λοιπόν η ποιότητα εκπαίδευσης βάδισης σε διάδρομο και να αυξηθεί η διάρκεια των μεμονωμένων συνεδριών αποκατάστασης, κατασκευάστηκε μία ειδική ρομποτική συσκευή που ονομάζεται Lokomat [35].

Το 1999 πρωτοξεκίνησε η συστηματική αποκατάσταση με τη ρομποτική συσκευή Lokomat σε άτομα με KNM, με κύριο σκοπό τη βελτίωση της αποκατάστασης σε σχέση με τη χειροκίνητη



Εικόνα 10 προπόνηση βάδισης στο lokomat[34]

εξάσκηση σε διάδρομο. Σύντομα έγινε σαφές ότι μία τέτοια συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως διαγνωστικό εργαλείο αξιολόγησης σε ερευνητικό επίπεδο για πολλούς επιστημονικούς στόχους. Έτσι το Lokomat έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά επιστημονικά πειράματα, όπως για παράδειγμα την έρευνα για τη διαμόρφωση των αντανάκλαστικών κατά τη διάρκεια του κύκλου βάδισης, τη διαμόρφωση αισθητηριακών προσαγωγών διάφορων αντανάκλαστικών, ηλεκτρομυογραφικές μελέτες στα νευρωνικά κινητικά κέντρα της σπονδυλικής στήλης ασθενών

με ατελή ή πλήρη κάκωση νωτιαίου μυελού ώστε να ερευνηθεί η επίδραση της αποκατάστασης. Επίσης χρησιμοποιείται ως εργαλείο για πειράματα που αφορούν τον έλεγχο κλειστού βρόχου λειτουργικής ηλεκτρικής διέγερσης (FES) που συνδυάζονται για σκοπούς αποκατάστασης [34].

Το Lokomat αποτελείται από ένα διάδρομο, ένα σύστημα στήριξης του σωματικού βάρους του ασθενή, δύο ελαφριές ρομποτικούς ενεργοποιητές που συνδέονται με τα κάτω άκρα και δύο υπολογιστές. Ένας υπολογιστής είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση της κίνησης με ασφαλή τρόπο από τον ασθενή, και ο δεύτερος ενημερώνει τον φυσικοθεραπευτή μέσω μιας γραφικής επιφάνειας διεπαφής (graphical user interface - GUI) ώστε να επιβλέπει την προπόνηση, αλλά και να δίνει κίνητρο στον ασθενή να ολοκληρώσει τη συνεδρία του μέσω διάφορων παιχνιδιών, ενώ παρέχει ανατροφοδότηση σχετικά με την ποιότητα εκτέλεσης της βάρδισης.

Το Lokomat έχει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (στις αρθρώσεις του ισχίου και στις αρθρώσεις του γόνατος αμφοτερόπλευρα) επιτρέποντας την ελεγχόμενη κίνηση των ισχίων και των γονάτων σε μία παραλληλόγραμμη δομή κατακόρυφης κίνησης, χωρίς να απαιτείται προσπάθεια από τον χρήστη να ισορροπήσει. Επίσης, περιλαμβάνει αισθητήρες δύναμης και ποτενσιόμετρα ακριβείας για την ακριβή μέτρηση της γωνίας των αρθρώσεων [34].

Η ταχύτητα του διαδρόμου προσαρμόζεται στις δυνατότητες του κάθε ασθενή και κυμαίνεται από 0 έως περίπου 3km την ώρα. Το ίδιο συμβαίνει και με το σύστημα στήριξης σωματικού βάρους το οποίο αλλάζει



Lokomat FreeD Module Pelvic (Hocoma, 2017)

Εικόνα 12 Lokomat FreeD Module [11]



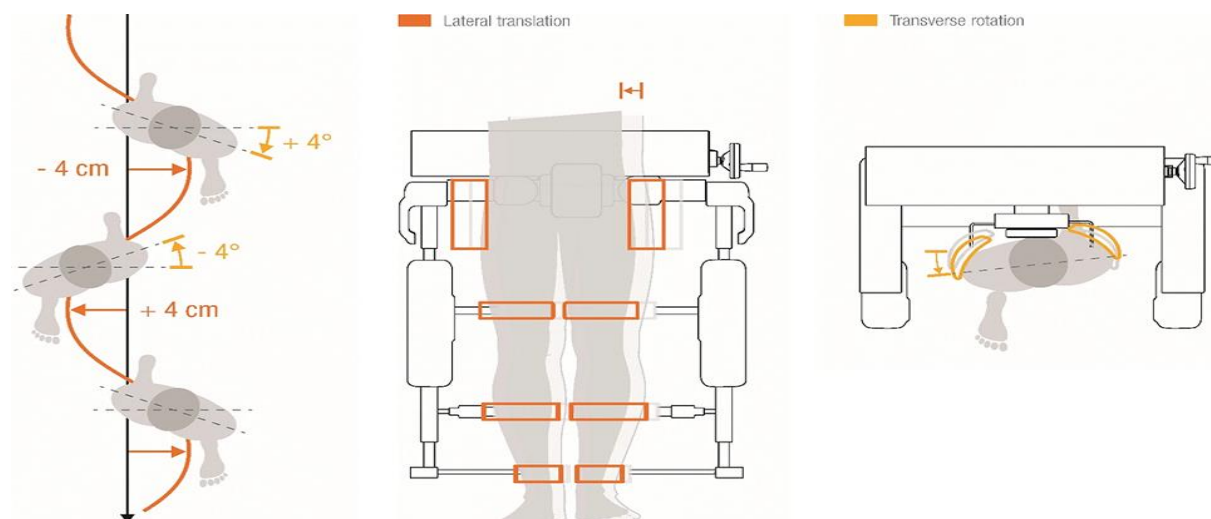
LokomatPRO (without FreeD module) (BR Biomedicals Pvt. Ltd., 2015)

Εικόνα 11 LokomatPRO (without FreeD module) [11]

ανάλογα με την κλινική εικόνα και την πρόοδο του του ασθενή [36].

Υπάρχουν δύο συσκευές Lokomat, η LokomatPRO FreeD module και η LokomatPRO without FreeD module. Η διαφορά μεταξύ τους είναι ότι η πρώτη παρέχει μεγαλύτερη ελευθερία στην κίνηση της λεκάνης και των κάτω άκρων, γεγονός που βελτιώνει τη μεταφορά βάρους, την

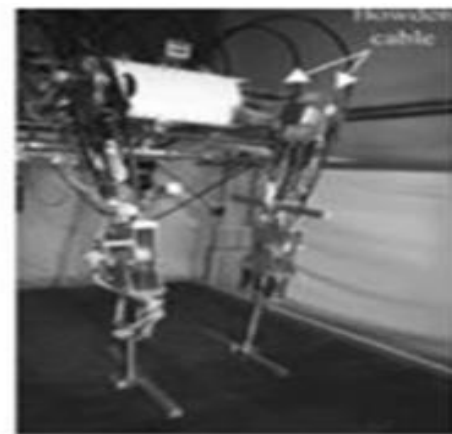
ισορροπία και ενισχύει ένα πιο φυσιολογικό πρότυπο βάρδιση [37]. Κατά τη βάρδιση συμβαίνει μία ετερόπλευρη πτώση, εγκάρσια περιστροφή και πλάγια μετατόπιση της λεκάνης. Οι κινήσεις αυτές συνήθως περιορίζονται από τις ρομποτικές συσκευές βάρδισης, ενώ η LokomatPRO FreeD module ενσωματώνει την πλάγια μετατόπιση και εγκάρσια περιστροφή της λεκάνης στο πρόγραμμα αποκατάστασης [38].



Εικόνα 13 Πιθανές κινήσεις της λεκάνης (συνδυασμός πλευρικής μετατόπισης και εγκάρσιας περιστροφής) της μονάδας Lokomat FreeD [38]

3.7.2 LOPES

Η ρομποτική συσκευή LOPES συνδυάζει ένα ελεύθερα μεταφερόμενο και 2-D- ενεργοποιούμενο τμήμα που εφαρμόζεται στη λεκάνη, με έναν εξωσκελετό κάτω άκρων με 3 βαθμούς ελευθερίας: δύο στο ισχίο και μία στο γόνατο. Οι αρθρώσεις ελέγχονται με αντίσταση για να επιτρέπεται η αμφίδρομη μηχανική αλληλεπίδραση μεταξύ του ρομπότ και του ασθενή που εκπαιδεύεται. Οι μετρήσεις αξιολόγησης δείχνουν ότι η συσκευή επιτρέπει και τη λειτουργία « ασθενής – in – charge » και « robot – in – charge », στην οποία η συσκευή ρυθμίζεται είτε να προσαρμοστεί στις κινήσεις του ασθενή είτε να τον καθοδηγήσει, αντίστοιχα. Αποτελέσματα ηλεκτρομυογραφιών από οκτώ βασικούς μύες των κάτω άκρων, δείχνουν ότι η



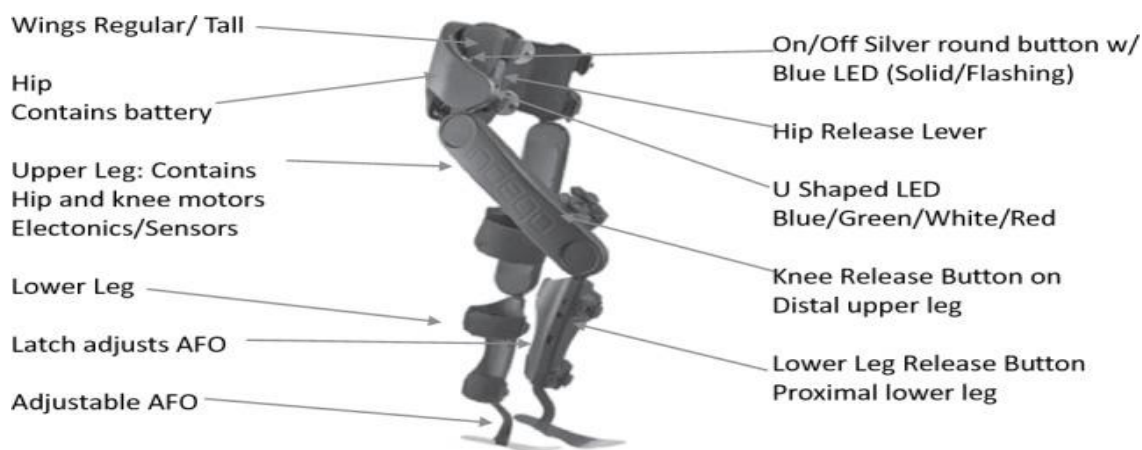
Εικόνα 14 Lopes [39]

ελεύθερη βάδιση με τη ρομποτική αυτή συσκευή μοιάζει πολύ με την ελεύθερη βάδιση σε διάδρομο [39].

3.7.3 INDEGO

Ο ρομποτικός εξωσκελετός INDEGO αποτελείται από πέντε αρθρωτά τμήματα: ένα τμήμα ισχίου, ένα τμήμα άνω μέρους και ένα κάτω μέρους των κάτω άκρων αμφοτερόπλευρα. Τέσσερις κινητήρες μαζί με αισθητήρες και ελεγκτές είναι τοποθετημένοι στο άνω τμήμα της συσκευής, και είναι υπεύθυνοι για την κίνηση του ισχίου και των γονάτων. Το σύστημα έχει ενσωματωμένες ορθώσεις αστραγαλοπτερινικής άρθρωσης (AFOs) που παρέχουν στήριξη και σταθεροποίηση στον αστράγαλο και μεταφέρουν το βάρος στο έδαφος. Το τμήμα που εφαρμόζεται στο ισχίο περιλαμβάνει μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου που παρέχει ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος.

Οι ενσωματωμένοι μικροεπεξεργαστές λαμβάνουν πληροφορίες από τους ενσωματωμένους αισθητήρες, οι οποίοι παρέχουν ανατροφοδότηση σχετικά με τη στάση και την θέση του χρήστη. Έτσι, όταν ο χρήστης κατά την διάρκεια της συνεδρίας μετακινεί το κέντρο βάρους προς μια πρόσθια ή οπίσθια κατεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο οι ελεγκτές δέχονται σήματα και τροποποιούν την κίνηση. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί κάποιο επιπλέον βοήθημα, όπως περιπατητήρα ή πατερίτσες για στήριξη και σταθερότητα ενώ βαδίζει. Ο εξωσκελετός ζυγίζει 26

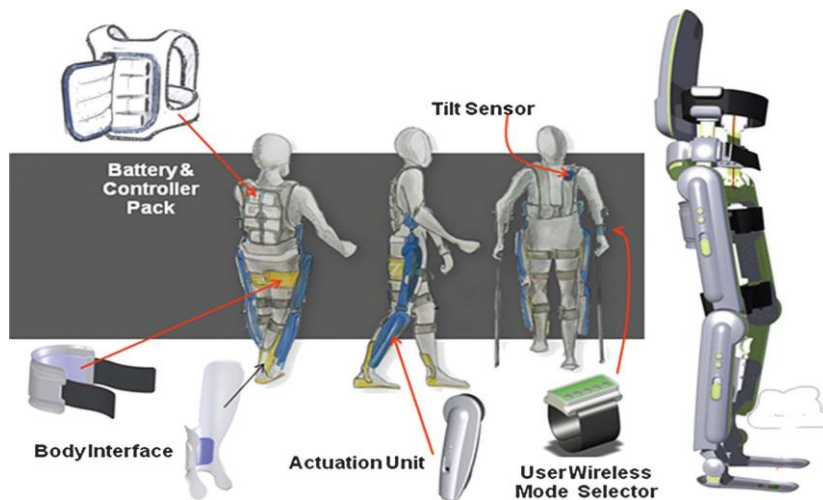


Εικόνα15 Ρομποτικός εξωσκελετός INDEGO [40]

κιά και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα Apple iPod Touch μέσω σύνδεσης Bluetooth [40, 42].

