



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ.
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΟΝΟΥ ΣΠΟΝΔΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ»**

ΔΙΕΥΘΥΝΤΡΙΑ: ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΣΟΦΙΑ ΧΑΤΖΗΪΩΑΝΝΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΟΦΙΛΟΥ ΗΛΙΑΣ

**«Τεχνικές εκπαίδευσης βάδισης σε ατελείς
κακώσεις νωτιαίου μυελού στο επίπεδο της αυχενικής μοίρας
της σπονδυλικής στήλης»**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ**
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΟΡΘΟΠΑΙΔΙΚΗΣ ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2023



**NATIONAL AND KAPODISTRIAN
UNIVERSITY OF ATHENS
MEDICAL SCHOOL**

POST-GRADUATE PROGRAM

**REHABILITATION FOLLOWING SPINAL CORD LESIONS.
SPINAL PAIN MANAGEMENT»**

MASTER THESIS

**“Gait Rehabilitation Techniques in Incomplete Cervical Spinal
Cord Injuries”**

THEOFILOU ILIAS

Supervisor: **PNEUMATICOS SPYRIDON**

PROFESSOR OF ORTHOPEDICS EKPA

ATHENS 2023

Βιογραφικό Σημείωμα



Ο Θεοφίλου Ηλίας γεννήθηκε στις 12/02/1995 στον Χολαργό Αττικής.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ

Αποφοίτησε απ το τμήμα Φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής το 2019.

Στη συνέχεια παρακολούθησε σεμινάρια βελονισμού(dry needling) και χειροπρακτικής θεραπείας(manual therapy Mulligan-Concept).

Το 2021 συμμετείχε ως ομιλητής στο 77^ο Πανελλήνιο συνέδριο Ορθοπαιδικής και Τραυματολογίας με θέμα εργασίας «Κατάγματα Ισχίου και SARS-COVID-2.Ερευνητικά Δεδομένα και Στρατηγικές Διαχείρισης»

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Πραγματοποίησε την εξάμηνη πρακτική του Άσκηση στο Γενικό Νοσοκομείο Αττικής ΚΑΤ.Στην συνέχεια εργάστηκε σε οίκο ευγηρίας,σε κέντρο αποκατάστασης ανοιχτής νοσηλείας καθώς και σε ιδιωτικά φυσικοθεραπευτήρια.

Περίληψη

Σκοπός: Η ατελής κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή απώλεια λειτουργικότητας, με ελλείμματα στη κινητικότητα των άνω άκρων, των κάτω άκρων και στον κινητικό συντονισμό. Οι σύγχρονες τεχνικές επανεκπαίδευσης βάδισης εστιάζουν στον κινητικό επαναπρογραμματισμό των νευρωνικών κυκλωμάτων. Στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση συγκρίνονται τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων, μέσω ρομποτικών συστημάτων, αναρτήσεων και άλλων τεχνικών, μεταξύ των οποίων και τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας, για την επίτευξη θεραπευτικών στόχων.

Μέθοδος: Τρεις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων (MEDLINE, PEDro και GoogleScholar) χρησιμοποιήθηκαν για να αναζητηθούν σχετικές κλινικές δοκιμές, δημοσιευμένες μέχρι τον Μάιο του 2022. Οι όροι της αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν “Incomplete Cervical Spinal Cord Injury” AND “Gait Training” OR “Rehabilitation” OR “Exoskeletal assisted walking” OR “Lokomat” OR “Robot- assisted gait training”.

Αποτελέσματα: Εντοπίστηκαν αρχικά 2.411 άρθρα, εκ των οποίων 54 αξιολογήθηκαν εξ ολοκλήρου για επιλεξιμότητα, για να συμπεριληφθούν τελικώς 20 από αυτά στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση. Τα συνηθέστερα εργαλεία αξιολόγησης των παρεμβάσεων είναι τα: 6MWT, 10MWT, TUG, LEMS και WISCI-II. Από το σύνολο των 20 ερευνών, όλες είχαν στατιστικά σημαντικές ή πολύ σημαντικές διαφορές για τους ασθενείς τους στην σύγκριση αρχικών και τελικών μετρήσεων. Οι 13 από αυτές εμφάνισαν στατιστικές διαφορές των ομάδων παρέμβασης με τις ομάδες ελέγχου, είτε η παρέμβαση ήταν κάποιος από τους εξωσκελετούς, είτε ανάρτηση, είτε η χρήση εικονικής πραγματικότητας. Συνολικά, η αποτελεσματικότητα των ρομποτικών εξωσκελετών μελετήθηκε σε δείγμα 409 ατόμων, η χρήση των αναρτήσεων σε δείγμα 70 ατόμων και οι άλλες παρεμβάσεις που συμπεριλήφθηκαν (WBV, OLT και GRAIL) σε 55 ασθενείς. Από τις 13 έρευνες πάνω στην χρήση ρομποτικών εξωσκελετών, στατιστικά σημαντικές διαφορές επισήμαναν οι 10, ενώ 3 δεν βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Αντίστοιχα, στις 3 έρευνες των αναρτήσεων, οι 2 κατέγραψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και μία όχι.

Συμπεράσματα: Οι σύγχρονες παρεμβάσεις που κάνουν χρήση της τελευταίας τεχνολογίας, είτε πρόκειται για ρομποτικά συστήματα εξωσκελετών, είτε εξελιγμένων αναρτήσεων, είτε εικονικής πραγματικότητας, μπορούν να συνεισφέρουν στην ταχύτερη και ποιοτικότερη

αποκατάσταση της βάδισης των ασθενών με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού της αυχενικής μοίρας.

Λέξεις- Κλειδιά: Ατελής Κάκωση Νωτιαίου Μυελού, Επανεκπαίδευση Βάδισης, Αποκατάσταση, Εξωσκελετοί

Abstract

Objective: Incomplete cervical spinal cord injuries can lead to severe functional loss, with mobility deficits of the lower limbs and motor control. Contemporary gait rehabilitation techniques focus on the motor reprogramming of neuronal circuits. This systematic review aims to compare the results of different rehabilitation techniques, ranging from robotic exoskeleton systems, to new and improved weight-bearing systems, and other methods including virtual reality, on their ability to achieve measurable therapeutic goals.

Methods: Three electronic databases (MEDLINE, PEDro και GoogleScholar) were systematically searched for clinical trials, up until May 2022. The following search terms were used: “Incomplete Cervical Spinal Cord Injury” AND “Gait Training” OR “Rehabilitation” OR “Exoskeletal assisted walking” OR “Lokomat” OR “Robot- assisted gait training”.

Results: Of the initial 2,411 papers, 54 were selected to be reviewed for eligibility to this systematic review, leading to the final 20 that were included. The most common evaluation tools were 6MWT, 10MWT, TUG, LEMS και WISCI-II. In all 20 papers significant or very significant changes were noted between the time of the first assessment and the last. 13 of them noted statistically significant differences between the control groups and the intervention groups at the end of the trial period, regardless of the method used. In this systematic review, 409 patients were recruited for trials on robotic exoskeletons, 70 participated in Weight-Bearing trials, and another 55 completed trials on interventions including WBV, OLT and GRAIL. In regards to the use of a robotic exoskeleton system, 10 out of 13 trials noted statistically significant differences between groups, a result shared by 2 out of 3 trials on weight-bearing systems.

Conclusion: Contemporary interventions using the latest technological advances, whether they be robotic exoskeletons, advanced weight-bearing systems or enhanced virtual reality, may contribute to a faster and more efficient gait rehabilitation of patients suffering from incomplete cervical spinal cord injuries.

Keywords: Incomplete Spinal Cord Injury, Gait Training, Rehabilitation, Exoskeleton

Πίνακας Περιεχομένων

Βιογραφικό Σημείωμα.....	3
Περίληψη.....	3
Abstract	6
Πίνακας Εικόνων	9
Πίνακας Πινάκων.....	10
Εισαγωγή	11
Κεφάλαιο 1. Παθοφυσιολογία των κακώσεων νωτιαίου μυελού	12
1.1 Κακώσεις Νωτιαίου Μυελού	12
1.2 Ατελείς και Τέλειες Κακώσεις του Νωτιαίου Μυελού	13
Κεφάλαιο 2. Επιδημιολογικά στοιχεία και αιτίες κάκωσης του Νωτιαίου Μυελού	15
2.1 Επιδημιολογικά δεδομένα	15
2.2 Παθοφυσιολογία κακώσεων Νωτιαίου Μυελού	16
2.2.1 Πρωτογενείς κακώσεις.....	16
2.2.2 Δευτερογενείς βλάβες συνέπεια κάκωσης νωτιαίου μυελού	17
Κεφάλαιο 3. Ταξινόμηση και κλινική εκτίμηση του ασθενούς με κάκωση νωτιαίου μυελού	19
3.1 Ταξινόμηση.....	19
3.2 Η κλινική εκτίμηση	20
Κεφάλαιο 4. Νευροπλαστικότητα και Αποκατάσταση μετά από κακώσεις Νωτιαίου Μυελού στην Αυχενική Μοίρα	22
4.1 Πλαστικότητα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος	23
4.2 Θεραπευτικές στρατηγικές αποκατάστασης της βάδισης μετά από Ατελή Κάκωση Αυχενικής Μοίρας Νωτιαίου Μυελού	24
4.2.1 Θεραπευτική Άσκηση.....	25
4.2.2 Ηλεκτρικός Ερεθισμός.....	27
4.2.3 Διεπαφή εγκεφάλου- υπολογιστή	27
Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία	29
5.1 Αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας	29
5.2 Επιλογή των άρθρων	29
Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού	29
5.3 Διαχείριση δεδομένων και αξιολόγηση της ποιότητας των μελετών.....	31
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα	34
6.1 Έρευνες με εξωσκελετούς.....	34
6.2 Έρευνες επανεκπαίδευσης βάδισης με αναρτήσεις.....	42

6.3 Άλλες θεραπευτικές προσεγγίσεις για την επανεκπαίδευση βάδισης σε ασθενείς με ατελή κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού	44
Κεφάλαιο 7. Συζήτηση.....	55
Περιορισμοί και μελλοντικές κατευθύνσεις	58
Βιβλιογραφία	59

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2.1: Παθοφυσιολογικά φαινόμενα που προκρίνουν την περαιτέρω βλάβη του νωτιαίου μυελού. Τροποποιημένο από: Alizadeh et al, 2019	7
Εικόνα 4.1: Η επίδραση των ερεθισμάτων στην νευροπλαστικότητα, από την βραχυχρόνια ευόδωση στην συναπτογένεση. Τροποποιημένο από: Walker & Detloff, 2021).	14
Εικόνα 5.1: Διάγραμμα ροής PRISMA	20

Πίνακες

Πίνακας 1.1: Επίπεδα κάκωσης νωτιαίου μυελού και κινητικότητα. Τροποποιημένο από: https://www.spinalinjury101.org/details/levels-of-injury	2
Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση της κάκωσης του νωτιαίου μυελού, κατά AIS. Τροποποιημένο από: <i>Kirschblum et al, 2011</i>	9
Πίνακας 5.1: Αξιολόγηση της εσωτερικής εγκυρότητας/ ποιότητας μελετών PEDro	22-23
Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα ερευνών	37-42

Εισαγωγή

Οι ατελείς κακώσεις αυχενικής μοίρας νωτιαίου μυελού αγγίζουν το 59% του συνόλου των κακώσεων αυχενικής μοίρας (NSCISC, 2019). Οι ασθενείς αυτοί εμφανίζουν ελλείμματα στην ισορροπία, τη βάδιση και την αισθητικότητα, όπως και προβλήματα που σχετίζονται με τον μυϊκό τόνο, το συντονισμό και τις συν-συσπάσεις (In et al, 2018). Είναι αξιοσημείωτο ότι αρκετοί εκ των ασθενών αυτών εμφανίζουν αυτόματη λειτουργική βελτίωση, τουλάχιστον μερικώς, λόγω της πλαστικότητας των συνάψεων και της δημιουργίας νέων νευρωνικών κυκλωμάτων κάτω από το επίπεδο της βλάβης, τα οποία «εκμεταλλεύονται» τις ίνες που δεν έχουν καταστραφεί από την κάκωση. Επομένως, η αποκατάσταση οφείλει να εστιάζει, όχι μόνο στην αντιστάθμιση των όποιων ελλειμμάτων, αλλά κυρίως να μεγιστοποιήσει την δυνατότητα που έχει ο οργανισμός για κινητική ανάρρωση (Hasegawa et al, 2014; Gollie et al, 2016). Οι σύγχρονες μέθοδοι αποκατάστασης κατευθύνουν τις διεργασίες της πλαστικότητας, ώστε να δημιουργηθούν και να ενισχυθούν εκείνες οι συνάψεις που εξυπηρετούν τη λειτουργικότητα του ασθενή, και η βάδιση είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την καθημερινότητα και την ποιότητα των ασθενών (Panza et al, 2019; Senthilvelkumal et al, 2015).

Μία ατελής κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού, με εξαίρεση τις κακώσεις του τελευταίου μυελοτομίου, σημαίνει πλήρη ή ατελή τετραπληγία, δηλαδή ύπαρξη νευρολογικών συμπτωμάτων στα άνω και κάτω άκρα, και συμμετοχή των μυών του κορμού, στις κατηγορίες ASIA A-D, με τις ατελείς κακώσεις να κατηγοριοποιούνται συνηθέστερα μεταξύ B και D (Hwang et al, 2017; Tester et al, 2011).

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αποτυπώσει και να αξιολογήσει τις σύγχρονες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επανεκπαίδευση της βάδισης σε ατελείς κακώσεις νωτιαίου μυελού της αυχενικής μοίρας. Το πεδίο αυτό τα τελευταία χρόνια σχεδόν μονοπωλείται από τα ρομποτικά συστήματα εξωσκελετών, χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας. Για τον σκοπό αυτό γίνεται συστηματική ανασκόπηση του θέματος μέσω των άμεσα σχετιζόμενων μελετών.

Κεφάλαιο 1. Παθοφυσιολογία των κακώσεων νωτιαίου μυελού

1.1 Κακώσεις Νωτιαίου Μυελού

Η κάκωση του νωτιαίου μυελού προκύπτει όταν, από κάποιο αίτιο: τραυματισμός, όγκοι, λοιμώξεις, προκαλέσει βλάβη σε ένα επίπεδό του. Το επίπεδο της βλάβης υποδηλώνει το σημείο στο οποίο η λειτουργία των νεύρων που βρίσκονται κάτω από αυτό το επίπεδο μειώνεται ή και σταματάει, ανάλογα με την έκταση της βλάβης. Η κάκωση νωτιαίου μυελού εμποδίζει την πληροφορία να μεταδοθεί μέσω των νευρικών κυττάρων και προς τις δύο κατευθύνσεις (κινητική και αισθητική λειτουργία). Η διαταραγμένη μεταφορά της πληροφορίας μπορεί να προκαλέσει παροδική ή μόνιμη απώλεια κινητικότητας και αισθητικότητας (Mazwi et al, 2015). Στον παρακάτω πίνακα περιγράφεται συνοπτικά η υπολειπόμενη κινητικότητα μετά από κάκωση της αυχενικής μοίρας νωτιαίου μυελού (Πίνακας 1.1).

Επίπεδο Βλάβης	Κινητικότητα
Αυχενικό Μυελοτόμιο 4	Δεν υπάρχει καμία ικανότητα κίνησης στα άνω και κάτω άκρα. Ο ασθενής μπορεί να κινεί τον αυχένα
Αυχενικό Μυελοτόμιο 5	Ο ασθενής μπορεί να κινεί τον αυχένα. Υπάρχει κινητικότητα σε όλες τις κινήσεις του ώμου, αλλά είναι αδύναμες, όπως και η κάμψη του αγκώνα
Αυχενικό Μυελοτόμιο 6	Ο ασθενής έχει φυσιολογική δύναμη σε όλες τις κινήσεις του ώμου και στην κάμψη του αγκώνα. Υπάρχει, επίσης, έκταση στον καρπό
Αυχενικό Μυελοτόμιο 7	Υπάρχει η ίδια κινητικότητα με το παραπάνω επίπεδο, καθώς και η έκταση του αγκώνα και των δακτύλων

Πίνακας 1.1: Επίπεδα κάκωσης νωτιαίου μυελού και κινητικότητα. Τροποποιημένο από: <https://www.spinalinjury101.org/details/levels-of-injury> [πρόσβαση 07/05/2022]

1.2 Ατελείς και Τέλειες Κακώσεις του Νωτιαίου Μυελού

Οι κακώσεις του νωτιαίου μυελού μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις ατελείς και τις τέλειες (πλήρεις). Οι τέλειες έχουν ως κλινική εικόνα την πλήρη απώλεια της κινητικότητας και της αισθητικότητας κάτω από το επίπεδο της βλάβης, ακόμα κι αν υπάρχουν μερικοί νευρικοί άξονες που παραμένουν ενεργοί. Η δοκιμασία που κρίνει την τέλεια κάκωση του νωτιαίου μυελού είναι η πλήρης έλλειψη αισθητικότητας και κινητικότητας στο τελευταίο ιερό επίπεδο (I4-I5) (Ghassan et al, 2019).

Στην ατελή κάκωση του νωτιαίου μυελού, οι ασθενείς διατηρούν κάποιο επίπεδο αισθητικότητας και κινητικότητας πάνω από το κατώτερο ιερό επίπεδο, αν και αυτό δεν σημαίνει αυτόματα ότι μπορούν να επιτύχουν ένα δεδομένο επίπεδο λειτουργικότητας. Συγκεκριμένα, στις ΗΠΑ καταγράφεται από το Εθνικό Κέντρο για τις Κακώσεις Νωτιαίου Μυελού ότι το 82% των ασθενών με ατελή κάκωση περπατάνε με βοήθημα ή εκπαιδεύονται να μετακινούνται με αμαξίδιο (NCSCI, 2019). Ο Dr. Kirschblum, ο οποίος συν-διαμόρφωσε την κλίμακα αξιολόγησης ASIA, προτείνει μία επιπλέον κατηγοριοποίηση των ασθενών με ατελή κάκωση, σε ασθενείς που περπατούν αυτόνομα, σε ασθενείς που περπατούν με βοήθεια και σε ασθενείς που χρησιμοποιούν αμαξίδιο. Αν και η πλειοψηφία των ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού εμπίπτουν στην κατηγορία της ατελούς κάκωσης, εν τούτοις ένα πολύ μικρό ποσοστό (μόλις 2-3%) παρουσιάζουν κλινική εικόνα ελάχιστων κινητικών ελλειμμάτων (Kirschblum et al, 2011).

Σε ό,τι αφορά τις κακώσεις νωτιαίου μυελού της αυχενικής μοίρας, αυτές είναι κυρίως ατελείς, αλλά ταυτόχρονα, λόγω της υψηλής θέσης της βλάβης, και οι πιο σοβαρές. Ανάλογα με το επίπεδο της βλάβης και τη σοβαρότητα αυτής, οι ασθενείς αυτοί μπορεί να αντιμετωπίσουν δυσκολίες με την αναπνοή, απώλεια κινητικότητας σε άνω και κάτω άκρα, γενικευμένη αδυναμία, απώλεια του ελέγχου της ούρησης και της αφόδευσης και διαταραχές του μυϊκού τόνου (σπαστικότητα) (Alizadeh et al, 2019).

Η έρευνα των τελευταίων ετών εστιάζει στην πλαστικότητα του νευρικού ιστού και στην ικανότητά του να δημιουργεί νέες συνδέσεις και να προσαρμόζεται μετά από μία κάκωση. Οι εξελίξεις στην αποκατάσταση, όπως είναι η επανεκπαίδευση βάρδιας με χρήση διαδρόμου με αναρτήσεις, οι εξωσκελετοί και ο λειτουργικός ηλεκτρικός ερεθισμός (Functional Electric Stimulation/ FES) είναι μερικές από τις νέες δυνατότητες της τεχνολογίας για θεραπευτικά πρωτόκολλα, τα οποία στοχεύουν κυρίως στην

αναδιοργάνωση, αλλά και αναγέννηση των νευρικών κυκλωμάτων, έτσι ώστε να βελτιώσουν την κινητική ικανότητα των ασθενών.

Κεφάλαιο 2. Επιδημιολογικά στοιχεία και αιτίες κάκωσης του Νωτιαίου Μυελού

2.1 Επιδημιολογικά δεδομένα

Η επίπτωση των κακώσεων νωτιαίου μυελού υπολογίζεται ότι κυμαίνεται μεταξύ 40-80 νέων περιστατικών ανά εκατομμύριο πληθυσμού, με τις τραυματικές κακώσεις να αγγίζουν το 90% των περιπτώσεων (Barbiellini Amidei et al, 2022; James et al, 2019; Lee et al, 2014). Η αναγωγή των ποσοστών αυτών στον παγκόσμιο πληθυσμό σημαίνει ότι έως και 500.000 άτομα τον χρόνο έρχονται αντιμέτωπα με τις συνέπειες των κακώσεων του νωτιαίου μυελού.

