



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (ΠΑΔΑ)
Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας
Τμήμα Φυσικοθεραπείας**

**Πτυχιακή εργασία
«Ο ρόλος των εξωσκελετικών συστημάτων
στην λειτουργική αποκατάσταση του άνω άκρου»**

Φοιτητές: Νοσίρ-Χάννα Στήβεν

Χαλδαιόπουλος Θεόφιλος

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαθανασίου Γεώργιος

Συνεπιβλέπουσα: Δρ. Στάση Σοφία

Αθήνα

2022



University of West Attica (UniWa)
School of Health and Care Sciences
Department of Physiotherapy

Diploma Thesis

**«The role of exoskeleton systems
in the functional rehabilitation of upper limb»**

Students: Nosir-Hanna Steven

Chalداiopoulos Theofilos

Supervisor: Professor George Papathanasiou

Co-supervisor: Dr. Sophia Stasi

Athens
2022

ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ



«Ο ρόλος των εξωσκελετικών συστημάτων στην λειτουργική αποκατάσταση του άνω άκρου»

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ - ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Γεώργιος Παπαθανασίου	Καθηγητής Α' Βαθμίδας	
2	Σοφία Στάση	Ακαδημαϊκή Υπότροφος	
3	Μαγδαληνή Στάμου	Μέλος Ε.Δ.Ι.Π.	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Στήβεν Νοσίρ-Χάννα του Μόχσεν, με αριθμό μητρώου 18683028, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Τμήματος Φυσικοθεραπείας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα

Γεώργιος Παπαθανασίου
Καθηγητής Α' Βαθμίδας

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

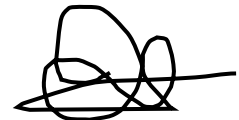
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Θεόφιλος Χαλδαιόπουλος του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 18683013, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Τμήματος Φυσικοθεραπείας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα

Γεώργιος Παπαθανασίου
Καθηγητής Α' Βαθμίδας

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

I. ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Εισαγωγή: Τα εξωσκελετικά συστήματα του άνω άκρου, αποτελούν μια επικουρική μέθοδο αποκατάστασης σε ασθενείς με νευρολογικές και ορθοπαιδικές παθήσεις ή κακώσεις.

Σκοπός: Η διεξαγωγή μίας βιβλιογραφικής ανασκόπησης που μελετά την επίδραση των εξωσκελετικών συστημάτων στην λειτουργική αποκατάσταση της άκρας χείρας.

Μέθοδος: Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την αναζήτηση των ερευνών ήταν οι PubMed, Scopus, Google Scholar, Cochrane Library και η Science Direct από το 2008 έως σήμερα. Για την αξιολόγηση της μεθοδολογικής ποιότητας των ερευνών χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα PEDro.

Αποτελέσματα: Στην παρούσα πτυχιακή εργασία συμπεριλήφθηκαν 12 έρευνες. Από αυτές, 10 έρευνες μελετούν τη λειτουργικότητα, 7 έρευνες ασχολούνται με τη μυϊκή δύναμη, 7 έρευνες ασχολούνται με το εύρος τροχιάς, 5 έρευνες μελετούν τη σπαστικότητα και 1 έρευνα μελετά τον πόνο. Γενικά, σε όλες τις προαναφερόμενες μελέτες ανευρέθηκαν στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα εκτός από μία. Σύμφωνα με την κλίμακα PEDro, στην ανασκόπηση περιλαμβάνονται 6 έρευνες υψηλής μεθοδολογικής ποιότητας και 6 έρευνες μέτριας μεθοδολογικής ποιότητας.

Συμπέρασμα: Συνοψίζοντας, η παρούσα συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση έδειξε πως η αξιοποίηση ενός εξωσκελετικού μηχανισμού και η ορθή ενσωμάτωσή του σε ένα εξατομικευμένο θεραπευτικό πλάνο νευρολογικών και ορθοπαιδικών περιστατικών, λειτουργεί αποδοτικά και συμπληρωματικά της συμβατικής φυσικοθεραπείας. Η εφαρμογή εξωσκελετού έδειξε στατιστικώς πολύ σημαντική βελτίωση στις μεταβλητές της λειτουργικότητας και του εύρους τροχιάς και μεγάλη βελτίωση στις μεταβλητές της δύναμης και της σπαστικότητας. Τέλος, η μεταβλητή του πόνου βελτιώθηκε, αλλά τα δεδομένα δεν επαρκούν για σαφή συμπεράσματα, καθώς ο πόνος μελετήθηκε μόνο σε μία έρευνα. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αναφέρονται προτάσεις για την πραγματοποίηση νέων μελετών σχετικά με την επίδραση των εξωσκελετών στην αποκατάσταση νευρολογικών και ορθοπαιδικών τραυματισμών, με στόχο την εγκυρότερη επιβεβαίωση της θετικής επίδρασής τους στην αποκατάσταση.

Λέξεις κλειδιά: wrist, fingers, rehabilitation, exoskeleton, robotic devices

II. ABSTRACT – KEY WORDS

Introduction: The exoskeleton systems of the upper limb, is an auxiliary method on the rehabilitation of neurological and orthopaedics patients.

Purpose: To conduct a bibliographic review, which examines the effectiveness of the exoskeleton systems on the functional rehabilitation of the distal hand.

Methods: Research of 4 electronic databases, PubMed, Scopus, Google Scholar and Cochrane Library, was conducted. The methodological quality of the randomized controlled trials (RCTs) was assessed using the PEDro scale.

Results: 12 RCTs were selected and included in the present bibliographic review. 5 RCTs examine only the effect on the wrist joint, 1 RCT examine only the effect on the fingers and 6 examine the effect on the wrist and on the fingers. Additionally, 10 researches study functional ability, 7 researches study muscle strength, 7 researches study range of motion, 6 researches study spasticity and 1 research study pain. In general, all of the above clinical trials found statistically significant effects except for 1. PEDro scale revealed 6 surveys of high methodological quality and 6 surveys of fair methodological.

Conclusions: In summary, the present systematic bibliography review suggests that the utilization of an exoskeletal mechanism and its proper integration into an individualized treatment plan for neurological and orthopedic patients, is a pioneering and emerging approach that works effectively in addition to conventional physiotherapy. Exoskeleton application showed a statistically significant improvement especially in the variables of functionality and range of motion, followed by the improvement in the variables of strength and spasticity. As for the pain variable, it seemed that it was improved but since its evaluation was performed in only one study, further investigation of the effect of this intervention on pain is imperative. In conclusion, taking into account the limitations of this thesis, proposals are made to carry out new randomized controlled trials on the effect of exoskeletal mechanisms on the rehabilitation of neurological and orthopedic injuries for a more extended and valid confirmation of their positive effect on rehabilitation but also for further investigation of the function of exoskeletons.

Key words: wrist, fingers, rehabilitation, exoskeleton, robotic devices

III. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον αξιότιμο Καθηγητή μας, κ. Γεώργιο Παπαθανασίου, για την ανάθεση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τη συνεπιβλέπουσα Δρ. Σοφία Στάση, Ακαδημαϊκή Υπότροφο του Τμήματος Φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, τόσο για την άψογη συνεργασία όσο και για την πολύτιμη καθοδήγηση και διδασκαλία που μας προσέφερε με πολλές ώρες ενασχόλησης που αφιέρωσε από την πρώτη ημέρα ανάθεσης της πτυχιακής εργασίας έως την ημέρα ολοκλήρωσης και της υποστήριξής της.

Επίσης, θα θέλαμε να την ευχαριστήσουμε για το ήθος και το σεβασμό που μας έδειξε, όχι μόνο ως φοιτητές αλλά και ως συνεργάτες, ένα στοιχείο που εκλείπει πλέον. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους και τις οικογένειές μας για την πολύτιμη συμπαράσταση και κατανόησή τους καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μας σπουδών.

IV. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	1
II. ABSTRACT – KEY WORDS	2
III. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
IV. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
V. ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	7
VI. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.1 Ορισμός του εξωσκελετικού μηχανισμού.....	10
1.2 Η χρήση των εξωσκελετικών μηχανισμών στην αποκατάσταση.....	10
1.3 Σημασία της Έρευνας.....	11
1.4 Σκοπός της Εργασίας.....	12
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	13
2.1 Διεπαφές ανθρώπου και εξωσκελετού - Μοτίβα πρόκλησης της κίνησης.....	14
2.1.1 Μοτίβο κίνησης άσκησης - στόχου.....	14
2.1.2 Επαγωγή μέσω καθρέφτη (mirror therapy).....	14
2.1.3 Επαγωγή μέσω εικονικής πραγματικότητας.....	16
2.1.4 Λειτουργικός ηλεκτρικός μυϊκός ερεθισμός.....	16
2.1.5 Επαγωγή μέσω εξωτερικών αισθητικών ερεθισμάτων.....	17
2.1.6 Βιοανάδραση μέσω της κινητικής μάθησης και απόδοσης.....	17
2.1.7 Βιοανάδραση μέσω επαυξημένης πραγματικότητας.....	18
2.1.8 Ανατροφοδότηση μέσω ενδείξεων δύναμης-κίνησης.....	18
2.2 Έλεγχος της κίνησης.....	19
2.3 Είδη εξωσκελετικών μηχανισμών.....	19
2.4 Προϋποθέσεις εφαρμογής εξωσκελετικών μηχανισμών.....	20
2.5 Αξιολόγηση απόδοσης εξωσκελετικών μηχανισμών.....	21
2.5.1 Κλίμακα αξιολόγησης A.R.A.T.....	21
2.5.2 Κλίμακα αξιολόγησης Fugl-Meyer assessment.....	21
2.5.3 Κλίμακα αξιολόγησης Box and Block test.....	22
2.5.4 Κλίμακα αξιολόγησης Hand Grip Strength.....	22
2.5.5 Κλίμακα αξιολόγησης Modified Ashworth Scale.....	22

2.5.6 Κλίμακα αξιολόγησης Active Range of Motion.....	23
2.5.7 Κλίμακα αξιολόγησης MRC Muscle Scale.....	23
2.5.8 Κλίμακα αξιολόγησης Patient Rated Wrist Evaluation.....	24
2.5.9 Κλίμακα αξιολόγησης Jebsen Hand Function Test.....	24
2.6 Εφαρμογές των εξωσκελετικών μηχανισμών.....	24
2.6.1. Η χρήση των εξωσκελετών στην αποκατάσταση των νευρολογικών παθήσεων.....	24
2.6.1.1 Ασθενείς με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο.....	24
2.6.1.2 Ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού.....	25
2.6.2 Η χρήση των εξωσκελετικών μηχανισμών στην αποκατάσταση ορθοπαιδικών τραυματισμών.....	25
3. ΜΕΘΟΔΟΣ.....	27
3.1 Στρατηγική αναζήτησης Ερευνών.....	28
3.2 Κριτήρια επιλογής και αποκλεισμού ερευνών.....	29
3.3 Σύστημα αξιολόγησης μεθοδολογικής ποιότητας των ερευνών.....	29
3.4 Εξεταζόμενες μεταβλητές.....	30
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	31
4.1 Στρατηγική αναζήτησης.....	32
4.2 Μεθοδολογική ποιότητα των ερευνών.....	34
4.2.1 Πόνος.....	35
4.2.2 Δύναμη.....	35
4.2.3 Εύρος τροχιάς.....	35
4.2.4 Λειτουργικότητα.....	35
4.2.5 Σπαστικότητα.....	35
4.3 Υπό μελέτη πληθυσμός.....	36
4.4 Θεραπευτική Παρέμβαση.....	36
4.5 Επαναξιολόγηση μεταβλητών.....	37
4.6 Εργαλεία αξιολόγησης εξεταζόμενων μεταβλητών.....	38
4.6.1 Αξιολόγηση του πόνου.....	38
4.6.2 Αξιολόγηση της δύναμης.....	38
4.6.3 Αξιολόγηση του εύρους τροχιάς.....	38

4.6.4 Αξιολόγηση της λειτουργικότητας.....	38
4.6.5 Αξιολόγηση της σπαστικότητας.....	39
4.7 Αποτελεσματικότητα Παρέμβασης.....	39
4.7.1 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στον πόνο.....	39
4.7.2 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη δύναμη.....	39
4.7.3 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στο εύρος τροχιάς.....	40
4.7.4 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη λειτουργικότητα.....	40
4.7.5 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη σπαστικότητα.....	41
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	46
5.1 Μεθοδολογική ποιότητα των ερευνών.....	47
5.2 Εξεταζόμενες μεταβλητές.....	48
5.2.1 Η επίδραση των εξωσκελετών στον πόνο.....	48
5.2.2 Η επίδραση των εξωσκελετών στη δύναμη.....	48
5.2.3 Η επίδραση των εξωσκελετών στο εύρος τροχιάς.....	49
5.2.4 Η επίδραση των εξωσκελετών στην λειτουργικότητα.....	50
5.2.5 Η επίδραση των εξωσκελετών στην σπαστικότητα.....	52
5.3 Περιορισμοί των ερευνών και της παρούσας Ανασκόπησης.....	53
5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	54
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	56
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	61

V. ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ – ΑΓΓΛΙΚΗ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ – ΑΓΓΛΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ
AEE	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο
KNM	Κάκωση Νωτιαίου Μυελού
RCT	Randomized Controlled Trial (Τυχαιοποιημένη Μελέτη Ελέγχου)
PEDro	Physiotherapy Evidence Database
FES	Functional Electrical Stimulation (λειτουργική ηλεκτρική διέγερση)
ADL	Activities of Daily Living (δραστηριότητες καθημερινής ζωής)
VR	Virtual Reality (ψηφιακή πραγματικότητα)
AR	Augmented Reality (επαυξημένη πραγματικότητα)
GPS	Global Positioning System
ARAT	Action Research Arm Test
FMA	Fugl-Meyer Assessment
FMA-UL	Fugl-Meyer Assessment-Upper Limb (FMA άνω άκρου)
FMA-Proximal	Fugl-Meyer Assessment-Distal (FMA εγγύς άνω άκρου)
FMA-Distal	Fugl-Meyer Assessment-Distal (FMA άπω άνω άκρου)
BBT	Box and Block test
HGS	Handgrip Strength
MAS	Modified Ashworth scale
ROM	Range of Motion (εύρος κίνησης)
AROM	Active Range of Motion (ενεργητικό εύρος κίνησης)

MRC muscle scale	Medical Research Council muscle scale
PRWE	Patient-Rated Wrist Evaluation
JHFT	Jebsen Hand Function Test
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

VI. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Πίνακας 3.1 Στρατηγική αναζήτησης.....	28
Πίνακας 3.3 Κλίμακα PEDro για την αξιολόγηση της μεθοδολογικής ποιότητας ερευνών (De Morton, 2009).....	30
Διάγραμμα 4.1 Στρατηγική αναζήτησης ερευνών – PRISMA 2020 Flow Diagram...	33
Πίνακας 4.2 Βαθμολόγηση των ερευνών σύμφωνα με την κλίμακα PEDro.....	34
Πίνακας 4.7 Περιγραφή των συμπεριλαμβανομένων ερευνών.....	42

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1 Ορισμός του εξωσκελετικού μηχανισμού

1.2 Η Χρήση του εξωσκελετικού μηχανισμού στην
Αποκατάσταση

1.3 Σημασία της έρευνας

1.4 Σκοπός της εργασίας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1 Ορισμός του εξωσκελετικού μηχανισμού

Οι εξωσκελετικοί μηχανισμοί είναι συσκευές που λειτουργούν παράλληλα με τον χρήστη. Τοποθετούνται στο σώμα του χρήστη και ενεργούν σαν υποβοήθηση που αυξάνουν ή αποκαθιστούν την απόδοση της κίνησης [ενισχυτές κίνησης (locomotion assistance)]. Υπάρχει η δυνατότητα ενεργοποίησης με τη βοήθεια αισθητήρων και ενεργοποιητών κίνησης ή τελείως παθητικά. Οι κυριότεροι τύποι εξωσκελετών είναι οι φορητοί και οι σταθεροί (Antoniou, M., 2022). Ανάλογα με τον σκοπό του εξωσκελετικού συστήματος, καλύπτουν όλο το σώμα, μόνο τα άνω ή τα κάτω άκρα, ή συγκεκριμένα σημεία του σώματος (Marinon, B., 2016).

1.2 Η χρήση των εξωσκελετικών συστημάτων στην αποκατάσταση

Η χρήση των εξωσκελετικών συστημάτων μπορεί να βρει εφαρμογή στους νευρολογικούς και στους ορθοπαιδικούς ασθενείς. Στους νευρολογικούς ασθενείς επικεντρώνεται κυρίως στην υποστήριξη, την επανεκπαίδευση και τον επανασυντονισμό της κίνησης. Στους ορθοπαιδικούς ασθενείς συνήθως, γίνεται πλήρης υποκατάσταση της κίνησης από τον εξωσκελετό.

Ειδικότερα, τα εξωσκελετικά συστήματα συμβάλλουν στην βελτίωση της κίνησης και την απόδοση σε λειτουργικά επίπεδα στα άνω και κάτω άκρα, μέσω της ποικίλης αντίστασης που παρέχουν, την κατάλληλη υποβοήθηση και την διεύρυνση του εύρους τροχιάς της κίνησης. Επίσης, οι εξωσκελετικοί μηχανισμοί παρέχουν επαναληψιμότητα, ποικιλία έντασης, οπτική ανατροφοδότηση και κίνητρο. Τα πλεονεκτήματα αυτά, σύμφωνα με τις αρχές θεραπείας της επανεκπαίδευσης και επανασυντονισμού της κίνησης, μπορούν να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητα της αποκατάστασης. Συγκεκριμένα, στα άνω άκρα η χρήση των εξωσκελετικών συστημάτων συμβάλλει στην επανεκπαίδευση της αδρής και λεπτής κινητικότητας, στην ελευθερία των κινήσεων και στην διενέργεια των καθημερινών δραστηριοτήτων. Στα κάτω άκρα, συμβάλλει στην επανεκπαίδευση και υποστήριξη της βάδισης, την βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας καθώς και πιθανή

βελτίωση της υγείας των οστών μέσω του μηχανισμού της φόρτισης (Sirlantzis K. et al., 2022).

Ένας ακόμα μηχανισμός που ενεργοποιείται με την χρήση των εξωσκελετών, κυρίως στους νευρολογικού τύπου ασθενείς, είναι η νευροπλαστικότητα. Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν προταθεί ως οι κύριοι παράγοντες που προάγουν την αποκατάσταση της κινητικής λειτουργίας σε ασθενείς μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, κάκωση νωτιαίου μυελού και κρανιοεγκεφαλική κάκωση. Επιπλέον, οι εξωσκελετοί νέας γενιάς παρέχουν αισθητικά ερεθίσματα μέσω της δόνησης ή ακόμα και μέσω της λειτουργικής ηλεκτρικής διέγερσης (Functional Electrical Stimulation, F.E.S), ολοκληρώνοντας έτσι την συνολική προσέγγιση της επανεκπαίδευσης της κίνησης. Ένα ακόμα μείζονος σημασίας προτέρημα των εξωσκελετών, είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα στους θεραπευτές να διεξάγουν μια πιο ποσοτική και με συγκεκριμένο πρότυπο αναπαραγωγής της κίνησης στο πρόγραμμα αποκατάστασης, παρέχοντας μια πλατφόρμα για τις ποσοτικές μετρήσεις της κινητικής αποκατάστασης και της ελεγχόμενης αντίστασης. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται τρεις κύριοι τύποι κίνησης. Αυτοί είναι η (1) συνεχόμενη παθητική κίνηση, η (2) ενεργητική υποβοηθούμενη κίνηση και η (3) ενεργητική υπό αντίσταση κίνηση.

1.3 Σημασία της έρευνας

Η πραγματοποίηση της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης κρίνεται σημαντική, καθώς η ανάπτυξη των εξωσκελετικών-ρομποτικών συστημάτων φέρεται να είναι πολλά υποσχόμενη στην αποκατάσταση, κυρίως των νευρολογικών ασθενών, και ειδικότερα στα άνω άκρα. Επιπροσθέτως, παρατηρείται αύξηση των εγκεφαλικών και των μυοσκελετικών τραυματισμών, καθώς και η αύξηση του προσδόκιμου επιβίωσης, το οποίο σχετίζεται με τη γήρανση του πληθυσμού και κατ' επέκταση η λειτουργική έκπτωση των ασθενών.

Οι κυριότεροι στόχοι των ερευνών, είναι η ελάττωση του βάρους των εξωσκελετών, η ευκολία της χρήσης, η διεπαφή εγκεφάλου-μηχανής, το περιβάλλον αλληλεπίδρασης του ανθρώπινου-ρομποτικού μέλους και η μείωση της τιμής. Για την επίτευξη των στόχων αυτών απαιτείται αυστηρή ανάλυση και εξήγηση όλων των μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα κατά τη χρήση ενός εξωσκελετού. Επιπλέον, είναι

αναγκαία η ποσοτικοποίηση και η ποιοτική επεξεργασία όλων των ήδη υπαρχόντων ερευνητικών δεδομένων για να γίνει εφικτή η διασταύρωση των νέων δεδομένων στη ρομποτική και την τεχνητή νοημοσύνη με την αποκατάσταση των ασθενών.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας είναι η διεξαγωγή μίας βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η οποία μελετά την επίδραση των εξωσκελετικών μηχανισμών στη λειτουργική αποκατάσταση στην άρθρωση του καρπού και της άκρας χείρας.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Διεπαφές ανθρώπου και εξωσκελετού – Μοτίβα πρόκλησης της κίνησης

2.2 Έλεγχος της κίνησης

2.3 Είδη εξωσκελετικών μηχανισμών

2.4 Προϋποθέσεις εφαρμογής εξωσκελετικών μηχανισμών

2.5 Αξιολόγηση απόδοσης εξωσκελετικών μηχανισμών

2.6 Εφαρμογές των εξωσκελετικών μηχανισμών

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Διεπαφές ανθρώπου και εξωσκελετού – Μοτίβα πρόκλησης της κίνησης

2.1.1 Μοτίβο κίνησης άσκησης – στόχου

Η εκπαίδευση με ασκήσεις συγκεκριμένου στόχου είναι μια θεραπευτική προσέγγιση που επικεντρώνεται στη λειτουργικότητα και βασίζεται στις αρχές της κινητικής εκμάθησης. Βασική προϋπόθεση είναι η λειτουργική άσκηση να αποσκοπεί σε στόχο, αντί της εστίασης σε ασκήσεις μείωσης της βλάβης. Οι ασκήσεις αυτού του τύπου περιλαμβάνουν τη σύλληψη αντικειμένων και την έκχυση υγρού, όπου ο στόχος είναι η βελτίωση της λειτουργικής δραστηριότητας. Ο ασθενής εκτελεί τη δραστηριότητα επαναλαμβανόμενα με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της συγκεκριμένης λειτουργικής κίνησης, όμως η βελτίωση αυτή δε μεταφέρεται σε άλλα κινητικά πρότυπα. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η θεραπεία με λειτουργικού τύπου ασκήσεις προάγει την αναδιαμόρφωση του φλοιού του εγκεφάλου μέσω της νευροπλαστικότητας και τη γενική βελτίωση του κινητικού προτύπου. Ωστόσο, η βελτίωση δεν γενικεύεται και δε μεταφέρεται πέρα από τη στοχευμένη δραστηριότητα. Για παράδειγμα, η απόδοση του κινητικού προτύπου της σύλληψης θα βελτιωθεί, αλλά δεν θα οδηγήσει σε βελτίωση σε άλλες δραστηριότητες της καθημερινής ζωής (Activities of Daily Living, ADL) ή ακόμα και σε παρόμοιες δραστηριότητες σύλληψης σε διαφορετικό περιβάλλον.

2.1.2 Επαγωγή μέσω καθρέφτη (mirror therapy)

Για να γίνει πιο κατανοητός ο μηχανισμός που λειτουργεί το φαινόμενο αυτό, οι ερευνητές εστίασαν σε δύο έννοιες: Τους κατοπτρικούς νευρώνες και την νευροπλαστικότητα.

Αρχικά, οι κατοπτρικοί νευρώνες ανακαλύφθηκαν στον κοιλιακό προκινητικό φλοιό ενός είδους πιθήκων που ονομάζονται «Μακάκα» και σχετίζονται άμεσα με τη γνωστική νευροεπιστήμη (Di Pellegrino et al., 1992). Οι κατοπτρικοί νευρώνες,

ενεργοποιούνται τόσο όταν κάποιος εκτελεί μια κίνηση όσο και όταν παρατηρεί κάποιον άλλον να εκτελεί την ίδια κίνηση. Ωστόσο, αυτοί οι κατοπτρικοί νευρώνες ενεργοποιούνται μόνο όταν ο παρατηρητής παρακολουθεί μία κίνηση που μπορεί να αναπαραχθεί και από τον ίδιο. Για παράδειγμα, δεν ενεργοποιούνται αν ένας άνθρωπος δει ένα πουλί να πετάει. Αυτό που προκαλεί έκπληξη, είναι ότι οι κατοπτρικοί νευρώνες ενεργοποιούνται επίσης όταν ένα άτομο φαντάζεται μια κίνηση ή αίσθηση αλλά δεν την εκτελεί. Αυτός είναι επίσης, ο λόγος που σε ορισμένες περιπτώσεις οι άνθρωποι αισθάνονται αυτό που νιώθουν άλλοι άνθρωποι. Σε περιπτώσεις, για παράδειγμα, εγκλωβισμού των δαχτύλων κάποιου ατόμου σε μια πόρτα, πιθανότατα να γίνει αντιληπτός ο πόνος που βιώνει ο συγκεκριμένος άνθρωπος από κάποιο άλλο άτομο που παρακολουθεί την κατάσταση εκείνη τη στιγμή (Ruiz-Mejias M, 2022).