3.7.4 REWALK

Το REWALK περιέχει ένα ζευγάρι δυναμικούς κινητήρες για τα ισχία και ένα ζευγάρι για τα γόνατα, τα οποία τροφοδοτούνται από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες τοποθετημένες μέσα σε ένα σακίδιο πλάτης που εφαρμόζεται στο χρήστη και όπου επίσης στεγάζεται το σύστημα ελέγχου του εξωσκελετού. Το REWALK είναι αυτόνομο και το διαχειρίζεται ο κάθε χρήστης. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να ελέγχει ο ίδιος τη βάρδιση του μέσα από μικρές κινήσεις του κορμού και από ένα



χειριστήριο που εφαρμόζεται στον καρπό του. Ένας αισθητήρας κλίσης καθορίζει την γωνία του κορμού και προάγει μία προδιαγεγραμμένη μετατόπιση του ισχίου και του γόνατος (γωνία και χρόνος) που οδηγούν σε ένα βήμα. Η μέγιστη ταχύτητα βάρδισης είναι 0.6 μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή σε 2,2

Εικόνα 16 Σχηματική απεικόνιση του REWALK. [41]

χιλιόμετρα ανά ώρα. Το REWALK διαθέτει τέσσερις λειτουργίες κίνησης (βάρδιση, από καθιστή σε όρθια θέση, από όρθια σε καθιστή και ανεβοκατέβασμα σκάλας), ζυγίζει 20,9 κιλά και η μπαταρία του διαρκεί για 8 ώρες [41].

3.7.5 EKSO

Το EKSO είναι ένας φορητός εξωσκελετός που επιτρέπει σε άτομα με αναπηρία των κάτω άκρων και με μειωμένη μυϊκή δύναμη άνω άκρων να σηκώνονται όρθιοι, να κάθονται και να βαδίζουν πάνω σε επίπεδη και σκληρή επιφάνεια υπό την επίβλεψη φυσικοθεραπευτή. Το Ekso προορίζεται για περιπατητικούς και μη ασθενείς με πλήρη ή ατελή κάκωση του νωτιαίου μυελού. Χρησιμοποιείται ως θεραπευτική συσκευή για επανεκπαίδευση της βάρδισης με σωστό κινητικό μοτίβο. Η συσκευή Ekso ζυγίζει 23 κιλά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ασθενείς που ζυγίζουν έως 100 κιλά και έχουν ύψος από 160 έως 190 εκατοστά. Είναι εξοπλισμένη με τέσσερις κινητήρες

στα ισχία και στα γόνατα που τροφοδοτούνται με μπαταρίες, και οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν ή να αντικαθιστούν την ελλιπή νευρομυϊκή λειτουργία [43, 44].



Εικόνα 17 Ekso exoskeleton [44]

Η συσκευή εφαρμόζεται στον ασθενή με ένα σακίδιο στον κορμό και σε τρία σημεία στα κάτω άκρα (στο μηρό, στο γόνατο και στην ποδοκνημική). Κατασκευάζεται από ανθρακονήματα και χάλυβα. Ο έλεγχος της συσκευής γίνεται με χειρονομίες, δίνοντας τη δυνατότητα σε παραπληγικούς ασθενείς να περπατούν με τη βοήθεια τροχήλατου περιπατητήρα ή με πατερίτσες.

Υπάρχουν τέσσερις τύποι έναρξης του βηματισμού του ασθενή: 1) *first step*, στο οποίο ο φυσικοθεραπευτής ξεκινάει το βηματισμό με το πάτημα ενός κουμπιού, 2) *active step*, στο οποίο ο ίδιος ο ασθενής ξεκινάει το βηματισμό με το πάτημα ενός κουμπιού στις πατερίτσες ή στον περιπατητήρα, 3) *pro step*, κατά το οποίο ο ασθενής επιτυγχάνει το επόμενο βήμα μετατοπίζοντας το βάρος του προς την μία πλευρά και έπειτα προς τα εμπρός, 4) και το *Pro step plus*, στο οποίο ο βηματισμός επιτυγχάνεται μόνο με τη μετατόπιση του βάρους του ασθενή. Το Ekso βοηθάει στο βηματισμό του ασθενή με 3 τρόπους: 1) Bilateral Max Assist, όπου παρέχει πλήρη ισχύ και στα δύο κάτω άκρα.

Δεν απαιτείται δύναμη από τον ασθενή, μόνο σωστή ισορροπία και αλλαγές στο κέντρο βάρους για την επίτευξη βαδίσματος, 2) Adaptive Assist στην οποία ο ασθενής συμβάλλει στην προσπάθεια βαδίσσης με όση μυϊκή δύναμη διαθέτει στα κάτω άκρα, και 3) Fixed Assist στην οποία η συσκευή παρέχει ένα προκαθορισμένο βαθμό ισχύος ώστε να βοηθήσει τον ασθενή να ολοκληρώσει τα βήματα της συνεδρίας σε καθορισμένο χρονικό διάστημα [43].

4 Μελέτες ρομποτικά υποβοηθούμενης βαδίσσης στην αποκατάσταση ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού και τα οφέλη της

Οι ρομποτικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές η κάθε μία, και εμφανίζουν αυξανόμενη χρήση τα τελευταία χρόνια στα κέντρα αποκατάστασης ασθενών με νευρολογικές παθήσεις. Ακόμη, τις τελευταίες

δύο δεκαετίες, έχουν γίνει αρκετές μελέτες σχετικά με τη ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση και τα οφέλη της σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού.

Η μεγαλύτερη προσδοκία και ανησυχία των ασθενών με ΚΝΜ μετά από την οξεία φάση είναι να μπορέσουν να βαδίσουν ξανά. Έτσι, ο κύριος στόχος στην αποκατάσταση της ΚΝΜ είναι οι θεραπείες για τη βελτίωση της κινητικής λειτουργίας. Μελέτες έδειξαν ότι η επαναλαμβανόμενη και εντατική υποβοηθούμενη βάδιση και κίνηση μπορεί να προκαλέσει πλαστικότητα στα σχετικά κινητικά κέντρα. Η αισθητηριακή κινητική διέγερση σε επαρκή ένταση είναι απαραίτητη για τη αύξηση της νευροπλαστικότητας. Παρόλα αυτά, και δεδομένου ότι οι ασθενείς κουράζονται εύκολα λόγω σοβαρής κινητικής βλάβης, οι εντατικές και επαναλαμβανόμενες ασκήσεις είναι δύσκολο να εκτελεστούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθιστώντας την κόπωση σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για το συμβατικό πρόγραμμα αποκατάστασης. Επίσης, και ο θεραπευτής μπορεί να εξαντληθεί σωματικά στην προσπάθεια του να στηρίζει και να καθοδηγήσει τον ασθενή στην εξάσκηση της βάδισης κατά την συνεδρία. Για να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός γίνεται χρήση των ρομποτικών συσκευών. Η ρομποτικά υποβοηθούμενη θεραπεία βάδισης πλεονεκτεί τόσο στη διατήρηση ενός φυσιολογικού προτύπου βάδισης όσο και στην αυξημένη ένταση και στη συνολική διάρκεια της θεραπείας.

Σε πρόσφατη μελέτη του Yildirim et al. (2019) η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση σε συνδυασμό με τη συμβατική θεραπεία βρέθηκε να έχει καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με τη συμβατική θεραπεία όσον αφορά τη βάδιση και το επίπεδο αναπηρίας. Στην μελέτη πήραν μέρος 88 ασθενείς που χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες. Τα κριτήρια ένταξης ήταν να κατατάσσονται σύμφωνα με την Αμερικανική Κλίμακα Διαταραχής Σπονδυλικής Εταιρείας (AIS) σε ασθενείς με ΚΝΜ με πλήρη και ατελή A, B, C και D, να είναι ηλικίας 18–65 ετών των οποίων ο τραυματισμός συνέβη πριν από 6 μήνες και ασθενείς που μπορούσαν να περπατήσουν ανεξάρτητα πριν τον τραυματισμό.

Η πρώτη ομάδα υποβλήθηκε σε 16 συνεδρίες ρομποτικά υποβοηθούμενης βάδισης (Lokomat), διάρκειας 8 εβδομάδων, δηλαδή δύο φορές την εβδομάδα, και 5 συμβατικές συνεδρίες φυσικοθεραπείας (εύρος κίνησης των αρθρώσεων, διατάσεις, ενδυνάμωση και προπόνηση βάδισης) την εβδομάδα, δύο φορές την ημέρα, ενώ η ομάδα ελέγχου υποβλήθηκε μόνο σε συμβατική φυσικοθεραπεία 5 φορές την εβδομάδα, δύο φορές την ημέρα.

Σημαντική βελτίωση παρατηρήθηκε και στις δύο ομάδες σύμφωνα με τον δείκτη βάδισης για τον τραυματισμό του νωτιαίου μυελού II και τις βαθμολογίες μέτρησης της λειτουργικής ανεξαρτησίας ($P < 0,001$). Ωστόσο, μεγαλύτερη βελτίωση, σύμφωνα με τον δείκτη βάδισης για

τραυματισμό νωτιαίου μυελού ΙΙ ($P = 0,011$) και τις βαθμολογίες μέτρησης της λειτουργικής ανεξαρτησίας ($P = 0,022$), παρατηρήθηκε στην ομάδα που παρακολούθησε και συνεδρίες με το Lokomat [45].

Άλλη μία πρόσφατη μετανάλυση που έγινε από τους Fang et al. (2020) είχε στόχο να συγκρίνει τις επιδράσεις της ρομποτικά υποβοηθούμενης αποκατάστασης της βάδισης στην σπαστικότητα και τον πόνο σε σχέση με άλλες θεραπείες ασθενών μετά από κάκωση νωτιαίου μυελού [12].

Η κάκωση νωτιαίου μυελού προκαλεί αδυναμία ή παράλυση, ατροφία, αδυναμία βάδισης, αισθητηριακή δυσλειτουργία και διαταραχές του αυτόνομου νευρικού συστήματος, όπως η δυσαντακλαστικότητα. Η σπαστικότητα και ο πόνος αποτελούν συνέπειες της κάκωσης επηρεάζοντας την κινητικότητα και την ποιότητα ζωής του ασθενή [12].

Ο επιπολασμός της σπαστικότητας μετά από τραυματισμό του νωτιαίου μυελού είναι 65% κατά το εξιτήριο από το νοσοκομείο. Σε χρόνιο στάδιο, ο επιπολασμός είναι ακόμη πιο υψηλός. Οι Andresen et al. χορήγησαν ερωτηματολόγιο σε ασθενείς με KNM που βρίσκονταν στη χρόνια φάση, και βρήκαν ότι ο επιπολασμός της σπαστικότητας ήταν 71%. Η σπαστικότητα δεν επηρεάζει μόνο τη βάδιση και την κινητική λειτουργία των ασθενών, αλλά προκαλεί και σχετίζεται με έντονο πόνο και συνεπώς με μείωση της ποιότητα ζωής και δυσκολία στις καθημερινές δραστηριότητες. Ο Dipiro και οι συνεργάτες του (2018) ανέφεραν ότι η αυτοαναφερόμενη συχνότητα χρήσης φαρμάκων για τη σπαστικότητα δεν έδειξε σημαντικά αποτελέσματα σε χρόνια KNM. Επομένως, η εύρεση μιας θεραπείας που μπορεί να μειώσει τη σπαστικότητα σε συνδυασμό με τη σταθερή χρήση φαρμάκων μπορεί να είναι ευεργετική για τα άτομα με KNM. Η παρουσία του μυοσκελετικού πόνου είναι επακόλουθο του τραυματισμένου νωτιαίου μυελού. Το μεγαλύτερο ποσοστό αισθάνεται νευροπαθητικό πόνο στο επίπεδο της κάκωσης παρά χαμηλότερα από αυτό. Ο πόνος αυτός και η έντασή του επηρεάζουν τόσο την διάθεση του ασθενή όσο και την ποιότητα ζωής του [12].