Οι τραυματικές κακώσεις νωτιαίου μυελού, οι οποίες υπερσχύουν συντριπτικά έναντι των μη τραυματικών, επιμερίζονται σε ποσοστό άνω του 50% σε τροχαία δυστυχήματα, και ακολουθούν οι πτώσεις, η ένοπλη βία και οι αθλητικές δραστηριότητες (van der Berg et al, 2010). Τα ποσοστά αυτά έχουν μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με τη χώρα, όπως επισημαίνει ο ΠΟΥ (WHO, 2022). Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι στην Βραζιλία οι περιπτώσεις τραυματικών κακώσεων νωτιαίου μυελού από ένοπλη βία αγγίζουν το 42% (Costacurta et al, 2010), ενώ το αντίστοιχο ποσοστό σε χώρες όπως ο Καναδάς και η Νορβηγία δεν ξεπερνάει το 2% (Lenehan et al, 2012).

Οι μη τραυματικές κακώσεις νωτιαίου μυελού, που αποτελούν περίπου το 10% των συνολικών περιπτώσεων, έχουν μέση ηλικία διάγνωσης τα 61,2 έτη, ενώ οι τραυματικές εμφανίζονται πολύ νωρίτερα, σε μέση ηλικία 38,6 ετών (Lee et al, 2014). Παράλληλα, καταγράφεται ότι οι μη τραυματικές περιπτώσεις έχουν περίπου ίδια επίπτωση και στα δύο φύλα, ενώ οι τραυματικές κακώσεις εμφανίζονται σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό σε άνδρες (Barbiellini Amidei et al, 2022).

Στην Ελλάδα, η προσπάθεια επιδημιολογικής καταγραφής έγινε από την κλινική Φ.Ι.Απ του ΓΝ Κ.Α.Τ, μελετώντας 1489 φακέλους ασθενών, οι οποίοι προσήλθαν στα εξωτερικά ιατρεία του νοσοκομείου κατά το διάστημα 1987-1999, με κάκωση νωτιαίου μυελού. Η μέση ηλικία τους ήταν τα 33 έτη και η ηλικιακή κατανομή κατέδειξε ότι οι περισσότεροι βρίσκονταν μεταξύ 20 και 30 ετών. Το 78,8% ήταν άνδρες και το 21,2% γυναίκες. (Μπάκας, 2012).

2.2 Παθοφυσιολογία κακώσεων Νωτιαίου Μυελού

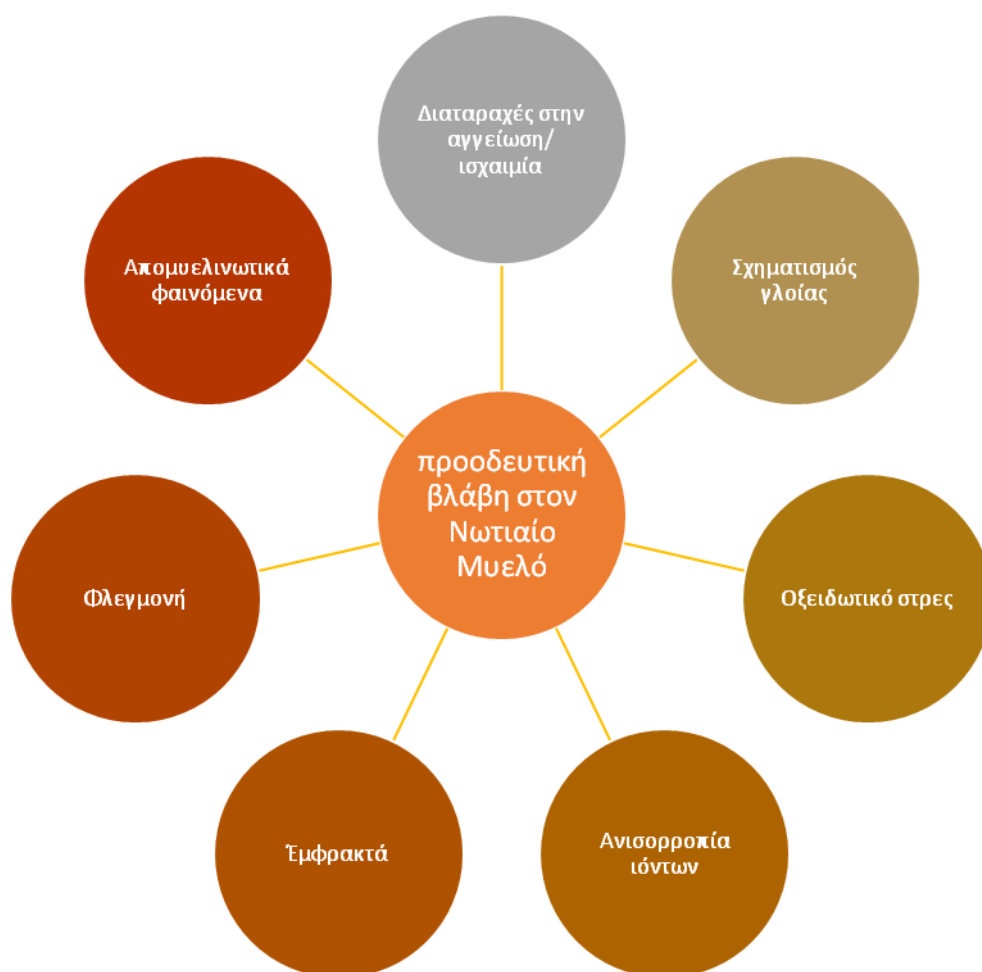
2.2.1 Πρωτογενείς κακώσεις

Οι κακώσεις του νωτιαίου μυελού συνηθέστερα προκύπτουν μετά από ένα οξύ, τραυματικό γεγονός, το οποίο προκαλεί ρήξη των ιστών ή εξάρθρωσή τους. Η πρωτογενής αιτία του τραυματισμού είναι η μηχανική δύναμη που επιδρά στην σπονδυλική στήλη, η οποία έχει ικανή ισχύ για να προκαλέσει κάταγμα στους σπονδύλους και πιθανώς αυτό να είναι αποσπαστικό, να τραυματίσει τον μεσοσπονδύλιο δίσκο ή και να προκαλέσει ρήξη των παρακείμενων συνδέσμων (Alizadeh et al, 2019). Η εξωτερική βία, επομένως, μπορεί να προκαλέσει θλάση, διάσχιση ή ακόμα και διατομή στους μαλακούς ιστούς. Ο πιο συχνός τύπος κάκωσης περιλαμβάνει την αρχική βλάβη σε συνδυασμό με συνεχιζόμενη πίεση στην περιοχή, που συνήθως προκύπτει από την ύπαρξη οστικών θραυσμάτων στην περιοχή ή συνδυάζεται με κάταγμα και εξάρθρωμα των σπονδύλων. Η αρχική βλάβη με παροδικά συμπτωτικά φαινόμενα παρατηρείται σπανιότερα και οφείλεται κυρίως σε τραυματισμούς λόγω υπερέκτασης (Walker & Detloff, 2021).

Ανεξάρτητα από την αιτία της πρωτοπαθούς κάκωσης, οι δυνάμεις που ασκούνται στα μαλακά μόρια μετά από τραυματισμό, βλάπτουν τις ανιούσες και κατιούσες νευρικές οδούς του νωτιαίου μυελού και διαταράσσουν τα αγγεία και τις κυτταρικές μεμβράνες όλων των παρακείμενων ιστών, και μπορεί να οδηγήσουν σε ρήξη των κυτταρικών μεμβρανών των μαλακών μορίων (νευρικός ιστός, αγγεία). Η αιμορραγία στην περιοχή μπορεί να εντοπιστεί εντός της φαιάς ουσίας του νωτιαίου μυελού, η οποία παρουσιάζει αυξημένο κίνδυνο λόγω της αγγειοβρίθειάς της (Alizadeh et al, 2019; Figley et al, 2014). Αυτά τα συμβάματα μπορούν να προκαλέσουν νωτιαίο σοκ, δηλαδή πλήρη απώλεια της λειτουργικότητας από το επίπεδο της βλάβης και κάτω, συστημακή υπόταση, αγγειόσπασμο, ισχαιμία, ανισορροπία ιόντων και συσσώρευση νευροδιαβιβαστών στις νευρικές συνάψεις. Μέχρι και σήμερα, η θεραπεία εκλογής για τον περιορισμό της καταστροφής των ιστών μετά από πρωτογενή τραυματισμό της σπονδυλικής στήλης και την αποφυγή των επιπλοκών είναι η χειρουργική αποσυμπίεση της περιοχής, εντός 24 ωρών από τη στιγμή του συμβάματος (Wilson et al, 2017). Ο λόγος που προτείνεται η άμεση χειρουργική επέμβαση είναι γιατί τα απομυελινωτικά φαινόμενα ξεκινούν περίπου ένα 24ωρο μετά την βλάβη. Η έκταση της πρωτογενούς βλάβης καθορίζει, εν πολλοίς, την σοβαρότητα της κάκωσης της σπονδυλικής στήλης και οριοθετεί εξαρχής την κλινική εικόνα (Alizadeh et al, 2019).

2.2.2 Δευτερογενείς βλάβες συνέπεια κάκωσης νωτιαίου μυελού

Οι δευτερογενείς βλάβες ξεκινούν μόλις μερικά λεπτά μετά την πρωτογενή κάκωση και μπορούν να συνεχιστούν για εβδομάδες ή μήνες, προκαλώντας προοδευτική καταστροφή των ιστών γύρω από το σημείο της αρχικής βλάβης. Οι δευτερογενείς βλάβες είναι αποτέλεσμα των κυτταρικών, μοριακών και βιοχημικών φαινομένων που συνεχίζουν να καταστρέφουν τους ιστούς της σπονδυλικής στήλης και εμποδίζουν την νευρολογική ανάρρωση, μετά από κάκωση του νωτιαίου μυελού (Wilson et al, 2011) (εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Παθοφυσιολογικά φαινόμενα που προκρίνουν την περαιτέρω βλάβη στον Νωτιαίο Μυελό. Τροποποιημένο από: Alizadeh et al, 2019

Το πρώτο αποτέλεσμα του τραυματισμού της σπονδυλικής στήλης είναι ο κυτταρικός θάνατος, λόγω της καταστροφής των αγγείων, της ανισορροπίας των ιόντων στην περιοχή, της συσσώρευσης νευροδιαβιβαστών, που έχουν κυτταροτοξική δράση σε μεγάλες

συγκεντρώσεις, του σχηματισμού ελευθέρων ριζών, την παρουσία φλεγμονής και τέλος οιδήματος. Στην υποξεία φάση, ξεκινάει η απόπτωση των κυττάρων, η απομυελίνωση των νευραξόνων, η δευτερογενής εκφύλιση (κατά Waller)¹ και η δημιουργία ουλώδους ιστού γύρω από το σημείο του τραυματισμού. Στην χρόνια φάση, πλέον, εμφανίζονται κύστες στην περιοχή και η παρουσία του ουλώδη ιστού ενισχύεται (Alizadeh et al, 2015).

¹ Περαιτέρω εκφύλιση των περιφερικών τμημάτων των κατεστραμμένων νευραξόνων

Κεφάλαιο 3. Ταξινόμηση και κλινική εκτίμηση του ασθενούς με κάκωση νωτιαίου μυελού

3.1 Ταξινόμηση

Το αξιολογητικό εργαλείο ASIA (American Spinal Injury Association- Scoring System) είναι το πιο διαδεδομένο εργαλείο στην κλινική πράξη για την ταξινόμηση και αξιολόγηση των κακώσεων νωτιαίου μυελού. Η κλίμακα αναπτύχθηκε το 1984 από την Αμερικανική Εταιρία Κακώσεων Νωτιαίου Μυελού και έχει επικαιροποιηθεί αρκετές φορές για να βελτιωθεί η αξιοπιστία της (Παράρτημα Ι). Σε αυτό το σύστημα η αισθητικότητα βαθμολογείται από 0 έως 2 και η κινητικότητα από 0 έως 5 (Michael Fehlings et al, 2013). Το Σκορ Ανικανότητας ASIA (ASIA Impairment Score/ AIS) έχει εύρος από πλήρη απώλεια αισθητικότητας και κινητικότητας (AIS= A) έως φυσιολογική νευρολογική λειτουργία (AIS= E). Ακολουθεί ο πίνακας 3.1, που περιγράφει αναλυτικά τις πέντε κατηγορίες

Ταξινόμηση ASIA	Κινητικότητα και Αισθητικότητα
ASIA A	Πλήρης: δεν παρατηρείται αισθητικότητα και κινητικότητα στα ιερά μυελοτόμια (I4-I5)
ASIA B	Ατελής αισθητικότητα, με διατήρηση της αίσθησης στα ιερά δερμότομια I4-I5 (άγγιγμα, νύξη από κεφαλή καρφίδος ή εν τω βάθει πίεση πρωκτού), αλλά απώλεια της κινητικότητας 3 επίπεδα κάτω από το επίπεδο της βλάβης αμφοτερόπλευρα
ASIA C	Ατελής κινητική κάκωση, όπου διατηρείται η κινητικότητα κάτω από το επίπεδο της βλάβης, αλλά >50% των μυών-κλειδιών κάτω από το επίπεδο της βλάβης βαθμολογούνται κάτω από 3
ASIA D	Ατελής κινητική κάκωση, με διατήρηση της κινητικότητας των κάτω από το επίπεδο της βλάβης, με το >50% των μυών να βαθμολογούνται πάνω από 3
ASIA E	Κατά φύσιν αισθητική και κινητική λειτουργία

Πίνακας 3.1 Ταξινόμηση της κάκωσης νωτιαίου μυελού, σύμφωνα με το AIS. Τροποποιημένο από: Kirschblum et al, 2011

Οι μύες- κλειδιά για το κάθε επίπεδο είναι: καμπτήρες αγκώνα (A5), εκτείνοντες καρπού (A6), εκτείνοντες αγκώνα (A7), καμπτήρες δακτύλων- τελική φάλαγγα μέσου δακτύλου (A8), απαγωγοί δακτύλων- μικρό δάκτυλο (Θ1), καμπτήρες ισχίου (O2), εκτείνοντες γονάτων (O3), ραχιαίοι καμπτήρες ποδοκνημικών (O4), μακροί εκτείνοντες δακτύλων (O5) και πελματιαίοι καμπτήρες ποδοκνημικής (I1) (Kirschblum et al, 2011).

Για τον καθορισμό της βαθμολογίας AIS ακολουθούνται συγκεκριμένα βήματα:

1. Αξιολόγηση αισθητικών επιπέδων αμφοτερόπλευρα
2. Αξιολόγηση κινητικών επιπέδων αμφοτερόπλευρα. Όπου δεν υπάρχει μυοτόμιο, το κινητικό επίπεδο καθορίζεται από το αντίστοιχο αισθητικό, με την προϋπόθεση ότι η κινητικότητα είναι κατά φύσιν πάνω από το συγκεκριμένο επίπεδο
3. Καθορισμός του νευρολογικού επιπέδου της βλάβης
4. Καθορισμός ατελούς ή πλήρους βλάβης
5. Τελική βαθμολογία AIS

(ASIA, 1992).

3.2 Η κλινική εκτίμηση

Εκτός της κλίμακας ASIA, γίνεται κλινική συνεκτίμηση και άλλων σημείων, όπως είναι ο πόνος, το οίδημα, τυχόν εκχυμώσεις, ευαισθησία στις ακανθώδεις αποφύσεις, η παρουσία υπότασης- βραδυκαρδίας, η παράδοση αναπνοή, διαταραχές στην θερμορύθμιση και εφίδρωση (Κορρές, 1999).

Επίσης, είναι σημαντικό η κλινική εκτίμηση να λαμβάνει υπόψιν της το ενδεχόμενο νωτιαίου shock (Bartleson & Gordon Deen, 2011). Η μέγιστη διάρκεια του νωτιαίου shock είναι 3 εικοσιτετράωρα, μετά την παρέλευση των οποίων μπορεί να γίνει αντικειμενική αξιολόγηση για το αν η βλάβη είναι ατελής ή πλήρης. Η λήξη του σοκ σημαίνεται με την επιστροφή του βολβοσυραγγώδους αντανακλαστικού και του αντανακλαστικού του έξω σφιγκτήρα.

Η έρευνα των Naka et al (2022) συσχέτισε την επίπτωση της βλάβης στην εν τω βάθει αισθητικότητα των κάτω άκρων με την ικανότητά τους για βάδιση, μετά από ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού. Στα συμπεράσματά τους αναφέρουν ότι οι βλάβες στην εν τω βάθει αισθητικότητα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ικανότητα για ανεξάρτητη βάδιση. Επομένως, σε ασθενείς που έχουν υποστεί ατελή κάκωση νωτιαίου

μυελού, πρέπει να αξιολογείται και αυτή η παράμετρος, πριν ξεκινήσουν πρόγραμμα επανεκπαίδευσης βάρδισης.

Κεφάλαιο 4. Νευροπλαστικότητα και Αποκατάσταση μετά από κακώσεις Νωτιαίου Μυελού στην Αυχενική Μοίρα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, οι αρνητικές συνέπειες ενός τραυματισμού στον νωτιαίο μυελό δεν απορρέουν αποκλειστικά από την βλάβη στην φαιά και λευκή ουσία. Οι νευρώνες που έχουν νεκρωθεί ή βρίσκονται σε διαδικασία νέκρωσης ενεργοποιούν το ανοσοποιητικό σύστημα, το οποίο στέλνει μακροφάγα και μικρογλοία στην περιοχή για να απομακρύνουν τα νεκρά κύτταρα, τα οποία παραμένουν επί μακρόν στην περιοχή, ακόμα και όταν ολοκληρώσουν τον σκοπό τους, πυροδοτώντας έτσι μία σειρά από φλεγμονώδεις αντιδράσεις, οι οποίες με τη σειρά τους είναι υπεύθυνες για τις δευτερογενείς βλάβες, που προκύπτουν μετά από έναν τραυματισμό (Walker & Detloff, 2021; Chhaya et al, 2019). Σε μία προσπάθεια να περιοριστούν οι δευτερογενείς βλάβες, ο οργανισμός ενεργοποιεί τα αντιδρώντα αστροκύτταρα, τα οποία περιορίζουν τη φλεγμονή και κατ' επέκταση την περιοχή της βλάβης με τον σχηματισμό νευρογλοίας (Tran et al, 2021). Αυτός ο φραγμός, όμως, που δημιουργείται από την νευρογλοία μπορεί ταυτόχρονα να περιορίσει την αναγέννηση των νευραξόνων, εμποδίζοντας την ανάπτυξη των νευρώνων, την ωρίμανση των ολιγοδεντροκυττάρων και την προσπάθεια επαναμυελίνωσης (Tran et al, 2018; Walker & Detloff, 2021).

Οι τραυματισμοί του νωτιαίου μυελού επιφέρουν δομικές αλλαγές, οι οποίες προκαλούν την αντίδραση του οργανισμού, αρχικά με την προσπάθεια αναγέννησης, όσο και με την αναδιοργάνωση των συνάψεων και των νευρωνικών κυκλωμάτων που έχουν διασωθεί. Αν η βλάβη είναι τέτοια που υπάρχει διάκενο μεταξύ των δύο άκρων του νεύρου, τότε υπάρχει η πιθανότητα αξονικής εκβλάστησης (sprouting). Ένας και μόνο άξονας μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλές παράπλευρες εκβλαστήσεις, εκ των οποίων λίγες θα είναι αυτές που θα καταφέρουν να διαπεράσουν τη ζώνη τραυματισμού, αν αυτό είναι εφικτό λόγω της έκτασης της βλάβης. Παράλληλα, ο οργανισμός προσπαθεί να αναδιοργανώσει λειτουργικά τις υφιστάμενες συνάψεις. Η αυτόματη αυτή αντίδραση του οργανισμού στη βλάβη μπορεί να οδηγήσει τόσο σε λειτουργικές προσαρμογές όσο και σε δυσπροσαρμοστικότητα, παραδείγματα της οποίας είναι η σπαστικότητα, η δυσαντανεκλαστικότητα και ο νευροπαθητικός πόνος. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, όμως, η αυτόματη αναδιοργάνωση μπορεί να αποκαταστήσει την λειτουργικότητα μετά από ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του συνδρόμου Brown- Séquard (μονόπλευρη ημιδιατομή) παρά την μόνιμη απώλεια φυγόκεντρων νευρικών ινών (O' Shea et al, 2017).

4.1 Πλαστικότητα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος

Η νευροπλαστικότητα ορίζεται ως η ικανότητα για αλλαγές, τόσο σε λειτουργικό όσο και ανατομικό επίπεδο του νευρικού συστήματος, ως απάντηση σε ερεθίσματα εκπαίδευσης/ επανεκπαίδευσης ή ως απάντηση σε βλάβη (Walker & Detloff, 2021). Η διαδικασία της νευροπλαστικότητας περιλαμβάνει αδρά τη δημιουργία ή απόρριψη συνάψεων έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η συναπτική αποτελεσματικότητα, και είναι η κινητήριος δύναμη πίσω από την εκμάθηση, τη μνήμη και την ποιοτική βελτίωση του κινητικού ελέγχου. Μέχρι πρόσφατα επικρατούσε η άποψη ότι οι συνάψεις αλλάζουν μόνο κατά την διάρκεια της νευροαναπτυξιακής διαδικασίας, θεωρώντας ότι τα νευρωνικά κυκλώματα των ενηλίκων είναι σταθερά και δεν τροποποιούνται. Πλέον, η έρευνα έχει αποδείξει ότι το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα προβαίνει σε τροποποιήσεις και στους ενήλικες, ειδικά μετά από τραυματισμό (Jackman & Rehger, 2017).