Αν και το σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων θεωρούταν πως συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση πράξεων και σε άλλες γνωστικές λειτουργίες (Rizzolatti and Fabbri-Destro, 2008), τα τελευταία δεδομένα δείχνουν πως η θεωρία των κατοπτρικών νευρώνων αναφορικά με την κατανόηση πράξεων δεν είναι τόσο έγκυρη. Πλέον, για την παρατήρηση και την εκτέλεση ενεργειών υπεύθυνο θεωρείται ένα κοινό μέτωπο-βρεγματο-ινιακό δίκτυο (Savaki, 2019). Ενδεχομένως, κατά τη διαδικασία κατανόησης μιας πράξης, το δίκτυο αυτό ενεργοποιεί έναν μηχανισμό νοητικής προσομοίωσης που οδηγεί, τελικά, στην καλύτερη εκμάθηση της κίνησης.

Όσον αφορά τη νευροπλαστικότητα, πρόκειται για την ικανότητα του εγκεφάλου να αναδιοργανώνει τη δομή του κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου, δημιουργώντας νέες νευρικές οδούς υποκαθιστώντας, έτσι, τις προσβεβλημένες. Εάν, λοιπόν, μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου έχει υποστεί βλάβη από ένα αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, ασθένεια ή τραύμα από ατύχημα, αυτή η περιοχή του εγκεφάλου δεν μπορεί πλέον να στείλει συγκεκριμένες εντολές στο σώμα. Ωστόσο, επειδή η νευροπλαστικότητα επιτρέπει στον εγκέφαλο να τροποποιήσει την οργάνωσή του, ορισμένα άτομα με εγκεφαλική βλάβη μπορούν ακόμα να ανακτήσουν ορισμένες από τις κινήσεις τους, χάρη στη δημιουργία νέων συνάψεων μεταξύ των νευρώνων. Αυτές οι νέες συνδέσεις προσφέρουν νέους τρόπους αποστολής πληροφοριών, με τον ίδιο τρόπο που μια νέα γέφυρα επιτρέπει στους ανθρώπους να διασχίσουν ένα ποτάμι όταν η παλιά γέφυρα έχει καταρρεύσει. Εν κατακλείδι, ένας νέος ηλικιακά άνθρωπος πλεονεκτεί στην

ανάκτηση της κίνησης μετά από έναν εγκεφαλικό, επειδή η νευροπλαστικότητα βρίσκεται στο αποκορύφωμά της όταν ο εγκέφαλος αναπτύσσεται ακόμη. Όσο πιο νέος είναι κάποιος, τόσο πιο άμεσα και αποδοτικά μπορεί να ανακάμψει (Ruiz-Mejias M, 2022). Συνεπώς, ο συνδυασμός επαναλαμβανόμενων υποβοηθούμενων κινήσεων με τη χρήση εξωσκελετικών μηχανισμών και της θεραπείας με καθρέφτη, φέρεται να είναι πολλά υποσχόμενος.

2.1.3 Επαγωγή μέσω εικονικής πραγματικότητας

Οι ερευνητές αναζητούν νέες μεθόδους για να βελτιώσουν και να κάνουν την κινητική αποκατάσταση πιο ελκυστική και αποτελεσματική. Η εικονική πραγματικότητα έχει πρόσφατα εμφανιστεί ως αποδοτική προσθήκη στη συμβατική θεραπεία ενσωματώνοντας στρατηγικές αποκατάστασης σε μια νέα και χαμηλού κόστους προσέγγιση. Η εικονική πραγματικότητα (virtual reality, VR) είναι ένα τεχνητό περιβάλλον, που δημιουργήθηκε με τη χρήση υπολογιστών και λογισμικών, που παρουσιάζει στους χρήστες ένα περιβάλλον με το οποίο μπορούν να αλληλεπιδράσουν (βλέπουν, ακούνε, αγγίζουν, αρπάζουν κ.λπ.). Τα γραφικά μπορεί να είναι τόσο πειστικά που οι συμμετέχοντες να αισθάνονται το περιβάλλον ως πραγματικό. Η θεραπεία που βασίζεται στην εικονική πραγματικότητα μπορεί να προσφέρει μια θετική εμπειρία μάθησης και να είναι ελκυστική και παρακινητική. Με τη θεραπεία που βασίζεται στο VR, οι ασκήσεις μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες των ασθενών, με δραστηριότητες μίμησης ή βιντεοπαιχνιδιών. Το πλεονέκτημα της εικονικής πραγματικότητας είναι ότι οι δυνατότητες είναι ουσιαστικά ατελείωτες. Τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να προσαρμοστούν σχεδιάζοντας ασκήσεις που ταιριάζουν στις γνωσιακές και σωματικές βλάβες/ελλείψεις του ατόμου, κάτι που είναι κρίσιμο για τη μεγιστοποίηση της αναδιοργάνωσης και την επαν-ενεργοποίηση των περιοχών του εγκεφάλου που εμπλέκονται στον κινητικό σχεδιασμό, τη μάθηση και την εκτέλεση, καθώς και στη διατήρηση του κινήτρου (Mubin O, et al. 2019).

2.1.4 Λειτουργικός ηλεκτρικός μυϊκός ερεθισμός

Η λειτουργική ηλεκτρική διέγερση (FES) είναι η τεχνική εφαρμογής ασφαλών επιπέδων ηλεκτρικού ρεύματος για την ενεργοποίηση του προσβεβλημένου ή

απενεργοποιημένου νευρομυϊκού συστήματος με συντονισμένο τρόπο προκειμένου να συντηρηθεί και επανακτηθεί η μυϊκή λειτουργία. Στη λειτουργική ηλεκτρική διέγερση χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί παλμοί για να ενεργοποιηθούν οι προσβεβλημένοι μύες (μύες που δεν βρίσκονται πλέον υπό τον έλεγχο του νευρικού συστήματος). Η FES είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, σε συνδυασμό με τους εξωσκελετούς για τους νευρολογικούς ασθενείς (Marinov, B., 2016).

2.1.5 Επαγωγή μέσω εξωτερικών αισθητικών ερεθισμάτων

Υπάρχουν δύο είδη ερεθισμάτων που επηρεάζουν το σώμα, τα εξωτερικά και τα εσωτερικά. Τα εξωτερικά ερεθίσματα είναι αλλαγές σε συνθήκες έξω από το σώμα, ή γενικά, πληροφορίες έξω από το σώμα που ανιχνεύουν τα αισθητηριακά όργανα. Τα κυριότερα εξωτερικά ερεθίσματα όπου ανταποκρίνεται ο ανθρώπινος οργανισμός είναι τα οπτικά, τα ακουστικά και τα απτικά. Ο συνδυασμός, είτε αισθητικού ηλεκτρικού ερεθισμού, είτε δόνησης από έναν εξωσκελετό σε συνδυασμό με την υποβοηθούμενη κίνηση, επιστρατεύει όλες τις παραμέτρους της κινητικής μάθησης (Gassert R. Et al., 2018).

2.1.6 Βιοανάδραση μέσω της κινητικής μάθησης και απόδοσης

Κινητική μάθηση είναι η σχετικά μόνιμη αλλαγή στην απόδοση ως αποτέλεσμα της εξάσκησης ή προηγούμενων εμπειριών. Κινητική μάθηση είναι ένα σύνολο διαδικασιών που σχετίζονται με την πρακτική ή την εμπειρία και που οδηγούν σε σχετικά μόνιμες αλλαγές της ικανότητας για δεξιολογική απόδοση. Είναι μια εσωτερική διαδικασία που καθορίζει την ικανότητα εκτέλεσης μιας κίνησης ή ενός κινητικού προτύπου και δύναται να βελτιωθεί με την εξάσκηση. Βασίζεται στη σταθερότητα της κινητικής απόδοσης έναντι πολλών προσπαθειών. Η σταθερότητα μπορεί να αφορά και την ικανότητα προσαρμογής σε διαφορετικές συνθήκες και η βελτίωση, που επιτυγχάνεται διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα (Τζέτζης Γ. & συν., 2015).

Η κινητική απόδοση είναι η ενέργεια εκτέλεσης μιας δεξιότητας, ενώ κινητική μάθηση είναι η ικανότητα διατήρησης ή προσαρμογής και αναπαραγωγής των μαθημένων κινήσεων στο μέλλον. Παρατηρείται μέσω της εκτέλεσης και επηρεάζεται από την παρακίνηση και το κίνητρο. Σχετίζεται άμεσα με την επικέντρωση της

προσοχής, την κούραση και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Είναι προσωρινή και αλλάζει εύκολα (Τζέτζης Γ. & συν., 2015).

2.1.7 Βιοανάδραση μέσω επαυξημένης πραγματικότητας

Επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality), είναι η σε πραγματικό χρόνο άμεση ή έμμεση θέαση ενός φυσικού, πραγματικού περιβάλλοντος, του οποίου τα στοιχεία επαυξάνονται από στοιχεία αναπαραγόμενα από συσκευές υπολογιστών, όπως ήχος, βίντεο, γραφικά ή δεδομένα τοποθεσίας. Ο όρος εισήχθη το 1992 από τον Τομ Κάουντελ (Gillis A., 2022). Τα τελευταία χρόνια, έντονη είναι η εμφάνιση της επαυξημένης πραγματικότητας. Η τεχνολογία Augmented Reality ή αλλιώς επαυξημένη πραγματικότητα ή αλλιώς ενισχυμένη πραγματικότητα είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στις κινητές συσκευές. Η τεχνολογία AR (Augmented Reality) επιτρέπει την ζωντανή προβολή ενός φυσικού περιβάλλοντος του οποίου όμως η πραγματικότητα είναι επαυξημένη με την προβολή πληροφοριών αλλά και εικονικών προσώπων ή χώρων σχεδιασμένων μέσα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο συνδυασμός της κάμερας με το σύστημα (Global Positioning System, G.P.S.) ενός κινητού τηλεφώνου επιτρέπουν την προβολή επιπλέον πληροφοριών για ένα γεωγραφικό σημείο, διαμορφώνοντας ένα επαυξημένο πληροφοριακά τελικό αποτέλεσμα. Οι προβολές δεδομένων είναι δυνατές είτε από τις οθόνες κινητών είτε από ειδικά γυαλιά προβολής Augmented Reality. Η επαυξημένη πραγματικότητα, δίνει τη δυνατότητα στα εξωσκελετικά συστήματα να προσεγγίσουν πιο άμεσα και ρεαλιστικά τον ασθενή καθιστώντας, έτσι, την αποκατάσταση πιο λειτουργική και ευχάριστη (Gillis A., 2022).

2.1.8 Ανατροφοδότηση μέσω ενδείξεων δύναμης-κίνησης

Η δυναμική ανάλυση και ο έλεγχος του εξωσκελετού για την υποστήριξη της κίνησης του χρήστη βασίζεται στη λογική της πρόσθιας ανάδρασης. Όταν ο χρήστης ασκεί δύναμη στη λαβή, η δύναμη μετριέται από έναν αισθητήρα δύναμης που τοποθετείται στη λαβή. Ανάλογα με το βαθμό επίτευξης της εν λόγω κίνησης και της παραγωγής δύναμης, οι αισθητήρες δίνουν την εντολή στους ενεργοποιητές να υποστηρίξουν την ανθρώπινη κίνηση. Αυτή η τεχνική αποσκοπεί στην ορθή μέτρηση της δυναμικής προσπάθειας του ασθενή και στην εφαρμογή κατάλληλης αντίστασης ή

υποβοήθησης της κίνησης ανάλογα με τη δεδομένη κινητική απόδοση του ασθενή (Nguyen T. et al., 2020).

2.2 Έλεγχος της κίνησης

Ο έλεγχος της κίνησης ελέγχεται και καθορίζεται από πολλούς παράγοντες. Οι βασικότεροι εξ αυτών είναι η λειτουργία του εγκεφάλου, η γνωσιακή λειτουργία και η κινητική συμπεριφορά. Άλλες παράμετροι από τις οποίες επηρεάζεται ο έλεγχος της κίνησης, είναι η νόηση, το κίνητρο και η ψυχολογία. Συνεπώς, για να ολοκληρωθεί μια κίνηση συνολικά και αρμονικά απαιτούνται όλες αυτές οι παράμετροι να λειτουργούν φυσιολογικά (Latash, M. et al., 2010).

2.3 Είδη εξωσκελετικών μηχανισμών

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες εξωσκελετικών μηχανισμών. Αυτές είναι οι (1) οι εξωσκελετοί με σταθερή βάση, (2) οι συσκευές τελικού τελεστή (end effector devices) και (3) οι φορέσιμοι/φορητοί εξωσκελετοί. Επιπλέον, υπήρξαν πρόσφατες εξελίξεις προς τους «μαλακούς εξωσκελετούς» (soft robotics), που χρησιμοποιούν μαλακά συστήματα ενεργοποίησης και δομές που προάγουν πιο λειτουργική κίνηση. Παρά τις εξελίξεις αυτές, μέχρι σήμερα, ο βέλτιστος τύπος ρομποτικού εξωσκελετού αποκατάστασης για έναν συγκεκριμένο χρήστη και μία συγκεκριμένη νευρομυϊκή δυσλειτουργία παραμένει ασαφής.