Στην μετανάλυση των Fang et al. συγκεντρώθηκαν συνολικά 223 μελέτες από αναζήτηση που έγινε σε τέσσερις ηλεκτρονικές βάσεις αναζήτησης (PubMed, Scopus, Medline και Cochrane Central Register of Controlled Trials) οι οποίες είχαν δημοσιευθεί έως τον Νοέμβριο του 2019 και αφορούσαν μελέτες μόνο σε ανθρώπους. Οι τυχαίοποιημένες μελέτες αναλύθηκαν ξεχωριστά από τις μη τυχαίοποιημένες. Η μέτρηση της σπαστικότητας έγινε με βάση την κλίμακα Ashworth (AS) ή την τροποποιημένη κλίμακα Ashworth (MAS) για τα κάτω άκρα και ο πόνος με την κλίμακα οπτικού ανάλογου (Visual Analogue Scale – VAS), μια ευρέως γνωστή κλίμακα για την αυτοαξιολόγηση του πόνου που βιώνει ο ασθενής. Η κλίμακα VAS αποτελείται από μία γραμμή

10 εκατοστών με 10 σημεία όπου το 0 δηλώνει απουσία πόνου και το 10 αντιπροσωπεύει τον αφόρητο πόνο, και οι ασθενείς σημειώνουν υποκειμενικά τον πόνο που βιώνουν. Άλλες κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η κλίμακα κινητικής βαθμολογίας κάτω άκρων (Lower Extremities Motor Scale - LEMS), και την ικανότητα βάδισης (δηλαδή, δοκιμή βάδισης 6 λεπτών, κατά την οποία μετράτε η απόσταση που διανύθηκε, και δοκιμή βάδισης 10 μέτρων, όπου ο χρόνος που χρειάστηκε για να διανύσει την απόσταση).

Η προαναφερθείσα μετανάλυση, στις μη τυχαιοποιημένες μελέτες, έδειξε μείωση της σπαστικότητας μετά από ρομποτικά υποβοηθούμενη εξάσκηση βάδισης. Η σπαστικότητα ορίζεται ως μια αυξημένη αντίσταση σε μία κίνηση η οποία γίνεται από έξωθεν και είναι εξαρτώμενη από την ταχύτητα της κίνησης. Ενώ συνδυάζεται με αυξημένα τενόντια αντανακλαστικά και κλώνο [46]. Ωστόσο, η σπαστικότητα εξαρτάται και από τις εγγενείς μυϊκές ιδιότητες. Οι Mirbagheri και συνεργάτες ανέφεραν ότι η ρομποτικά υποβοηθούμενη εξάσκηση βάδισης μείωσε την αντανακλαστική και την εγγενή ακαμψία του αστραγάλου σε άτομα με KNM. Η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση παράγει ένα ρυθμικό πρότυπο κίνησης των κάτω άκρων και ταυτόχρονα διεγείρει τα αισθητηριακά κέντρα. Κάτι που, όπως έχει βρεθεί και σε προηγούμενες μελέτες, βοηθάει στη αναδιοργάνωση των κινητικών δικτύων της σπονδυλικής στήλης που ευνοούνται από τις επαναλαμβανόμενες κινήσεις του θεραπευτικού προγράμματος, δηλαδή τη ρυθμική επαναλαμβανόμενη παθητική ή υποβοηθούμενη κίνηση, καθώς επίσης βελτιώνει την σπαστικότητα και την κινητική λειτουργία.

Οι λόγοι που οι τυχαιοποιημένες μελέτες δεν έδειξαν σημαντική μείωση της σπαστικότητας στην πειραματική ομάδα πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι το αρχικό επίπεδο της σπαστικότητας των συμμετεχόντων ήταν πολύ χαμηλό για να φανεί κάποια επίδραση από τις θεραπευτικές παρεμβάσεις.

Οι ερευνητές πιστεύουν ότι ο πόνος συνδέεται στενά με την σπαστικότητα και συνεπώς η μείωση της σπαστικότητας θα συνεπάγεται και μείωση του πόνου. Ωστόσο, το αποτέλεσμα αυτής της μετανάλυσης δεν έδειξε μείωση στη σπαστικότητα να συνοδεύεται και από μείωση του πόνου μετά από ρομποτικά υποβοηθούμενη προπόνηση βάδισης. Αυτό μπορεί να εξηγείται στο γεγονός ότι ο πόνος που αισθάνονταν οι συμμετέχοντες δεν οφειλόταν κυρίως στη σπαστικότητα, αλλά σε άλλες αιτίες [12].

Οι ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού παρουσιάζουν ταχύτερη γήρανση του καρδιαγγειακού τους συστήματος συγκριτικά με φυσιολογικά άτομα παρόμοιας ηλικίας. Οπότε, οι ασθενείς με KNM έχουν υψηλότερο ποσοστό θνησιμότητας από καρδιαγγειακούς παράγοντες,

λόγω αυξημένου κινδύνου καρδιοπάθειας και εγκεφαλικών επεισοδίων. Αυτό οφείλεται στην δυσλειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος με αποτέλεσμα την απορρύθμιση της αρτηριακής πίεσης, καθώς και λόγω της πολύωρης καθιστικής ζωής και της σωματικής αδράνειας. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η αύξηση της φυσικής δραστηριότητας αυτών των ασθενών. Η ρομποτικά υποβοηθούμενη εξάσκηση της βάδισης αποτελεί αξιόλογη επιλογή θεραπευτικού προγράμματος για την βελτίωση της υγείας και της λειτουργικότητάς τους [47]. Οι εξωσκελετοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν την φυσική δραστηριότητα αυτού του πληθυσμού μειώνοντας τον κίνδυνο να παρουσιάσουν παθήσεις λόγω καθιστικής ζωής [48, 49].

Οι Faulkner et al. (2019) διερεύνησαν την επίδραση της αποτελεσματικότητας θεραπευτικού προγράμματος με χρήση ρομποτικών συσκευών για την υποστήριξη της βάδισης ατόμων με KNM αναφορικά με κεντρικές και περιφερικές αιμοδυναμικές μετρήσεις. Στην έρευνα αυτή πήραν μέρος 12 ασθενείς που κατατάσσονται στις κατηγορίες A έως C της κλίμακας ASIA, και οι οποίοι χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ισάριθμες ομάδες. Η πειραματική ομάδα παρακολούθησε πρόγραμμα αποκατάστασης ρομποτικά υποβοηθούμενης βάδισης με εξωσκελετό για 5 ημέρες, μαζί με πρόγραμμα φυσικοθεραπείας 5 ημερών. Ενώ, η ομάδα ελέγχου ακολούθησε μόνο το πρόγραμμα κλασσικής φυσικοθεραπείας. Το πρόγραμμα με τη χρήση εξωσκελετού διαρκούσε 90 λεπτά και η φυσικοθεραπεία 60 λεπτά. Οι μετρήσεις έγιναν πριν και μετά την συμμετοχή στα προγράμματα αποκατάστασης. Οι μετρήσεις περιελάμβαναν ανάκλαση αρτηριακού κύματος (Δείκτης Αύξησης [AIx] = έμμεσος δείκτης αρτηριακής ανελαστικότητας καθώς εξαρτάται όχι μόνο από την ταχύτητα του σφυγμικού κύματος αλλά και από την διάρκεια του καρδιακού κύκλου και επομένως από την καρδιακή συχνότητα όπως επίσης και από την ένταση του κύματος ανάκλασης [50]), και την κεντρική και περιφερική αρτηριακή πίεση. Τα αποτελέσματα και οι στατιστικές αναλύσεις της μελέτης αυτής έδειξαν σημαντική μείωση του AIx ($30 \pm 18-21 \pm 15\%$, $\eta^2_p = 0,75$) και της μέσης αρτηριακής πίεσης ($89 \pm 11-82 \pm 10$ mmHg, $\eta^2_p = 0,47$) μετά την ολοκλήρωση του θεραπευτικού προγράμματος της ρομποτικά υποβοηθούμενης βάδισης (και τα δύο $P < 0,05$). Ενώ, δεν υπήρξαν αλλαγές στις μετρήσεις αυτές για την ομάδα ελέγχου. επίσης, παρατηρήθηκαν μεσαίες έως μεγάλες επιδράσεις υπέρ της ρομποτικά υποβοηθούμενης βάδισης για όλες τις άλλες αιμοδυναμικές μετρήσεις ($\eta^2_p = 0,06-0,21$), εκτός από τον καρδιακό ρυθμό και την πίεση παλμού ($\eta^2_p < 0,04$). Επομένως, η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση με χρήση εξωσκελετού είναι μια πολλά υποσχόμενη θεραπεία για τη βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας σε ασθενείς με KNM. Παρόλα αυτά οι ερευνητές τονίζουν την ανάγκη για περαιτέρω τυχαιοποιημένες μελέτες με μεγαλύτερο δείγμα [47].

Ο Yatsuya K. et al (2016), συνέκριναν την ενεργειακή κατανάλωση σε συνθήκη βάρδιας ασθενών με KNM ενός νοσοκομείου της Ιαπωνίας μεταξύ διαφορετικού τύπου βοηθημάτων. Συγκεκριμένα, μεταξύ μίας ρομποτικής όρθωσης και δύο τύπων ορθώσεων γόνατος - αστραγάλου – ποδιού (KAFO) με μία εσωτερική άρθρωση στο ύψος των ισχίων. Παρατήρησαν ότι η χρήση της ρομποτικής όρθωσης είναι ένα πρακτικό και ξεκούραστο βοήθημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ασθενείς με παραπληγία. Στην μελέτη αυτή συμμετείχαν συνολικά 6 ασθενείς, 2 γυναίκες και 4 άντρες, οι οποίοι επισκέφθηκαν το νοσοκομείο Chubu Rosai μεταξύ του Σεπτεμβρίου 2013 και του Ιανουαρίου 2016 με KNM. Από αυτούς, οι πέντε κατατάσσονταν στην κατηγορία Α και ένας στη Β της κλίμακας ASIA [51].

Τα κριτήρια ένταξης γι' αυτή την μελέτη ήταν πλήρης παραπληγία με κατάταξη Α και Β στην κλίμακα ASIA, ύψος από 145 έως 180εκ. και το βάρος κάτω από 80 κιλά. Αυτά ήταν απαραίτητα για την καλύτερη χρήση των μοχλών και των κουμπιών στις λαβές του περιπατητήρα, αφού απαιτούνταν από τους συμμετέχοντες να μπορούν να σηκώνονται ή να κάθονται, και να ξεκινούν ή να σταματούν τη βάρδια. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες έπρεπε να είναι ικανοί να μετατοπίζουν το βάρος τους από πλευρά σε πλευρά χρησιμοποιώντας τα άνω άκρα παράλληλα με τον ρυθμό της ρομποτικής όρθωσης. Τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν η προοδευτική εξέλιξη της νόσου, η άνοια ή η αλλοιωμένη συνείδηση, ο αυξημένος κίνδυνος για κατάγματα των άκρων και της σπονδυλικής στήλης, η σοβαρή σύγκραμψη των άκρων ή του κορμού, οι τραυματισμοί προκαλούμενοι από την πίεση που ασκούσαν στα σημεία εφαρμογής της όρθωσης, και τέλος προβλήματα αρτηριακής πίεσης και αναπνευστικά προβλήματα.

Το Wearable Power Assist Locomotor (WPAL) είναι μία ρομποτική όρθωση που αποτελείται από ένα ρομποτικό τμήμα που εφαρμόζεται στο χρήστη και από έναν τροποποιημένο περιπατητήρα, ο οποίος φέρει τις μπαταρίες και την κεντρική μονάδα επεξεργασίας που ελέγχει τη λειτουργία του WPAL. Ο χρήστης αφού εφαρμόσει τη ρομποτική όρθωση, κρατά τον τροποποιημένο περιπατητήρα και με τα χέρια του χειρίζεται τους διακόπτες για να σηκωθεί. Παράμετροι όπως το μήκος διασκελισμού, ο χρόνος αιώρησης και ο χρόνος διπλής στήριξης μπορεί να αλλάζει ανάλογα με την ικανότητα βάρδιας του χρήστη μέσω ενός ασύρματα συνδεδεμένου φορητού υπολογιστή [51].