Η νευροπλαστικότητα σχετίζεται με την ενδυνάμωση και αποδυνάμωση των συνάψεων, η οποία προκύπτει ως απόκριση στα εισερχόμενα ερεθίσματα, αλλά και με τον χρόνο που συμβαίνουν αυτές οι αλλαγές. Έτσι, σήμερα είναι γνωστό ότι η ικανότητα για νευροπλαστικότητα εξαρτάται από την σύνθεση των προ- και μετά- συναπτικών περιοχών (Jackman & Rehger, 2017). Οι νέες συνάψεις που συντελούν στην παροδική (transient) ευόδωση ενός ερεθίσματος, αν αποδειχθούν λειτουργικές ενδυναμώνονται περαιτέρω, ώστε να απαιτούν μικρότερο ερέθισμα για να μεταφέρουν το δυναμικό ενέργειας, συντελώντας έτσι σε αυτό που ονομάζεται μακροχρόνια πλαστικότητα (longer-lasting plasticity) (Herring & Nicoll, 2016) (εικόνα 4.1).

Όπως γίνεται κατανοητό, όσο μικρότερη είναι η έκταση της βλάβης, τόσο μεγαλύτερα αναμένονται να είναι τα αποτελέσματά της πλαστικότητας μέσα από την αποκατάσταση. Επομένως, μετά από ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα μέσω της αποκατάστασης, σε σχέση με αντίστοιχη πλήρη κάκωση σε αντίστοιχο νωτιαίο επίπεδο.



Εικόνα 4.1: Η επίδραση των ερεθισμάτων στην νευροπλαστικότητα, από την βραχυχρόνια ευόδωση στην συναπτογένεση. Αντιθέτως, η διαδρομή μίας συνάψης που δεν δέχεται ερεθίσματα, οδηγεί το νεύρο σε απόπτωση. Τροποποιημένο από: Walker & Detloff, 2021.

4.2 Θεραπευτικές στρατηγικές αποκατάστασης της βάρδισης μετά από Ατελή Κάκωση Αυχενικής Μοίρας Νωτιαίου Μυελού

Η πλαστικότητα του ΚΝΣ είναι ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του, εφόσον χάρη σε αυτό είναι δυνατή η επανεκμάθηση και ανάρρωση μετά από κάκωση. Χωρίς, όμως, την καθοδήγηση της πλαστικότητας από την Αποκατάσταση, δηλαδή η επιλογή συγκεκριμένων και στοχευμένων ερεθισμάτων για την ενδυνάμωση των κατάλληλων συνάψεων, η πιθανότητα για λειτουργική αποκατάσταση είναι σαφώς μειωμένη (Walker & Detloff, 2021). Οι παρεμβάσεις αποκατάστασης μελετώνται για την επίδρασή τους πάνω στην λειτουργικότητα και επομένως για τις δομικές αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν στην σπονδυλική στήλη μετά από τραυματισμό. Οι αλλαγές αυτές δεν προκύπτουν απλά μέσω της κίνησης, αλλά εξαρτώνται άμεσα από την λειτουργική δραστηριότητα, δηλαδή δεν επαρκεί η μυϊκή σύσπαση, αλλά απαιτείται συνδυασμός λειτουργικών κινήσεων για την επίτευξη συγκεκριμένης δράσης, όπως είναι η βάρδιση ή οι Δραστηριότητες Καθημερινής Ζωής (ΔΚΖ) για να γίνει καταγραφή στο ΚΝΣ (Field- Fote, 2015). Με την κίνηση του σώματος για την επίτευξη κινητικών δραστηριοτήτων, η σπονδυλική στήλη λαμβάνει ερεθίσματα

σχετικά με την ποιότητα της κίνησης από τους αισθητικούς νευρώνες του δέρματος, των μυών και των αρθρώσεων. Οι νευρώνες του οπισθίου κέρατος λαμβάνουν αυτά τα ερεθίσματα από την περιφέρεια και προωθούν ή απορρίπτουν νέες συνάψεις. Επιπλέον, η διαδικασία ελέγχεται μέσω ανατροφοδότησης από κέντρα υψηλότερα του νωτιαίου μυελού, τα οποία είναι συνυπεύθυνα για την ποιότητα της κίνησης (παρεγκεφαλίδα, βασικά γάγγλια, κινητικός φλοιός κ.α.) (Walker & Detloff, 2021; Yang et al. 2020).

Οι κύριες θεραπευτικές στρατηγικές, μέχρι στιγμής, για την λειτουργική αποκατάσταση των ατελών κακώσεων αυχενικής μοίρας νωτιαίου μυελού είναι η θεραπευτική άσκηση με την χρήση αναρτήσεων ή εξωσκελετών, ο ηλεκτρικός ερεθισμός και το προσφάτως αναδυόμενο πεδίο της χρήσης της τεχνολογίας για την διεπαφή εγκεφάλου- υπολογιστή (Brain-Computer Interface/BCI). Η άσκηση μπορεί να βελτιώσει την λειτουργικότητα των κινητικών νευρώνων της σπονδυλικής στήλης και να αναδιαμορφώσει τον εγκεφαλικό φλοιό, αυξάνοντας την νευρική δραστηριότητα συγκεκριμένων νευρώνων, οδηγώντας έτσι στην ενδυνάμωση συγκεκριμένων νευρικών μονοπατιών (Takeoka et al, 2014; Gollie et al, 2016). Ο ηλεκτρικός ερεθισμός μπορεί να ρυθμίσει τη διεγερσιμότητα των σπονδυλικών κυκλωμάτων, να βοηθήσει τη μυϊκή ενδυνάμωση και να προωθήσει την διαδικασία της πλαστικότητας (Arpin et al, 2019; Wagner et al, 2018). Η διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή, τέλος, βρίσκεται υπό διερεύνηση για την δυνατότητα που ενδεχομένως παρέχει στο να μεταφράζεται η εγκεφαλική δραστηριότητα σε κίνηση (Yang et al, 2020).

Στην παρούσα εργασία θα γίνει μία προσπάθεια αξιολόγησης των θεραπευτικών στρατηγικών αποκατάστασης που ακολουθούνται από τον κλάδο της φυσικοθεραπείας για τη βελτίωση της βάδισης σε ασθενείς που έχουν υποστεί ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού στο επίπεδο της αυχενικής μοίρας. Το επίκεντρο της φυσικοθεραπευτικής προσπάθειας είναι η καθοδήγηση της διαδικασίας της νευροπλαστικότητας, με σκοπό την καλύτερη δυνατή λειτουργική έκβαση του ασθενή.

4.2.1 Θεραπευτική Άσκηση

Η θεραπευτική άσκηση μπορεί να μειώσει τους ρυθμούς απόπτωσης, να προωθήσει την αναγέννηση των νευρώνων, να μειώσει τη φλεγμονή και να αυξήσει τις λειτουργίες εκείνες της σπονδυλικής στήλης που δεν έχουν θιγεί από την κάκωση (Cote et al, 2017). Επιπλέον, η άσκηση μπορεί να μειώσει το μέγεθος μίας ενδεχόμενης συριγγομυελίας και

την επιφάνεια της γλοίας, αυξάνοντας έτσι τη δυνατότητα ανάπτυξης των αξόνων, την αναδιαμόρφωση των συνάψεων και τη διαδικασία μυελίνωσης των αξόνων (Guo et al, 2020). Η άσκηση μπορεί να επιδράσει στα μέρη του νωτιαίου μυελού και τους μύες που δεν έχουν θιγεί και να προωθήσει την αναδιαμόρφωση των νευρωνικών κυκλωμάτων, έτσι ώστε να επιτευχθεί λειτουργική κίνηση (Asboth et al, 2018). Θεωρείται, μάλιστα, ότι η διατήρηση της λειτουργίας των σκελετικών μυών μπορεί να ρυθμίσει τη φυσιολογική μεταβολική λειτουργία των νευρώνων της σπονδυλικής στήλης και να έχει θετική κεντρομόλο επίδραση στον εγκεφαλικό φλοιό (Fu et al, 2016).

Οι τεχνικές παρέμβασης ξεκινούν αμέσως μετά την εισαγωγή στο νοσοκομείο και στην οξεία φάση έχουν κύριο στόχο την αποτροπή συγκάμψεων, τη διατήρηση του εύρους κίνησης και της αναπνευστικής ικανότητας. Έρευνες έχουν δείξει ότι η πρώιμη κινητοποίηση, συμπεριλαμβανομένων διατάσεων, παθητικών και ενεργητικών ασκήσεων (ανάλογα με το επίπεδο της κάκωσης), επιδρά θετικά στην πνευμονική λειτουργία όσο και στην μυϊκή ενδυνάμωση. Για το λόγο αυτό, στην οξεία φάση, η άσκηση θα πρέπει να εκτελείται κοντά στα επίπεδα αντοχής του ασθενή για να έχει τα μέγιστα αποτελέσματα (Nas, 2015). Στην υποξεία και χρόνια φάση, η προσπάθεια επικεντρώνεται στην κατά το δυνατόν ανεξάρτητη μετακίνηση. Για τους ασθενείς με ατελή κάκωση A4-A8, ακόμα και η ανεξάρτητη μεταφορά από το κρεβάτι στο αμαξίδιο αποτελεί μία δοκιμασία, επομένως η επανεκπαίδευση της βάδισης απαιτεί εξελιγμένο εξοπλισμό. Ακόμα, όμως, και η χρήση αυτού του εξοπλισμού απαιτεί από τον ασθενή να διατηρεί το βάρος του σε φυσιολογικά επίπεδα, να αυξήσει την αεροβική του ικανότητα και να αυξήσει την μυϊκή του μάζα (Nas, 2015).

Διερευνώνται, επίσης εναλλακτικές στις κλασικές μεθόδους ενδυνάμωσης, όπως είναι η χρήση δονήσεων για την βελτίωση της σπαστικότητας (In et al, 2018), αλλά και η χρήση θεραπευτικών δεξαμενών, στις οποίες η άσκηση βοηθά στο να ελαττώνεται σημαντικά το φορτίο που πέφτει στα κάτω άκρα (Marinho-Buzelli et al, 2019).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ανοίξει τον δρόμο για νέες εφαρμογές στο πεδίο της αποκατάστασης της βάδισης σε ασθενείς με κάκωση αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού, με στόχο την επίτευξη ασφαλούς και ανεξάρτητης μετακίνησης χωρίς αμαξίδιο. Για τους ασθενείς αυτούς τα απλά ορθοτικά μέσα δεν επαρκούν και απαιτείται η χρήση ρομποτικής τεχνολογίας. Τα ρομποτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε εξωσκελετούς που προσαρτώνται σε ένα σταθερό σημείο, πάνω από έναν διάδρομο βάδισης και σε εξωσκελετούς που μπορούν να φορεθούν και να

υποβοηθήσουν την βάρδια οπουδήποτε. Οι σταθεροί εξωσκελετοί, όπως είναι το Lokomat, προγραμματίζονται για τη βάρδια σε έναν διάδρομο, όπου τα ρομποτικά μέλη διευκολύνουν την κίνηση των ισχίων και των γονάτων και μέρος του βάρους του ασθενή συγκρατείται μέσω ανάρτησης. Αντίθετα, οι κινητοί εξωσκελετοί υποστηρίζουν τους ασθενείς στην επανεκπαίδευση της όρθιας θέσης, των μεταφορών βάρους και του βηματισμού σε διαφορετικές επιφάνειες, ακόμα και σκάλες. Η επιλογή του καταλληλότερου εξωσκελετού σχετίζεται με το επίπεδο της βλάβης και των συνεπαγόμενων θεραπευτικών στόχων που έχει η ομάδα αποκατάστασης για τον ασθενή. Σε ασθενείς με ατελή κάκωση αυχενικής μοίρας νωτιαίου μυελού, κατά κύριο λόγο, προκρίνεται η χρήση σταθερών ρομποτικών συστημάτων (Zhang et al, 2022; Tester et al, 2011; Hwang et al, 2017, Evans et al, 2021).

4.2.2 Ηλεκτρικός Ερεθισμός

Ο ηλεκτρικός ερεθισμός μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση των αξόνων και στον σχηματισμό μυελίνης (Liang et al, 2019) και να διεγείρει τους νευρώνες έτσι ώστε να προκληθεί μυϊκή σύσπαση (James et al, 2018). Η ουδός διέγερσης των νευρωνικών κυκλωμάτων ρυθμίζεται από τον ηλεκτρικό ερεθισμό, όπως είναι ο Επισκληρίδιος Ηλεκτρικός Ερεθισμός (Epidural Electrical Stimulation/EES), ο Λειτουργικός Ηλεκτρικός Ερεθισμός (Functional Electrical Stimulation/ FSE) και ο Διαδερμικός Ερεθισμός της Σπονδυλικής Στήλης (Transcutaneous Spinal Cord Stimulation/ tSCS) (Taccola et al, 2020; Cikajlo & Baid, 2003). Μία κλινική μελέτη ανέφερε ότι ο EES μπορεί να προάγει την ανάρρωση του κιναισθητικού δικτύου της σπονδυλικής στήλης μετά από κάκωση νωτιαίου μυελού, με το να παράγει συντονισμένη και αρκετά ισχυρή ηλεκτρική δραστηριότητα στους μυς που εμπλέκονται στην στάση και στη βάρδια (Gill et al, 2018). Σε μία άλλη κλινική μελέτη, ο EES κατάφερε να επανενεργοποιήσει τον εκούσιο έλεγχο της κίνησης σε ασθενείς με βαριά κλινική εικόνα μετά από κάκωση νωτιαίου μυελού (Wagner et al, 2018). Τέλος, ο tSCS είναι μία καινούργια θεραπευτική προσέγγιση, που μπορεί να διεγείρει τον νωτιαίο μυελό μέσω του δέρματος. Σε πρόσφατη μελέτη, οι Inanici et al (2018), αναφέρουν ότι χρησιμοποίησαν αυτή τη μέθοδο για να πάρουν κινητικότητα και αισθητικότητα στο άνω άκρο γηριατρικού ασθενή με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού, κάτι που δίνει ελπίδα για χρήση του στην προαγωγή της νευροπλαστικότητας, ακόμα και στον γηριατρικό πληθυσμό.

4.2.3 Διεπαφή εγκεφάλου- υπολογιστή

Με την πρόοδο της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, έχει ανοίξει το πεδίο της έρευνας για την χρήση προηγμένων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η λειτουργία των

συγκεκριμένων συστημάτων στηρίζεται στην καταγραφή των εγκεφαλικών κυμάτων (μέσω εγκεφαλογραφήματος) και την αποκωδικοποίησή τους από έναν υπολογιστή, ο οποίος κάνει την αντιστοίχιση μέσω αλγορίθμου, στην κίνηση που θα ήθελε ο ασθενής να κάνει. Στη συνέχεια, ο υπολογιστής στέλνει το κατάλληλο σήμα είτε σε ρομποτικά συστήματα είτε στους ίδιους τους μύες, μέσω ηλεκτροδίων, για να προκαλέσει την επιθυμητή κίνηση (Li et al, 2021; Chung et al, 2020).

Αν και στον βαθμό που μπορούμε να γνωρίζουμε, δεν έχει δημοσιευτεί κάποια έρευνα που να αφορά τη χρήση αυτής της τεχνολογίας για την επανεκπαίδευση της βάδισης σε άτομα που έχουν υποστεί κάκωση νωτιαίου μυελού, και άρα δεν εξυπηρετείται ο σκοπός της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης, εν τούτοις υπάρχουν αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές για ασθενείς με ΑΕΕ. Τα αποτελέσματά τους είναι ενθαρρυντικά, γεγονός που ίσως σημάνει την διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας και σε άλλες κατηγορίες ασθενών με παθήσεις του ΚΝΣ.

Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία

5.1 Αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας

Πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων MEDLINE, PEDro και GoogleScholar, από 5 Μαΐου 2022 μέχρι 15 Ιουνίου 2022 για δημοσιεύσεις σχετικών κλινικών δοκιμών. Οι όροι της αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν “Incomplete Cervical Spinal Cord Injury” AND “Gait Training” OR “Rehabilitation” OR “Exoskeletal assisted walking” OR “Lokomat” OR “Robot- assisted gait training”.

5.2 Επιλογή των άρθρων

Έγινε διαλογή και διαχωρισμός των όμοιων άρθρων (διπλότυπα). Στην συνέχεια διαβάστηκαν οι τίτλοι των άρθρων και οι διαθέσιμες περιλήψεις για τον καθορισμό της συνάφειας με το θέμα της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης. Με βάση αυτήν την διαλογή, επιλέχθηκαν μελέτες οι οποίες ήταν σχετικές με το θέμα και ήταν τυχαιοποιημένες και τουλάχιστον απλές τυφλές (οι ασθενείς των ομάδων διαχωρίστηκαν με τυχαίο τρόπο στις ομάδες παρέμβασης και ελέγχου).

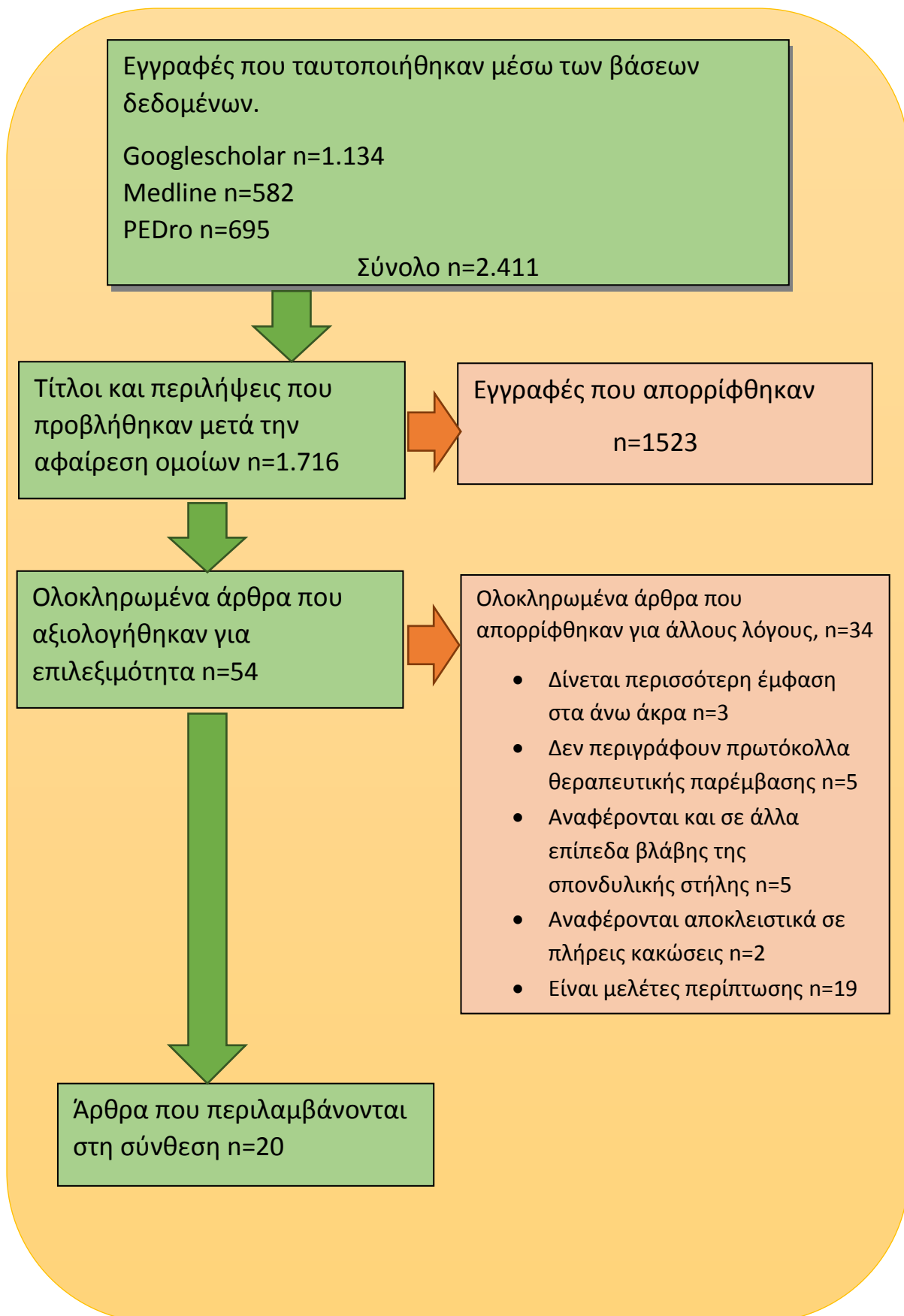
Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα φίλτρα στις μηχανές αναζήτησης των παραπάνω βάσεων δεδομένων για να τεθεί ένα χρονικό όριο και να εμφανίζονται μόνο τα άρθρα που είναι δημοσιευμένα στα αγγλικά. Το χρονικό όριο που επιλέχθηκε είναι η έκδοσή τους σε περιοδικό τα τελευταία 15 χρόνια. Επιλέχθηκαν μόνο RCTs (τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες-randomized control trials). Μη τυχαιοποιημένες μελέτες αποκλείστηκαν.