Το κύριο πλεονέκτημα των συσκευών τελικού τελεστή σε σχέση με τους εξωσκελετούς σταθερής βάσης είναι η προσαρμοστικότητά τους σε ασθενείς με διαφορετικά ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά (ύψος, βάρος) (Sale P et al., 2014). Οι εξωσκελετοί τελικού τελεστή, συνδέονται με ασθενείς σε ένα απομακρυσμένο σημείο και οι θέσεις υποδοχής του μηχανήματος δεν είναι συμβατές με τις ανθρώπινες αρθρώσεις. Η δύναμη που δημιουργείται κατά την άσκηση αλλάζει τις θέσεις άλλων αρθρώσεων ταυτόχρονα, καθιστώντας δύσκολη την μεμονωμένη κίνηση μιας άρθρωσης. Από την άλλη, οι εξωσκελετοί σταθερής βάσης μοιάζουν με ανθρώπινα άκρα καθώς έχουν πολλαπλά σημεία πρόσδεσης με τον ασθενή και οι θέσεις πρόσδεσης των αρθρώσεων είναι συμβατές με τις ανθρώπινες αρθρώσεις καθώς και τους άξονές τους. Η εντοπισμένη άσκηση, όμως, συγκεκριμένων μυών ελέγχοντας τις κινήσεις των

αρθρώσεων σε υπολογίσιμες ροπές είναι δυνατή. Οι φορητοί/φορετοί εξωσκελετοί αποσκοπούν κυρίως στην διεκπεραίωση λειτουργικών καθημερινών κινήσεων. Ο μέσος όρος απόδοσης της μπαταρίας τους είναι 4 ώρες συνεχόμενης χρήσης. Ακόμα και τώρα, είναι ογκώδεις και βαριές συσκευές, ενώ ακόμα δεν είναι άνετες στη χρήση (Hyeyoung S., et al., 2020).

Μελέτες διαπίστωσαν ότι λόγω της μη εργονομικής τους κατασκευής μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του μεταβολικού κόστους, σε πόνο, τραυματισμούς, ενώ ακόμα αυξάνει τον κίνδυνο οστεπορωτικών καταγμάτων. Πολλές νέες ρομποτικές συσκευές έχουν αναπτυχθεί, όπως οι «μαλακοί» εξωσκελετοί (soft exoskeletons). Οι «μαλακοί» εξωσκελετοί, ξεχωρίζουν στο ότι τείνουν να εξαλείψουν τους άκαμπτους σκελετούς των φορετών εξωσκελετών. Οι τυπικοί μαλακοί εξωσκελετοί ενεργοποιούνται τόσο από υδραυλικά συστήματα, όσο και από καλώδια άμεσης μετάδοσης τύπου «Bowde». Ωστόσο, δεν υπάρχουν κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με το καταλληλότερο πρωτόκολλο, τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας των αρθρώσεων και το είδος της προσέγγισης (βάση λειτουργικότητας ή βλάβης) (Hyeyoung S., et al., 2020).

2.4 Προϋποθέσεις εφαρμογής εξωσκελετικών μηχανισμών

Υπάρχουν διαφορών ειδών προϋποθέσεις για να μπορέσει ένας ασθενής να εκπαιδευτεί στη χρήση ενός εξωσκελετικού μηχανισμού. Η κυριότερη από αυτές είναι η δυνατότητα κατανόησης και παρακολούθησης απλών λεκτικών οδηγιών και η δυνατότητα παραμονής σε σταθερή καρέκλα/αμαξίδιο. Η σπαστικότητα είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος καθώς η υπέρμετρη σπαστικότητα περιορίζει έντονα την λειτουργία, άρα και την απόδοση, των εξωσκελετικών μηχανισμών. Τα περισσότερα ερευνητικά πρωτόκολλα έχουν μέγιστη τιμή σπαστικότητας 2 σύμφωνα με την κλίμακα Ashworth (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014). Επιπλέον, ασθενείς που εξαιρούνται είναι άτομα με σοβαρή εγκεφαλική βλάβη, οι οποίοι δεν είναι σε θέση να ακολουθήσουν οποιασδήποτε μορφής αποκατάστασης ή βρίσκονται σε κώμα. Μια ακόμα κατηγορία ασθενών που εξαιρείται είναι οι ασθενείς με ψυχιατρική διαταραχή ή άνοια.

2.5 Αξιολόγηση απόδοσης εξωσκελετικών μηχανισμών

2.5.1 Action Research Arm Test (ARAT)

Η ARAT είναι μια κλίμακα αξιολόγησης της λειτουργικότητας, η οποία χρησιμοποιείται από φυσικοθεραπευτές και άλλους επαγγελματίες υγείας για την αξιολόγηση της απόδοσης των άνω άκρων (συντονισμός και επιδεξιότητα) σε ασθενείς νευρολογικού τύπου μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, εγκεφαλικές κακώσεις, σκλήρυνση κατά πλάκας και μετά από τη νόσο Parkinson. Η ARAT διατυπώθηκε αρχικά από τον Lyle το 1981 ως μια τροποποιημένη έκδοση της δοκιμασίας λειτουργίας του άνω άκρου και χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση της λειτουργικής αποκατάστασης του άνω άκρου μετά από βλάβη στον εγκεφαλικό φλοιό. Εμπεριέχει 19 ερωτήματα και διακρίνεται σε 4 υποκατηγορίες: σύλληψη, συγκράτηση, συγκράτηση με τα ακροδάχτυλα και αδρή κινητικότητα. Κάθε ερώτημα βαθμολογείται σε μια κλίμακα 0-3, οπότε η συνολική βαθμολογία κυμαίνεται από 0 έως 57 με το 0 να αντιστοιχεί σε καμία κινητική δραστηριότητα και το 57 με φυσιολογικό λειτουργικό επίπεδο του άνω άκρου. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται είναι καρέκλα χωρίς υποστήριγμα χεριών, ένα τραπέζι, ξύλινα μπλόκ (block) διαφόρων μεγεθών, μία μπάλα κρίκετ, μία πέτρα ακονίσματος, σωλήνες από κράμα, μία ροδέλα και ένα μπουλόνι, δύο ποτήρια, ένα κομμάτι μάρμαρο, ένα σφαιρικό ρουλεμάν και ένα τσίγκινο καπάκι (Yozbatiran N. et al., 2007).

2.5.2 Fugl-Meyer assessment (FMA)

Η FMA είναι ένας δείκτης για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας, του εύρους τροχιάς και της αισθητηριοκινητικής βλάβης σε άτομα που έχουν υποστεί αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Αυτή η κλίμακα προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Axel Fugl-Meyer και τους συνεργάτες του το 1975 ως τυποποιημένη δοκιμασία αξιολόγησης για την αποκατάσταση μετά από ένα αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Η κλίμακα αυτή έχει δύο εκδοχές μια για τα άνω άκρα και μια για τα κάτω άκρα. Η FMA άνω άκρων έχει μέγιστη βαθμολογία το 66, ενώ η FMA κάτω άκρων έχει μέγιστη βαθμολογία το 34. Ακόμα, στο άνω άκρο η FMA διακρίνεται σε FMA-Proximal (FMA εγγύς άνω άκρου) και σε FMA-Distal (FMA άπω άκρου). Συγκεκριμένα για την FMA-Distal, αναφέρεται

στο άνω άνω άκρο, δηλαδή στον καρπό και τα δάχτυλα (min: 0 / max: 24) (Murphy M., 2022).

2.5.3 Box and Block test (BBT)

Το BBT αξιολογεί μονόπλευρα τη λειτουργικότητα της κίνησης του άνω άκρου. Είναι μια γρήγορη, απλή και προσιτή κλίμακα αξιολόγησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση πολλών κατηγοριών ασθενών, όπως στα εγκεφαλικά, την σκλήρυνση κατά πλάκας, νευρομυϊκές παθήσεις και κακώσεις νωτιαίου μυελού. Το BBT δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασθενείς που έχουν σοβαρή βλάβη των άνω άκρων ή σε άτομα με σοβαρό γνωσιακό έλλειμμα. Ο εξοπλισμός του BBT αποτελείται από ένα ξύλινο κουτί που χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα. Στη μια πλευρά περιέχονται 150 μπλοκ (ξύλινα μπλοκάκια), ενώ η άλλη πλευρά είναι άδεια. Ο αξιολογητής, ζητά από τον ασθενή να μετακινήσει τα μπλοκ, ένα προς ένα, και ο στόχος είναι η μεταφορά όσο περισσότερων μπλοκ γίνεται στο διάστημα των 60 δευτερολέπτων (min: 0 / max: 150). Το κουτί πρέπει να είναι προσανατολισμένο κατά μήκος και να τοποθετείται στη μέση γραμμή του ασθενή με το διαμέρισμα που περιέχει τα μπλοκ να είναι προσανατολισμένο προς το χέρι που εξετάζεται. Για να επιτευχθεί η εξοικείωση και να καταγραφεί η βαθμολογία, το τεστ θα πρέπει να ξεκινήσει με το υγιές άνω άκρο. Επιπλέον, επιτρέπεται μια δοκιμαστική περίοδος 15 δευτερολέπτων στην αρχή κάθε πλευράς. Πριν από τη δοκιμή, αφού δοθούν οι τυποποιημένες οδηγίες στους ασθενείς, ο αξιολογητής του ενημερώνει πως τα δάχτυλά τους πρέπει να διασχίζουν το διαμέρισμα κατά τη μεταφορά των μπλοκ και ότι δεν χρειάζεται να μαζεύουν τα μπλοκ που μπορεί να πέσουν έξω από το κουτί (Box and Block Test, Physiopedia, 2022).

2.5.4 Handgrip Strength (HGS)

Η κλίμακα HGS, δηλαδή η δύναμη της λαβής της άκρας χείρας, αξιολογεί τη μυϊκή ισχύ της σύλληψης των καμπτήρων μυών των δαχτύλων. Η μέτρηση πραγματοποιείται με ένα δυναμόμετρο χειρός και υψηλότερα σκορ αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη μυϊκή ισχύ των καμπτήρων των δαχτύλων (Lee S., 2021).

2.5.5 Modified Ashworth scale (MAS)

Η τροποποιημένη κλίμακα Ashworth, δηλαδή η MAS, είναι παγκοσμίως το πιο αποδεκτό κλινικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αύξησης του μυϊκού τόνου. Η σπαστικότητα ορίστηκε από τον Jim Lance το 1980, ως μία κινητική διαταραχή που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση αυξημένης αντίστασης στην παθητική κίνηση ως αποτέλεσμα αυξημένου τονικού μυοτατικού αντανακλαστικού. Η σπαστικότητα είναι συστατικό του συνδρόμου του ανώτερου κινητικού νευρώνα, παρουσιάζεται ως αύξηση του μυϊκού τόνου (υπερτονία), εξαρτάται από την ταχύτητα της παθητικής κίνησης και αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα αναπηρίας σε άτομα με βλάβη του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η MAS ενδείκνυται για την αξιολόγηση του μυϊκού τόνου σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο, κάκωση νωτιαίου μυελού, σκλήρυνση κατά πλάκας, εγκεφαλική παράλυση, κάκωση του εγκεφάλου, παιδική υπερτονία και βλάβες του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η κλίμακα κυμαίνεται από 0 έως 4 με το 0 να αντιστοιχεί σε φυσιολογικό άκρο χωρίς σπαστικότητα ενώ με το 4 να αντιστοιχεί σε άκαμπτο άκρο και έντονα εγκατεστημένη σπαστικότητα (Modified Ashworth scale, Physiopedia, 2022).

2.5.6 Active Range of Motion (AROM)

Η AROM δείχνει το ενεργητικό εύρος κίνησης μιας άρθρωσης σε μοίρες και όσο μεγαλύτερη τιμή έχει τόσο μεγαλύτερη και η ελευθερία και η κινητικότητα της άρθρωσης. Η μέτρηση πραγματοποιείται με γωνιόμετρο (Range of Motion, Physiopedia, 2022).

2.5.7 MRC Muscle Scale (Medical Research Council)

Η κλίμακα MRC βαθμολογεί τη μυϊκή ισχύ σε μια κλίμακα από 0 έως 5 σε σχέση με τη μέγιστη αναμενόμενη για αυτόν τον μυ. Σε μια πρόσφατη σύγκριση με μια αναλογική κλίμακα, η κλίμακα MRC φάνηκε να είναι πιο αξιόπιστη και ακριβής για κλινική αξιολόγηση σε αδύναμους μύες (βαθμοί 0-3), ενώ μια αναλογική κλίμακα είναι πιο αξιόπιστη και ακριβής για την αξιολόγηση ισχυρότερων μυών (βαθμοί 4 και 5). Με όσο μεγαλύτερη βαθμολογία αξιολογείται ο μυς τόσο πιο δυνατός θεωρείται (Muscle Strength Testing, Physiopedia, 2022).

2.5.8 Patient-Rated Wrist Evaluation (PRWE)

Το PRWE είναι ένα ερωτηματολόγιο που συμπληρώνεται από τους ασθενείς για την αξιολόγηση της άρθρωσης του καρπού. Το PRWE, αναφορικά με τη μέτρηση του πόνου στον καρπό, αποτελείται από 5 στοιχεία που βαθμολογούνται από 0 έως 10 με μεγαλύτερη βαθμολογία να αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο πόνο, συνεπώς η συνολική βαθμολογία κυμαίνεται από 0 έως 50. Το ερωτηματολόγιο αναπτύχθηκε το 1998 για την κλινική αξιολόγηση και χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες παθήσεις του καρπού. Θεωρείται ένα από τα πιο αξιόπιστα όργανα αξιολόγησης του καρπού (PRWE Score, Physiopedia, 2022).