Οι συμμετέχοντες συμμετείχαν και στις 2 συνθήκες, δηλαδή παρακολούθησαν συνεδρίες και με συμβατική όρθωση KAFO αλλά και με το WPAL. Αρχικά, ξεκίνησαν να εξασκούνται με το KAFO, υπό την επίβλεψη φυσικοθεραπευτή, σε δίζυγο και έπειτα σε περιπατητήρα ώσπου να κατακτήσουν αυτές τις ικανότητες. Στη συνέχεια, προχώρησαν στην εκπαίδευση βάρδιας με το

WPAL. Ο χρόνος που αφιερώθηκε στην εκπαίδευση με το KAFO ήταν διπλάσιος απ' ότι με το WPAL. Μετέπειτα υποβλήθηκαν σε τεστ βάρδισης 6 λεπτών, ενώ έπρεπε να διατηρήσουν κατά το δυνατόν μία σταθερή ταχύτητα, με το KAFO, και μετρήθηκε η ενεργειακή κατανάλωση με το δείκτη φυσιολογικού κόστους PCI του MacGregor [51]. Η σωματική δραστηριότητα και η ενεργειακή δαπάνη μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μετρώντας τον καρδιακό ρυθμό, την πρόσληψη οξυγόνου και το αναπνευστικό πηλίκιο[52]. Στη συνέχεια ακολούθησαν την ίδια διαδικασία και με το WPAL. Επίσης, αξιολογούνταν κάθε 30 δευτερόλεπτο με την κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης (Borg Rating of Perceived Exertion Scale – Borg) για να αξιολογηθεί η αντιληπτή προσπάθεια. Υποβλήθηκαν επίσης σε διαδοχικές δοκιμασίες βάρδισης με το KAFO και το WPAL καθώς και σε συνεχόμενη βάρδιση με άνετη ταχύτητα μέχρι να νοιώσουν κούραση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανάλωση ενέργειας ήταν μεγαλύτερη στη δοκιμασία 6 λεπτών με το KAFO παρά με το WPAL. Η διαφορά του δείκτη PCI μεταξύ του KAFO και του WPAL έγινε σημαντικά μεγαλύτερη με την πάροδο του χρόνου. Ομοίως, η μέτρηση της κόπωσης με την τροποποιημένη κλίμακα Borg κατά τη διάρκεια της 6 λεπτής βάρδισης με το KAFO ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με το WPAL. Η διάρκεια βάρδισης και η απόσταση που διανύθηκε στη δοκιμασία συνεχόμενου βαδίσματος ήταν μεγαλύτερα με το WPAL παρά με KAFO. Δύο συμμετέχοντες μάλιστα συνέχισαν να περπατούν με το WPAL μέχρι που τελείωσε η μπαταρία και όλοι οι συμμετέχοντες σχολίασαν ότι απόλαυσαν περισσότερο το περπάτημα με το WPAL γιατί, όπως είπαν, προσομοιάζει το κανονικό βάδισμα [51]. Αυτό δικαιολογείται μιας και οι ασθενείς χωρίς την βοήθεια της ρομποτικής όρθωσης χρειάζεται να δαπανήσουν περισσότερη ενέργεια στα άνω άκρα και σε αντισταθμιστικές κινήσεις του κορμού τους για να πετύχουν την πλάγια μετατόπιση βάρους και την προώθηση του αντίθετου κάτω άκρου κατά την βάρδιση παράλληλα με την διατήρηση της ισορροπίας τους.

Αντιφατικά αποτελέσματά βρέθηκαν από μία πιο πρόσφατη μελέτη των Kwon S et al (2020). Συμμετείχαν 13 ασθενείς με πλήρη παραπληγία από τους οποίους 3 διέκοψαν πριν ολοκληρωθεί η μελέτη. Υποβλήθηκαν σε εκπαίδευση βάρδισης με το KAFO ή το ReWalk για 4 εβδομάδες με 5 συνεδρίες εβδομαδιαίως. Μετά από μια περίοδο 2 εβδομάδων αδράνειας, συνέχισαν την εκπαίδευση με την αντίθετη όρθωση για άλλες 4 εβδομάδες. Αξιολογήθηκαν δύο φορές, την 2^η και την 4^η εβδομάδα προπόνησης με την κάθε όρθωση, χρησιμοποιώντας τη δοκιμασία βάρδισης 6 λεπτών και τη δοκιμασία βάρδισης 30 λεπτών. Αξιολογήθηκαν η απόσταση περπατήματος, η ταχύτητα και ο ρυθμός, και η ενεργειακή δαπάνη κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας βάρδισης 6 και 30 λεπτών. Η βάρδιση με το ReWalk απαιτούσε στατιστικά σημαντικά μικρότερη κατανάλωση

ενέργειας συγκριτικά με το KAFO στα 6 και 30 λεπτά. Παρόλα αυτά, δεν υπήρχαν διαφορές στην ταχύτητα οπότε και στην απόσταση μεταξύ του ReWalk και του KAFO. Η ικανοποίηση των ασθενών μετά από συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς δεν έδειξε διαφορές μεταξύ των 2 ορθώσεων αναφορικά με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά τους. Έτσι, σε αυτή τη μελέτη, το ReWalk επέτρεψε στους ασθενείς με παραπληγία να περπατούν πιο ξεκούραστα σε σύγκριση με το KAFO, αλλά δεν πρόσφερε μεγαλύτερη ικανοποίηση [53].

Σε πρόσφατη έρευνα του Corbianco et al (2021) μελετήθηκε η ενεργειακή κατανάλωση και η ψυχολογική επίδραση ενός προγράμματος αποκατάστασης με δύο διαφορετικούς τύπους ρομποτικών συσκευών, το Lokomat σε σύγκριση με το Ekso, σε ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού [54].

Στην μελέτη πήραν μέρος δεκαπέντε ασθενείς με KNM σε διαφορετικά σημεία και υποβλήθηκαν σε συνεδρίες αποκατάστασης βάδισης με τη βοήθεια ρομποτικών συσκευών σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση, όλοι οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν τρεις συνεδρίες με το Lokomat και τρεις συνεδρίες με το Ekso. Στη συνέχεια χωρίστηκαν τυχαία στο Lokomat και στο Ekso για 17 συνεδρίες. Τους χορηγήθηκε ένα ερωτηματολόγιο που διερευνούσε επίδραση που είχαν οι ρομποτικές συσκευές κατά την εκπαίδευση βάδισης. Παράλληλα αξιολογήθηκαν η κατανάλωση οξυγόνου, η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, το μεταβολικό ισοδύναμο εργασίας (MET), η κατανάλωση ενέργειας κατά τη βάδιση και ο καρδιακός ρυθμός. Οι μεταβολικές αποκρίσεις ($7,73 \pm 1,02$ mL/kg/min) και οι τιμές MET ($3,20 \pm 1,01$) κατά τη βάδιση με το Ekso φάνηκε να είναι υψηλότερες από αυτές με το Lokomat ($3,91 \pm 0,93$ mL/kg/min και $1,58 \pm 0,44$, $p < 0,01$). Ωστόσο, και οι 2 συσκευές συνέλεξαν υψηλές βαθμολογίες αναφορικά με την ικανοποίηση και την ευχαρίστηση από την εμπειρία. Η βάδιση με Ekso είχε μεγαλύτερα επίπεδα σωματικής κόπωσης, πνευματικής προσπάθειας και δυσφορίας. Ενώ, η βάδιση στο Lokomat εμφάνισε υψηλότερη βαθμολογία στη μυϊκή χαλάρωση. Αν και όλοι οι ασθενείς που συμμετείχαν ανέφεραν πιο ξεκούραστη και ταχύτερη βάδιση, αυτοί που χρησιμοποιούσαν το Ekso χρειάστηκαν υψηλότερη γνωστική και καρδιαγγειακή προσπάθεια κατά τη βάδιση απ' ότι με το Lokomat [54].

Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης επιβεβαιώνονται και από αυτή των Alamro RA. et al (2018), όπου βρήκαν υψηλότερη ενεργοποίηση των μυών του κορμού, με χρήση ηλεκτρομυογραφήματος, στη βάδιση με το Ekso από ότι με το Lokomat, εξαιτίας της ανάγκης για πλευρική μετατόπιση του βάρους προκειμένου να πραγματοποιηθεί το επόμενο βήμα [55]. Παρόμοια, και σε παλιότερη μελέτη των Aslund MK. et al (2008), παρατήρησαν ότι βάδιση με το Ekso προκαλεί σημαντικά μεγαλύτερη πλευρική μετατόπιση της λεκάνης (στη λειτουργία

Prostep) σε σύγκριση με το περπάτημα στο Lokomat όπου η λεκάνη παραμένει σταθερή, καθώς επίσης και η ενεργοποίηση των άνω άκρων είναι μεγαλύτερη για να υποστηρίξουν την πλευρική κίνηση. Αντίθετα το Lokomat απαιτεί λιγότερη μυϊκή ενεργοποίηση αφού τα κάτω άκρα κινούνται ρομποτικά και ο κορμός στηρίζεται σταθερά από μία ζώνη [56].

Αναφορικά με τη ταχύτητα βάρδισης ασθενών με KNM έχουν γίνει πάρα πολλές μελέτες που αποδεικνύουν ότι οι ασθενείς με ατελή KNM κατόπιν αποκατάστασης της βάρδισης με χρήση ρομποτικών συσκευών, σημείωσαν σημαντική βελτίωση στην ταχύτητα βάρδισης.

Μία από αυτές τις μελέτες είναι των Hwang S. et al. (2017), που 29 ασθενείς με ατελή KNM υποβλήθηκαν σε εκπαίδευση ρομποτικά υποβοηθούμενης βάρδισης με το Lokomat για 4 εβδομάδες. Η κάθε συνεδρία διαρκούσε 30 λεπτά, με συχνότητα μία φορά την ημέρα, για 5 ημέρες την εβδομάδα (σύνολο 20 συνεδρίες). Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης δεν ήταν απλά να αποδείξει την βελτίωση της ταχύτητας βάρδισης μετά από καθημερινή προπόνηση αλλά να αξιολογήσει τα κλινικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως προγνωστικοί παράγοντες για τη βελτίωση της ταχύτητας βάρδισης μετά από αποκατάσταση με ρομποτικά μέσα. Συλλέχθηκαν δημογραφικά στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με τον τύπο της βλάβης (ηλικία, φύλο, διάγνωση, τύπος τραυματισμού (τετραπληγία και παραπληγία), αιτία τραυματισμού (τραυματική και μη τραυματική) και του χρόνου του τραυματισμού). Επιπλέον αξιολογήθηκαν με το τεστ βάρδισης 10 μέτρων, τη βαθμολογία κινητικής ικανότητας κάτω άκρων (Lower Extremities Motor Scale - LEMS), την κλίμακα Functional Ambulation Category (FAC), τον δείκτη βάρδισης για τον τραυματισμό νωτιαίου μυελού έκδοση II (WISCI-II), την κλίμακα ισορροπίας Berg (Berg Balance Scale - BBS) και το Μέτρο Ανεξαρτησίας του Νωτιαίου Μυελού έκδοση III (SCIM-III) πριν την έναρξη των συνεδριών και μετά τη λήξη των 20 συνεδριών στο τέλος της 4^{ης} εβδομάδας. Μετά από όλες τις συνεδρίες οι συμμετέχοντες ταξινομήθηκαν σε 2 ομάδες, ανάλογα με το αν παρουσίασαν βελτίωση ή όχι με βάση τη βαθμολογία τους στη δοκιμασία βάρδισης 10 μέτρων για να πραγματοποιηθεί στατιστική ανάλυση [57].

Η κινητική λειτουργία των κάτω άκρων, η ικανότητα βάρδισης, η ισορροπία και οι λειτουργίες καθημερινής ζωής αναλύθηκαν προκειμένου να εντοπιστούν οι παράγοντες που σχετίζονται με τη δοκιμασία βάρδισης 10 μέτρων. Έτσι, καταλήξανε στο συμπέρασμα ότι οι ασθενείς της ομάδας που παρουσίασαν βελτίωση ήταν νεότεροι και είχε περάσει λιγότερος χρόνος από τον τραυματισμό τους ($p < 0,05$).

Επιπλέον, τα άτομα στην κατηγορία D της σύντομης κλίμακας για τους τραυματισμούς (Abbreviated Injury Scale – AIS) εμφάνισαν μεγαλύτερες βελτιώσεις από εκείνους στην

κατηγορία C. Ωστόσο, δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στον τύπο παράλυσης μεταξύ των δύο ομάδων. Αξίζει να σημειωθεί ότι 5 ασθενείς με τετραπληγία και AIS - C δεν εμφάνισαν βελτίωση, κάτι που μπορεί να εξηγηθεί από τον ελλιπή έλεγχο του κορμού, ο οποίος είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη βάρδιση [57].

Το Lower Extremity Muscle Strength (LEMS) αξιολογεί την μυϊκή δύναμη των βασικών μυών των κάτω άκρων που περιλαμβάνουν τον λαγονοψοίτη, τον τετρακέφαλο, τον πρόσθιο κνημιαίο, τον μακρύ εκτίνοντα του μεγάλου δακτύλου, και τον γαστροκνήμιο - υποκνημίδιο [58]. Η αξιολόγηση αυτή αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εκτίμηση και πρόγνωση της ανάκτησης της ικανότητας βάρδισης. Οι Waters RL. et al (1994) χορήγησαν σε 36 ασθενείς με KNM κλίμακες για την αξιολόγηση της μυϊκής δύναμης, της επίδοσης στη βάρδιση και της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη βάρδιση. Βρήκαν ότι ασθενείς με βαθμολογία δύναμης κάτω άκρων ≤ 20 είχαν φτωχότερη πρόγνωση για βελτίωση της βάρδισης, μιας και δυσκολία κατά την εξέταση, διατηρούσαν χαμηλή μέση ταχύτητα, ενώ είχαν υψηλούς καρδιακούς παλμούς και υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Ακόμη, χρειάζονταν να καταβάλουν μεγαλύτερη προσπάθεια με τα άνω άκρα ώστε να χειριστούν άλλα βοηθήματα, όπως πατερίτσες ή περιπατητήρα, σε σχέση με τους ασθενείς με βαθμολογία δύναμης κάτω άκρων ≥ 30 που έχουν καλύτερες προοπτικές βελτίωσης βάρδισης [59].