Μετά την ανάγνωση των περιλήψεων των μελετών, επιπλέον αποκλείστηκαν μελέτες που δεν αφορούσαν το επιλεγμένο επίπεδο κάκωσης του νωτιαίου μυελού ή που οι αναφερόμενες κακώσεις ήταν πλήρεις καθώς και δημοσιεύσεις πρωτοκόλλων ερευνών. Αποκλείστηκαν δημοσιεύσεις που αφορούσαν σε μελέτες περίπτωσης (case studies) ή σε σειρά μελετών περίπτωσης (case series).

Στις μελέτες που επιλέχθηκαν, ο πληθυσμός ήταν ενήλικες (>18 ετών) με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού αυχενικής μοίρας. Εξαιρέθηκαν, επίσης μελέτες που αφορούσαν ζώα (1) και μελέτες που έκαναν σύγκριση χειρουργικής και συντηρητικής προσέγγισης στην αποκατάσταση (1). Ο λόγος που αποκλείστηκε αυτή η τελευταία μελέτη είναι ότι δεν γίνεται καμία αναφορά στο πρωτόκολλο συντηρητικής αποκατάστασης των ασθενών.

Το διάγραμμα ροής της επιλογής των μελετών, απεικονίζεται παρακάτω:



5.3 Διαχείριση δεδομένων και αξιολόγηση της ποιότητας των μελετών

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την αποδελτίωση των μελετών, σημειώθηκαν και σταχυολογήθηκαν ως προς τα παρακάτω: πληθυσμός, μέγεθος του δείγματος, επίπεδο βλάβης, είδος παρέμβασης ανά ομάδα, πιθανή μεροληψία κατά την διεξαγωγή της μελέτης, αποτελέσματα μεταξύ των ομάδων.

Για την αξιολόγηση της εγκυρότητας των μελετών χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα PEDro (Physiotherapy Evidence Database). Η PEDro προτείνει αξιολόγηση των ερευνών να γίνεται από τουλάχιστον δύο αξιολογητές, αλλά στην παρούσα εργασία η αξιολόγηση έγινε μόνο από τον συγγραφέα. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της εσωτερικής εγκυρότητας των μελετών της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1: Αξιολόγηση της εσωτερικής εγκυρότητας/ ποιότητας μελετών PEDro												
Κριτήρια Κλίμακας	Κριτήρια οριοθέτησης	Τυχαία Κατανομή	Κρυφή Κατανομή	Ομοιογένεια	Απλή Τυφλή (Ασθενείς)	Τυφλοί Θεραπευτές	Τυφλή Αξιολόγηση	Επαναξιολόγηση >85% των ασθενών	Θεραπεία όλων των ασθενών με "Intention to treat"	Σύγκριση μεταξύ των ομάδων	Μεταβλητότητα	ΣΥΝΟΛΟ
Μελέτη												
Alcobendas et al, 2012	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
Alexeeva et al, 2011	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	NAI	NAI	8
Edwards et al, 2022	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
Esclarin-Ruz et al, 2014	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
Evans et al, 2021	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	7
Gollie et al, 2017	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	NAI	5
Gollie et al, 2020	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	NAI	5
Hong et al, 2020	NAI	NAI	OXI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
Hwang et al, 2017	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	6
In et al, 2018	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	10

Kim et al, 2021	NAI	NAI	OXI	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	NAI	6
Labruyere et al, 2014	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	10
Lam et al, 2015	OXI	NAI	OXI	NAI	NAI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
McIntosh et al, 2019	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
Senthilvelkumar et al, 2015	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	9
Shackleton et al, 2021	NAI	NAI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	9
Tang et al, 2014	NAI	NAI	OXI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8
Tester et al, 2011	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	7
van Dijsseldonk et al, 2018	NAI	OXI	OXI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	6
Varoqui et al, 2014	NAI	NAI	OXI	NAI	OXI	OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	8

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

Οι 20 μελέτες της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης εστιάζουν στις σύγχρονες μεθόδους επανεκπαίδευσης βάδισης μετά από ατελή κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού. Το σύνολο των ασθενών που συμπεριλήφθηκαν είναι 528 και οι τύποι των μελετών είναι 13 τυχαιοποιημένες κλινικές δοκιμές με ομάδα ελέγχου και 7 κλινικές δοκιμές με δείγμα ευκολίας, οι οποίες είχαν ένα πρωτόκολλο το οποίο δοκιμάστηκε σε όλους τους ασθενείς της κάθε μελέτης και οι ερευνητικές παράμετροι μετρήθηκαν στην αρχή και το τέλος της κάθε δοκιμής.

Οι 13 μελέτες αφορούν σε δοκιμές με εξωσκελετό, είτε αυτός είναι σταθερός και εφαρμόζεται για βάδιση σε διάδρομο (πχ. Lokomat), είτε πρόκειται για δυναμικό αυτόνομο σκελετό που μπορεί να κινηθεί στο έδαφος. Τρεις δοκιμές αφορούν στην μελέτη των αναρτήσεων, είτε αυτές είναι σταθερές και η βάδιση γίνεται σε διάδρομο, είτε πρόκειται για σύστημα το οποίο επιτρέπει την κίνηση σε προεπιλεγμένη διαδρομή στο έδαφος. Μια μελέτη αφορά στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας, 1 δοκιμή μελετάει την αποτελεσματικότητα των δονήσεων συγκεκριμένης συχνότητας και 2 μελέτες επεξεργάζονται τη βελτιστοποίηση παραμέτρων της βάδισης και προσθήκη ασκησιολογίου στην κλασική φυσικοθεραπεία.

Σε αυτήν την συστηματική ανασκόπηση, για την καλύτερη παράθεση των στοιχείων των ερευνών, κρίθηκε καταλληλότερος ο διαχωρισμός τους σε τρία υποκεφάλαια, έτσι ώστε να ομαδοποιηθούν κατά το δυνατόν καλύτερα οι έρευνες που αφορούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες παρέμβασης και να είναι ευκολότερα συγκρίσιμες μεταξύ τους.

6.1 Έρευνες με εξωσκελετούς

Η έρευνα που συγκέντρωσε το μεγαλύτερο δείγμα από όλες τις έρευνες που περιλαμβάνονται στην συστηματική ανασκόπηση είναι αυτή των Esclarin- Ruz et al (2014). Σε αυτήν την έρευνα συμμετείχαν 88 ασθενείς με iSCI, με την κάκωση να έχει συμβεί >6 μήνες πριν την έναρξη του προγράμματος, με μ.ο. ηλικίας τα 43, 6 έτη και επίπεδο βλάβης A1-Θ7 (AIS C-D). Οι ασθενείς χωρίστηκαν σε δύο ομάδες των 44 ατόμων. Η ομάδα παρέμβασης έκανε μισή ώρα επανεκπαίδευση βάδισης στο Lokomat και άλλη μισή ώρα ακολουθούσε πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας, για 40 συνεδρίες, οι οποίες διεξάγονταν καθημερινά για 8 εβδομάδες. Η ομάδα ελέγχου παρακολούθησε πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας για ίσο χρονικό διάστημα και ίδιο αριθμό συνεδριών. Οι

κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το 10MWT (10 Meter Walk Test), το 6MWT (6 Minute Walk Test), η LEMS (Lower Extremity Motor Score) και το κινητικό σκέλος της FIM (FIM-L). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι στο 6MWT η απόσταση που καλύφθηκε από την ομάδα παρέμβασης ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη από την ομάδα ελέγχου. Αντίθετα, στο 10MWT, υπήρχε διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες, αλλά όχι στατιστικά σημαντική. Επίσης, υπήρξε σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες στο LEMS και την FIM-L, υπέρ της παρέμβασης με Lokomat.

Παρόμοια αποτελέσματα είχε ακόμα μία έρευνα με μεγάλο αριθμό δείγματος (Alcobendas-Maestro et al, 2012). Η μελέτη συγκρίνει την εκπαίδευση της βάδισης με Lokomat σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους φυσικοθεραπείας. Συμμετείχαν 80 ασθενείς με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού, στα επίπεδα A2-Θ12, AIS C-D, οι οποίοι είχαν τραυματιστεί 3-6 μήνες πριν την έναρξη του προγράμματος. Στα κριτήρια ένταξης στην μελέτη ήταν προαπαιτούμενο οι ασθενείς να έχουν πετύχει την ανεξάρτητη ορθοστάτηση τουλάχιστον μία εβδομάδα πριν από την έναρξη του προγράμματος. Οι δύο ομάδες πραγματοποίησαν 40 θεραπείες σε διάρκεια 8 εβδομάδων, ίσης χρονικής διάρκειας (μία ώρα). Η ομάδα παρέμβασης έκανε μισή ώρα κλασική φυσικοθεραπεία και έπειτα συμπλήρωνε την ωριαία συνεδρία με ημίωρη εκπαίδευση βάδισης στο Lokomat. Αρχικά, το Lokomat ρυθμίστηκε να σηκώνει το 60% του βάρους του ασθενή, αλλά αυτό το ποσοστό μειωνόταν σταδιακά μέχρι το 25% του βάρους, για λόγους ασφαλείας. Η ταχύτητα επιλεγόταν ανάλογα με τις δυνατότητες του ασθενή. Το τυπικό πρόγραμμα- μέρος του οποίου έκανε και η ομάδα ελέγχου- συμπεριλάμβανε κινητοποίηση αρθρώσεων κάτω από το επίπεδο της βλάβης, μυϊκή ενδυνάμωση, διατάσεις, ασκήσεις για την σπαστικότητα και σταθεροποίηση κορμού. Οι μετρήσεις για σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων έγιναν στην αρχή του προγράμματος και στο τέλος του, με τις κλίμακες WISCI-II (Walking Index for Spinal Cord Injury-II), το κινητικό σκέλος της FIM (Functional Independence Measure), την LEMS (Lower Extremity Motor Score) και την δοκιμασία 6MWT για την απόσταση που διανύθηκε. Η σύγκριση μεταξύ των ομάδων αποκάλυψε ότι υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους στις τελικές μετρήσεις, με σημαντικότερες τις διαφορές στο WISCI-II (Lokomat: 16 (8,5-19), ομάδα ελέγχου: 9 (8-16), $p < 0.05$) και στην απόσταση που διανύθηκε (Lokomat: 169,4 mean, ομάδα ελέγχου: 91.3 mean, $p < 0.05$). Στις παρατηρήσεις τους, επίσης, σημείωσαν ότι η ομάδα παρέμβασης στο τέλος του προγράμματος είχε μειωμένη ανάγκη για νάρθηκες και βοηθήματα βάδισης, πιθανώς λόγω μεγαλύτερης ενδυνάμωσης των κάτω άκρων.

Σύγκριση μεταξύ της παρέμβασης με Lokomat και παρέμβασης με κλασικές φυσικοθεραπευτικές μεθόδους κάνει και η έρευνα των Vagoqui et al (2014). Σε αυτήν, 30 ασθενείς, με μ.ο. ηλικίας τα 50.8 έτη και χρόνια (>12 μήνες) iSCI χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Τα επίπεδα βλάβης ήταν από A2-Θ7 και οι ασθενείς κατατάσσονταν σε AIS C/D. Οι δύο ομάδες χωρίστηκαν με τυχαίο τρόπο, η ομάδα παρέμβασης έκανε 4 εβδομάδες επανεκπαίδευση βάδισης χρησιμοποιώντας το Lokomat, για τρεις φορές την εβδομάδα, για σύνολο συνεδριών της μίας ώρας έκαστη. Μετά το τέλος του μήνα, η ομάδα παρέμβασης μπήκε σε κλασικό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας για ακόμα 8 εβδομάδες, για να συμπληρωθούν οι 12 εβδομάδες κλασικής φυσικοθεραπείας που έκανε η ομάδα ελέγχου. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης στο Lokomat, δόθηκε προτεραιότητα στη μείωση της λεκτικής και απτικής καθοδόγησης από τους θεραπευτές και όχι στην ταχύτητα βάδισης, για να προαχθεί η εκούσια μυϊκή σύσπαση μέσα στα σωστά πρότυπα βάδισης κατά το δυνατόν περισσότερο. Οι μετρήσεις έγιναν με το 10MWT, το 6MWT και το TUG (Timed-Up-and-Go Test), στην αρχή και το τέλος των 4 εβδομάδων. Βρέθηκε ότι το Lokomat βελτίωσε το παθητικό εύρος κίνησης της ποδοκνημικής άρθρωσης (αρχικά: $62,33^{\circ} \pm 2,06^{\circ}$, τέλος: $64,33^{\circ} \pm 2,23^{\circ}$, $p < 0.05$). Αυτό φάνηκε να έχει σημαντικό αντίκτυπο και στην κινηματική ανάλυση της ενεργητικής κίνησης της ποδοκνημικής στις 4 εβδομάδες. Στο τέλος των 4 εβδομάδων σημειώθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση στο TUG με μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωσή του από 34.15 ± 9.16 s σε 27.83 ± 7.32 s ($p < 0.05$). Ομοίως, στατιστικά σημαντική βελτίωση είχε και το 10MWT για την ομάδα του Lokomat, με αύξηση της ταχύτητας από 0.56 ± 0.09 m/s σε 0.64 ± 0.10 m/s. Στην αντοχή στην άσκηση (6MWT) δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά. Αντίθετα, στην ομάδα ελέγχου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμία παράμετρο με το πέρας των 4 εβδομάδων κλασικής φυσικοθεραπείας.

Η μικρότερη μελέτη των Labruyere et al (2014), η οποία επίσης συνέκρινε πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας με το Lokomat επιστράτευσε μόλις 9 άτομα με iSCI, >12 μήνες από την κάκωση, με μ.ο. ηλικίας τα 59 έτη. Τα επίπεδα της βλάβης ήταν από A4-Θ11, AIS D. Οι ασθενείς χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: η πρώτη ομάδα ξεκίνησε με 16 συνεδρίες σε Lokomat, των 45 λεπτών η κάθε μία και για διάρκεια 4 εβδομάδων και μετά το τέλος τους ακολούθησαν ισάριθμες συνεδρίες κλασικής φυσικοθεραπείας (ενδυνάμωση, ποδήλατο, ασκήσεις ισορροπίας) για άλλες 4 εβδομάδες. Η δεύτερη ομάδα ακολούθησε το ίδιο πρόγραμμα, αλλά με αντίστροφη σειρά. Οι μετρήσεις έγιναν με το 10MWT, την Berg Balance Scale και ο πόνος μετρήθηκε με την VAS, και διενεργήθηκαν στην αρχή του προγράμματος, στις 4 εβδομάδες, στις 8 εβδομάδες και στο follow-up 6 μήνες μετά το τέλος

του προγράμματος. Αν και υπήρχε σαφής βελτίωση στις παραμέτρους που μετρήθηκαν από την αρχή ως το τέλος για την κάθε ομάδα, εν τούτοις δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες, ούτε στις 4 εβδομάδες, όταν δηλαδή οι συμμετέχοντες έκαναν τελείως διαφορετικό πρόγραμμα.

Για το Lokomat, τέλος, συμπεριλήφθηκαν ακόμα τρεις έρευνες, δύο εκ των οποίων είναι τυχαιοποιημένες μελέτες με ομάδα ελέγχου και η άλλη είναι με δείγμα ευκολίας. Στην πρώτη τυχαιοποιημένη μελέτη των Lam et al (2015) συμμετείχαν 15 ασθενείς με ατελή κάκωση νωτιαίου μυελού στα επίπεδα A2-Θ10, με AIS C-D, 12 εκ των οποίων ήταν τραυματικής αιτιολογίας και 3 μη-τραυματικής αιτιολογίας (αιμορραγία, AVM, ιός). Στα κριτήρια ένταξης ήταν η ελάχιστη ικανότητα να μπορούν να περπατούν σε διάδρομο με ανάρτηση, δηλαδή να έχουν την ικανότητα να ξεκινήσουν μόνοι τους τον βηματισμό. Όλοι οι ασθενείς ήταν χρόνιοι, έχοντας υποστεί την κάκωση τουλάχιστον 12 μήνες πριν την έναρξη του προγράμματος. Η παρέμβαση συνίστατο στην χρήση Lokomat με αντίσταση στην κίνηση του ισχίου και του γόνατος. Η αντίσταση ήταν ανάλογη της ταχύτητας. Η ταχύτητα ξεκινούσε στο 1km/h και σταδιακά αυξανόταν κατά 0,1 km/h. Η ομάδα ελέγχου πραγματοποίησε ισάριθμες συνεδρίες (45 min, 3 φορές την εβδομάδα, για 3 μήνες) με Lokomat, αλλά χωρίς την επιπλέον παράμετρο της αντίστασης κατά την κίνηση. Τα αποτελέσματα μετρήθηκαν με την αντοχή (συνολικής διάρκειας βάρδια μέσα στην συνεδρία) και με τη δυνατότητα βάρδιας, η οποία μετρήθηκε με την SCI-FAP (Spinal Cord Injury- Functional Ambulation Profile). Στα αποτελέσματα αναφέρεται ότι υπήρξε βελτίωση και στις δύο ομάδες σε σχέση με τις αρχικές μετρήσεις, αλλά δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Στην δεύτερη τυχαιοποιημένη μελέτη των Tang et al (2014) 30 άτομα με iSCI, μ.ο. από την κάκωση 189 ημέρες, με μ.ο. ηλικίας τα 39 έτη, επίπεδο βλάβης A6-O3, AIS D. Έγινε τυχαία κατανομή σε δύο ομάδες, μία που έκανε πρόγραμμα στο Lokomat και μία που χρησιμοποίησε Ergo_bike, και η κάθε συνεδρία διαρκούσε 40 λεπτά. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν το 10MWT για την ταχύτητα της βάρδιας και το P-RT (Probe- Reaction Time). Ένα καλύτερο σκορ στο P-RT (μικρότερος χρόνος αντίδρασης στο δεύτερο ερέθισμα σημαίνει ότι η πρώτη δραστηριότητα- η βάρδια εν προκειμένω- είναι αυτοματοποιημένη) σημαίνει ότι οι ασθενείς κινδυνεύουν λιγότερο από πτώσεις. Στην παρούσα μελέτη ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να απαντήσουν σε μία συλλαβή με μία άλλη συλλαβή κατά την διάρκεια της άσκησης, έως και 10 φορές. Στα αποτελέσματά τους διαβάζουμε ότι το P-RT και το 10MWT βελτιώθηκαν σημαντικά για την ομάδα του Lokomat, αν και δεν

υπήρχαν διαφορές μεταξύ των ομάδων στην βελτίωση της ταχύτητας βάδισης. Στο P-RT, όμως, υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων στις τελικές μετρήσεις υπέρ της παρέμβασης με Lokomat.

Τέλος, για την υποκατηγορία του Lokomat αναλύεται μία έρευνα με δείγμα ευκολίας των Hwang et al (2017). Η πολύ ενδιαφέρουσα έρευνά είχε διαφορετική δομή και στοχοθεσία από τις περισσότερες έρευνες. Συνέλλεξαν δείγμα 29 ατόμων, στην υποξεία φάση της κάκωσης (1-6 μήνες μετά την κάκωση), AIS C/D και έβαλαν όλους τους ασθενείς να κάνουν ένα πρόγραμμα σε Lokomat για 4 εβδομάδες, 5 φορές την εβδομάδα, σε συνεδρίες των 30 λεπτών. Στην αρχή και το τέλος των 4 εβδομάδων μέτρησαν 10MWT, LEMS, FAC (Functional Ambulatory Category), WISCI-II, Κλίμακα Ισορροπίας του Berg (BBG) και SCIM-III (Spinal Cord Independence Measure -III). Μετά τα αποτελέσματα, οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες (βελτιωμένοι και μη- βελτιωμένοι) για περαιτέρω στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η βελτιωμένη ομάδα είχε μικρότερο μέσο όρο ηλικίας και μικρότερη χρονική απόσταση από την κάκωση. Όλοι οι AIS-C ανήκαν στη μη- βελτιωμένη ομάδα. Οι περισσότεροι τετραπληγικοί AIS-D ανήκαν στην βελτιωμένη ομάδα. Επιπρόσθετα, η βελτιωμένη ομάδα είχε μεγαλύτερη μυϊκή ισχύ κάτω άκρων στην αρχή του προγράμματος, όπως και καλύτερη ισορροπία και ήταν πιο δραστήρια στην καθημερινότητα από τη μη- βελτιωμένη ομάδα. Στα συμπεράσματά τους οι ερευνητές πιστεύουν ότι οι δείκτες SCIM-III, BBS, ο έλεγχος του κορμού και η LEMS, έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν αξιόπιστους δείκτες για την αποτελεσματικότητα που θα έχει ένα πρόγραμμα Lokomat. Κατέληξαν δε ότι ο LEMS είναι ο πιο αξιόπιστος δείκτης για την πρόγνωση ικανότητας βάδισης.