2.5.9 Jebsen Hand Function Test (JHFT)

Το JHFT είναι μια τυποποιημένη κλίμακα αξιολόγησης των λειτουργικών κινητικών δεξιοτήτων του άνω άκρου (Hummel et al., 2005). Το JHFT αποτελείται από 7 στοιχεία που μετρούν την λεπτή κινητικότητα, σταθμισμένα λειτουργικά πρότυπα και μη σταθμισμένα λειτουργικά πρότυπα. Ο ασθενής καλείται να εκτελέσει μια δραστηριότητα όσο πιο γρήγορα και αποδοτικά μπορεί έχοντας στη διάθεσή του 120 δευτερόλεπτα. Η πραγματοποίηση της διαδικασίας σε όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο αποτελεί τον στόχο της δοκιμασίας (Jebsen et al., 1969).

2.6 Εφαρμογές των εξωσκελετικών μηχανισμών

2.6.1 Η χρήση των εξωσκελετικών μηχανισμών στην αποκατάσταση των νευρολογικών παθήσεων

2.6.1.1 Ασθενείς με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο

Τα Αγγειακά Εγκεφαλικά Επεισόδια (ΑΕΕ) αποτελούν τη δεύτερη συχνότερη αιτία θανάτου σε άτομα ηλικίας άνω των 60 ετών, αλλά και την Πέμπτη πιο συχνή αιτία θανάτου σε άτομα ηλικίας 15-59 ετών. Το 20% των ΑΕΕ είναι αιμορραγικού τύπου και περίπου το 80% ισχαιμικού τύπου. Το 24%-50% των ατόμων που θα υποστούν ΑΕΕ θα έχουν κάποιο είδος λειτουργικής αναπηρίας στους 6-12 μήνες μετά το επεισόδιο

(Μπάκας 2012). Επίσης, το ΑΕΕ μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη ποικιλία συμπτωμάτων, αλλά η πιο κοινή βλάβη είναι η κινητική αναπηρία, η οποία συνήθως επηρεάζει τον έλεγχο της κίνησης του προσώπου και των άκρων (Brewer et al., 2013). Το 70%-85% των ΑΕΕ συνοδεύονται από ημιπληγία και οι περισσότεροι ασθενείς ζουν χρόνια με αναπηρία (Dobkin and Dorsh, 2013). Ειδικά για τα άνω άκρα, οι εκδηλώσεις της κινητικής βλάβης περιλαμβάνουν μυϊκή αδυναμία ή συστολή, μεταβολές στον μυϊκό τόνο, στη χαλαρότητα των αρθρώσεων και διαταραχή του κινητικού ελέγχου (Hotem et al., 2016). Συνεπώς, η αποκατάσταση της κινητικής λειτουργίας των άνω άκρων μετά από ένα ΑΕΕ είναι προτεραιότητα για τους ασθενείς, τις οικογένειες τους και τους επαγγελματίες υγείας (Chen and Shaw, 2014).

2.6.1.2 Ασθενείς με κάκωση νωτιαίου μυελού

Η κάκωση του νωτιαίου μυελού (KNM) είναι κάκωση των νευρικών κυττάρων αισθητικού ή κινητικού τύπου με πλήρη ή μερική διατομή. Η KNM μπορεί να προκληθεί από άμεσο τραυματισμό στον ίδιο τον νωτιαίο μυελό ή από βλάβη στον ιστό και τα οστά (σπόνδυλοι) που περιβάλλουν τον νωτιαίο μυελό. Αυτή η βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε προσωρινές ή μόνιμες αλλαγές στην αίσθηση, την κίνηση, τη δύναμη και τις λειτουργίες του σώματος κάτω από το σημείο του τραυματισμού. Ορισμένοι τραυματισμοί που προκαλούν ελάχιστο ή καθόλου κυτταρικό θάνατο μπορεί να επιτρέψουν σχεδόν πλήρη ανάρρωση, ενώ εκείνοι που συμβαίνουν ψηλότερα στο νωτιαίο μυελό και είναι πιο σοβαροί μπορούν να προκαλέσουν παράλυση στο μεγαλύτερο μέρος του σώματος. Στη χρόνια φάση μετά από μερική KNM, οι ασθενείς με υπολειπόμενη λειτουργία βάδισης, μπορεί να βελτιώσουν την βάδισή τους συμμετέχοντας σε ένα εντατικό πρόγραμμα επανεκπαίδευσης της βάδισης. Οι ρομποτικοί εξωσκελετοί μπορούν εύκολα να προσφέρουν ένα εξατομικευμένο και ακριβές πρόγραμμα άσκησης και να μειώσουν την σωματική επιβάρυνση που υπόκεινται οι θεραπευτές, σε σχέση με τις συμβατικές στρατηγικές εκπαίδευσης της βάδισης, όπως η χειροκίνητη επανεκπαίδευση της βάδισης μέσω μιάντων και μέσω του δαπεδοεργόμετρου.

2.6.2 Η χρήση των εξωσκελετικών μηχανισμών στην αποκατάσταση ορθοπαιδικών τραυματισμών

Οι τραυματικές κακώσεις του καρπού συνήθως οδηγούν σε ελλείμματα κινητικού ελέγχου του χεριού και απώλεια λειτουργικότητας, ως άμεσες συνέπειες τόσο της ίδιας της βλάβης όσο και της επακόλουθης περιόδου ακινητοποίησης. Στην πραγματικότητα, η εμφάνιση ακαμψίας των ιστών, η έλλειψη της διάτασης, η μείωση της μυϊκής δύναμης, ο πόνος και το οίδημα, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περιορισμένο εύρος κίνησης (range of motion, ROM) κατά μήκος ορισμένων επιπέδων κίνησης. Επιπλέον, οι μεγάλες περίοδοι ακινητοποίησης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ελλείμματα ιδιοδεκτικότητας, εμποδίζοντας μετατραυματικά τους ασθενείς να έχουν τον κατάλληλο έλεγχο των κινήσεων και επιδεινώνοντας την απόδοσή τους κατά τις κινήσεις λεπτής κινητικότητας (Albanese G. et al., 2021). Οι τραυματισμοί του καρπού μπορεί να διαφέρουν ως προς τη σοβαρότητα και τη θέση, καθώς οι βλάβες μπορεί να περιλαμβάνουν τους καμπήρες ή τους εκτείνοντες τένοντες των μυών, σύμπλοκα από θυλακοσυνδεσμικά στοιχεία, οστά ή περισσότερους από έναν από αυτούς τους ιστούς. Κάθε ιστός παρουσιάζει διαφορετική αγγείωση και κατά συνέπεια διαφορετικό χρόνο επούλωσης, ενώ η θέση της βλάβης έχει άμεση επίδραση στη λειτουργικότητα. Για αυτούς τους λόγους και λόγω ηλικιακών διαφορών, τόσο οι θεραπείες σε ορθοπαιδικούς τραυματισμούς όσο και οι επακόλουθες προσεγγίσεις αποκατάστασης θα μπορούσαν να διαφέρουν μεταξύ των ατόμων. Ο κλινικός συλλογισμός για την εφαρμογή των εξωσκελετών ως μέσου για την επανεκπαίδευση της βάδισης, βασίζεται στην ακριβή δοσολογία και στην μειωμένη επιβάρυνση του θεραπευτή για την εφαρμογή πολλαπλών επαναλήψεων. Θεωρείται ότι η επανεκπαίδευση της βάδισης με τη βοήθεια εξωσκελετών στα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια και στις κακώσεις νωτιαίου μυελού είναι οικονομικά αποδοτική, όχι όμως για να αντικαταστήσει τον έμπειρο χειριστή και κλινικό που λαμβάνει τις αποφάσεις της αποκατάστασης, αλλά για να αντισταθμίσει την απαίτηση βαριάς χειρωνακτικής εργασίας που εξακολουθεί να είναι ένας σημαντικός επαγγελματικός κίνδυνος για τους θεραπευτές.

3. ΜΕΘΟΔΟΣ

3.1 Στρατηγική αναζήτησης ερευνών

3.2 Κριτήρια επιλογής και αποκλεισμού ερευνών

3.3 Σύστημα αξιολόγησης μεθοδολογικής ποιότητας των ερευνών

3.4 Εξεταζόμενες μεταβλητές

3. ΜΕΘΟΔΟΣ

3.1 Στρατηγική αναζήτησης ερευνών

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε με βάση τις οδηγίες PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), οι οποίες αποτελούν μία λίστα 27 συστάσεων, με σκοπό την ορθή συγγραφή συστηματικών ανασκοπήσεων, αλλά και μετα-αναλύσεων (Moher et al., 2009). Στο πλαίσιο της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στις παρακάτω ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων: PubMed, Scopus, Google Scholar και Cochrane Library, Science Direct από το 2008 έως σήμερα. Κατά την αναζήτηση, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω λέξεις-κλειδιά και ο συνδυασμός αυτών: «exoskeleton», «robotic devices», «rehabilitation», «wrist», «fingers», οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν με ένα συγκεκριμένο συνδυασμό με τους λογικούς τελεστές (Πίνακας 3.1).

Νούμερο	Λέξεις κλειδιά
1	“upper limb, exoskeletons”
2	“robotic devices OR robotic systems OR exoskeletons devices OR hand rehabilitation OR fingers rehabilitation OR wrist rehabilitation”
3	“functional rehabilitation”
Τελική αναζήτηση	1 AND 2 AND 3

3.2 Κριτήρια επιλογής και αποκλεισμού ερευνών

Τα κριτήρια επιλογής που τέθηκαν για την ένταξη ερευνών στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση ήταν τα ακόλουθα: (α) να είναι μελέτες θεραπευτικής παρέμβασης, δημοσιευμένες στην αγγλική γλώσσα σε πλήρες κείμενο, (β) να είναι τουλάχιστον μέτριας μεθοδολογικής ποιότητας (βαθμολογία PEDro > 3/10) και γ) ο υπό μελέτη πληθυσμός των ερευνών να έχει υποστεί αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο ή κάποια ορθοπαιδική κάκωση σε συνδυασμό με σοβαρό έλλειμμα λειτουργικότητας στον καρπό και στην άκρα χείρα.

Τα κριτήρια αποκλεισμού μίας έρευνας ήταν: (α) οι ασθενείς να έπασχαν από διαγνωσμένη άνοια και, (β) το νευρολογικό έλλειμμα των ασθενών να προερχόταν από κρανιοεγκεφαλική κάκωση. Δύο ανεξάρτητοι συγγραφείς εφάρμοσαν τα κριτήρια επιλογής και απόρριψης σε όλες τις έρευνες που προέκυψαν.

3.3 Σύστημα αξιολόγησης μεθοδολογικής ποιότητας των ερευνών

Για την αξιολόγηση της μεθοδολογικής ποιότητας των ερευνών αυτής της ανασκόπησης, επιλέχθηκε η ευρέως χρησιμοποιούμενη κλίμακα PEDro (Physiotherapy Evidence Database), η οποία είναι έγκυρη και αξιόπιστη (Maher et al., 2003; Foley et al., 2006). Η κλίμακα αυτή αξιολογεί τη μεθοδολογική ποιότητα τυχαιοποιημένων μελετών ελέγχου που σχετίζονται με φυσικοθεραπευτικές παρεμβάσεις. Συγκεκριμένα, η κλίμακα PEDro αποτελείται από 11 κριτήρια. Το κριτήριο 1 σχετίζεται με την εξωτερική εγκυρότητα και περιγράφει την «πηγή άντλησης» των δοκιμαζόμενων και τα κριτήρια επιλογής του υπό μελέτη πληθυσμού (Maher et al., 2003; Foley et al., 2006). Τα κριτήρια 2 έως 9 αξιολογούν την εσωτερική εγκυρότητα, ενώ τα κριτήρια 10 και 11 παρέχουν πληροφορίες για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Όταν κάποιο κριτήριο πληρείται, βαθμολογείται με 1 βαθμό ενώ σε αντίθετη περίπτωση, βαθμολογείται με 0. Στη συνολική βαθμολογία δεν περιλαμβάνεται το πρώτο κριτήριο που αφορά τον καθορισμό συγκεκριμένων κριτηρίων επιλογής του δείγματος της έρευνας. Συνεπώς, η συνολική βαθμολογία κυμαίνεται από 0 έως 10. Οι μελέτες που συγκεντρώνουν από 0 έως 3 βαθμούς αξιολογούνται ως μελέτες «χαμηλής ποιότητας», από 4 έως 6 βαθμούς ως «μέτριας ποιότητας» και από 7 έως 10 βαθμούς ως «υψηλής ποιότητας» (Foley et al., 2006). Η βαθμολόγηση της κάθε έρευνας πραγματοποιήθηκε από τους δύο συγγραφείς