Σε μελέτη των Hwang S. et al (2017), η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι LEMS ≥ 23 μπορεί να προβλέψει βελτίωση στην ταχύτητα βάρδισης μετά από προπόνηση υποβοηθούμενης βάρδισης με ρομποτική συσκευή. Έπειτα, αξιολογήθηκε η ικανότητα βάρδισης με την κλίμακα FAC και την WISCI-II. Η αξιολόγηση FAC κυμαίνεται από 0 – 5, όπου το 0 δηλώνει αδυναμία βάρδισης, 1 – 2 δηλώνει κάποια εξάρτηση στη βάρδιση από τρίτους, 3 σημαίνει ότι μπορεί να βαδίζει σε ομαλές επιφάνειες με βοήθημα χωρίς να εξαρτάται από τρίτους, 4 δηλώνει την ικανότητα βάρδισης



βοήθημα σε όλες της επιφάνειες, και 5 σημαίνει ότι μπορεί να βαδίζει ανεξάρτητα και χωρίς τη χρήση βοηθήματος [57].

Εικόνα 18 Λειτουργική ταξινόμηση ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού [60]

Το WISCI-II αξιολογεί την ικανότητα βάρδισης βάσει της ανάγκης για χρήση νάρθηκα - κηδεμόνα ή/και βοηθήματα βάρδισης. Η βαθμολογία στο WISCI-II κυμαίνεται από 0 έως 20, όπου 0 σημαίνει πως το άτομο δεν μπορεί ούτε να σταθεί ούτε να περπατήσει και 20 δηλώνει την ικανότητα βάρδισης πάνω από 10 μέτρα χωρίς βοηθήματα βάρδισης, νάρθηκες ή βοήθεια τρίτου.

Η κλίμακα ισορροπίας Berg (BBS) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της ισορροπίας. Αποτελείται από 14 ερωτήματα (items), το καθένα από τα οποία κυμαίνεται από 0 (αδυναμία εκτέλεσης) έως 4 (τέλεια εκτέλεση). Όσο υψηλότερη είναι η βαθμολογία τόσο καλύτερη η ισορροπία του ασθενή.

Οι δραστηριότητες της καθημερινής ζωής μετρήθηκαν με την κλίμακα Spinal Cord Independence Measure III (SCIM-III). Η SCIM-III είναι μια κλίμακα που αξιολογεί την αλλαγή στη λειτουργικότητα ασθενών με KNM. Η συνολική βαθμολογία SCIM-III κυμαίνεται από 0 έως 100 και περιλαμβάνει τρεις υποκλίμακες: 1) αυτοφροντίδας (SCIM-III-S, εύρος 0–20), 2) αναπνοής και διαχείριση σφιγκτήρων (SCIM-III-R, 0–40), και 3) κινητικότητας (SCIM-III-M, 0–40). Βρέθηκε ότι η βαθμολογία στην κλίμακα SCIM-III ήταν υψηλότερη στην ομάδα που παρουσίασε βελτίωση. Η ισορροπία έπαιξε επίσης κύριο ρόλο στην ικανότητα βάδισης σε ασθενείς με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού, διότι επηρέασε την ταχύτητα βάδισης, τη στάση, την αντοχή και τη χρήση βοηθητικών συσκευών, διαπιστώθηκε επίσης ότι οι ασθενείς με ατελή κινητική κάκωση νωτιαίου μυελού βαδίζουν πιο αργά προκειμένου να διατηρήσουν το κέντρο βάρους εντός της βάσης στήριξης. Η βελτιωμένη ομάδα είχε μεγαλύτερη αύξηση στην ταχύτητα βάδισης, πιθανώς λόγω της καλύτερης ισορροπίας [57]. Αυτή είναι η πρώτη μελέτη που έδειξε ότι οι ασθενείς με βαθμολογία πάνω από 7 στην κλίμακα BBS είχαν υψηλότερη αναλογία βελτίωσης αναφορικά με την ταχύτητα βάδισης. Θα είναι χρήσιμο να συμπεριλαμβάνεται στο πρωτόκολλο επόμενων μελετών η αξιολόγηση του SCIM-III, BBS και κορμού, εκτός από την LEMS, για την πρόβλεψη της επίδρασης από τη ρομποτική αποκατάσταση σε ασθενείς με ατελή KNM [57].

Επιπλέον, η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση φαίνεται να βελτιώνει τη λειτουργία του εντέρου των ασθενών με KNM. Το νευρογενές έντερο, λόγω του παρατεταμένου χρόνου δυσκινητικότητας του εντέρου, είναι μια συχνή δευτεροπαθής ιατρική επιπλοκή μετά από KNM [33].

Σύμφωνα με τους Huang Q. et al (2015), οι οποίοι μελετήσαν διαφορές στην εντερική λειτουργία 24 ασθενών με ατελή KNM μεταξύ του T8 και L2, απέδειξαν ότι τα άτομα που κάνανε χρήση εξωσκελετού σε σχέση με τα άτομα που κάνανε χρήση διαδρόμου με υποστήριξη του σωματικού τους βάρους είχαν σημαντική μείωση του χρόνου αφόδευσης και μείωση της δόσης του κλύσματος. Οι ασθενείς χωρίστηκαν τυχαία σε ομάδες και έκαναν αποκατάσταση βάδισης σε 20λεπτες συνεδρίες, τέσσερις φορές την εβδομάδα, για ένα μήνα. Ο χρόνος αφόδευσης και η δόση του κλύσματος μετρήθηκαν πριν και μετά την παρέμβαση. Ο λόγος γι' αυτό το αποτέλεσμα είναι

ότι σε σχέση με την υποβοηθούμενη βάδιση σε διάδρομο με υποστήριξη σωματικού βάρους, η ρομποτική βάδιση με εξωσκελετό έχει ως αποτέλεσμα μία αμφοτερόπλευρη ρυθμική κίνηση των κάτω άκρων η οποία προσομοιάζει την πραγματική βάδιση και δημιουργεί πίεση στην κοιλιακή περιοχή, που με την σειρά της ενισχύει την κινητικότητα του εντέρου βελτιώνοντας τη λειτουργία του [61]. Επιπλέον, κάποιες μελέτες μικρότερου δείγματος που έκαναν χρήση εξωσκελετού, ανέφεραν βελτίωση σχετικά με την εντερική λειτουργία και αφόδευση των ασθενών σύμφωνα με τις απαντήσεις τους σε ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς. Μια απ' αυτές τις μελέτες διεξήχθη από τους Esquenazi et al. (2012), όπου 5 από τα 11 άτομα (KNM πριν από τουλάχιστον 1 έτος, AIS A ή B) ανέφεραν βελτιωμένη εντερική λειτουργία. Ομοίως, σε μια μελέτη των Kozlowki et al. (2015), 2 από τους 7 συμμετέχοντες (0,4 – 7,4 έτη, AIS A, B ή C) σημείωσαν πιο τακτικές και ευκολότερες κενώσεις μετά από 30 λεπτά βάδισης χρησιμοποιώντας το Ekso [33].

Μία άλλη μελέτη παρέμβασης των Karelis et al. (2017), έδειξε ότι η βάδιση με τη χρήση εξωσκελετού αυξάνει τη μυϊκή μάζα και ενδεχομένως την οστική πυκνότητα [62].

Οι ασθενείς με χρόνια κάκωση νωτιαίου μυελού παρουσιάζουν αρκετές μεταβολικές διαταραχές λόγω αδράνειας. Έχουν μειωμένη μυϊκή μάζα, αυξημένη πιθανότητα παχυσαρκίας, ενώ έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει αντίσταση στην ινσουλίνη και υπερινσουλιναίμια, που σχετίζεται με ανωμαλίες στον χειρισμό των υδατανθράκων από το στόμα [63].

Στην μελέτη των Karelis et al. συμμετείχαν πέντε ενήλικες με μη προοδευτική τραυματική πλήρη αισθητικοκινητική KNM που χρησιμοποιούσαν αμαξίδιο ως κύριο τρόπο κινητικότητας (μέσος όρος =7,6 έτη· AIS A ή B). Οι συμμετέχοντες παρακολούθησαν ένα εξατομικευμένο πρόγραμμα κινητικής εκπαίδευσης 6 εβδομάδων προοδευτικής δυσκολίας, χρησιμοποιώντας έναν ρομποτικό εξωσκελετό 3 φορές την εβδομάδα, έως 60 λεπτά τη συνεδρία. Οι σωματικές μετρήσεις έγιναν με απορρόφηση ακτίνων X διπλής ενέργειας και περιφερειακή ποσοτική αξονική τομογραφία. Παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της μυϊκής μάζας των ποδιών και απώλεια βάρους τους. Επιπλέον, η περιφέρεια της γάμπας αυξήθηκε σημαντικά μετά την παρέμβαση. Παρόλο αυτά, το συνολικό σωματικό βάρος και ο δείκτης μάζας σώματος ήταν αυξημένα. Χρειάζονται, λοιπόν περισσότερες μελλοντικές κλινικές μελέτες ρομποτικών εξωσκελετών που να περιλαμβάνουν μετρήσεις αναφορικά με το μεταβολισμό, την παχυσαρκία, την αντίσταση στην ινσουλίνη και το προφίλ λιπιδίων, ώστε αυτές οι δυνητικά ευεργετικές επιδράσεις της ρομποτικά υποβοηθούμενης βάδισης να διερευνηθούν περαιτέρω (33, 62).

Έτσι, η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση μπορεί να παρέχει επαρκές ερέθισμα και έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει το μεταβολισμό, μειώνοντας τη συνολική λιπώδη και αυξάνοντας τη μυϊκή μάζα [62].

Λόγω της ακινησίας, τα άτομα με παραπληγία εμφανίζουν οστεοπόρωση στην περιοχή της λεκάνης και των κάτω άκρων, συγκεκριμένα στο περιφερικό μηριαίο οστό και στην εγγύς κνήμη. Έχει αποδειχθεί ότι η οστική απώλεια είναι προοδευτική σε άτομα με χρόνια KNM. Αυτό μπορεί να προκαλείται και να οφείλεται είτε από την χρόνια ακινητοποίηση καθαυτή καθώς η μείωση των μηχανικών δυνάμεων τόσο από τις αλλαγές του κέντρου βάρους και της στήριξης όσο και από τις μυϊκές συσπάσεις προάγουν την αναδόμηση των οστών. Μπορεί όμως και να είναι συνέπεια ορμονικών αλλαγών, συμπεριλαμβανομένης της ανεπάρκειας αναβολικών ορμονών ή της ανεπάρκειας της βιταμίνης D και ασβεστίου με δευτεροπαθή υπερπαραθυρεοειδισμό [63].

Γι' αυτό, οι Karelis et al. (2017) υπέθεσαν ότι η μεταφορά βάρους με τη συμβολή μιας συσκευής όπως ένας εξωσκελετός, μπορεί να μειώσει τον ρυθμό απώλειας της οστικής πυκνότητας. Έτσι, μελέτησαν παράλληλα με τις συνέπειες στο μεταβολισμό των πέντε ασθενών με χρόνια κάκωση νωτιαίου μυελού (μέσος όρος τα 7,6 χρόνια, AIS A ή B), που χρησιμοποιούσαν αναπηρικό αμαξίδιο ως βασικό μέσο μετακίνησης τους, τη συνολική οστική πυκνότητα με απορρόφηση ακτίνων X διπλής ενέργειας (DXA) και αυτή της κνήμης με περιφερική ποσοτική αξονική τομογραφία (pQCT). Η παρέμβαση έγινε με τη χρήση εξωσκελετού Ekso για την βάδιση και είχε διάρκεια 6 εβδομάδων (3 συνεδρίες την εβδομάδα, έως και 60 λεπτά ανά συνεδρία). Ανέφεραν μία μη στατιστικά σημαντική αύξηση της τάξεως του 14,5% στην οστική πυκνότητα της κνήμης, όπως μετρήθηκε με pQCT. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούν DXA είχαν πολύ μικρότερες απόλυτες τιμές και επίσης δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Αύξηση της οστικής πυκνότητας εντοπίστηκε σε 1 από τους 5 συμμετέχοντες, κάτι που άλλαξε τη διάγνωση του από οστεοπόρωση σε οστεοπενία. Μένει να μελετηθεί αν ένας μεγαλύτερος όγκος προπόνησης μπορεί να προκαλέσει στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα στη διατήρηση της οστικής πυκνότητας μετά από KNM [33].

Η υποβοηθούμενη βάδιση ατόμων με KNM έχει αποδειχτεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην ψυχολογία των ασθενών τόσο λόγω της μείωσης της σπαστικότητας και του πόνου όσο και λόγω των θετικών συναισθημάτων και της συνολικής θετικής αλλαγής της αυτοεικόνας των ασθενών, και καταδεικνύει θετικές επιδράσεις στην ποιότητα ζωής τους.