Το Lokomat αναμφισβήτητα άνοιξε το δρόμο για την παρείσφρηση αυτού του τύπου τεχνολογίας στην επιστήμη της αποκατάστασης. Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα που βγαίνουν συνεχώς για την παρέμβαση με ρομποτικό εξωσκελετό σε πληθώρα παθήσεων, ώθησε την τεχνολογία στο να εξερευνηθεί νέες προοπτικές με εξωσκελετούς που θα μπορούσαν να φορεθούν σαν «κοστούμι» και να βοηθήσουν τους πάσχοντες στην μετακίνησή τους στην κοινότητα. Έτσι, με τα κριτήρια ένταξης των ερευνών στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση, δόθηκε η ευκαιρία να παρατεθούν στοιχεία για τους εξωσκελετούς Ekso_GT, Rewalk και H-Mex. Παρά το υψηλότερο κόστος τους, καθώς πρόκειται για εξελιγμένα ρομποτικά συστήματα τα οποία δεν περιορίζονται σε έναν συγκεκριμένο χώρο, τα αποτελέσματα των ερευνών και εδώ είναι ιδιαίτερως ενθαρρυντικά.

Η πολύ πρόσφατη μελέτη των Evans et al (2021) ακολουθεί την πεπατημένη και συγκρίνει την παρέμβαση εξωσκελετού Ekso_GT με την κλασική φυσικοθεραπεία και γι' αυτό το λόγο επιστράτευσε 16 ασθενείς με χρόνια (>12 μήνες) iSCI. Το επίπεδο βλάβης δεν διευκρινίζεται, παρά μόνο ότι στα κριτήρια ένταξης ήταν η τετραπληγία. Οι ασθενείς χωρίστηκαν σε δύο ομάδες των 8 ατόμων η κάθε μία και ακολούθησαν προγράμματα για 24 εβδομάδες, 3 φορές την εβδομάδα, διάρκειας 60 λεπτών η κάθε συνεδρία. Η ομάδα παρέμβασης χρησιμοποίησε εξωσκελετό Ekso και η ομάδα ελέγχου ακολούθησε πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας εστιασμένο στις ΔΚΖ (εκπαίδευση βάδισης εκτός διαδρόμου, προετοιμασία 5 λεπτά, ασκήσεις με αντιστάσεις 20-30 λεπτά, καρδιαναπνευστική άσκηση 20-30 λεπτά). Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στην αρχή του προγράμματος, στις 6, στις 12 και στις 24 εβδομάδες. Οι κλίμακες και οι δοκιμασίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η 6MWT και η μέτρηση του καρδιακού ρυθμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ομάδα Ekso στις 6 και 24 εβδομάδες είχε μειωμένο καρδιακό ρυθμό κατά την προσπάθεια (6MWT), σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Στην όρθια θέση, ο καρδιακός ρυθμός ήταν σημαντικά υψηλότερος στην ομάδα ελέγχου (95.6 ± 12.6 χτύποι/ λεπτό) σε σχέση με την ομάδα Ekso (75.1 ± 15.0 χτύποι/ λεπτό), διαφορά που κρίνεται ως στατιστικά σημαντική ($p=0.05$) στις 24 εβδομάδες. Η απόσταση που διανύθηκε με τον εξωσκελετό κατά το 6MWT αυξήθηκε σημαντικά από την πρώτη μέρα (68.3 ± 11.3 m) στις 24 εβδομάδες (109.9 ± 19.7 m), ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην ομάδα ελέγχου.

Ίδιο αριθμό δείγματος και παρόμοια συλλογιστική για να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα είχε και η έρευνα των Shackleton et al (2021). Δεκαέξι χρόνιοι (>12 μήνες από την κάκωση) ασθενείς iSCI, με επίπεδα βλάβης A1-A8 (AIS C/D), χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες των 8 ατόμων έκαστη. Η ομάδα παρέμβασης έκανε πρόγραμμα με εξωσκελετό Ekso και η ομάδα ελέγχου έκανε πρόγραμμα ABT (Activity-Based Training), δηλαδή φυσικοθεραπεία που εστιάζει στην λειτουργικότητα. Κάθε συνεδρία ήταν 60 λεπτά, 3 φορές την εβδομάδα και η συνολική διάρκεια του προγράμματος ήταν 24 εβδομάδες. Το πρόγραμμα της ομάδας παρέμβασης ήταν αποκλειστικά βάδιση (10-50 λεπτά ορθοστάτηση και βάδιση), ενώ το πρόγραμμα της ομάδας ελέγχου περιελάμβανε ασκήσεις με αντιστάσεις, καρδιαναπνευστικές ασκήσεις, βάρη και επανεκπαίδευση βάδισης στο έδαφος. Οι μετρήσεις έγιναν με τις κλίμακες LEMS και SCI-FAI (Functional Ambulatory Inventory) και πραγματοποιήθηκαν στις 6, στις 12 και στις 24 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μόνο στην ομάδα παρέμβασης ο LEMS είχε σημαντική διαφορά στο τέλος του προγράμματος, με μ.ο. αύξηση 3.00 βαθμούς (αρχή: 16.00 ± 11.00 , τέλος: 19.00 ± 11.00 ,

$p < 0.05$). Παρομοίως, η απόσταση που μπορούσαν να διανύσουν οι ασθενείς αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά μόνο για την ομάδα παρέμβασης ($p = 0.02$).

Η έρευνα των Edwards et al (2022) είχε μεγαλύτερο δείγμα, αλλά το πιο σύνθετο πρωτόκολλο που εφάρμοσαν κατέληξε να έχει σε κάθε ομάδα παρόμοιο αριθμό ατόμων με τις δύο προαναφερθείσες έρευνες. 25 ασθενείς, 18 έως 75 ετών, με χρόνια (>12 μήνες) iSCI και επίπεδα βλάβης A1-Θ10, AIS C/D. Προαπαιτούμενο για την ένταξη στην μελέτη ήταν η ανεξάρτητη μετακίνηση των ασθενών με ταχύτητα < 0.44 m/s με ή χωρίς βοηθήματα. Οι ασθενείς χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες: οι 9 έκαναν πρόγραμμα με ρομποτικό εξωσκελετό Ekso, οι 10 ακολούθησαν πρόγραμμα με επανεκπαίδευση βάδισης με αναρτήσεις (active control), στην οποία όπου ήταν εφικτό ολόκληρη η συνεδρία (45 λεπτά) γινόταν με αναρτήσεις, ενώ όπου δεν ήταν εφικτό, λόγω κόπωσης ή αναφοράς πόνου, η επανεκπαίδευση χωριζόταν σε 30 λεπτά στις αναρτήσεις και 15 λεπτά επανεκπαίδευση βάδισης μέσω κλασικών φυσικοθεραπευτικών τεχνικών. Στην τρίτη ομάδα (passive control) δεν έγινε εισαγωγή κάποιας καινούργιας μεθόδου στο κλασικό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας. Η συνολική διάρκεια του προγράμματος ήταν 36 συνεδρίες σε 12 εβδομάδες. Οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή, στις 6 εβδομάδες και στις 12 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων μετρήθηκαν με το 10MWT, το TUG, το 6MWT και το WISCI-II (walking Index for Spinal Cord Injury). Μετά τις 12 εβδομάδες, η ταχύτητα βάδισης είχε αυξηθεί κατά 51% για την ομάδα παρέμβασης (Ekso), 32 % για την ομάδα active control και 14% για την ομάδα passive control. Οι ερευνητές σημειώνουν, όμως, ότι η μέση τιμή βελτίωσης για τις ομάδες Ekso και active control δεν έχουν σημαντικά στατιστική διαφορά ($p > 0.05$) μεταξύ τους, αλλά και οι δύο αυτές ομάδες είχαν σημαντικά στατιστική διαφορά από την ομάδα passive control. Οι μετρήσεις για την αντοχή και την ισορροπία (6MWT) έδειξαν βελτίωση 34% για την ομάδα Ekso, 28% για την ομάδα active control και 18% για την ομάδα passive control. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων δηλώνει, όμως, ότι δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις ομάδες.

Η πολύ ενδιαφέρουσα και πρόσφατη έρευνα των Hong et al (2020) συνέκρινε την αποτελεσματικότητα δύο διαφορετικών εξωσκελετών, του Ekso_GT και του Rewalk. Για τους σκοπούς της έρευνας επιστράτευσε 50 άτομα, 38.7 ± 14.2 ετών, με χρόνια (> 6 μήνες) κάκωση νωτιαίου μυελού. Το επίπεδο της βλάβης δεν διευκρινίζεται, αλλά από τα συμφραζόμενα γίνεται κατανοητό ότι συμπεριλήφθηκαν όλα τα επίπεδα, συμπεριλαμβανομένης και της αυχενικής μοίρας. Στα κριτήρια ένταξης τέθηκε η μη αυτόνομη μετακίνηση: οι συμμετέχοντες έπρεπε να χρησιμοποιούν αμαξίδιο για την

μετακίνησή τους και να μην μπορούν να περπατήσουν με ταχύτητα πάνω από 0,17 m/s , με ή χωρίς την χρήση βοηθημάτων. Οι ασθενείς χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: η πρώτη ομάδα έκανε πρόγραμμα 12 εβδομάδων με χρήση εξωσκελετού, 3 φορές την εβδομάδα (36 συνεδρίες, διάρκειας 1,5 ώρας η καθεμία). Η δεύτερη ομάδα παρακολούθησε πρόγραμμα ισάριθμων συνεδριών, για το ίδιο χρονικό διάστημα, κλασικής φυσικοθεραπείας. Στο τέλος των 12 εβδομάδων, οι δύο ομάδες άλλαξαν πρόγραμμα και η πρώτη ομάδα συνέχισε με πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας και η πρώτη έκανε πρόγραμμα με εξωσκελετό, για άλλες 12 εβδομάδες. Για την συγκεκριμένη μελέτη επιλέχτηκαν δύο διαφορετικοί τύποι εξωσκελετών (ReWalk και Ekso_GT). Ο λόγος για την επιλογή αυτή είναι ο εξωσκελετός Ekso_GT που υποστηρίζει τον κορμό με την άκαμπτη ράχη του, έτσι κρίθηκε καταλληλότερος σε άτομα με κακώσεις Θ3 και πάνω. Αντίθετα, ο ReWalk χρησιμοποιήθηκε σε άτομα με κακώσεις Θ3 και κάτω, καθώς έχουν καλύτερο έλεγχο κορμού. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν το 10-meter walk test (10MWT), το 6-minute walk test (6MWT) και το Timed-Up-and Go test (TUG). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 12, 24 και 36 εβδομάδες , δηλαδή οι τελικές μετρήσεις έλαβαν χώρα ένα τρίμηνο μετά το πέρας του προγράμματος. Οι ερευνητές έθεσαν ως ορόσημα επιτυχίας του προγράμματος τη βάρδιση με εξωσκελετό, που θα ήταν ≤ 40 s για το 10MWT, ≥ 80 m για το 6MWT και ≤ 90 s για το TUG. Στις 12 εβδομάδες , οι 31 (62%), 35 (70%) και 36 (72%) πέτυχαν τους στόχους για το 10MWT, 6MWT και TUG αντίστοιχα. Στις 36 εβδομάδες (δηλαδή, όταν και οι δύο ομάδες είχαν ολοκληρώσει και τους δύο κύκλους θεραπειών), τα ποσοστά επιτυχίας είχαν ανέβει σε 80%, 82% και 84% αντίστοιχα. Οι ερευνητές επισήμαναν ότι δεν υπήρχαν σαφείς διαφορές μεταξύ των ομάδων.

Τέλος, στην υποκατηγορία ερευνών που μελετούν την αποτελεσματικότητα του εξωσκελετού Ekso_GT, συμπεριλαμβάνεται και η έρευνα των McIntosh et al (2019). Στην συγκεκριμένη έρευνα επιλέχθηκε ένα δείγμα ευκολίας (convenience sample), στο οποίο συμμετείχαν 11 ασθενείς με πρόσφατη κάκωση νωτιαίου μυελού (3-15 εβδομάδες μετά την κάκωση), με επίπεδο βλάβης A6-O2 και AIS A-D. Δεν διευκρινίζεται πόσοι από τους συμμετέχοντες είχαν ατελή κάκωση και πόσοι πλήρη. Οι ασθενείς μπήκαν σε πρόγραμμα 25 συνεδριών της μίας ώρας, τρεις φορές την εβδομάδα, με χρήση εξωσκελετού Ekso GT. Μετρήσεις έγιναν κατά την 2^η, 13^η και 25^η συνεδρία, χρησιμοποιώντας το 6MWT και το 10MWT, ενώ παράλληλα μετρήθηκε και το σύνολο των βημάτων. Στα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, η συνολική εικόνα των ασθενών παρατηρείται σαφώς βελτιωμένη, με την απόσταση στο 6MWT να αυξάνεται από 47.6 ± 6.6 m κατά την δεύτερη συνεδρία σε 117.1 ± 11.7 m κατά την διάρκεια της τελευταίας συνεδρίας. Παρομοίως, η διαφορά στην

ταχύτητα που μετρήθηκε με το 10MWT ήταν 3.2 φορές μεγαλύτερη στο τέλος του προγράμματος απ' ό,τι στην αρχή (2^η συνεδρία: 0.12±0.01 m/s, 25^η συνεδρία: 0.40±0.04 m/s). Τα βήματα επίσης υπερτριπλασιάστηκαν (2^η συνεδρία: μ.ο. 354±24, 25^η συνεδρία: μ.ο. 1245±49). Στις παρατηρήσεις τους αναφέρεται ότι οι ασθενείς με ατελή κάκωση είχαν καλύτερες μετρήσεις τόσο στην αρχή του προγράμματος όσο και στην βελτίωσή τους μετά το τέλος του.

Το υποκεφάλαιο των ερευνών που μελετούν εξωσκελετούς κλείνει με την έρευνα των Kim et al (2021), η οποία μελετάει την αποτελεσματικότητα ενός ρομποτικού αυτόνομου εξωσκελετού κορεατικής κατασκευής, του H-MEX. Για αυτήν την έρευνα επιλέχτηκαν 10 χρόνιοι (>12 μήνες) ασθενείς, 8 με πλήρη κάκωση (AIS A/B) και 2 με iSCI (AIS C) και επίπεδα βλάβης A6-O1. Στα κριτήρια ένταξης ήταν να μπορούν να καθίσουν ανεξάρτητοι και να έχουν την ικανότητα να χειριστούν πατερίτσες αμφοτερόπλευρα, αλλά να χρειάζονται αμαξίδιο για τις μετακινήσεις τους. Και οι 10 συμμετέχοντες μπήκαν σε πρόγραμμα παρέμβασης με τον εξωσκελετό H-MEX, για 30 συνεδρίες 60 λεπτών, 3 φορές της εβδομάδα για σύνολο 10 εβδομάδων. Οι μετρήσεις έγιναν με το 6MWT, το TUG, ενώ μετρήθηκε και η σπαστικότητα με την κλίμακα MAS, στην αρχή και το τέλος των 10 εβδομάδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση και στο 6MWT (αρχή: 20.65 ±5.55 m, τέλος: 48.13 ±15.22 m, p<0.05) και στο TUG (αρχή: 57.74 ±39.30 s, τέλος: 28.45 ±9.06 s, p<0.05). Με τον συγκεκριμένο εξωσκελετό οι ασθενείς δυσκολεύονται να στρίψουν 180° και να γυρίσουν ξανά στην καρέκλα από την οποία ξεκίνησαν, έτσι οι ερευνητές «έσπασαν» το TUG σε μέρη. Τα νούμερα που παρατίθενται εδώ αντιστοιχούν στο μέρος της βάρδισης των 3 m. Ο H-MEX δεν φαίνεται να έχει επίδραση στην σπαστικότητα, καθώς μόνο 2 ασθενείς εμφάνισαν βελτίωση, αλλά όπως τονίζεται στην μελέτη, αυτοί φέρουν αντλία μπακλοφένης. Από τους δύο ασθενείς που εμφάνισαν βελτίωση ο ένας είναι με iSCI.

6.2 Έρευνες επανεκπαίδευσης βάρδισης με αναρτήσεις

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τρεις έρευνες, εκ των οποίων οι δύο είναι τυχαιοποιημένες μελέτες με ομάδα ελέγχου και η τρίτη διαπραγματεύεται δείγμα 21 ατόμων που ακολουθούν το ίδιο ερευνητικό πρωτόκολλο, με μετρήσεις στην αρχή και στο τέλος της παρέμβασης. Η πρώτη RCT περιλαμβάνει 35 ασθενείς, τους οποίους χωρίζει σε τρεις ομάδες. Η έρευνα των Alexeeva et al (2011) κάνει σύγκριση μεταξύ ανάρτησης για

μετακίνηση σε οριοθετημένο έδαφος (ομάδα 1), ανάρτησης για μετακίνηση σε διάδρομο (ομάδα 2) και κλασική φυσικοθεραπεία (ομάδα 3). Τριανταπέντε χρόνιοι ασθενείς (>12 μήνες από την κάκωση), με επίπεδο βλάβης A2-Θ10 (AIS C/D), ακολούθησαν ισάριθμες συνεδρίες για 13 εβδομάδες, 3 φορές την εβδομάδα, από μία ώρα η κάθε συνεδρία. Στα κριτήρια ένταξης τέθηκε το προαπαιτούμενο να μπορούν να σηκωθούν από καθιστή σε όρθια θέση με μέτρια βοήθεια και να μπορούν να κάνουν ένα βήμα ανεξάρτητοι. Και στα τρία προγράμματα, οι ασθενείς περπατούσαν με την ταχύτητα που επέλεγαν οι ίδιοι, αλλά στις ομάδες κλασικής φυσικοθεραπείας και της μετακίνησης σε οριοθετημένο έδαφος (ομάδες 1 και 3), οι ασθενείς μπορούσαν να επιλέξουν ή να αλλάξουν κατά τη συνεδρία το βοήθημα βάδισης που χρησιμοποιούσαν. Οι μετρήσεις έγιναν με το 10MWT, το WISCI-II, το LEMS, την SF-36 και την SAWS (Satisfaction with Abilities and Well-Being Scale), η οποία συγκαταλέγεται στα εργαλεία που καταγράφουν την ποιότητα ζωής. Στα αποτελέσματα τους καταγράφεται ότι όλοι είχαν σημαντική βελτίωση σε σύγκριση με τις αρχικές τους αποδόσεις, αλλά δεν καταγράφεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι οι σημαντικότερες διαφορές με τις αρχικές μετρήσεις σημειώθηκαν στην ταχύτητα και την ισορροπία, στις οποίες κατηγορίες η ομάδα ανάρτησης με χρήση διαδρόμου (ομάδα 2) σημείωσε την μικρότερη διαφορά, αλλά όπως εύστοχα παρατήρησαν οι ερευνητές, ο αρχικός, τυχαίος διαχωρισμός στις ομάδες οδήγησε στο να ενταχθούν στην ομάδα 2 περισσότερα άτομα με κακώσεις της αυχενικής μοίρας (89% επί του συνόλου), σε σχέση με την ομάδα ανάρτησης σε οριοθετημένη διαδρομή (57%) και της ομάδας κλασικής φυσικοθεραπείας (58%), γεγονός που να εξηγεί γιατί αυτή η ομάδα είχε τη μικρότερη βελτίωση σε σχέση με τις αρχικές μετρήσεις.

Κατ' αναλογία, η έρευνα των Senthilvelkumar et al (2015), συνέκρινε την ανάρτηση σε διάδρομο με την ανάρτηση σε έδαφος και συμμετείχαν σε αυτήν 14 χρόνιοι (<2 έτη) ασθενείς με iSCI, με επίπεδα βλάβης A5-A8 (AIS C). Η μελέτη συνέκρινε την επανεκπαίδευση βάδισης με αναρτήσεις σε διάδρομο βάδισης σε σχέση με την επανεκπαίδευση βάδισης με αναρτήσεις στο έδαφος, μέσω των 2 ομάδων των 7 ατόμων έκαστη. Και οι δύο ομάδες έκαναν επανεκπαίδευση για 30 λεπτά την ημέρα, 5 φορές την εβδομάδα, για 8 εβδομάδες. Επιπλέον, και οι δύο ομάδες έκαναν κλασική φυσικοθεραπεία με ασκήσεις ισορροπίας, ενδυνάμωσης και λειτουργικότητας. Οι μετρήσεις έγιναν με την WISCI-II και το LEMS και πραγματοποιήθηκαν στην αρχή και το τέλος των 8 εβδομάδων. Στο κομμάτι της βάδισης, η WISCI-II έδειξε ότι και οι δύο ομάδες είχαν βελτίωση, αλλά δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους (mean difference= 0,3, 95%CI, p=0.748), όπως συνέβη και με το LEMS (mean difference= 0.2, 95% CI, p=0.749). Στο τέλος των

συνεδριών, 2 άτομα από την ομάδα που δούλεψε στον διάδρομο και 1 άτομο από την ομάδα που δούλεψε στο έδαφος κατέκτησαν την ανεξάρτητη μετακίνηση με βακτηρία. Ουσιαστικά, η μελέτη έδειξε ότι δεν υπάρχει διαφορά αν η επανεκπαίδευση της βάρδισης με αναρτήσεις γίνει με τη χρήση διαδρόμου ή όχι.