της παρούσας εργασίας και δεν υπήρξαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιμέρους ή των αθροιστικών βαθμολογήσεων της κάθε έρευνας (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3 Κλίμακα PEDro για την αξιολόγηση της μεθοδολογικής ποιότητας ερευνών (De Morton, 2009)

Κριτήρια	Βαθμός
Εξωτερική Εγκυρότητα	
1 Καθορισμένα κριτήρια επιλογής συμμετεχόντων	ΔΕΝ ΑΞΙΟΛΟΓΕΙΤΑΙ
Αμεροληψία πριν από την παρέμβαση	
2 Τυχαιοποιημένη κατανομή συμμετεχόντων σε ομάδες	Ναι=1 / Όχι=0
3 «Τυφλή» μέθοδος κατανομής συμμετεχόντων σε ομάδες	Ναι=1 / Όχι=0
4 Ομοιότητα αρχικών τιμών μεταβλητών	Ναι=1 / Όχι=0
Αμεροληψία κατά την παρέμβαση	
5 «Τυφλοί» συμμετέχοντες	Ναι=1 / Όχι=0
6 «Τυφλοί» θεραπευτές	Ναι=1 / Όχι=0
7 «Τυφλοί» αξιολογητές	Ναι=1 / Όχι=0
Αμεροληψία κατά τη στατιστική ανάλυση	
8 Μέτρηση τιμών των κύριων μεταβλητών με ποσοστό τουλάχιστον το 85% του αρχικού αριθμού των συμμετεχόντων	Ναι=1 / Όχι=0
9 Ανάλυση δεδομένων όπου κάθε συμμετέχων δέχτηκε την προσχεδιασμένη παρέμβαση που αντιστοιχεί στην ομάδα του («intention to treat»)	Ναι=1 / Όχι=0
10 Σύγκριση στατιστικών αποτελεσμάτων μεταξύ δύο ερευνητικών ομάδων	Ναι=1 / Όχι=0
11 Ανάλυση στατιστικών δεικτών και μέτρων μεταβλητότητας	Ναι=1 / Όχι=0

3.4 Εξεταζόμενες μεταβλητές

Οι εξεταζόμενες μεταβλητές είναι ο πόνος, η δύναμη, το εύρος τροχιάς, η λειτουργικότητα και η σπαστικότητα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Στρατηγική αναζήτησης

4.2 Μεθοδολογική ποιότητα των ερευνών

4.3 Υπό μελέτη πληθυσμός

4.4 Θεραπευτική παρέμβαση

4.5 Επαναξιολόγηση μεταβλητών

4.6 Εργαλεία αξιολόγησης εξεταζόμενων μεταβλητών

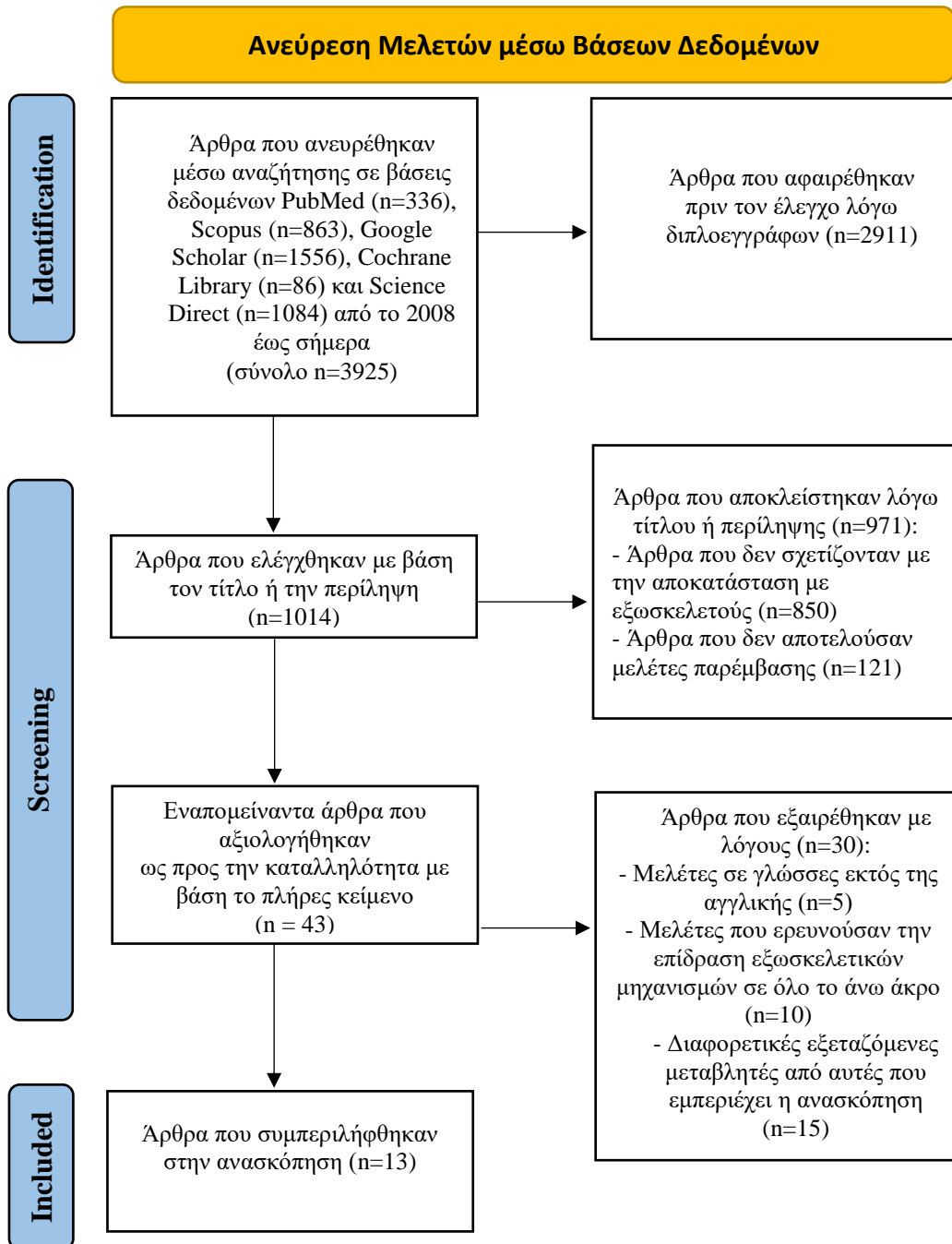
4.7 Αποτελεσματικότητα παρέμβασης

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Στρατηγική αναζήτησης

Η αναζήτηση των δεδομένων διεξήχθη ανεξάρτητα από τους δύο συγγραφείς, με σκοπό την εξασφάλιση της συγκέντρωσης των απαραίτητων πληροφοριών για την παρούσα συστηματική ανασκόπηση. Μετά από αναζήτηση στις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, εντοπίστηκαν συνολικά 3925 άρθρα. Συγκεκριμένα, ανευρέθηκαν 336 άρθρα στην PubMed, 863 άρθρα στην Scopus, 1556 άρθρα στην Google Scholar, 86 άρθρα στην Cochrane Library και 1084 στην Science Direct. Μετά την αφαίρεση των διπλότυπων άρθρων (n=2911), προέκυψαν συνολικά 1014 άρθρα. Από τα 1014 άρθρα, τα 971 απορρίφθηκαν λόγω τίτλου ή περίληψης. Συγκεκριμένα, 850 μελέτες δε σχετίζονταν με την αποκατάσταση με εξωσκελετικούς μηχανισμούς και 121 δεν ήταν μελέτες παρέμβασης (περιέγραφαν μόνο την ασφαλή εφαρμογή του εξωσκελετού σε ασθενή). Επίσης, 30 μελέτες αποκλείστηκαν λόγω του ότι: 5 μελέτες, παρόλο που διέθεταν αγγλική περίληψη, το πλήρες κείμενο ήταν γραμμένο σε άλλη γλώσσα εκτός της αγγλικής, 10 μελέτες ερευνούσαν την επίδραση εξωσκελετικών μηχανισμών σε όλο το άνω άκρο, ενώ στις υπόλοιπες 15 μελέτες υπήρχαν διαφορετικές εξεταζόμενες μεταβλητές από αυτές που εξετάζει η παρούσα ανασκόπηση. Παρέμειναν 13 τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες που σχετίζονταν με το θέμα της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης και αξιολογήθηκαν με την κλίμακα PEDro. Σύμφωνα με την αξιολόγηση, μόνο 1 μελέτη χαρακτηρίστηκε ως χαμηλής μεθοδολογικής ποιότητας (κλίμακα PEDro=3) και τελικά αποκλείστηκε από την ανασκόπηση. Οι υπόλοιπες 12 μελέτες πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης και συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία.

Διάγραμμα 4.1 Στρατηγική αναζήτησης ερευνών – PRISMA 2020 Flow Diagram



4.2 Μεθοδολογική ποιότητα των ερευνών

Η συνολική βαθμολογία των τελικών 12 ερευνών που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία, βάσει των κριτηρίων της κλίμακας PEDro, είναι 6,75/10. Παρακάτω θα αναλυθεί ξεχωριστά κάθε εξεταζόμενη μεταβλητή αναφορικά με τη βαθμολογία της στην PEDro.

Πίνακας 4.2 Βαθμολόγηση των ερευνών σύμφωνα με την κλίμακα PEDro

Κριτήρια Κλίμακας PEDro													
	Έρευνες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Συνολική Βαθμολογία
1	Hsieh et al. (2018)	ΔΕΝ ΑΞΙΟΛΟΓΕΙΤΑΙ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9/10
2	Albanese et al. (2021)		1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	5/10
3	Tkhashi et al. (2008)		1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9/10
4	Hu et al.(2009)		0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	7/10
5	Cho et al. (2020)		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9/10
6	Sale et al. (2014)		0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	5/10
7	Cordo et al. (2022)		1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	7/10
8	El-Kafy et al. (2022)		1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	6/10
9	Singh et al. (2021)		1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	6/10
10	Qian et al. (2019)		1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	7/10
11	Wu et al. (2020)		0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	5/10
12	Masiero et al. (2014)		1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	6/10
13	Ho et al. (2011)		0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3/10

Η αξιολόγηση των 13 μελετών της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης έδειξε τα εξής αποτελέσματα:

- 1 μελέτη μέτριας μεθοδολογικής ποιότητας (αποκλείεται λόγω χαμηλής βαθμολογίας)
- 6 μελέτες μέτριας μεθοδολογικής ποιότητας
- 6 μελέτες υψηλής μεθοδολογικής ποιότητας

Για τις τελικές 12 έρευνες ισχύει: Μέσος όρος βαθμολογίας ερευνών=6,75/10

4.2.1 Πόνος

Η μόνη έρευνα όπου μελέτησε την παράμετρο του πόνου είναι αυτή των Albanese et al. (2021). Σύμφωνα με την κλίμακα PEDro η έρευνα χαρακτηρίστηκε μέτριας μεθοδολογικής ποιότητας (5/10).

4.2.2 Δύναμη

Από το σύνολο των 12 ερευνών που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης, οι 7 μελέτησαν την εξεταζόμενη μεταβλητή της δύναμης. Σύμφωνα με τη βαθμολογία των κριτηρίων της κλίμακας PEDro, προέκυψε ότι 4 έρευνες ήταν υψηλής μεθοδολογικής ποιότητας (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020) και 3 ήταν μέτριας ποιότητας (Sale et al., 2014; El-Kafy et al., 2022; Masiero et al., 2014). Από την αξιολόγηση των παραπάνω ερευνών, ο μέσος όρος της βαθμολογίας τους ήταν 7,3/10.

4.2.3 Εύρος τροχιάς

Από το σύνολο των 12 ερευνών που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης, οι 7 μελέτησαν τη μεταβλητή του εύρους τροχιάς. Βάσει των κριτηρίων της κλίμακας PEDro, 5 έρευνες χαρακτηρίστηκαν υψηλής μεθοδολογικής ποιότητας (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Cordo et al., 2022) και 2 ήταν μέτριας ποιότητας (Sale et al., 2014; Singh et al., 2021). Από την αξιολόγηση των παραπάνω ερευνών, ο μέσος όρος της βαθμολογίας τους ήταν 7,4/10.

4.2.4 Λειτουργικότητα

Από το σύνολο των 12 ερευνών που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης, οι 10 έρευνες μελέτησαν τη μεταβλητή της λειτουργικότητας. Βάσει των κριτηρίων της κλίμακας PEDro, 5 έρευνες χαρακτηρίστηκαν υψηλής μεθοδολογικής ποιότητας (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Qian et al., 2019) και 5 ήταν μέτριας ποιότητας (Sale et al., 2014; Albanese et al., 2021; El-Kafy et al., 2022; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014). Από την αξιολόγηση των παραπάνω ερευνών, ο μέσος όρος της βαθμολογίας τους ήταν 6,8/10.