Οι Stampacchia et al. (2016), μελέτησαν την επίδραση παρέμβασης με το Ekso βάσει της κλίμακας Patient's Global Impression of Change (PGIC [65]). Στη μελέτη συμμετείχαν 21 άτομα

με KNM και κατάταξη A, B ή D στην κλίμακα AIS, και με χρονικό διάστημα από 2 μήνες έως 330 μήνες από τη στιγμή του τραυματισμού. Μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης οι ερευνητές χορήγησαν την κλίμακα PGIC για να διερευνήσουν τη στάση των ασθενών στη χρήση εξωσκελετού. Ανέφεραν υψηλές βαθμολογίες σε ερωτήματα που αξιολογούσαν τις θετικές εμπειρίες και χαμηλές βαθμολογίες σε στοιχεία που αφορούσαν αρνητικές, παρουσιάζοντας τελικά μία θετική συνολική στάση. Επομένως, φάνηκε ότι η χρήση των εξωσκελετών για την αποκατάσταση των ασθενών με KNM είναι αποδεκτή και εφικτή. Παράλληλα, αξιολογήθηκε και ο βαθμός αποδοχής της ρομποτικής θεραπείας με ερωτήματα που βαθμολογούνταν από 1 έως 7, και αφορούσαν τις εξής κατηγορίες: «Άνεση» (Comfort - C), «Πόνος» (PainP), «Κόπωση» (Fatigue - F), «Απόλαυση» (Enjoyment - E), «Αντιληπτά Πλεονεκτήματα» (Perceived advantages - A), «Κίνητρο για συνέχιση προπόνησης» (Motivation to continue training - M), «Πρόταση σε άλλους με παρόμοιο πρόβλημα» (Suggest to anyone in the same condition - S) [67, 66, 64].

Τέλος, σε μελέτη των Cruciger et al. (2016) με δείγμα δύο μόνο ατόμων (10 και 19 έτη από τον τραυματισμό με AIS - A) παρατηρήθηκαν αυξημένες βαθμολογίες σε ερωτήματα που αξιολογούσαν την ποιότητα ζωής αναφορικά με την υγεία και για τους οκτώ τομείς της κλίμακας Έρευνας Υγείας Σύντομης Μορφής (SF-36), ομοίως και σε μελέτη περίπτωσης των Raab et al. (2016) σε άτομο με παραπληγία (1 έτος από τον τραυματισμό με AIS - C) μη περιπατητικό, ανέφερε αυξημένες βαθμολογίες σε 6 από τους οκτώ τομείς του SF-36 [33].

5 Συμπεράσματα

Μία από τις προκλήσεις στη νευροαποκατάσταση είναι η λειτουργική ανεξαρτησία και η βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσα από την αποκατάσταση της κινητικότητας. Οι ίδιοι στόχοι ισχύουν και για ασθενείς με KNM. Ωστόσο, συμβατική θεραπεία προκαλεί σύντομα σωματική εξάντληση στο θεραπευτή με επακόλουθο μικρής διάρκειας θεραπεία.

Ο κλάδος της ρομποτικής αποκατάστασης εξελίσσεται ραγδαία και είναι πολλά υποσχόμενος λόγω της δυνατότητας των ρομποτικών συσκευών να προσφέρουν τόσο υψηλής ποιότητας όσο και μεγάλο αριθμό επαναλήψεων κινητικής αποκατάστασης στους ασθενείς [33].

Επομένως, φαίνεται να είναι ωφέλιμο να εφαρμόζεται η ρομποτικά υποβοηθούμενη εκπαίδευση βάδισης παράλληλα με άλλες αποτελεσματικές μεθόδους αποκατάστασης. Πρέπει όμως να γίνει σαφές ότι δεν πρόκειται για μία εναλλακτική, αλλά συμπληρωματική στη συμβατική θεραπεία. Ακόμη, υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω ελεγχόμενες μελέτες (control trials) με μεγαλύτερο μέγεθος δείγματος για την αξιολόγηση της επίδρασης της θεραπείας με ρομποτικά

μέσα σε διαφορετικούς πληθυσμούς ασθενών με KNM, καθώς και περαιτέρω μελέτη για τον καθορισμό του κατάλληλου πρωτοκόλλου, όσο αφορά τη διάρκεια, την ένταση και τη συχνότητα της θεραπείας [45].

Η χρήση εξωσκελετού για τη βάδιση δεν αποτελεί μόνο ένα θεραπευτικό μέσο, άλλα προωθείται και ως μέσο μετακίνησης ατόμων με παράλυση λόγω KNM. Το κύριο ζήτημα που αποθαρρύνει τη χρήση στην καθημερινότητα είναι ότι υστερεί συγκριτικά με τη φυσιολογική ταχύτητα βάδισης. Μέχρι πρότινος, οι εξωσκελετοί δεν πλησίαζαν την ταχύτητα που απαιτείται για να διασχίσει κάποιος με ασφάλεια έναν δρόμο (περίπου 1,06 μέτρα/ δευτερόλεπτο) [33].

Παρόλα αυτά, οι μελέτες των εξωσκελετών κάτω άκρων είναι ήδη εκτενείς και έχουν δείξει ότι είναι επαρκείς, ασφαλείς και παρέχουν θεραπευτικά αποτελέσματα στη βάδιση, ενώ θα μπορούσαν μελλοντικά να προσομοιάζουν φυσιολογικές ταχύτητες βάδισης. Με την ανάπτυξη νέων συστημάτων εξωσκελετού παγκοσμίως, το δυναμικό ανάπτυξης σε αυτόν τον τομέα και το περαιτέρω όφελος στην αποκατάσταση και στην κινητικότητα συνεχώς αλλάζει. Επιπλέον, τα στοιχεία των ερευνών δείχνουν τη θετική επίδραση των εξωσκελετών κάτω άκρων σε δευτεροπαθείς ιατρικά προβλήματα μετά από κάκωση νωτιαίου μυελού. Όμως, απαιτείται περαιτέρω κλινική μελέτη για να καταδειχθούν τα κατάλληλα πρωτόκολλα ώστε να καταλήξουμε σε πιο αντικειμενικά αποτελέσματα.

Συνοψίζοντας, η ρομποτική τεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη θεραπευτικά με θετικά αποτελέσματα, και αυτό ανοίγει την πόρτα για περαιτέρω προώθηση και ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων νευροαποκατάστασης με τη συνεισφορά της ρομποτικής να είναι πολλά υποσχόμενη και το μέλλον συναρπαστικό.

6 Κλίμακες αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες για ασθενείς με τραυματισμό νωτιαίου μυελού

6.1 Walking Index for Spinal Cord Injury έκδοση II (WISCI-II)

Level Description

- 0 Unable to stand and/or participate in assisted walking.
- 1 Ambulates in parallel bars, with braces and physical assistance of two persons, but less than 10 meters.
- 2 Ambulates in parallel bars, with braces and physical assistance of two persons, 10 meters. 3 Ambulates in parallel bars, with braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 4 Ambulates in parallel bars, no braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 5 Ambulates in parallel bars, with no braces and no physical assistance, 10 meters.
- 6 Ambulates with walker, with braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 7 Ambulates with two crutches, with braces and physical assistance of one person, 10 meters. 8 Ambulates with walker, no braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 9 Ambulates with walker, with braces and no physical assistance, 10 meters.
- 10 Ambulates with one cane/crutch, with braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 11 Ambulates with two crutches, no braces and physical assistance of one person, 10 meters. 12 Ambulates with two crutches, with braces and no physical assistance, 10 meters.
- 13 Ambulates with walker, no braces and no physical assistance, 10 meters.
- 14 Ambulates with one cane/crutch, no braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 15 Ambulates with one cane/crutch, with braces and no physical assistance, 10 meters.
- 16 Ambulates with two crutches, no braces and no physical assistance, 10 meters.
- 17 Ambulates with no devices, no braces and physical assistance of one person, 10 meters.
- 18 Ambulates with no devices, with braces and no physical assistance, 10 meters.
- 19 Ambulates with one cane/crutch, no braces and no physical assistance, 10 meters.
- 20 Ambulates with no devices, no braces and no physical assistance, 10 meters

[68]

6.2 Berg Balance Scale

Name: _____ Date: _____

Location: _____ Rater: _____

ITEM DESCRIPTION SCORE (0-4)

Sitting to standing _____

Standing unsupported _____

Sitting unsupported _____

Standing to sitting _____

Transfers _____

Standing with eyes closed _____

Standing with feet together _____

Reaching forward with outstretched arm _____

Retrieving object from floor _____

Turning to look behind _____

Turning 360 degrees _____

Placing alternate foot on stool _____

Standing with one foot in front _____

Standing on one foot _____

Total _____

[69]

6.3 Appendix The Spinal Cord Independence Measure, Version III



LOEWENSTEIN HOSPITAL REHABILITATION CENTER

Affiliated with the Sackler Faculty of Medicine, Tel-Aviv University

Department IV, Medical Director: Dr. Amiram Catz Tel: 972-9-7709090 Fax: 972-9-7709986 e-mail: amiramc@clalit.org.il

Patient Name: _____ ID: _____ Examiner Name: _____

(Enter the score for each function in the adjacent square, below the date. The form may be used for up to 6 examinations.)

SCIM-SPINAL CORD INDEPENDENCE Version III, Sept 14, 2002
MEASURE EXam 1 2 3 4 5 6

Self-Care

DATE

--	--	--	--	--	--	--	--

- 1. **Feeding (cutting, opening containers, pouring, bringing food to mouth, holding cup with fluid)**
- 0. Needs parenteral, gastrostomy, or fully assisted oral feeding
- 1. Needs partial assistance for eating and/or drinking, or for wearing adaptive devices
- 2. Eats independently; needs adaptive devices or assistance only for cutting food and/or pouring and/or opening containers
- 3. Eats and drinks independently; does not require assistance or adaptive devices

2. Bathing (soaping, washing, drying body and head, manipulating water tap). A-upper body; B-lower body

- A. **0. Requires total assistance**

--	--	--	--	--	--	--	--
- 1. Requires partial assistance
- 2. Washes independently with adaptive devices or in a specific setting (e.g., bars, chair)
- 3. Washes independently; does not require adaptive devices or specific setting (not customary for healthy people) (adss)

--	--	--	--	--	--	--	--
- B. **0. Requires total assistance**

--	--	--	--	--	--	--	--
- 1. Requires partial assistance
- 2. Washes independently with adaptive devices or in a specific setting (adss)
- 3. Washes independently; does not require adaptive devices (adss) or specific setting

3. Dressing (clothes, shoes, permanent orthoses: dressing, wearing, undressing). A-upper body; B-lower body

- A. **0. Requires total assistance**

--	--	--	--	--	--	--	--
- 1. Requires partial assistance with clothes without buttons, zippers or laces (cwobzl)
- 2. Independent with cwobzl; requires adaptive devices and/or specific settings (adss)
- 3. Independent with cwobzl; does not require adss; needs assistance or adss only for bzl
- 4. Dresses (any cloth) independently; does not require adaptive devices or specific setting
- B. **0. Requires total assistance**

--	--	--	--	--	--	--	--
- 1. Requires partial assistance with clothes without buttons, zipps or laces (cwobzl)
- 2. Independent with cwobzl; requires adaptive devices and/or specific settings (adss)
- 3. Independent with cwobzl without adss; needs assistance or adss only for bzl
- 4. Dresses (any cloth) independently; does not require adaptive devices or specific setting

4. Grooming (washing hands and face, brushing teeth, combing hair, shaving, applying makeup)

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Requires partial assistance
- 2. Grooms independently with adaptive devices

--	--	--	--	--	--	--	--

Grooms independently without adaptive devices **SUBTOTAL (0-20) Respiration and Sphincter Management**

5. Respiration

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Requires tracheal tube (TT) and permanent or intermittent assisted ventilation (IAV)
- 2. Breathes independently with TT; requires oxygen, much assistance in coughing or TT management
- 4. Breathes independently with TT; requires little assistance in coughing or TT management
- 6. Breathes independently without TT; requires oxygen, much assistance in coughing, a mask (e.g., peep) or IAV (bipap)
- 8. Breathes independently without TT; requires little assistance or stimulation for coughing
- 10. Breathes independently without assistance or device

6. Sphincter Management - Bladder

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Indwelling catheter
- 3. Residual urine volume (RUV) > 100cc; no regular catheterization or assisted intermittent catheterization

- 6. RUV < 100cc or intermittent self-catheterization; needs assistance for applying drainage instrument
- 9. Intermittent self-catheterization; uses external drainage instrument; does not need assistance for applying
- 11. Intermittent self-catheterization; continent between catheterizations; does not use external drainage instrument
- 13. RUV <100cc; needs only external urine drainage; no assistance is required for drainage
- 15. RUV <100cc; continent; does not use external drainage instrument

7. Sphincter Management - Bowel

--	--	--	--	--	--

- 0. Irregular timing or very low frequency (less than once in 3 days) of bowel movements
- 5. Regular timing, but requires assistance (e.g., for applying suppository); rare accidents (less than twice a month)
- 8. Regular bowel movements, without assistance; rare accidents (less than twice a month)
- 10. Regular bowel movements, without assistance; no accidents

8. Use of Toilet (perineal hygiene, adjustment of clothes before/after, use of napkins or diapers).

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Requires partial assistance; does not clean self
- 2. Requires partial assistance; cleans self independently
- 4. Uses toilet independently in all tasks but needs adaptive devices or special setting (e.g., bars)
- 5. Uses toilet independently; does not require adaptive devices or special setting)

SUBTOTAL (0-40)

--	--	--	--	--	--

Mobility (room and toilet)

DATE \ \ \ \ \ \ \ \

--	--	--	--	--	--

- 0. Needs assistance in all activities: turning upper body in bed, turning lower body in bed, sitting up in bed, doing push-ups in wheelchair, with or without adaptive devices, but not with electric aids
- 2. Performs one of the activities without assistance
- 4. Performs two or three of the activities without assistance
- 6. Performs all the bed mobility and pressure release activities independently

10. Transfers: bed-wheelchair (locking wheelchair, lifting footrests, removing and adjusting arm rests, transferring, lifting feet).