Η έρευνα των Tester et al (2011) επιστράτευσε 21 ασθενείς, 23 ± 18 μήνες μετά τον τραυματισμό, με επίπεδο βλάβης A4-Θ8 (AIS C/D). Το σύνολο των ασθενών έκαναν επανεκπαίδευση βάρδισης με τη χρήση διαδρόμου για 9 εβδομάδες, 5 φορές την εβδομάδα και η κάθε συνεδρία διαρκούσε 20-30 λεπτά. Στόχος της μελέτης ήταν να εξετάσει το κατά πόσο η συμμετοχή των άνω άκρων επηρεάζει την ποιότητα της βάρδισης καθώς και η βελτίωση της κλινικής εικόνας μετά την αποκατάσταση. Η συνεδρία γινόταν με μερική ανάρτηση του βάρους από μάντες, σε διάδρομο, έτσι ώστε να μην χρειάζεται να χρησιμοποιούν βοηθήματα που ανακόπτουν ή περιορίζουν την αιώρηση των άνω άκρων. Οι θεραπευτές υποβοηθούσαν με τα χέρια την κίνηση της λεκάνης, του κορμού και των κάτω άκρων, όπου κρίνονταν απαραίτητο. Η ταχύτητα του βηματισμού αρχικά ήταν για έναν ενήλικα (0.8-1.2 m/s). Όσο αυξανόταν η ανεξαρτησία, κατά περίπτωση, τόσο μειωνόταν η βοήθεια από τους θεραπευτές και η ανάρτηση του βάρους και αυξανόταν η ταχύτητα. Η κίνηση των χεριών γινόταν με οριζόντιες δοκούς που κινούνταν από θεραπευτές ή μέσω λεκτικών παραγγελμάτων. Με την εμφάνιση εκούσιας κίνησης, η εξωτερική βοήθεια σταματούσε. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο LEMS μεταξύ των ατόμων που είχαν τελικά αιώρηση άνω άκρου και αυτών που δεν είχαν, ανεξαρτήτως επιπέδου νευρολογικής βλάβης (αυχενικής ή θωρακικής μοίρας).

6.3 Άλλες θεραπευτικές προσεγγίσεις για την επανεκπαίδευση βάρδισης σε ασθενείς με ατελή κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού

Η διπλή έρευνα των Gollie et al (2017 & 2020) επεξεργάστηκε δεδομένα των ίδιων 6 ασθενών για να δημοσιεύσει χρήσιμα συμπεράσματα. Σε αυτές, 6 ασθενείς με χρόνια (> 12 μήνες) iSCI, με επίπεδο που δεν διευκρινίζεται, αλλά πρόκειται για τετραπληγίες (AIS C/D) μπήκαν σε πρόγραμμα παρέμβασης που αφορούσε το σύνολο των ασθενών και επρόκειτο για 24 συνεδρίες OLT (Overground Locomotor Training). Εν συντομία, η OLT είναι μία μέθοδος επανεκπαίδευσης νευρολογικών περιστατικών που εστιάζει στην λειτουργικότητα και χρησιμοποιεί περιορισμό κάποιων μυικών ομάδων για να προάγει την ενεργητική σύσπαση κάποιων άλλων και να επιτύχει φυσιολογικές προσαρμογές. Η διαφορά με τις

άλλες μεθόδους που εστιάζουν στην βάδιση προς τα εμπρός είναι ότι η OLT ενσωματώνει πλάγια βήματα, διασταυρούμενα βήματα και βήματα προς τα πίσω. Κάθε κίνηση αναλύεται στα επιμέρους σημεία, τα οποία και δουλεύονται ξεχωριστά. Το πρόγραμμα δομείται με βάση συγκεκριμένες κινήσεις που θέλει ο θεραπευτής να επιτύχει και η φόρτιση γίνεται σταδιακά, με στόχο την κινητική μάθηση. Οι συνεδρίες διαρκούσαν για 90 λεπτά και διεξάγονταν δύο φορές την εβδομάδα. Οι συνεδρίες αποτελούνταν από 5 μέρη: κινητοποίηση των αρθρώσεων, εκούσιες μυϊκές συσπάσεις, απομόνωση κινήσεων που απαιτούνται για μία δραστηριότητα, ενσωμάτωση των κινήσεων αυτών στην δραστηριότητα και επανάληψη ολόκληρης της δραστηριότητας. Σε αυτήν την έρευνα μετρήθηκε η αντοχή στο περπάτημα, χρησιμοποιώντας διάδρομο και υπολογίστηκε ως η υποκειμενική (αναφερόμενη) κόπωση δια το χρόνο που περπάτησε ο ασθενής. Στα αποτελέσματα οι ερευνητές αναφέρουν ότι η OLT είχε σημαντικά αποτελέσματα στην αντοχή (αρχικά: 1232 ± 446.5 s, τελικά: 1645 ± 255 s) και στην αντιλαμβανόμενη κόπωση. Αρχικά δε, μόνο δύο συμμετέχοντες κατάφεραν να περπατήσουν στον διάδρομο για 30 λεπτά, ενώ στο τέλος του προγράμματος το κατάφεραν οι 4 από τους 6 ασθενείς (Gollie et al, 2020). Στην προηγούμενη δημοσίευση της ομάδας (Gollie et al, 2017) μετρήθηκαν η ταχύτητα (10MWT), ο καρδιακός ρυθμός (μέσω ηλεκτροκαρδιογραφήματος) και η VO_2 . Στα αποτελέσματα αναφέρεται ότι δεν υπήρξαν διαφορές στην καρδιακή συχνότητα, αλλά στην τελευταία συνεδρία η ταχύτητα είχε αυξηθεί σημαντικά (αρχικά: 0.36 ± 0.20 m/s, τελική: 0.51 ± 0.24 m/s, $p < 0.01$). Υπήρξε, επίσης, στατιστικά σημαντική διαφορά στην κατανάλωση οξυγόνου κατά την προσπάθεια, γεγονός που υποδηλώνει βελτιωμένη αεροβική ικανότητα.

Η πρόσφατη έρευνα των In et al (2018) έχει εντελώς διαφορετικό περιεχόμενο, καθώς αναλαμβάνει να συγκρίνει την ολόσωμη δόνηση με την κλασική φυσικοθεραπεία. 28 ασθενείς, με χρόνια iSCI (≥ 6 μήνες), με επίπεδο βλάβης A6-A7 (AIS D), χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, με την ομάδα παρέμβασης να συνίσταται σε συνδυασμό κλασικής φυσικοθεραπείας και προγράμματος δονήσεων του σώματος (Whole-Body Vibration/ WBV) και την ομάδα ελέγχου να κάνει placebo WBV και κλασική φυσικοθεραπεία. Η εκπαίδευση WBV γινόταν πάνω σε πλατφόρμα που δονούνταν στα 30 Hz, για 4 σετ των 45 δευτερολέπτων ερεθισμού και 1 λεπτό διαλείμματος ενδιάμεσα. Το πρόγραμμα είχε συνολική διάρκεια 8 εβδομάδες, με τις συνεδρίες να διαρκούν 20 λεπτά και να γίνονται δύο φορές την ημέρα για 5 ημέρες την εβδομάδα. Οι μετρήσεις που έγιναν στην αρχή και το τέλος του προγράμματος αφορούσαν στην σπαστικότητα (δυναμόμετρο που μετρούσε την παθητική αντίσταση στην κίνηση), στην ισορροπία (Postural Sway Length/PSL) και την βάδιση (TUG, 10MWT). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το PSL μειώθηκε σημαντικά στην

ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα έλεγχου (και στις δύο περιπτώσεις $p < 0.01$), όπως επίσης σημαντικές διαφορές μεταξύ αρχικών και τελικών μετρήσεων είχαν και οι δύο ομάδες στο TUG και στο 10MWT, ενώ μεταξύ των τελικών μετρήσεων δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες. Οι ερευνητές καταλήγουν ότι η WBV είναι μία ασφαλής και αποτελεσματική θεραπευτική επιλογή.

Τέλος, η εξαιρετικά ενδιαφέρουσα έρευνα των van Dijksseldonk et al (2018), εξερευνά τις προοπτικές της εικονικής πραγματικότητας στην επανεκπαίδευση βάρδισης για κακώσεις του νωτιαίου μυελού. Επιστρατεύτηκαν 15 χρόνιοι (>6 μήνες) ασθενείς iSCI (AIS C/D), οι οποίοι μπορούσαν να περπατήσουν ανεξάρτητοι για 2 λεπτά, χωρίς βοήθεια από άλλο άτομο. Και οι 15 ασθενείς μπήκαν στο πρόγραμμα επανεκπαίδευσης GRAIL για 12 συνεδρίες της μίας ώρας η κάθε μία, 2 φορές την εβδομάδα, για σύνολο 6 εβδομάδων. Οι μετρήσεις έγιναν με το 2MWT (ταχύτητα), ενώ παράλληλα μετρήθηκε το μήκος βήματος, το πλάτος βήματος και η ισορροπία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά την 2^η, την 3^η και την 12^η συνεδρία και σε follow-up 6 μήνες μετά. Το σύστημα GRAIL είναι ένας διάδρομος με δύο ενσωματωμένα δυναμοδάπεδα και 8 κάμερες καταγραφής της κίνησης. Ο διάδρομος μπορεί να κινηθεί προς όλες τις δυνατές κατευθύνσεις (σε 3 επίπεδα). Μπροστά υπάρχει ημικυλινδρική οθόνη 180° που προβάλλει διάφορα περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας. Η οπτική πληροφορία ανταποκρίνεται στην ταχύτητα και την κίνηση του διαδρόμου. Για ασφάλεια, οι ασθενείς έμπαιναν σε ανάρτηση, η οποία όμως ρυθμιζόταν έτσι ώστε να παρέχει μηδενική υποστήριξη στην όρθια στάση. Κάθε συνεδρία εξατομικευόταν: επί παραδείγματι, οι ασθενείς με προβλήματα ισορροπίας έκαναν πρόγραμμα για σωστή μετατόπιση βάρους, ενώ οι ασθενείς που δυσκολευόταν να προσαρμόσουν τον βηματισμό τους στις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος, έκαναν διαδρομές που περιελάμβαναν υπερπήδηση εμποδίων και απαιτούσαν ακρίβεια στον βηματισμό. Από τη 2^η συνεδρία και μετά, η ένταση και η περιπλοκότητα των διαδρομών αυξάνονταν σταδιακά, κατ' εκτίμηση του εκπαιδευμένου στο GRAIL φυσικοθεραπευτή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ταχύτητα είχε στατιστικά πολύ σημαντική αύξηση στο τέλος των συνεδριών (2^η συνεδρία: 0.85 ± 0.41 m/s, 12^η συνεδρία: 1.04 ± 0.38 m/s, $p < 0.01$), όπως και το μήκος βήματος (2^η συνεδρία: 94 ± 39 cm, 12^η συνεδρία: 112 ± 31 cm, $p < 0.01$). Η συχνότητα βηματισμού και το πλάτος του βήματος δεν είχαν στατιστικά σημαντικές αλλαγές. Αν και η ισορροπία μετρήθηκε με υποκειμενικό τρόπο, με κλίμακα που φτιάχτηκε για την περίπτωση, τα σκορ έδειξαν ότι υπήρχε στατιστικά πολύ σημαντική βελτίωση στο τέλος των συνεδριών ($p = 0.01$). Στο follow-up των 6 μηνών προσήλθαν 10 από τους 15

ασθενείς, στους οποίους διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα της παρέμβασης με το GRAIL παρέμειναν.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 6.1, στον οποίο παρατίθενται οι έρευνες σύμφωνα με την μέθοδο/ τεχνική την οποία μελέτησαν. Έτσι, αρχικά παρατίθενται οι έρευνες που σχετίζονται με εξωσκελετούς και ρομποτικά συστήματα, ακολουθούν οι έρευνες που σχετίζονται με αναρτήσεις και, τέλος, αυτές που αναφέρονται σε άλλες θεραπευτικές προσεγγίσεις.

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα ερευνών

Ρομποτικά συστήματα						
Έρευνα	Πληθυσμός	Πρόγραμμα παρέμβασης	Ομάδα ελέγχου	Μετρήσεις	Follow- up	Αποτελέσματα
Alcobendas-Maestro et al (2012)	n=80 C2-T12, AIS ⁴ C-D 3- 6 m από την κάκωση	40 καθημερινές συνεδρίες της μίας ωρας, 30 λεπτά στο Lokomat και 30 λεπτά κλασική φυσικοθεραπεία	40 καθημερινές συνεδρίες της μίας ωρας με κλασικές μεθόδους φυσικοθεραπείας	6MWT ² 10MWT ³ FIM-L ⁷ LEMS ⁹ Ashworth Scale VAS ²² WISCI-II ²⁴	1 ^η , 20 ^η και 40 ^η συνεδρία (τέλος των 8 εβδομάδων)	WISCI-II, LEMS, 10MWT και 6MWT είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για την ομάδα παρέμβασης, τόσο σε σχέση με τις αρχικές μετρήσεις, τόσο και με την ομάδα ελέγχου
Edwards et al (2022)	n=25 C1-T10, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	45 λεπτά Ekso-GT, 3 d/w, για 12 εβδομάδες (36 συνεδρίες).	Active Control: 45 λεπτά με BWS, 3d/w, για 12 εβδομάδες (36 συνεδρίες)	10MWT ³ TUG ²¹ 6MWT ² WISCI-II ²⁴	1 ^η , 6 ^η και τέλος 12 ^{ης} εβδομάδας	Στις 12 εβδομάδες 10MWT: αύξηση για την ομάδα παρέμβασης κατά 51%, 32% στην ομάδα active control και 14% στην passive control Στις 12 εβδομάδες 6MWT: βελτίωση 34% για την ομάδα παρέμβασης, 28% για την ομάδα active control και 18% για την ομάδα passive control
			Passive Control: 36 συνεδρίες σε 12 εβδομάδες με κλασική φυσικοθεραπεία			
Esclarin-Ruz et al (2014)	n=88 C1-T7, AIS ⁴ C-D <6 m από την κάκωση	5 d/w, για 8 εβδομάδες, σύνολο 40 συνεδρίες της μίας ωρας. Μισή ώρα κλασική φυσικοθεραπεία και μισή ώρα Lokomat	5 d/w, για 8 εβδομάδες, σύνολο 40 συνεδρίες της μίας ωρας με κλασική φυσικοθεραπεία	10MWT ³ 6MWT ² WISCI-II ²⁴ LEMS ⁹ FIM-L ⁷	1 ^η , 4 ^η και 8 ^η εβδομάδα	Η απόσταση που καλύφθηκε από την ομάδα παρέμβασης στο 6MWT ήταν στατιστικά μεγαλύτερη από αυτήν της ομάδας ελέγχου. Στο 10MWT η ομάδα παρέμβασης είχε καλύτερη επίδοση, αλλά όχι στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την ομάδα ελέγχου
Evans et al (2021)	n=16 Τετραπληγία >12 μήνες	Επανεκπαίδευση βάδισης με Ekso_GT, 3d/w, για 24	Κλασική φυσικοθεραπεία, 3d/w, για 24 εβδομάδες.	6MWT ² Καρδιακός ρυθμός	6, 12 και 24 εβδομάδες	6MWT: η απόσταση που διανυθκε με τον εξωσκελετό είχε στατιστική σημαντική αύξηση στις 24 εβδομάδες, ενώ δεν παρατηρήθηκε

		εβδομάδες.	Επανεκπαίδευση βάρδισης εκτός διαδρόμου, ασκήσεις αντίστασης και καρδιαναπνευστικές			σημαντική διαφορά στην ομάδα ελέγχου Καρδιακός ρυθμός: η ομάδα παρέμβασης είχε μειωμένο καρδιακό ρυθμό κατά την προσπάθεια. Στην όρθια θέση ο καρδιακός ρυθμός ήταν σημαντικά υψηλότερος στην ομάδα ελέγχου (p=0.05) στις 24 εβδομάδες
Hong et al (2020)	n=50 όλα τα επίπεδα >6 m από την κάκωση	Δύο υπο-ομάδες στην ομάδα παρέμβασης με διαφορετικά συστήματα εξωσκελετών (Ekso_GT και Rewalk), ανάλογα με την θέση της κάκωσης και μία ομάδα έλεγχου με κλασική φυσικοθεραπεία. Οι ομάδες άλλαξαν πρόγραμμα στις 12 συνεδρίες. Πρόγραμμα παρέμβασης: 3 φ/ω, 12 w (36 συνεδρίες) Πρόγραμμα ελέγχου: ισάριθμες θεραπείες στον ίδιο χρόνο	10MWT ³ 6MWT ² TUG ²¹	12, 24, 36 συνεδρίες	Τέθηκαν εξαρχής στόχοι για την κάθε δοκιμασία: 10MWT (≤40s) 6MWT (≥80m) TUG (≤90s) Στις 12 εβδομάδες οι στόχοι επιτεύχθηκαν σε ποσοστά 62%, 70% και 72% αντίστοιχα. Στις 36 εβδομάδες τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 80%, 82% και 84%.	
Hwang et al (2017)	n=29 AIS ⁴ C-D, επίπεδο: N/A 1-6 m από την κάκωση	4 εβδομάδες επανεκπαίδευσης βάρδισης για 30 λεπτά με Lokomat, 5d/w.	10MWT ³ LEMS ⁹ FAC ⁶ WISCI-II ²⁴ Berg Balance Scale SCIM-III ¹⁹	1 ^η συνεδρία και 20 ^η συνεδρία	Μετά τα αποτελέσματα, οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες (βελτιωμένοι- μη βελτιωμένοι) για περαιτέρω ανάλυση. Όλοι οι ασθενείς με AIS C ανήκαν στην μη- βελτιωμένη ομάδα Οι περισσότεροι τετραπληγικοί AIS D ανήκαν στην βελτιωμένη ομάδα. Η βελτιωμένη ομάδα είχε μεγαλύτερη μυϊκή ισχύ κάτω άκρων στην αρχή του προγράμματος, καλύτερη ισορροπία και ανέφεραν μεγαλύτερη δραστηριότητα στην καθημερινότητά τους	

Kim et al (2021)	n=10 C6-L1 (8 SCI ¹⁷ : AIS ⁴ A-B, 2 iSCI ⁸ : AIS C) >12 m από την κάκωση	Παρέμβαση 60 λεπτών με εξωσκελετο H-MEX, 3 d/w για 10 εβδομάδες		6MWT ² TUG ²¹ MAS ¹⁰ (σπαστικότητα)	1 ^η και 30 ^η συνεδρία	Στατιστικά σημαντική βελτίωση στο 6MWT και στο TUG. Δεν φαίνεται να υπάρχει επίδραση στην σπαστικότητα
Labruyere et al (2014)	n=9 C4-T11, AIS ⁴ D >12 m από την κάκωση	Ομάδα 1: 16 συνεδρίες Lokomat για 4 εβδομάδες και μετά 16 συνεδρίες ενδυνάμωσης για 4 εβδομάδες Ομάδα 2: 16 συνεδρίες ενδυνάμωσης και μετά 16 συνεδρίες Lokomat για σύνολο 8 εβδομάδων		10MWT ³ Berg Balance Scale VAS ²²	1 ^η συνεδρία, 4 ^η , 8 ^η εβδομάδα και στους 6 μήνες	Δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων σε καμία φάση της καταγραφής μετρήσεων
Lam et al (2015)	n=15 C2-T10, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	Συνεδρίες 45 min, 3 φ/w, για 3 μήνες Lokomat με αντίσταση στην κίνηση του ισχίου και του γόνατος, ανάλογη της ταχύτητας	Συνεδρίες 45 min, 3 φ/w, για 3 μήνες. Lokomat χωρίς αντίσταση στην κίνηση	Αντοχή (συνολική διάρκεια αντοχής στο πρόγραμμα βάρδισης στο Lokomat) SCI-FAP ¹⁸ 10MWT ³ 6MWT ²	1 ^{ος} και 6 ^{ος} μήνας	Βελτίωση και στις δύο ομάδες, αλλά όχι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους
McIntosh et al (2019)	n=11 C6-L2, AIS ⁴ A-D (δεν διευκρινίζεται πόσοι είχαν ατελή κάκωση) 3-15 εβδομάδες από την κάκωση	Παρέμβαση σε όλους τους ασθενείς με εξωσκελετό Ekso_GT, 25 συνεδρίες, των 60 λεπτών, 3 φ/w.		10MWT ³ 6MWT ²	2 ^η και 25 ^η συνεδρία	6MWT: 2,5 φορές μεγαλύτερη απόσταση κατά μέσο όρο στην 25 ^η συνεδρία 10MWT: 3,2 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα κατά μέσο όρο στην 25 ^η συνεδρία
Shackleton et al (2021)	n=16 C1-C8, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	Επανεκπαίδευση βάρδισης με Ekso_GT, 3d/w, για 24 εβδομάδες	Κλασική φυσικοθεραπεία (ABT), 3d/w, για 24 εβδομάδες. Επανεκπαίδευση βάρδισης (όχι διάδρομος)	LEMS ⁹ SCI-FAP ¹⁸	6 ^η , 12 ^η και 24 ^η εβδομάδα	Μόνο η ομάδα παρέμβασης είχε στατιστικά σημαντική διαφορά στην LEMS. Η απόσταση που μπορούσαν να διανύσουν οι ασθενείς στην SCI-FAI είχε στατιστικά σημαντική αύξηση μόνο στην ομάδα παρέμβασης