4.2.5 Σπαστικότητα

Από το σύνολο των 12 ερευνών που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης, οι 5 μελέτησαν τη μεταβλητή της σπαστικότητας. Βάσει των κριτηρίων της κλίμακας PEDro, 3 έρευνες χαρακτηρίστηκαν υψηλής μεθοδολογικής ποιότητας (Hu et al., 2009; Tkahashi et al., 2008; Qian et al., 2019) και 2 ήταν μέτριας ποιότητας (Singh et al., 2021; Masiero et al., 2014). Από την αξιολόγηση των παραπάνω ερευνών, ο μέσος όρος της βαθμολογίας τους ήταν 6,92/10.

4.3 Υπό μελέτη πληθυσμός

Ο υπό μελέτη πληθυσμός των 12 ερευνών αποτελείται συνολικά από 370 ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο (Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Hsieh et al., 2018; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014, Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014) και με κακώσεις της άρθρωσης του καρπού και της άπω κερκιδωλενικής άρθρωσης (Albanese et al., 2021). Από το σύνολο αυτό, υπήρχαν 16 άτομα, τα οποία αποχώρησαν οικειοθελώς για ποικίλους λόγους. Συγκεκριμένα, ορισμένοι συμμετέχοντες αποχώρησαν από τη μελέτη λόγω της απουσίας από τις θεραπείες ή και τις αξιολογήσεις, της έναρξης φαρμακευτικής αγωγής για την καταπολέμηση της σπαστικότητας, του πόνου στο άνω άκρο, της εμφάνισης αυξημένης υπερτονίας, άλλων λόγων υγείας, της απόστασης με τους χώρους θεραπειών, εξαιτίας προσωπικών λόγων που δε σχετίζονταν με τη συμμετοχή τους στη μελέτη. Η ηλικία των συμμετεχόντων κυμαίνεται από 42 έως 82 έτη. Από το πληθυσμό των 370 ασθενών που κατανεμήθηκαν τυχαία στις πειραματικές ομάδες και στις ομάδες ελέγχου, οι 169 ήταν γυναίκες και οι 201 ήταν άντρες.

4.4 Θεραπευτική παρέμβαση

Οι τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση διέθεταν ξεχωριστά χαρακτηριστικά η καθεμία αναφορικά με τη θεραπευτική παρέμβαση που διεξήγαν. Συγκεκριμένα, σε 3 έρευνες η πειραματική ομάδα πραγματοποίησε την αποκατάσταση με εξωσκελετικό μηχανισμό σε συνδυασμό με πρόγραμμα άσκησης, ενώ η ομάδα ελέγχου συμμετείχε μόνο στη συμβατική φυσικοθεραπεία ή σε ασκησιολόγια που εμπειρεύχαν λειτουργικές δραστηριότητες του άνω άκρου (Hsieh et al., 2018; El-Kafy et al., 2022; Masiero et al., 2014). Στην έρευνα

των Singh et al. (2021), οι συμμετέχοντες της πειραματικής ομάδας ακολούθησαν αποκλειστικά πρόγραμμα εξωσκελετού ενώ η ομάδα ελέγχου ακολούθησε μόνο συμβατική φυσικοθεραπεία. Σχετικά με τη μελέτη των Tkahashi et al. (2008), στην ομάδα ελέγχου εφαρμόστηκε το ασκησιολόγιο της πειραματικής ομάδας αλλά, την μισή περίοδο είχε απενεργοποιημένη την υποβοηθούμενη λειτουργία, ενώ την υπόλοιπη μισή περίοδο έλαβε την ίδια παρέμβαση με την πειραματική ομάδα. Στην εργασία των Cho et al. (2020) έγινε σύγκριση δύο διαφορετικού τύπου συσκευών, όπου διέφεραν ως προς την αδράνεια της συσκευής και του σημείου υποβοήθησης της κίνησης. Παρομοίως, στην έρευνα των Qian et al. (2019) έγινε σύγκριση δύο εξωσκελετικών συσκευών όπου η μία εστίαζε στην κινητικότητα του καρπού ενώ η άλλη στην κινητικότητα των δαχτύλων. Ακόμα, στην έρευνα των Hu et al. (2009) και στην έρευνα των Wu et al. (2020) δεν υπήρχε ομάδα ελέγχου. Όσον αφορά την έρευνα των Cordo et al. (2022), η πειραματική ομάδα εφάρμοσε πρόγραμμα εξωσκελετού παράλληλα με συμβατικό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας ενώ στην ομάδα ελέγχου εφαρμόζοταν πρόγραμμα εξωσκελετού, με μηδαμινή όμως επίδραση (μορφή placebo), παράλληλα με συμβατικό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας. Όλες οι έρευνες είχαν συχνότητα συνεδριών 2-5 την εβδομάδα και διάρκεια διεξαγωγής 3-12 εβδομάδες. Τέλος, η χρονική διάρκεια όλων των συνεδριών κυμαινόταν από 30 έως 120 λεπτά.

Η λεπτομερής περιγραφή των θεραπευτικών πρωτοκόλλων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε μελέτη παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

4.5 Επαναξιολόγηση μεταβλητών

Η πλειονότητα των ερευνών δεν πραγματοποίησε επαναξιολόγηση των μεταβλητών (follow up) αλλά μόνο δύο μετρήσεις αξιολόγησης, συγκεκριμένα πριν την έναρξη των θεραπειών και αμέσως μετά το τέλος τους (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Wu et al., 2020). Εξαιρέση αποτελούν οι έρευνες των Sale et al. (2014), των Albanese et al. (2021), των Qian et al. (2019) και των Masiero et al. (2014). Και στις 4 αυτές έρευνες πραγματοποιήθηκε μία επαναξιολόγηση των μεταβλητών ύστερα από τις

δύο κανονικές μετρήσεις πριν και μετά τις θεραπείες. Η επαναξιολόγηση αυτή πραγματοποιήθηκε 3 μήνες μετά το πέρας των θεραπειών.

4.6 Εργαλεία αξιολόγησης εξεταζόμενων μεταβλητών

4.6.1 Αξιολόγηση του πόνου

Η μόνη έρευνα όπου μελέτησε την παράμετρο του πόνου είναι αυτή των Albanese et al. (2021) και η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η κλίμακα PRWE.

4.6.2 Αξιολόγηση της δύναμης

Η μεταβλητή της δύναμης αξιολογήθηκε σε 3 έρευνες (Hsieh et al., 2018; El-Kafy et al., 2022; Masiero et al., 2014). Οι κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της δύναμης ήταν η MRC (Masiero et al., 2014) και η HGS (El-Kafy et al., 2022).

4.6.3 Αξιολόγηση του εύρους τροχιάς

Το εύρος τροχιάς αξιολογήθηκε σε 7 τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες με την κλίμακα αξιολόγησης FMA (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Cordo et al., 2022; Singh et al., 2021) και με την AROM (Sigh et al., 2021).

4.6.4 Αξιολόγηση της λειτουργικότητας

Η λειτουργικότητα αξιολογήθηκε σε 10 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Albanese et al., 2021; El-Kafy et al., 2022; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014). Για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες κλίμακες αξιολόγησης, εκ των οποίων η μία ήταν η FMA (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014). Επίσης, η κλίμακα ARAT (Tkahashi et al., 2008; Cho et al., 2020; El-Kafy et al., 2022; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020), χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της

λειτουργικότητας. Στη μελέτη των Albanese et al. (2021), χρησιμοποιήθηκαν δύο κλίμακες αξιολόγησης, η JFHT και η PRWE.

4.6.5 Αξιολόγηση της σπαστικότητας

Η σπαστικότητα αξιολογήθηκε σε 5 από τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση. Για την αξιολόγηση της σπαστικότητας χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα MAS (Hu et al., 2009; Tkahashi et al., 2008; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Masiero et al., 2014).

4.7 Αποτελεσματικότητα παρέμβασης

4.7.1 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στον πόνο

Η μόνη έρευνα όπου μελέτησε την παράμετρο του πόνου είναι αυτή των Albanese et al. (2021). Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν στατιστικά σημαντικά και φάνηκε πως η παράμετρος του πόνου βελτιώθηκε (Πίνακας 4.7).

4.7.2 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη δύναμη

Σε 5 έρευνες εξετάστηκε η μεταβλητή της δύναμης. Στην μελέτη των Tkahashi et al. (2008), στην πειραματική ομάδα υπήρχε μεγαλύτερη βελτίωση της δύναμης σε σχέση με την ομάδα ελέγχου σημειώνοντας στατιστικά σημαντική διαφορά. Στο άρθρο των El-Kafy et al. (2022) σημειώθηκε στατιστική σημαντικότητα με αισθητή βελτίωση με το δυναμόμετρο χειρός (HGS) στη μυϊκή δύναμη στην ομάδα παρέμβασης εξωσκελετού συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Όσον αφορά το άρθρο των Hsieh et al. (2018) παρατηρήθηκε μεγαλύτερη βελτίωση της δύναμης στην πειραματική ομάδα από ότι στην ομάδα ελέγχου με στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Επίσης, στην έρευνα των Cho et al. (2020) όπου έγινε σύγκριση μεταξύ δύο τύπων συσκευών, υψηλής και χαμηλής αδράνειας ενεργοποίησης, στην ομάδα της χαμηλής αδράνειας ενεργοποίησης υπήρξε μεγαλύτερη βελτίωση της δύναμης σε σχέση με την ομάδα, όπου εφαρμόστηκε η συσκευή υψηλής αδράνειας. Αξίζει να σημειωθεί πως τα αποτελέσματα της ομάδας υψηλής αδράνειας δεν ήταν στατιστικά σημαντικά ενώ της ομάδας χαμηλής αδράνειας ήταν. Τέλος, στη μελέτη των Masiero et al. (2014) η βελτίωση στη δύναμη με την

κλίμακα έδειξε πολύ μικρή θετική διαφορά υπέρ της ομάδας παρέμβασης, ωστόσο τα αποτελέσματα δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 4.7).

4.7.3 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στο εύρος τροχιάς

Οι 7 από τις 12 έρευνες εξέτασαν την μεταβλητή του εύρους τροχιάς. Στις μελέτες των Hsieh et al. (2018) και των Sale et al. (2014) το εύρος τροχιάς βελτιώθηκε σημαντικά σε σχέση με την ομάδα ελέγχου παρέχοντας στατιστικά σημαντική διαφορά. Όσον αφορά τη μελέτη των Singh et al. (2021) βρέθηκε πολύ μεγάλη βελτίωση στην ομάδα παρέμβασης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, αποτέλεσμα που ήταν στατιστικά σημαντικό. Επίσης, στην έρευνα των Tkahashi et al. (2008) παρατηρήθηκε ότι στην ομάδα με την ρομποτική θεραπεία σε όλη την περίοδο είχε μεγαλύτερη βελτίωση σε σχέση με την ομάδα που της εφαρμόστηκε ρομποτική θεραπεία την μισή περίοδο, διαφορά που ήταν στατιστικά σημαντική. Στην μελέτη των Cordo et al. (2022) σημειώθηκε μεγαλύτερη βελτίωση στην πειραματική ομάδα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Αναφορικά με την πειραματική ομάδα cross-over παρατηρήθηκε και σε αυτήν βελτίωση, ωστόσο μικρότερη από την ομάδα ελέγχου. Όλα τα αποτελέσματα της έρευνας βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικά. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι στην έρευνα των Cho et al. (2020), συγκεκριμένα στην ομάδα με την συσκευή υψηλής αδράνειας υπήρχε σημαντικότερη βελτίωση σε σχέση με την ομάδα χαμηλής αδράνειας, ωστόσο τα αποτελέσματα δεν ήταν στατιστικά σημαντικά. Τέλος, στην έρευνα των Hu et al. (2009) παρατηρήθηκε βελτίωση στην ομάδα παρέμβασης με στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 4.7).

4.7.4 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη λειτουργικότητα

Σε 10 έρευνες εξετάστηκε η μεταβλητή της λειτουργικότητας. Σε 3 έρευνες, η ομάδα που έκανε θεραπεία με εξωσκελετικό μηχανισμό παρουσίασε αισθητά σημαντική βελτίωση της λειτουργικότητας με στατιστικά σημαντική διαφορά (Sale et al., 2014; Hsieh et al., 2018; Hu et al., 2009). Επίσης, στην έρευνα των Tkahashi et al. (2008), η ομάδα με την ενεργοποιημένη λειτουργία υποβοήθησης σε όλη τη διάρκεια των θεραπειών είχε σημαντικά βελτιωμένες μετρήσεις σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό. Στην έρευνα των Qian et al. (2019) δεν σημειώθηκε

αισθητή διαφορά στη βελτίωση της λειτουργικότητας μεταξύ της πειραματικής ομάδας A και της πειραματικής ομάδας B, ωστόσο και οι δύο ομάδες είχαν θετικά αποτελέσματα στατιστικά σημαντικά. Στη μελέτη των El-Kafy et al. (2022) φάνηκε μικρή αλλά πιο σημαντική βελτίωση στην ομάδα παρέμβασης από ότι στην ομάδα ελέγχου με στατιστικά σημαντική διαφορά. Επιπλέον, στην έρευνα των Cho et al. (2020), η ομάδα με την συσκευή χαμηλής αδράνειας ενεργοποίησης σημείωσε μικρή βελτίωση της λειτουργικότητας στατιστικά σημαντική. Ακόμα, στην έρευνα των Wu et al. (2020) όπου δεν υπήρχε ομάδα ελέγχου, παρατηρήθηκε μικρή βελτίωση στην πειραματική ομάδα στατιστικά σημαντική. Τέλος, αναφορικά με τη μελέτη των Albanese et al. (2021) σημειώθηκε στατιστικά σημαντική επιδείνωση και στις δύο ομάδες (Πίνακας 4.7).