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs partial assistance and/or supervision, and/or adaptive devices (e.g., sliding board)
- 2. Independent (or does not require wheelchair)

11. Transfers: wheelchair-toilet-tub (if uses toilet wheelchair: transfers to and from; if uses regular wheelchair: locking wheelchair, lifting footrests, removing and adjusting armrests, transferring, lifting feet)

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs partial assistance and/or supervision, and/or adaptive devices (e.g., grab-bars)

Independent (or does not require wheelchair) Mobility (indoors and outdoors, on even surface)

12. Mobility Indoors

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs electric wheelchair or partial assistance to operate manual wheelchair
- 2. Moves independently in manual wheelchair
- 3. Requires supervision while walking (with or without devices)
- 4. Walks with a walking frame or crutches (swing)
- 5. Walks with crutches or two canes (reciprocal walking)
- 6. Walks with one cane
- 7. Needs leg orthosis only
- 8. Walks without walking aids

13. Mobility for Moderate Distances (10-100 meters)

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs electric wheelchair or partial assistance to operate manual wheelchair
- 2. Moves independently in manual wheelchair
- 3. Requires supervision while walking (with or without devices)
- 4. Walks with a walking frame or crutches (swing)
- 5. Walks with crutches or two canes (reciprocal walking)
- 6. Walks with one cane
- 7. Needs leg orthosis only
- 8. Walks without walking aids

14. Mobility Outdoors (more than 100 meters)

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs electric wheelchair or partial assistance to operate manual wheelchair
- 2. Moves independently in manual wheelchair
- 3. Requires supervision while walking (with or without devices)
- 4. Walks with a walking frame or crutches (swing)
- 5. Walks with crutches or two canes (reciprocal waking)
- 6. Walks with one cane
- 7. Needs leg orthosis only
- 8. Walks without walking aids

15. Stair Management

--	--	--	--	--	--

- 0. Unable to ascend or descend stairs
- 1. Ascends and descends at least 3 steps with support or supervision of another person
- 2. Ascends and descends at least 3 steps with support of handrail and/or crutch or cane
- 3. Ascends and descends at least 3 steps without any support or supervision

16. Transfers: wheelchair-car (approaching car, locking wheelchair, removing arm- and footrests, transferring to and from car, bringing wheelchair into and out of car)

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs partial assistance and/or supervision and/or adaptive devices
- 2. Transfers independent; does not require adaptive devices (or does not require wheelchair)

17. Transfers: ground-wheelchair

--	--	--	--	--	--

- 0. Requires assistance
- 1. Transfers independent with or without adaptive devices (or does not require wheelchair)

SUBTOTAL (0-40)

--	--	--	--	--	--

TOTAL SCIM SCORE (0-100)

--	--	--	--	--	--

[70]

6.4 Patients' Global impression of change (PGIC) scale

Patients' Global Impression of Change (PGIC) scale.

Name: _____ Date: _____ DOB: _____

Chief Complaint: _____

Since beginning treatment at this clinic, how would you describe the change (if any) in ACTIVITY LIMITATIONS, SYMPTOMS, EMOTIONS and OVERALL QUALITY OF LIFE, related to your painful condition? (tick ONE box).

- | | | |
|--|--------------------------|---|
| No change (or condition has got worse) | <input type="checkbox"/> | 1 |
| Almost the same, hardly any change at all | <input type="checkbox"/> | 2 |
| A little better, but no noticeable change | <input type="checkbox"/> | 3 |
| Somewhat better, but the change has not made any real difference | <input type="checkbox"/> | 4 |
| Moderately better, and a slight but noticeable change | <input type="checkbox"/> | 5 |
| Better, and a definite improvement that has made a real and worthwhile difference | <input type="checkbox"/> | 6 |
| A great deal better, and a considerable improvement that has made all the difference | <input type="checkbox"/> | 7 |

In a similar way, please circle the number below, that matches your degree of change since beginning care at this clinic:

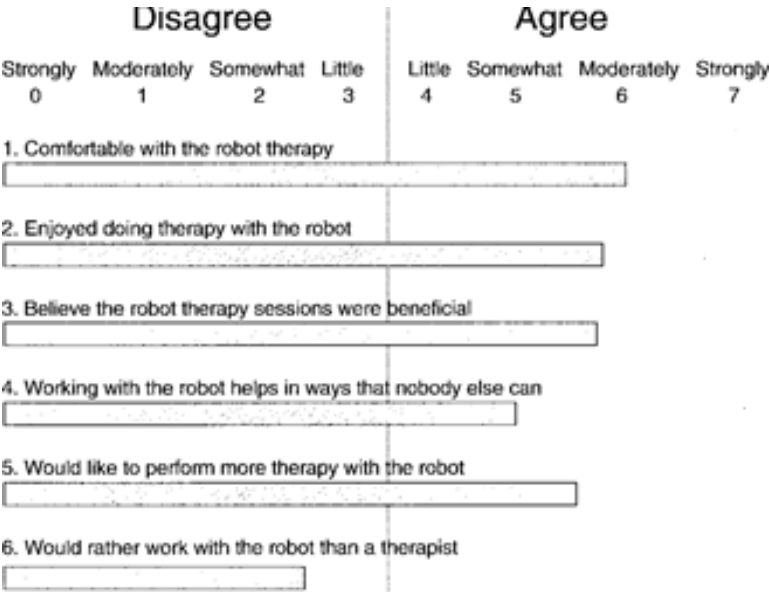
Much Better	No Change										Much Worse
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Patient's signature: _____ Date: _____

Reference: Hurst H, Bolton J. Assessing the clinical significance of change scores recorded on subjective outcome measures. *J Manipulative Physiol Ther* 2004;27:26-35.

Η παγκόσμια εντύπωση της αλλαγής του ασθενούς χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει ως μέτρο αυτοαναφοράς τις αντιληπτές αλλαγές στους περιορισμούς δραστηριότητας, τα συμπτώματα, συναισθήματα και συνολική ποιότητα ζωής (Guy, 1976, Wyrvich et al., 2012) [65]

Questionary of acceptability of robot assisted rehabilitation



[67]

7 Βιβλιογραφία

1. Nachum D, 2020.Chapter 3: Anatomy of the Spinal Cord – Neuroscience, Department of Neurobiology and Anatomy, The UT Medical School at Houston. 7 Oct 2020. <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s2/chapter03.html>
2. Bican O, Minagar A, Pruitt AA. The spinal cord: a review of functional neuroanatomy. *Neurol Clin.* 2013 Feb;31(1):1-18. doi: 10.1016/j.ncl.2012.09.009. PMID: 23186894.
3. Boonpirak N, Apinhasmit W. Length and caudal level of termination of the spinal cord in Thai adults. *Acta Anat (Basel).* 1994; 149(1):74-8.
4. Snell R, Κλινική Νευροανατομική. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας 1995: 169-177
5. Μπάκας Ελ, Αποκατάσταση Ασθενή με Βλάβη ή Κάκωση Νωτιαίου Μυελού. Εκδόσεις Κωνσταντάρας. ISBN 978-960-680-235-5.2012. σελ.10-12 κεφάλαιο2, 1ος τόμος
6. Ganapathy MK, Reddy V, Tadi P. Neuroanatomy, Spinal Cord Morphology. 2021 Oct 30. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 31424790. (Khan YS, 2022)
7. Khan YS,Lui F.Neuroanatomy, Spinal Cord. 2021 Jul 31. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-, PMID:32644482
8. Cho TA. Spinal cord functional anatomy. *Continuum (Minneap Minn).* 2015 Feb;21(1 Spinal Cord Disorders):13-35. doi: 10.1212/01.CON.0000461082.25876.4a. Erratum in: *Continuum (Minneap Minn).* 2015 Jun;21(3 Behavioral Neurology and Neuropsychiatry):590. PMID: 25651215.
9. Kaiser JT, Lugo-Pico JG. Neuroanatomy, Spinal Nerves. 2021 Jul 31. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 31194375.
10. Σάπκας Γ. Κακώσεις του Νωτιαίου Μυελού, Κακώσεις της σπονδυλικής στήλης-Τραυματολογία 2:275-287
https://www.sapkasgeorge.gr/books/05_SAPKAS_KAKOSEIS.pdf
11. Holanda LJ, Silva PMM, Amorim TC, Lacerda MO, Simão CR, Morya E. Robotic assisted gait as a tool for rehabilitation of individuals with spinal cord injury: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil.* 2017 Dec 4;14(1):126. doi: 10.1186/s12984-017-0338-7. PMID: 29202845; PMCID: PMC5715997.
12. Fang CY, Tsai JL, Li GS, Lien AS, Chang YJ. Effects of Robot-Assisted Gait Training in Individuals with Spinal Cord Injury: A Meta-analysis. *Biomed Res Int.* 2020

Mar 21;2020:2102785. doi: 10.1155/2020/2102785. PMID: 32280681; PMCID: PMC7115057.

13. Bickenbach J. B. C., Brown D., Burns A., et al. WHO-international perspectives on SCI.pdf. 2013.
14. Medlad 2017, Παγκόσμια Ημέρα Κάκωσης Νωτιαίου Μυελου, 5 Σεπτεμβρίου <https://medlabgr.blogspot.com/2017/09/5-2017.html#ixzz7EY30U0Ko>
15. Ρόσμπογλου Στ, Φυσικοθεραπεία σε παθήσεις – κακώσεις Κεντρικού Νευρικού Συστήματος, Αξιολόγηση ασθενών με βλάβες – κακώσεις Κ.Ν.Σ. , Θεσσαλονίκη 2002 Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης Τμήμα Φυσικοθεραπείας
16. Eltorai IM. History of spinal cord medicine. In: Lin VW et al., eds. Spinal cord medicine: principles and practice. New York, NY, Demos medical publishing 2003
17. Adams RD, Salam Adams M. Chronic nontraumatic diseases of the spinal cord. *Neurol Clin* 1991, 9:606-623
18. Σάπκας Γ. 2006. Εμβιομηχανική-Παθοφυσιολογία του Μεσοσπονδύλιο Δίσκου και του Νευρικού Ιστού. Αθήνα: Εκδόσεις Καύκας: 230-231
19. Τσαγκουριάς Μ. Τραυματικές βλάβες του νωτιαίου μυελού, Θέματα Αναισθησιολογίας και Εντατικής Ιατρικής. Τόμος 5. Τευχος 11. 12:114-128. https://anesthesia.gr/download/TOMOS_5/tefhos_11/12.pdf
20. Updates of the International Standards for Neurologic Classification of Spinal Cord Injury: 2015 and 2019 Steven Kirshblum, MDa,b,c, *, Brittany Snider, DOa,b , Rüdiger Rupp, PhDd , Mary Schmidt Read, PT, DPT, MSe , International Standards Committee of ASIA and ISCoS
21. Cuccurollo S, Physical medicine and rehabilitation board review:7, 522-584: New York, NY, Demos medical publishing
22. Hayes KC, Hsieh JT, Wolfe DL, Potter PJ, Delaney GA. Classifying incomplete spinal cord injury syndromes: algorithms based on the International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury Patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000 May;81(5):644-52. doi: 10.1016/s0003-9993(00)90049-2. PMID: 10807106.
23. Μπάκας Ελ, Αποκατάσταση Ασθενή με Βλάβη ή Κάκωση Νωτιαίου Μυελού. Εκδόσεις Κωνσταντάρας. ISBN 978-960-680-235-5.2012. σελ.172-186 κεφάλαιο 10, 1^{ος} τόμος
24. van Hedel HJ, Dietz V. Rehabilitation of locomotion after spinal cord injury. *Restor Neurol Neurosci*. 2010;28(1):123-34. doi: 10.3233/RNN-2010-0508. PMID: 20086289.