Tang et al (2014)	n=30 C6-L3, AIS ⁴ D μ.ο. 6m από την κάκωση	Εκπαίδευση 40 min στο Lokomat	Εκπαίδευση 40 min σε Ergo_bike	10MWT ³ P-RT ¹³	Λήξη των συνεδριών	Ο P-RT και ο χρόνος που απαιτείται για να καλυφθούν τα 10m σημείωσαν στατιστικά σημαντική μείωση για την ομάδα του Lokomat
Varoqui et al (2014)	n=30 C2-T7, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	3 d/w, για 4 εβδομάδες εκπαίδευση στο Lokomat και μετά άλλες 8 εβδομάδες κλασικής φυσικοθεραπείας 3d/w.	3 d/w, ωριαίες συνεδρίες για 12 εβδομάδες	10MWT ³ 6MWT ² TUG ²¹	4 εβδομάδες και 12 εβδομάδες	Στατικά σημαντική βελτίωση στο TUG και στο 10MWT για την ομάδα παρέμβασης. Στην αντοχή στην άσκηση (6MWT) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων, στην μέτρηση που έγινε στις 4 εβδομάδες του προγράμματος.
Αναρτήσεις						
Alexeeva et al (2011)	n=35 C2-T10, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	Ομάδα 1: Πρόγραμμα 13 εβδομάδων, 3d/w, με BWS και μετακίνηση σε οριοθετημένο χώρο Ομάδα 2: Πρόγραμμα 13 εβδομάδων, 3d/w, με BWS και μετακίνηση σε διάδρομο	Ομάδα 3: Πρόγραμμα 13 εβδομάδων, 3 d/w, με κλασική φυσικοθεραπεία	10MWT ³ WISCI-II ²⁴ MMT ¹¹ LEMS ⁹ QoL ¹⁵ (SAWS ¹⁶ και SF-36 ²⁰)	1 ^η συνεδρία και στο τέλος των 13 εβδομάδων (29 ^η συνεδρία)	Σημαντική βελτίωση στην ισορροπία και στην μυϊκή ισχύ στις ομάδες 1 και 2. Αντίστοιχα στατιστικά σημαντική βελτίωση της ταχύτητας βάδισης στις ομάδες παρέμβασης σε σχέση με την ομάδα έλεγχου. 28 από τους 35 ασθενείς ανέφεραν μεγαλύτερη ικανοποίηση από τις ικανότητές τους στις σχετιζόμενες με QoL κλίμακες
Shenthilvelkumar et al (2015)	n=14 C5-C8, AIS ⁴ C < 2 γ από την κάκωση	Πρόγραμμα 30 λεπτών/ ημέρα, 5d/w για 8 εβδομάδες, με χρήση BWS σε διάδρομο και	Πρόγραμμα 30 λεπτών/ ημέρα, 5 d/w, για 8 εβδομάδες, με χρήση BWS στο έδαφος και	WISCI-II ²⁴ LEMS ⁹	1 ^η , 20 ^η και 40 ^η συνεδρία	Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις ομάδες στην WISCI-II (p=0.748) και στην LEMS (p=0,749). Στο τέλος των συνεδριών 2 ασθενείς από την ομάδα

		επιπλέον κλασική φυσικοθεραπεία	επιπλέον κλασική φυσικοθεραπεία			παρέμβασης και 1 από την ομάδα έλεγχου κατέκτησαν την ανεξάρτητη μετακίνηση με βακτηρία
Tester et al (2011)	n=21 C4-T8, AIS ⁴ C-D 23±18 m από την κάκωση	20-30 λεπτά διάδρομος με BWS, 5d/w, για 9 εβδομάδες		LEMS ⁹ WISCI-II ²⁴	2η και 45 ^η συνεδρία	Στατιστικά σημαντική διαφορά στη LEMS των ασθενών που είχαν αιώρηση του άνω άκρου σε σχέση με αυτούς που δεν είχαν, ανεξαρτήτων επιπέδου νευρολογικής βλάβης (αυχενική ή θωρακική μοίρα).
Άλλες θεραπευτικές προσεγγίσεις						
Gollie et al (2017)	n=6 Τετραπληγίες, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	Παρέμβαση σε όλους τους ασθενείς, 24 συνεδρίες OLT ¹² , 2d/w. Η κάθε συνεδρία είχε διάρκεια 90 λεπτών		10MWT ³ Καρδιακή συχνότητα VO ₂	2 ^η και 24 ^η συνεδρία	Στις 24 συνεδρίες: η ταχύτητα βάρδισης αυξήθηκε σημαντικά, δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στην καρδιακή συχνότητα, αλλά μετρήθηκε διαφορά στην κατανάλωση οξυγόνου κατά την προσπάθεια, δηλαδή σημειώθηκε βελτιωμένη αεροβική ικανότητα
Gollie et al (2020)	n=6 Τετραπληγίες, AIS ⁴ C-D >12 m από την κάκωση	Παρέμβαση σε όλους τους ασθενείς, 24 συνεδρίες OLT ¹² , 2d/w. Η κάθε συνεδρία είχε διάρκεια 90 λεπτών		Αντοχή στη βάρδιση	2 ^η και 24 ^η συνεδρία	Η OLT είχε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα στην αύξηση της αντοχής και μείωση της αντιλαμβανόμενης κόπωσης
In et al (2018)	n=28 C6-C7, AIS ⁴ D ≥ 6 m από την κάκωση	Συνεδρίες των 20 λεπτών με WBV ²³ , 5d/w, για 8 εβδομάδες και παράλληλο πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας για 30 λεπτά	Ισάριθμες placebo συνεδρίες WBV ²³ και πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας για 30 λεπτά	Σπαστικότητα (μέτρηση με δυναμόμετρο) PSL ¹⁴ TUG ²¹ 10MWT ³	1 ^η και 40 ^η συνεδρία	PSL μειωμένο σημαντικά και στις δύο ομάδες. Σημαντικές διαφορές και στις δύο ομάδες στο TUG και το 10MWT, αλλά όχι στατιστική διαφορά μεταξύ τους

van Dijksseldonk et al (2018)	n=15 επίπεδο: N/A, AIS ⁴ C-D >6 m από την κάκωση	12 συνεδρίες επανεκπαίδευσης βάδισης με το σύστημα εικονικής πραγματικότητας GRAIL, διάρκειας μίας ώρας, 2d/w, για 6 εβδομάδες	2MWT ¹ Μήκος βήματος Συχνότητα βηματισμού, πλάτος βήματος και ισορροπία	2 ^η , 3 ^η και 12 ^η συνεδρία. 10 απο τους 15 ασθενείς επαναξιολογήθηκαν 6 μήνες μετά το τέλος της παρέμβασης	Στατιστικά πολύ σημαντική διαφορά στην ταχύτητα, το μήκος βήματος και την ισορροπία (12 ^η συνεδρία). Στους 6 μήνες διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα του GRAIL είχαν παραμείνει.
--------------------------------------	---	--	---	---	---

2MWT: 2 Minute Walk Test, 6MWT: 6 Minute Walk Test, 10MWT: 10 Meter Walk Test, AIS: ASIA Impairment Scale, BWS: Body- Weight Support, FAC: Functional Ambulation Category, FIM-L: Functional Independence Measure- Locomotor, iSCI: incomplete Spinal Cord Injury, LEMS: Lower Extremity Motor Score, MAS: Motor Assessment Scale, MMT: Manual Muscle Testing, OLT: Overground Locomotor Training, P-RT: Probe Reaction Time, PSL: Postural Sway Length, QoL: Quality of Life, SAWS: Satisfaction With Abilities and Well-being Scale, SCI: Spinal Cord Injury, SCI-FAP: Spinal Cord Injury- Functional Ambulation Profile, SCIM-III: Spinal Cord Independence Measure-III, SF-36: 36-item Short Form Survey Instrument, TUG: Timed-Up and Go, VAS: Visual Analogue Scale, WBV: Whole Body Vibration, WISCI-II: Walking Index for Spinal Cord Injury-II

Η πρώτη παρατήρηση που συνάγεται εύκολα από τον πίνακα είναι ότι υπάρχει μία σαφής προτίμηση στα εργαλεία αξιολόγησης που προτιμήθηκαν για να γίνουν οι μετρήσεις. Τα συνηθέστερα εργαλεία είναι τα: 6MWT, 10MWT, TUG, LEMS και WISCI-II. Αυτές οι επιλογές δείχνουν ότι ο πρωταρχικός στόχος των ερευνητών ήταν να μετρήσουν την βελτίωση στην ποιότητα της βάδισης με απλό και γρήγορο τρόπο, καθώς για κανένα από αυτά δεν απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός, χρονοβόρες διαδικασίες και εκπαίδευση/πιστοποίηση των αξιολογητών πάνω στην χρήση των συγκεκριμένων εργαλείων μέτρησης.

Ένα δεύτερο σχόλιο είναι ότι παρατηρείται ανομοιογένεια σε σχέση με την έναρξη των θεραπευτικών παρεμβάσεων. Παρόλο, όμως, που κάποιες έρευνες επιστράτευαν ασθενείς με κάκωση <6 μηνών και κάποιες είχαν χρόνιους ασθενείς με την κάκωση να έχει συμβεί >12 μήνες πριν την έναρξη του προγράμματος (στα επιμέρους στατιστικά στοιχεία των ερευνών βρέθηκαν χρόνιοι ασθενείς για τους οποίους είχαν παρέλθει >2 έτη από την κάκωση), τα αποτελέσματα δεν φαίνεται να εξαρτώνται από την περίοδο της έναρξης του προγράμματος. Δεν υπάρχει έρευνα που να συγκρίνει τις διαφορές που μπορεί να προκύπτουν από την διαφοροποίηση στην χρονική έναρξη ενός προγράμματος, πχ εντός 6μήνου από την κάκωση σε σχέση με παρέμβαση μετά τους 12 μήνες. Η μόνη έρευνα που θα μπορούσε να καταδείξει τυχόν διαφορές σε αυτό το κομμάτι είναι αυτή των Hwang et al (2017) και αυτό γιατί εκεί οι ερευνητές επέλεξαν να προχωρήσουν σε περαιτέρω στατιστική επεξεργασία των δεδομένων τους. Για το δεδομένο δείγμα, όμως, δεν φαίνεται να υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις υπο-ομάδες του πληθυσμού.

Από το σύνολο των 20 ερευνών, όλες είχαν στατιστικά σημαντικές ή πολύ σημαντικές διαφορές για τους ασθενείς τους στην σύγκριση αρχικών και τελικών μετρήσεων. Οι 13 από αυτές εμφάνισαν στατιστικές διαφορές των ομάδων παρέμβασης με τις ομάδες ελέγχου, είτε η παρέμβαση ήταν κάποιος από τους εξωσκελετούς, είτε η ανάρτηση, είτε η χρήση εικονικής πραγματικότητας. Συνολικά, η αποτελεσματικότητα των ρομποτικών εξωσκελετών μελετήθηκε σε δείγμα 409 ατόμων, η χρήση των αναρτήσεων σε δείγμα 70 ατόμων και οι άλλες παρεμβάσεις που συμπεριλήφθηκαν (WBV, OLT και GRAIL) σε 55 ασθενείς. Από τις 13 έρευνες πάνω στην χρήση ρομποτικών εξωσκελετών, στατιστικά σημαντικές διαφορές επισήμαναν οι 10, ενώ 3 δεν βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Αντίστοιχα, στις 3 έρευνες των αναρτήσεων, οι 2 κατέγραψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και μία όχι.

Κεφάλαιο 7. Συζήτηση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, με τα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού που τέθηκαν εξαρχής και περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας, προέκυψε ότι μεγαλύτερος όγκος των σύγχρονων κλινικών δοκιμών για την αποκατάσταση ασθενών με ατελή κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού, περιστρέφεται γύρω από την χρήση της τεχνολογίας, όπως αυτή αποτυπώνεται στην εξάπλωση των ρομποτικών μεθόδων. Οι ρομποτικοί εξωσκελετοί, είτε αυτοί είναι σταθεροί μπορούν να βοηθήσουν τους ασθενείς να περπατήσουν πάνω σε έναν κυλιόμενο διάδρομο, είτε μπορούν να φορεθούν και να επιτρέψουν στους ασθενείς να κινηθούν ελεύθερα στο χώρο, έχουν εξελιχθεί πολύ από την πρώτη δοκιμή του Lokomat, πάνω από 30 χρόνια πριν. Οι έρευνες της συστηματικής ανασκόπησης μελέτησαν την επίδραση που είχαν 4 διαφορετικοί τύποι ρομποτικών συστημάτων (Lokomat, Ekso-Gt, Rewalk και H-Mex) στην αποκατάσταση της βάδισης. Το ίδιο ακριβώς ζητούμενο ήταν το ερευνητικό ερώτημα και των υπόλοιπων ερευνών που περιλαμβάνονται στην συστηματική ανασκόπηση, οι οποίες μελετούν την αποτελεσματικότητα των απλών αναρτήσεων (με βάδιση σε διάδρομο ή ελεύθερα στο χώρο με φορητά συστήματα αναρτήσεων), των δονήσεων ή της χρήσης συστημάτων εικονικής πραγματικότητας.

Καθώς όλες οι κλινικές δοκιμές είχαν ως στόχο να μελετήσουν την αποτελεσματικότητα των μεθόδων που δοκιμάζονταν στην επανεκπαίδευση της βάδισης, τα μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιήσαν σε επίπεδο μετρήσεων είχαν μια σχετική ομοιογένεια. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η ποιότητα της βάδισης μπορεί να μετρηθεί με συγκεκριμένες παραμέτρους και τα διαθέσιμα σταθμισμένα εργαλεία γι' αυτόν τον σκοπό είναι περιορισμένα. Έτσι, μπορεί εύκολα κάποιος να παρατηρήσει στον πίνακα 6.1 στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου ότι, η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνητών προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν το 6MWT και το 10MWT, για να μετρήσουν τις αποστάσεις (και κατά συνέπεια την αντοχή των ασθενών) και την ταχύτητα, ακολουθούμενα από την αύξηση της ισχύος των κάτω άκρων που πετύχαν οι παρεμβάσεις τους, μέσω της LEMS, το WISCI-II, που είναι μία εξειδικευμένη κλίμακα που αξιολογεί την βάδιση σε ασθενείς με κακώσεις / βλάβες του νωτιαίου μυελού και το TUG. Αυτή η κλινική προτίμηση προς τα συγκεκριμένα αξιολογητικά εργαλεία αποτυπώνεται και σε άλλες συστηματικές ανασκοπήσεις (Zhang et al, 2022; Louie et al, 2015; Rodriguez- Fernandez et al, 2021). Ένα σχόλιο που θα μπορούσε να κάνει κανείς πάνω στην επιλογή των αξιολογητικών εργαλείων είναι ότι ελάχιστες από τις προαναφερθείσες έρευνες προσπαθούν να μετρήσουν τον αντίκτυπο της βελτίωσης της ποιότητας της βάδισης πάνω στην συνολική ποιότητα ζωής, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα εργαλεία που αποτυπώνουν την αντιλαμβανόμενη ποιότητα

ζωής, εν αντιθέσει με την λειτουργικότητα καθαυτή. Ίσως, θεωρείται δεδομένο ότι η αύξηση της λειτουργικότητας συνεπάγεται και με την αύξηση των δεικτών της ποιότητας ζωής, αλλά ενδεχομένως η χρήση ενός ποιοτικού εργαλείου αυτοαξιολόγησης για την αντιλαμβανόμενη ποιότητα ζωής θα μπορούσε να φωτίσει καλύτερα την συγκεκριμένη πτυχή για την αποτελεσματικότητα της θεραπευτικής προσπάθειας.

Σε ό,τι αφορά στους τύπους των ασθενών, η συντριπτική πλειοψηφία των ερευνών μελέτησε AIS C ή και D, αλλά παρατηρείται ανομοιογένεια στα επίπεδα της βλάβης, καθώς ναι μεν οι 11 από αυτές περιελάμβαναν ασθενείς με βλάβες από αυχενικού και θωρακικού επιπέδου, αλλά ακόμα 4 περιελάμβαναν όλα τα επίπεδα. Μόνο 2 από τις έρευνες ήταν επικεντρωμένες σε κακώσεις αυχενικής μοίρας (Shackleton et al, 2021; Shenthivelkumar et al, 2015), αλλά δεν καθίσταται δυνατή μία μεταξύ τους σύγκριση καθώς η μία μελέτησε την επίδραση ρομποτικών συστημάτων (εν προκειμένω Ekso_Gt) και η άλλη πρόγραμμα με επανεκπαίδευση βάδισης με αναρτήσεις. Η παρατήρηση που θα μπορούσε να γίνει εδώ είναι ότι οι κλινικές δοκιμές εστιάζουν περισσότερο στον τύπο AIS, απ' ό,τι σε συγκεκριμένα επίπεδα κάκωσης. Οι μελέτες που εστιάζουν αποκλειστικά στο επίπεδο της αυχενικής μοίρας είναι λίγες και από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε της συγγραφής της συστηματικής ανασκόπησης διαπιστώθηκε ότι πρόκειται κατά κύριο λόγο για μελέτες περίπτωσης ή για σειρά μελετών περίπτωσης (case series) και δεν μπορούσαν γι' αυτόν τον λόγο να συμπεριληφθούν στην παρούσα εργασία. Διαπιστώνεται δε, ότι και άλλες συστηματικές ανασκοπήσεις σχολιάζουν άμεσα ή έμμεσα αυτό το γεγονός, αφού οι πιο πρόσφατες ανασκοπήσεις σχετικά με το θέμα περιλαμβάνουν όλα τα επίπεδα βλαβών. Ο σχολιασμός τους έγκειται στο γεγονός ό,τι στα αποτελέσματα των κλινικών ερευνών σπανίως αναλύονται τα αποτελέσματα με βάση το επίπεδο της βλάβης και δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ π.χ. των ασθενών με αυχενική ή υψηλή θωρακική κάκωση (Zhang et al, 2022; Tan et al, 2021; Rodriguez-Fernandez et al, 2021). Πράγματι, από τις έρευνες που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση, τέτοια ανάλυση προέκυψε μόνο στην περίπτωση των Hwang et al (2017), οι οποίοι όμως εστίασαν όχι στο επίπεδο, αλλά στον τύπο AIS για να εξάγουν πολύτιμα συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της παρέμβασής τους.

Σε επίπεδο επιμέρους αποτελεσμάτων, ενδιαφέρον έχει ότι στην παρούσα ανασκόπηση διαπιστώνεται πως η πλειοψηφία των ασθενών, είτε αυτοί συμμετείχαν στο ερευνητικό πρωτόκολλο είτε σε πρόγραμμα κλασικής φυσικοθεραπείας, βελτίωσαν την ταχύτητα βάδισης. Στις περισσότερες έρευνες που μελέτησαν ρομποτικά συστήματα οι διαφορές μεταξύ των ομάδων παρέμβασης και των ομάδων ελέγχου ήταν στατιστικά σημαντικές και ιδιαίτερο

ενδιαφέρον έχει το ότι ανάμεσα στις έρευνες που κατέγραψαν, διαφορές υπέρ της χρήσης ρομποτικών συστημάτων για την επανεκπαίδευση της βάδισης συγκαταλλέγονται και οι δύο που συγκέντρωσαν το μεγαλύτερο δείγμα (Alconbendas-Maestro et al, 2012; Esclarin-Ruz et al, 2014). Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε αντίθεση με το αποτέλεσμα προηγούμενης συστηματικής ανασκόπησης, η οποία είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι μεγαλύτερες βελτιώσεις σχετίζονται με καλύτερη αρχική κλινική εικόνα (Louie et al, 2015). Παράλληλα, στην ίδια προηγούμενη ανασκόπηση είχαν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η βελτίωση είναι μεγαλύτερη για τα άτομα που ξεκίνησαν την θεραπεία σε λιγότερο έξι μήνες από τον τραυματισμό, συμπέρασμα που δεν μπορεί να προκύψει από την παρούσα ανασκόπηση, καθώς αν θέσουμε ως ορόσημο τους 6 μήνες, από τις έρευνες που συμπεριλήφθησαν μόνο οι 6 έθεσαν ως περιορισμό για την συμμετοχή τον τραυματισμό που συνέβη λιγότερο από 6 μήνες πριν την έναρξη του προγράμματος. Άρα, το συμπέρασμα που συνάγεται είναι ότι σημαντικές βελτιώσεις αναμένονται και στην χρόνια φάση του τραυματισμού, ακόμα και αν το χρονικό σημείο υπερβαίνει το ένα έτος από τον τραυματισμό. Σε αυτό συμφωνεί και η πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση των Zhang et al (2022). Αν και δεν πρέπει να παραγνωριστεί το γεγονός ότι όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική απόσταση από το συμβάν, τόσο πιο επηρεασμένη θα είναι η κλινική εικόνα, όλοι οι ασθενείς μπορούν να επωφεληθούν από ένα σύγχρονο πρόγραμμα αποκατάστασης.

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφέρει ότι οι ασθενείς που συμμετείχαν σε προγράμματα με ανεξάρτητους εξωσκελετούς διένυαν μεγαλύτερη απόσταση στο 6MWT και ολοκλήρωναν ταχύτερα το 10MWT και το TUG (Zhang et al, 2022; Duddy et al, 2021). Σύμφωνα με τους συγγραφείς, αυτές οι διαφορές μεταξύ των εξωσκελετών που προάγουν την ανεξάρτητη μεταφορά στον χώρο σε σχέση με ένα σταθερό σύστημα (πχ Lokomat) έγκειται στο ότι οι ασθενείς των ανεξάρτητων εξωσκελετών χρειάζεται να καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια κατά την μετακίνηση και να εμπλέξουν περισσότερο τους μύς του κορμού, των άνω άκρων καθώς και το πυελικό έδαφος, προάγοντας με αυτόν τον τρόπο την μεγαλύτερη κινητική και αισθητηριακή λειτουργία των νευρώνων για τη διατήρηση της ισορροπίας, μεταξύ άλλων. Στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση δεν μπορούσαν να ανιχνευτούν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο διαφορετικών συστημάτων. Ομοίως, η συστηματική ανασκόπηση των Zhang et al (2022) αναφέρει ότι το Lokomat, με τον «περιορισμό» που επιβάλλει στην τροχιά των κινήσεων του κάτω άκρου, επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα στο WISCI-II σε σχέση με τους ρομποτικούς εξωσκελετούς, κάτι που επίσης δεν διαφαίνεται ξεκάθαρα στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση.

Περιορισμοί και μελλοντικές κατευθύνσεις

Ο σημαντικότερος περιορισμός για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της παρούσας ανασκόπησης είναι αναμφίβολα ο μικρός αριθμός των σχετικών κλινικών δοκιμών. Έχοντας θέσει δύο σημαντικούς αρχικούς περιορισμούς σε σχέση με την υπό μελέτη παθολογία (α. το επίπεδο της βλάβης και β. ατελής κάκωση και όχι πλήρης), ο μεγαλύτερος όγκος της βιβλιογραφίας αφορούσε σε μελέτες περίπτωσης που δεν θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν σε μία συστηματική ανασκόπηση. Ένας δεύτερος σημαντικός περιορισμός για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες έρευνες που συμπεριλήφθηκαν είχαν μικρό αριθμό δείγματος. Μόνο 9 εξ αυτών είχαν δείγμα ≥ 25 ατόμων και μόνο 3 είχαν δείγμα ≥ 50 ατόμων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι σύγχρονες παρεμβάσεις με την χρήση της τεχνολογίας, από ρομποτικά συστήματα μέχρι εικονική πραγματικότητα, μπορούν να συνεισφέρουν στην ταχύτερη και ποιοτικότερη αποκατάσταση των ασθενών με κάκωση νωτιαίου μυελού. Με δεδομένο το υψηλό επίπεδο της βλάβης σε περιπτώσεις κάκωσης του νωτιαίου μυελού, που έχει ως αποτέλεσμα να θίγονται περισσότερες μυϊκές ομάδες και οι ασθενείς να οδηγούνται σε τετραπληγία, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την λειτουργικότητά τους και την ποιότητα ζωής τους, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα πάνω σε αυτήν την πληθυσμιακή ομάδα ασθενών, έτσι ώστε να εξαχθούν ασφαλή αποτελέσματα για την βέλτιστη αντιμετώπιση. Με δεδομένο ότι οι κακώσεις νωτιαίου μυελού (ατελείς ή πλήρεις) έχουν μεγαλύτερη επίπτωση σε νεαρά άτομα, η έρευνα πρέπει να επιστρατεύσει όλα τα διαθέσιμα τεχνολογικά και επιστημονικά μέσα που διαθέτει, έτσι ώστε οι ασθενείς που έχουν υποστεί ατελή κάκωση της αυχενικής μοίρας του νωτιαίου μυελού να κερδίσουν την μέγιστη δυνατή λειτουργικότητα, μέσα από στοχευμένες παρεμβάσεις.

Βιβλιογραφία

1. Alcobendas-Maestro M, Esclarin- Ruz A, Casado- Lopez RM et al. Lokomat robotic-assisted versus overground training within 3 to 6 months of incomplete spinal cord lesion: randomized controlled trial. *Neurorehabilitation Neural Repair* 2012; 26:1058
2. Aleeva N, Sames C, Jacobs PL et al. Comparison of training methods to improve walking in persons with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial. *J Spinal Cord Injury* 2011; 34(4):362-379
3. Alizadeh A, Dyck SM and Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology, Models and Acute Injury Mechanisms. *Front. Neurol.* 2019; 10:282. doi: 10.3389/fneur.2019.00282
4. Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Myelin damage and repair in pathologic CNS: challenges and prospects. *Front Mol Neurosci.* 2015;8:35. doi: 10.3389/fnmol.2015.00035
5. American Spinal Injury Association (1992). *Standards for Neurological of Spinal Injury Patients*. Chicago: ASIA
6. Arpin DJ, Ugiliweneza B, Forrest G, Harkema SJ, Rejc E. Optimizing neuromuscular electrical stimulation pulse width and amplitude to promote central activation in individuals with severe spinal cord injury. *Front. Physiol.* 2019;10:1310.
7. Asboth L, et al. Cortico-reticulo-spinal circuit reorganization enables functional recovery after severe spinal cord contusion. *Nat. Neurosci.* 2018;21:576-588.
8. Barbiellini Amidei, C., Salmaso, L., Bellio, S. et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: a large population-based study. *Spinal Cord* (2022). <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00795-w>
9. Carhart MR, He J, Herman R, et al. Epidural spinal- cord stimulation facilitates recovery of functional walking following incomplete spinal- cord injury. *IEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2004; 12(1):32-42
10. Chhaya S.J., Quiros-Molina D., Tamashiro-Orrego A.D., Houle J.D., Detloff M.R. Exercise-Induced Changes to the Macrophage Response in the Dorsal Root Ganglia Prevent Neuropathic Pain after Spinal Cord Injury. *J. Neurotraum.* 2019;36:877–890
11. Chung E, Lee BH, Hwang S. Therapeutic effects of brain-computer interface-controlled functional electrical stimulation training on balance and gait performance for stroke: A pilot randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(51):e22612.

12. Cikajlo I & Baid T. FES gait re-education. The swing phase estimation. *Neuromodulation* 2003; 6(2):122-127
13. Cikajlo I., Matjacic Z., Baid T, & Futami R. Sensory supported FES control in gait training in incomplete spinal cord injury persons. *Artif Organs* 2005; 29(6):459-461
14. Costacurta ML, Taricco LD, Kobaiyashi ET, Cristante AR. Epidemiological profile of a pediatric population with acquired spinal cord injury from AACD: São Paulo/Brazil. *Spinal Cord*. 2010; 48(2):118-21. doi: 10.1038/sc.2009.130.
15. Cote MP, Murray M, Lemay MA. Rehabilitation strategies after spinal cord injury: inquiry into the mechanisms of success and failure. *J. Neurotrauma*. 2017;34:1841-1857.
16. Duddy D, Doherty R, Connolly J et al. The effects of powered exoskeleton gait training on cardiovascular function and gait performance: a systematic review. 2021; 21:3207
17. Edwards DJ, Forrest G, Cortes M et al. Walking improvement in chronic incomplete spinal cord injury with exoskeleton robotic training (WISE): a randomized controlled trial. *Spinal Cord* 2022 [online], διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9209325/>
18. Esclarin_ruz A, Alcobendas-Maestro M, Casado-Lopez R, et al. A comparison of robotic walking therapy and conventional walking therapy in individuals with upper versus lower motor neuron lesions: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2014; 95:1023-1031
19. Evans RW, Shackleton CL, West S, et al. Robotic locomotor training leads to cardiovascular changes in individuals with incomplete spinal cord injury over a 24-week rehabilitation period: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2021; 102(8):1447-1456
20. Ghassan, F, et al. Spinal Cord Injury. *Clinical Trials in Neurology*. 2018; 138: 365-397.
21. Gill ML, et al. Neuromodulation of lumbosacral spinal networks enables independent stepping after complete paraplegia. *Nat. Med*. 2018;24:1677-1682.
22. Gollie JM, Guccione AA, Keyser RE et al. Walking endurance, muscle oxygen extraction, and perceived fatigability after overground locomotor training in incomplete spinal cord injury: a pilot study. *J Spinal Cord Med* 2020;14:1-9
23. Gollie JM, Guccione AA, Panza GS et al. Effects of overground locomotor training on walking performance in chronic cervical motor incomplete spinal cord injury: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 2017; 98 (6): 1119-1125

24. Guo LY, Lozinski B, Yong VW. Exercise in multiple sclerosis and its models: focus on the central nervous system outcomes. *J. Neurosci. Res.* 2020;98:509-523.
25. Field-Fote E.C. Exciting recovery: Augmenting practice with stimulation to optimize outcomes after spinal cord injury. *Prog. Brain Res.* 2015;218:103-126.
26. Figley SA, Khosravi R, Legasto JM, Tseng YF, Fehlings MG. Characterization of vascular disruption and blood-spinal cord barrier permeability following traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma.* (2014) 31:541–52. doi: 10.1089/neu.2013.3034
27. Fu J, Wang H, Deng L, Li J. Exercise training promotes functional recovery after spinal cord injury. *Neural Plast.* 2016;2016:4039580
28. Gollie JM., Guccione AA., Panza GS et al. Effects of overground locomotor training on walking performance in chronic cervical motor incomplete spinal cord injury: A pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2016; 98(6):1119-1125
29. Hasegawa T., Uchiyama Y., Uemura K, et al. Physical impairment and walking function required for community ambulation with cervical incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord* 2014; 52(5):396-399
30. Herring B.E., Nicoll R.A. Long-Term Potentiation: From CaMKII to AMPA Receptor Trafficking. *Annu. Rev. Physiol.* 2016;78:351-365.
31. Hong PH, Gorman EK, Forrest GF et al. Mobility skills with exoskeletal- assisted walking in persons with sci: results from a three center randomized clinical trial. *Front Robot AI* 2020; 7:93
32. Hwang S, Kim HR, Han ZA, et al. Improved gait speed after robot- assisted gait training in patients with motor incomplete spinal cord injury: a preliminary study. *Ann Rehabil Med* 2017; 42(1):32-41
33. In T., Jung K., Lee MG, et al. Whole-body vibrations improves ankle spasticity, balance, and walking ability in individuals with incomplete cervical spinal cord injury. *Neurorehabilitation* 2018; 42(4):491-497
34. Inanici F, et al. Transcutaneous electrical spinal stimulation promotes long-term recovery of upper extremity function in chronic tetraplegia. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2018;26:1272–1278
35. James ND, McMahon SB, Field-Fote EC, Bradbury EJ. Neuromodulation in the restoration of function after spinal cord injury. *Lancet Neurol.* 2018;17:905-917
36. James SL, Theadom A, Ellenbogen RG, Bannick MS, Montjoy-Venning W, Lucchesi LR, et al. Global, regional, and national burden of traumatic brain injury and spinal cord

- injury, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2019;18:56-87.
37. Jackman S.L., Regehr W.G. The Mechanisms and Functions of Synaptic Facilitation. *Neuron.* 2017;94:447-464.
 38. Kim HS, Park JH, Lee HS et al. Effects of wearable powered exoskeletal training on functional mobility, physiological health and quality of life in non- ambulatory spinal cord injury patients. *J Korean Med Sci* 2021; 36e80
 39. Kirschblum et al. International standards for neurological classification of spinal injury patients. *J Spinal Cord Med* 2011; 34(6): 535-546
 40. Labruyete R & Hedel HV. Strength training versus robot- assisted gait training after incomplete spinal cord injury: a randomized pilot study in patients depending on walking assistance. *J Neuron Rehab* 2014; 11:4
 41. Lam T, Pauhl K, Ferguson A et al. Training with robot- applied resistance in people with motor- incomplete spinal cord injury: Pilot study. *JRRD* 2015;52(1):113-130
 42. Lenehan B., Stree, J., Kwon B., Noonan V., Zhang H., Fisher C., Dvorak M. The Epidemiology of Traumatic Spinal Cord Injury in British Columbia, Canada, *Spine*, 2012; 37: 4: 321-329
 43. Lee BB, Cripps RA, Fitzharris M, Wing PC. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord.* 2014;2:110-6.
 44. Li C, Wei J, Huang X, Duan Q, Zhang T. Effects of a Brain-Computer Interface- Operated Lower Limb Rehabilitation Robot on Motor Function Recovery in Patients with Stroke. *J Healthc Eng.* 2021:4710044.
 45. Liang ZW, Lei T, Wang S, Luo ZJ, Hu XY. A simple electrical stimulation cell culture system on the myelination of dorsal root ganglia and Schwann cells. *Biotechniques.* 2019;67:11-15
 46. Louie DR & Eng JJ. Spinal Cord Injury Research Evidence (SCIRE) Research Team. Gait speed using powered robotic exoskeletons after spinal cord injury: a systematic review and correlational study. *J Neuroeng Rehabil* 2015;12:82
 47. Marinho- Buzelli AR, Barela AMF, Craven BC, et al. Effects of water immersion on gait initiation: part II of a case series after incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord Ser Cases.* 2019; 16:6:84
 48. Mazwi NLet al (2015). *Traumatic Spinal Cord Injury: Recovery, Rehabilitation, and Prognosis.* *Current Trauma Reports*, Springer International Publishing, 182-192

49. McIntosh K, Charbonneau R, Bensaada Y, et al. The safety and feasibility of exoskeletal assisted walking in acute rehabilitation following spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehab* 2019; 101:113-120
50. Michael Fehlings AR, Boakye M, Rossignol S, Ditunno JF Jr, Anthony S (2013). *Burns Essentials of Spinal Cord Injury Basic Research to Clinical Practice*. Denver, CO: Thieme Medical Publishers Inc.
51. Nas K, Yazmalar L, Sah V et al. Rehabilitation of spinal cord injuries. *World J Orthop* 2015; 6(1):8-16
52. NCSCI. Spinal Cord Injuries. Facts and Figures at a glance. 2019 [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncscisc.uab.edu/Public/Facts%20and%20Figures%202019%20-%20Final.pdf> [πρόσβαση 05/05/2022].
53. O'Shea, T. M., Burda, J. E., & Sofroniew, M. V. (2017). Cell biology of spinal cord injury and repair. *The Journal of clinical investigation*, 127(9), 3259-3270.
54. Panza GS, Herrick JE, Chin LM, et al. Effect of overground locomotor training on ventilator kinetics and rate of perceived exertion in persons with cervical motor-incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord Ser Cases* 2019;26:5:80
55. Rodriguez- Fernandez A, Lobo-Prat J, Font- Llagunes HM. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments. *J Neuroeng Rehabil*. 2021; 18:22
56. Senthilvelkumar T, Magimairaj H, Fletcher J, et al. Comparison of body weight-supported treadmill training versus body weight-supported overground training in people with incomplete tetraplegia: a pilot randomized trial. *Clin Rehabil* 2015; 29(1):42-49
57. Shackleton C, Evans R, West S et al. Robotic walking for recovery of functional capacity in individuals with incomplete spinal cord injury: a randomized pilot trial 2021 [online] διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1101/2021.10.24.21265389> doi: medRxiv preprint
58. Taccola G, et al. Acute neuromodulation restores spinally-induced motor responses after severe spinal cord injury. *Exp. Neurol*. 2020;327:113246
59. Takeoka A, Vollenweider I, Courtine G, Arber S. Muscle spindle feedback directs locomotor recovery and circuit reorganization after spinal cord injury. *Cell*. 2014;159:1626-1639.

60. Tan K, Koyama S, Sakurai H et al. Wearable robotic exoskeleton for gait reconstruction in patients with spinal cord injury: a literature review. *J Orthop Transl* 2021; 28:55-64
61. Tang Q, Huang Q & Hu C. Research on design theory and compliant control for underactuated lower- extremity rehabilitation robotic systems code. *J Phys Ther Sci* 2014; 26:1597-1599
62. Tester NJ, Howland DR, Day KV, et al. Device use, locomotor training and the presence of arm swing during treadmill walking after spinal cord injury. *Spinal Cord* 2011; 49(3):451-456
63. Tran A.P., Warren P.M., Silver J. New insights into glial scar formation after spinal cord injury. *Cell Tissue Res.* 2021
64. Tran A.P., Warren P.M., Silver J. The Biology of Regeneration Failure and Success After Spinal Cord Injury. *Physiol. Rev.* 2018;98:881-917.
65. van den Berg MEL, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of spinal cord injury worldwide: a systematic review. *Neuroepidemiology.* 2010;34:184-92.
66. van Dijksseldonk RB, de Jong LAF, Green BE et al. Gait stability in a virtual environment improves gait and dynamic balance capacity in incomplete spinal cord injury patients. *Frontier In Neurology* 2018; 9:963
67. Varoqui D, Niu X, Mirbagheri MM. Ankle voluntary movement enhancement following robotic- assisted locomotor training in spinal cord injury. *J Neuroneng Rehabil* 2014; 11:46
68. Wagner FB, et al. Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury. *Nature.* 2018;563:65-71.
69. Walker, J. R., & Detloff, M. R. (2021). Plasticity in Cervical Motor Circuits following Spinal Cord Injury and Rehabilitation. *Biology*, 2021; 10(10): 976.
70. WHO - Spinal cord injury. Διαθέσιμο στο: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>. [πρόσβαση 13/05/2022].
71. Wilson JR, Tetreault LA, Kwon BK, Arnold PM, Mroz TE, Shaffrey C, et al. Timing of decompression in patients with acute spinal cord injury: a systematic review. *Global Spine J.* 2017; 7(3 Suppl.):95S-115S. doi: 10.1177/2192568217701716
72. Wilson JR, Hashimoto RE, Dettori JR, Fehlings MG. Spinal cord injury and quality of life: a systematic review of outcome measures. *Evid Based Spine Care J.* 2011;2:37-44

73. Zhang L, Lin F, Sun L & Chen C. Comparison of Efficacy of Lokomat and Wearable Exoskeleton- Assisted Gait Training in people with spinal cord injury: a systematic review and network meta-analysis. *Frontiers in Neurology* 2022; 13:772660
74. Κορρές Δ (1999). *Αυχενική Μοίρα της Σπονδυλικής Στήλης: Τραυματολογία- Παθολογία*. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας
75. Μπάκας Ε (2012). *Αποκατάσταση Ασθενή με Βλάβη ή Κάκωση Νωτιαίου Μυελού: Από την Βλάβη ως την Επανάταξη* (τόμος Ι). Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Κωνσταντάρας

Παράρτημα



INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI)



Patient Name _____ Date/Time of Exam _____

Examiner Name _____ Signature _____

	RIGHT														
	MOTOR KEY MUSCLES	SENSORY KEY SENSORY POINTS Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR)	SENSORY KEY SENSORY POINTS Light Touch (LTL) Pin Prick (PPL)	MOTOR KEY MUSCLES	LEFT										
UER (Upper Extremity Right)	C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 T1			C5 C6 C7 C8 T1	UEL (Upper Extremity Left)										
<i>Comments (Non-key Muscle? Reason for NT? Pain?):</i>	T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11 T12 L1			T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T11 T12 L1	MOTOR (SCORING ON REVERSE SIDE)										
	L2 L3 L4 L5 S1			L2 L3 L4 L5 S1	SENSORY (SCORING ON REVERSE SIDE)										
LER (Lower Extremity Right)	S2 S3 S4-5			S2 S3 S4-5	LEL (Lower Extremity Left)										
(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No) <input type="checkbox"/>					(DAP) Deep Anal Pressure (Yes/No) <input type="checkbox"/>										
	RIGHT TOTALS (MAXIMUM)	(50) (56) (56)	(56) (56) (56)	LEFT TOTALS (MAXIMUM)											
MOTOR SUBSCORES			SENSORY SUBSCORES												
UER <input type="checkbox"/> + UEL <input type="checkbox"/> = UEMS TOTAL <input type="checkbox"/> <small>MAX (25) (25) (50)</small>	LER <input type="checkbox"/> + LEL <input type="checkbox"/> = LEMS TOTAL <input type="checkbox"/> <small>MAX (25) (25) (50)</small>	LTR <input type="checkbox"/> + LTL <input type="checkbox"/> = LT TOTAL <input type="checkbox"/> <small>MAX (56) (56) (112)</small>	PPR <input type="checkbox"/> + PPL <input type="checkbox"/> = PP TOTAL <input type="checkbox"/> <small>MAX (56) (56) (112)</small>												
NEUROLOGICAL LEVELS <small>Steps 1-5 for classification as an inverse</small>		3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) <input type="checkbox"/>		4. COMPLETE OR INCOMPLETE? <input type="checkbox"/> <small>Incomplete = Any sensory or motor function in S4-5</small>		5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) <input type="checkbox"/> <small>(In complete injuries only) ZONE OF PARTIAL PRESERVATION Most caudal level with any innervation</small>									
1. SENSORY <table style="display: inline-table; border: none;"><tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>				2. MOTOR <table style="display: inline-table; border: none;"><tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>				SENSORY <table style="display: inline-table; border: none;"><tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>				MOTOR <table style="display: inline-table; border: none;"><tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>			

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

REV 04/15