25. Takakusaki K. Neurophysiology of gait: from the spinal cord to the frontal lobe. *Mov Disord*. 2013 Sep 15;28(11):1483-91. doi: 10.1002/mds.25669. PMID: 24132836.
26. Hofstoetter US, Knikou M, Guertin PA, Minassian K. Probing the Human Spinal Locomotor Circuits by Phasic Step-Induced Feedback and by Tonic Electrical and Pharmacological Neuromodulation. *Curr Pharm Des*. 2017;23(12):1805-1820. doi: 10.2174/1381612822666161214144655. PMID: 27981912.
27. Hartmann et al., 1994 Steuer I, Guertin PA. Central pattern generators in the brainstem and spinal cord: an overview of basic principles, similarities and differences. *Rev Neurosci*. 2019 Jan 28;30(2):107-164. doi: 10.1515/revneuro-2017-0102. PMID: 30543520.
28. Steuer I, Guertin PA. Central pattern generators in the brainstem and spinal cord: an overview of basic principles, similarities and differences. *Rev Neurosci*. 2019 Jan 28;30(2):107-164. doi: 10.1515/revneuro-2017-0102. PMID: 30543520.
29. Kuo AD. The relative roles of feedforward and feedback in the control of rhythmic movements. *Motor Control*. 2002 Apr;6(2):129-45. doi: 10.1123/mcj.6.2.129. PMID: 12122223.
30. Zunt, Dominik, 2013. Who did actually invent the word “robot” and what does it mean? 23 Jan 2013. <http://capek.misto.cz/english/robot.html>
31. Hidler J, Sainburg R. Role of Robotics in Neurorehabilitation. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2011 Summer;17(1):42-49. doi: 10.1310/sci1701-42. PMID: 21857778; PMCID: PMC3157701.
32. Mekki M, Delgado AD, Fry A, Putrino D, Huang V. Robotic Rehabilitation and Spinal Cord Injury: a Narrative Review. *Neurotherapeutics*. 2018 Jul;15(3):604-617. doi: 10.1007/s13311-018-0642-3. PMID: 29987763; PMCID: PMC6095795.
33. Jezernik S, Colombo G, Keller T, Frueh H, Morari M. Robotic orthosis lokomat: a rehabilitation and research tool. *Neuromodulation*. 2003 Apr;6(2):108-15. doi: 10.1046/j.1525-1403.2003.03017.x. Epub 2003 Jun 16. PMID: 22150969.
34. Colombo G, Joerg M, Schreier R, Dietz V. Treadmill training of paraplegic patients with a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev* 2001; 37:693–700.
35. Schwartz I, Sajina A, Neeb M, Fisher I, Katz-Luerer M, Meiner Z. Locomotor training using a robotic device in patients with subacute spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2011 Oct;49(10):1062-7. doi: 10.1038/sc.2011.59. Epub 2011 May 31. PMID: 21625239.]
36. Aurich-Schuler T., Grob F., van Hedel H.J., Labruyère R., 2017, Can lokomat therapy with children and adolescents be improved? An adaptive clinical pilot trial

comparing guidance force, path control, and freed., *J NeuroEngineering Rehabilitation*, 14(1):76

37. Aurich-Schuler T, Gut A, Labruyère R. The FreeD module for the Lokomat facilitates a physiological movement pattern in healthy people - a proof of concept study. *J Neuroeng Rehabil*. 2019 Feb 6;16(1):26. doi: 10.1186/s12984-019-0496-x. Erratum in: *J Neuroeng Rehabil*. 2019 Jun 11;16(1):74. PMID: 30728040; PMCID: PMC6366098.

38. Veneman JF, Kruidhof R, Hekman EE, Ekkelenkamp R, Van Asseldonk EH, van der Kooij H. Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2007 Sep;15(3):379-86. doi: 10.1109/tnsre.2007.903919. PMID: 17894270.

39. Tefertiller C, Hays K, Jones J, Jayaraman A, Hartigan C, Bushnik T, Forrest GF. Initial Outcomes from a Multicenter Study Utilizing the Indego Powered Exoskeleton in Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2018 Winter;24(1):78-85. doi: 10.1310/sci17-00014. Epub 2017 Nov 20. PMID: 29434463; PMCID: PMC5791927.

40. Esquenazi A, Talaty M, Packer A, Saulino M. The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012 Nov;91(11):911-21. doi: 10.1097/PHM.0b013e318269d9a3. PMID: 23085703.

41. Lajeunesse V, Vincent C, Routhier F, Careau E, Michaud F. Exoskeletons' design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2016 Oct;11(7):535-47. doi: 10.3109/17483107.2015.1080766. Epub 2015 Sep 4. PMID: 26340538.

42. Molteni F, Gasperini G, Gaffuri M, Colombo M, Giovanzana C, Lorenzon C, Farina N, Cannaviello G, Scarano S, Proserpio D, Liberali D, Guanziroli E. Wearable robotic exoskeleton for overground gait training in sub-acute and chronic hemiparetic stroke patients: preliminary results. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2017 Oct;53(5):676-684. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04591-9. Epub 2017 Jan 24. PMID: 28118698.

43. Høyer E, Opheim A, Jørgensen V. Implementing the exoskeleton Ekso GT™ for gait rehabilitation in a stroke unit - feasibility, functional benefits and patient experiences. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2020 Aug 24:1-7. doi: 10.1080/17483107.2020.1800110. Epub ahead of print. PMID: 32838594.

44. Yıldırım MA, Öneş K, Gökşenoğlu G. Early term effects of robotic assisted gait training on ambulation and functional capacity in patients with spinal cord injury. *Turk J*

Med Sci. 2019 Jun 18;49(3):838-843. doi: 10.3906/sag-1809-7. PMID: 31134784; PMCID: PMC7018313.

45. Barnes M. P. An overview of the clinical management of spasticity. In: Barnes M. P., Johnson G. R., editors. *Upper Motor Neurone Syndrome and Spasticity: Clinical Management and Neurophysiology*. New York: Cambridge University Press; 2008. pp. 1–9
46. Faulkner J, Martinelli L, Cook K, Stoner L, Ryan-Stewart H, Paine E, Hobbs H, Lambrick D. Effects of robotic-assisted gait training on the central vascular health of individuals with spinal cord injury: A pilot study. *J Spinal Cord Med*. 2021 Mar;44(2):299-305. doi: 10.1080/10790268.2019.1656849. Epub 2019 Sep 16. PMID: 31525137; PMCID: PMC7952073
47. Bach Baunsgaard C, Vig Nissen U, Katrin Brust A, Frotzler A, Ribeill C, Kalke YB, et al. Gait training after spinal cord injury: safety, feasibility and gait function following 8 weeks of training with the exoskeletons from Ekso bionics. *Spinal Cord*. 2018; 56:106–116. doi: 10.1038/s41393-017-0013-7
48. Gorgey AS, Wade R, Sumrell R, Villadelgado L, Khalil RE, Lavis T. Exoskeleton training may improve level of physical activity after spinal cord injury: a case series. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2017; 23:245–255. doi: 10.1310/sci16-00025
49. Γαλιαγκουση Ε, Δουμα Στ, Ζαμπούλης Χ. Αορτική Ανελαστικότητα: Παθογένεια, διάγνωση και προγνωστική αξία στα καρδιαγγειακά νοσήματα και στην ιδιοπαθή αρτηριακή υπέρταση. *Αρτηριακή Υπέρταση* 2008, 17:38-45 <https://hypertasi.gr/images/periodicals/38-ahj17p38.pdf>
50. Yatsuya K, Hirano S, Saitoh E, Tanabe S, Tanaka H, Eguchi M, Katoh M, Shimizu Y, Uno A, Kagaya H. Comparison of energy efficiency between Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) and two types of knee-ankle-foot orthoses with a medial single hip joint (MSH-KAFO). *J Spinal Cord Med*. 2018 Jan;41(1):48-54. doi: 10.1080/10790268.2016.1226701. Epub 2016 Oct 17. PMID: 27748162; PMCID: PMC5810806.
51. Rana BS, Pun M. Estimation of Physiological Cost Index as an Energy Expenditure Index using MacGregor's Equation. *JNMA J Nepal Med Assoc*. 2015 Jul-Sep;53(199):174-9. PMID: 27549500.
52. Kwon SH, Lee BS, Lee HJ, Kim EJ, Lee JA, Yang SP, Kim TY, Pak HR, Kim HK, Kim HY, Jung JH, Oh SW. Energy Efficiency and Patient Satisfaction of Gait With Knee-Ankle-Foot Orthosis and Robot (ReWalk)-Assisted Gait in Patients With Spinal Cord

- Injury. *Ann Rehabil Med*. 2020 Apr;44(2):131-141. doi: 10.5535/arm.2020.44.2.131. Epub 2020 Apr 29. PMID: 32392652; PMCID: PMC7214138.
53. Corbianco S, Cavallini G, Dini M, Franzoni F, D'Avino C, Gerini A, Stampacchia G. Energy cost and psychological impact of robotic-assisted gait training in people with spinal cord injury: effect of two different types of devices. *Neurol Sci*. 2021 Aug;42(8):3357-3366. doi: 10.1007/s10072-020-04954-w. Epub 2021 Jan 7. PMID: 33411195.
54. Alamro RA, Chisholm AE, Williams AMM, Carpenter MG, Lam T. Overground walking with a robotic exoskeleton elicits trunk muscle activity in people with high-thoracic motor-complete spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil*. 2018 Nov 20;15(1):109. doi: 10.1186/s12984-018-0453-0. PMID: 30458839; PMCID: PMC6245830.
55. Aaslund MK, Moe-Nilssen R. Treadmill walking with body weight support effect of treadmill, harness and body weight support systems. *Gait Posture*. 2008 Aug;28(2):303-8. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.01.011. Epub 2008 Mar 17. PMID: 18343664.
56. Hwang S, Kim HR, Han ZA, Lee BS, Kim S, Shin H, Moon JG, Yang SP, Lim MH, Cho DY, Kim H, Lee HJ. Improved Gait Speed After Robot-Assisted Gait Training in Patients with Motor Incomplete Spinal Cord Injury: A Preliminary Study. *Ann Rehabil Med*. 2017 Feb;41(1):34-41. doi: 10.5535/arm.2017.41.1.34. Epub 2017 Feb 28. PMID: 28289633; PMCID: PMC5344824.
57. Naqvi U, Sherman AL. Muscle Strength Grading. 2021 Sep 2. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. PMID: 28613779.
58. Waters RL, Adkins R, Yakura J, Vigil D. Prediction of ambulatory performance based on motor scores derived from standards of the American Spinal Injury Association. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994 Jul;75(7):756-60. PMID: 8024420.
59. Werning A, Assessments of motor capability in SCI and stroke patients. Department of Physiology. University of Bonn. <https://www.meb.uni-bonn.de/wernig/html/assessments.html>
60. Huang Q, Yu L, Gu R, Zhou Y, Hu C. Effects of robot training on bowel function in patients with spinal cord injury. *J Phys Ther Sci*. 2015 May;27(5):1377-8. doi: 10.1589/jpts.27.1377. Epub 2015 May 26. PMID: 26157223; PMCID: PMC4483401.
61. Karelis AD, Carvalho LP, Castillo MJ, Gagnon DH, Aubertin-Leheudre M. Effect on body composition and bone mineral density of walking with a robotic exoskeleton in adults with chronic spinal cord injury. *J Rehabil Med*. 2017 Jan 19;49(1):84-87. doi: 10.2340/16501977-2173. PMID: 27973679.

62. Bauman WA, Spungen AM. Metabolic changes in persons after spinal cord injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2000 Feb;11(1):109-40. PMID: 10680161.
63. Stampacchia G, Rustici A, Bigazzi S, Gerini A, Tombini T, Mazzoleni S. Walking with a powered robotic exoskeleton: Subjective experience, spasticity and pain in spinal cord injured persons. *NeuroRehabilitation*. 2016 Jun 27;39(2):277-83. doi: 10.3233/NRE-161358. PMID: 27372363.
64. Hurst H, Bolton J. Assessing the clinical significance of change scores recorded on subjective outcome measures. *J Manipulative Physiol Ther* 2004; 27:26-35
65. Mazzoleni S, Turchetti G, Palla I, Posteraro F, Dario P. Acceptability of robotic technology in neurorehabilitation: preliminary results on chronic stroke patients. *Comput Methods Programs Biomed*. 2014 Sep;116(2):116-22. doi: 10.1016/j.cmpb.2013.12.017. Epub 2014 Jan 3. PMID: 24461799.
66. Krebs HI, Hogan N, Aisen ML, Volpe BT. Robot-aided neurorehabilitation. *IEEE Trans Rehabil Eng*. 1998 Mar;6(1):75-87. doi: 10.1109/86.662623. PMID: 9535526; PMCID: PMC2692541.
67. Spinal cord center, 2012. Walking index for Spinal Cord Injury II Guide: Instructions for Use https://www.google.com/search?q=%5Bwisci_ii_guide_revised2012Aug22.pdf&oq=%5Bwisci_ii_guide_revised2012Aug22.pdf&aqs=chrome..69i57.3372j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8
68. Physiopedia, Berg balance scale https://www.physio-pedia.com/Berg_Balance_Scale
69. Catz A, Itzkovich M, Tesio L, Biering-Sorensen F, Weeks C, Laramee MT, Craven BC, Tonack M, Hitzig SL, Glaser E, Zeilig G, Aito S, Scivoletto G, Mecci M, Chadwick RJ, El Masry WS, Osman A, Glass CA, Silva P, Soni BM, Gardner BP, Savic G, Bergström EM, Bluvshstein V, Ronen J. A multicenter international study on the Spinal Cord Independence Measure, version III: Rasch psychometric validation. *Spinal Cord*. 2007 Apr;45(4):275-91. doi: 10.1038/sj.sc.3101960. Epub 2006 Aug 15. PMID: 16909143.