4.7.5 Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στη σπαστικότητα

Η επίδραση της παρέμβασης στην σπαστικότητα εξετάστηκε σε 5 έρευνες. Όσον αφορά την έρευνα των Qian et al. (2019) βρέθηκε μεγαλύτερη βελτίωση στην πειραματική ομάδα A συγκριτικά με την πειραματική ομάδα B, ωστόσο και οι δύο ομάδες είχαν θετικά αποτελέσματα με στατιστικά σημαντική διαφορά. Στη μελέτη των Singh et al. (2021) σημειώθηκε μικρή αλλά σημαντικότερη βελτίωση στη πειραματική ομάδα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό. Αναφορικά με τις μελέτες των Tkahashi et al. (2008) και Hu et al. (2009) σημειώθηκε και στις δύο μικρή βελτίωση στη σπαστικότητα στην κλίμακα MAS με στατιστικά σημαντική διαφορά. Τέλος, στη μελέτη των Masiero et al. (2014) στα αποτελέσματα της βελτίωσης της σπαστικότητας μεταξύ ομάδας παρέμβασης και ελέγχου δεν παρατηρήθηκε στατιστική σημαντικότητα (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7: Περιγραφή των συμπεριλαμβανομένων ερευνών

Έρευνα (Έτος)	Πάθηση & Πληθυσμός	Παρέμβαση	Διάρκεια/ συχνότητα παρέμβασης	Εξεταζόμενες μεταβλητές	Αξιολόγηση/ Επαναξιολόγηση	Αποτελέσματα
Hsieh et al.(2018)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=25 Πειραματική ομάδα: 13 Ομάδα ελέγχου: 12	Η θεραπεία επικεντρώθηκε στην άρθρωση του καρπού. Πειραματική ομάδα: 50 λεπτά ρομποτικής θεραπείας και 40 λεπτά συμβατικής φυσικοθεραπείας. Ομάδα ελέγχου: 45 λεπτά ασκήσεις ενδυνάμωσης του καρπού και 45 λεπτά λειτουργικής αποκατάστασης της άκρας χειρός.	20 συνεδρίες 90-100' /συν 5 συν/εβδ 4 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Εύρος τροχιάς Μυϊκή δύναμη	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: FMA-Distal πριν/μετά: 6.77 / 9.77 * Ομάδα ελέγχου: FMA-Distal πριν/μετά: 5.08 / 6.25 *
Albanes et al. (2021)	Νυοσκελετικές κακώσεις καρπού N=23 Πειραματική ομάδα: 10 Ομάδα ελέγχου: 13	Η θεραπεία επικεντρώθηκε στην άρθρωση του καρπού. Πειραματική ομάδα: 4 είδη ασκήσεων με τη χρήση του εξωσκελετικού μηχανισμού Ομάδα ελέγχου: Παθητική κινητοποίηση και ασκήσεις υποβοηθούμενες, με αντίσταση και ασκήσεις λεπτών κινήσεων	15 συνεδρίες 90'/συν 5 συν/ εβδ 3 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Πόνος	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης Follow up: 3 μήνες μετά την παρέμβαση	Πειραματική ομάδα: PRWE functional πριν/μετά/follow up: 25.2 / 21.2 / 15.2 * PRWE pain πριν/μετά/follow up: 25 / 24.1 / 24 * JHFT πριν/μετά/follow up: 7.1 / 5.8 / - * Ομάδα ελέγχου: PRWE functional πριν/μετά/follow-up: 26.2 / 21.2 / 21.2 * PRWEpain πριν/μετά/follow up: 27.2 / 24.1 / 29.8 * JHFT πριν/μετά/follow-up: 8.2 / 7.2 / - *
Tkashashi et al. (2008)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=13 Πειραματική ομάδα: 7 Ομάδα ελέγχου: 6	Συνδυαστικό πρόγραμμα αυτόματης υποβοήθησης του εξωσκελετού μαζί με ασκήσεις καρπού και άκρας χειρός. Πειραματική ομάδα: Ενεργοποιημένη λειτουργία αυτόματης υποβοήθησης και στις 15 συνεδρίες. Ομάδα ελέγχου: Ενεργοποιημένη λειτουργία αυτόματης υποβοήθησης μόνο στις 7 συνεδρίες.	15 συνεδρίες 90'/συν 7 συν/εβδ 3 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Εύρος τροχιάς Σπαστικότητα Μυϊκή δύναμη	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: ARAT πριν/μετά: 28 / 33.3 * FMA-UL πριν/μετά: 40.4 / 49.5 * MAS πριν/μετά: 0.9 / 0.1 * Ομάδα ελέγχου: ARAT πριν/μετά: 41 / 43.8 * FMA-UL πριν/μετά: 49.5 / 55.3 * MAS πριν/μετά: 0.3 / 0.1 *
Hu et al. (2009)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=15 Πειραματική ομάδα: 15	Εξατομικευμένη υποβοηθούμενη ή/και με αντίσταση κινητοποίηση του καρπού.	20 συνεδρίες 90'/συν 3 - 5 συν/εβδ 7 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Εύρος τροχιάς Σπαστικότητα Μυϊκή δύναμη	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: FMA-UL πριν/μετά: 10.5 / 13.2 * MAS πριν/μετά: 1.2 / 0.7 *

Χωρίς ομάδα
ελέγχου

Cho et al. (2020)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=42 Πειραματική Ομάδα: 21 Ομάδα ελέγχου: 21	Η παρέμβαση αφορούσε στην άρθρωση του καρπού. Πειραματική ομάδα: Εφαρμογή συσκευής υψηλής αδράνειας «high inertia» και με προσομοιωτή βαρύτητας. Ομάδα ελέγχου: Εφαρμογή συσκευής χαμηλής αδράνειας «low inertia» και με προσομοιωτή βαρύτητας.	12 συνεδρίες 40'/συν 3 συν/εβδ 4 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Εύρος τροχιάς Μυϊκή δύναμη	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: FMA-Distal πριν/μετά: 14.3 / 13.95** ARAT πριν/μετά: 30.25 / 31.45* BBT πριν/μετά: 9.40 / 10.85* Ομάδα ελέγχου: FMA-Distal πριν/μετά: 16.35 / 17.70* ARAT πριν/μετά: 35.85 / 37.23* BBT πριν/μετά: 13.65 / 15.00*
Sale et al. (2014)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=20 Πειραματική Ομάδα: 11 Ομάδα ελέγχου: 9	Η παρέμβαση αφορούσε στην άκρα χείρα σε συνδυασμό με συμβατική φυσικοθεραπεία. Πειραματική ομάδα: Επιπρόσθετη θεραπεία με εξωσκελετικό μηχανισμό. Ομάδα ελέγχου: Επιπρόσθετη εργοθεραπεία διάρκειας 40 λεπτών.	12 συνεδρίες 40'/συν 3 συν/εβδ 4 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Εύρος τροχιάς Μυϊκή δύναμη	Πριν την έναρξη της παρέμβασης -Μετά το τέλος της παρέμβασης -3 μήνες μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική Ομάδα: FMA-UL πριν/μετά/follow-up: 37.55 / 55.64 / 60.18 * BBT πριν/μετά/follow-up: 2 / 9 / 16 * Ομάδα ελέγχου: FMA-UL πριν/μετά/follow-up: 78.6 / 98.13 / 97.13 * BBT πριν/μετά/follow-up: 5 / 9.11 / 12.33 *
Cordo et al. (2022)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=73 Πειραματική ομάδα: 38 Ομάδα Ελέγχου: 35 Πειραματική ομάδα cross-over: 22	Πειραματική ομάδα: Πρόγραμμα υποβοήθησης του καρπού και της άκρας χειρός παράλληλα με συμβατική φυσικοθεραπεία. Επιπρόσθετη εφαρμογή δόνησης στους τένοντες των ανταγωνιστών μυών με σκοπό τη διάταση-χαλάρωση. Ομάδα Ελέγχου: Πρόγραμμα υποβοήθησης από ρομποτική συσκευή με τη μορφή, όμως, placebo παράλληλα με συμβατική φυσικοθεραπεία. Πειραματική ομάδα cross-over: 22 συμμετέχοντες της ομάδας ελέγχου έλαβαν μέρος προαιρετικά σε μια δεύτερη «cross-over» μελέτη με το πρωτόκολλο παρέμβασης της πειραματικής ομάδας.	18 συνεδρίες 30'/συν 2-3 συν/εβδ 6-10 εβδομάδες	Εύρος τροχιάς	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: FMA-UL πριν/μετά: 20.9 / 31.7 * Ομάδα Ελέγχου: FMA-UL πριν/μετά: 23.7 / 30.1 * Πειραματική ομάδα cross-over: FMA-UL πριν/μετά: 30.1 / 34.8 *
El-Kafy et al. (2022)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=36 Πειραματική ομάδα: 18 Ομάδα Ελέγχου: 18	Πειραματική ομάδα: Εφαρμογή προγράμματος συμβατικής φυσικοθεραπείας για 60 λεπτά και υποβοήθηση με την εφαρμογή του ρομποτικού εξωσκελετού για άλλα 60 λεπτά. Ομάδα Ελέγχου: Εφαρμογή μόνο προγράμματος συμβατικής φυσικοθεραπείας για 120 λεπτά.	36 συνεδρίες 120'/συν 3 συν/εβδ 12 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Μυϊκή δύναμη	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: ARAT πριν/μετά: 31.35 / 40.65 * HGS πριν/μετά: 28.52 / 39.29 * Wrist extension πριν/μετά: 22.37° / 36.88° * Ομάδα Ελέγχου: ARAT πριν/μετά: 30.74 / 36.83 *

HGS πριν/μετά:
27.95 / 33.78 *
Wrist extension πριν/μετά:
22.72° / 31.61° *

Singh et al.(2021)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=23 Πειραματική ομάδα: 12 Ομάδα Ελέγχου: 11	Πειραματική ομάδα: Εκτέλεση ασκήσεων καρπού και άκρας χειρός με τη χρήση ρομποτικού εξωσκελετού και με την υποβοήθηση ηλεκτρομυογραφήματος Ομάδα Ελέγχου: Εφαρμογή συμβατικού προγράμματος φυσικοθεραπείας.	20 συνεδρίες 45'/συν 5 συν/εβδ 12 εβδομάδες	Εύρος τροχιάς Σπαστικότητα	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: MAS πριν/μετά: 1.75 /1.29 * AROM wrist πριν/μετά: 15 / 34.5 * FMA-UL πριν/μετά: 36 / 50.2 * FMA-Distal πριν/μετά: 9.7 / 16.6 * Ομάδα Ελέγχου: MAS πριν/μετά: 1.86 / 1.59 * AROM wrist πριν/μετά: 13.6 / 20 * FMA-UL πριν/μετά: 37.4 / 45.4 * FMA-Distal πριν/μετά: 11.4 / 15.1 *
Qian et al.(2019)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=30 Πειραματική ομάδα A: 15 Πειραματική ομάδα B: 15	Πειραματική ομάδα A: Εφαρμογή φορητού εξωσκελετού στον καρπό και τα δάχτυλα με τη χρήση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης (NMES) και πρόκληση διέγερσης στον κοινό εκτείνοντα των δαχτύλων. Πειραματική Ομάδα B: Ίδιο πρωτόκολλο με τις εξής διαφορές: ο φορητός εξωσκελετός εφαρμόστηκε στον αγκώνα και τον καρπό και η ηλεκτρική διέγερση (NMES) εφαρμόστηκε στον βραχίυ και τον μακρό κερκιδικό εκτείνοντα του καρπού.	20 συνεδρίες 60'/συν 3-5 συν/εβδ 5-7 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Σπαστικότητα	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης 3 μήνες μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα A: MAS wrist πριν/μετά/follow-up: 1.4 / 0.6 / 0.3 * MAS finger πριν/μετά/follow-up: 1.3 / 0.4 / 0.4 * ARAT πριν/μετά/follow-up: 15 / 26.4 / 27.2 * FMA-UL πριν/μετά/follow-up: 28.6 / 41.3 / 45.3 * Πειραματική ομάδα B: MAS wrist πριν/μετά/follow-up: 1.3 / 0.9 / 0.9 * MAS finger πριν/μετά/follow-up: 1.4 / 1 / 0.9 * ARAT πριν/μετά/follow-up: 20.2 / 31.8 / 33 * FMA-UL πριν/μετά/follow-up: 32 / 44 / 47.3 *
Wu et al. (2020)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=40 Πειραματική ομάδα: 40 Χωρίς ομάδα ελέγχου	Εκτέλεση ασκήσεων στον καρπό και τα δάχτυλα με τη μορφή διαδραστικού παιχνιδιού σε οθόνη, με την υποβοήθηση εξωσκελετού.	12 συνεδρίες 120'/συν 4 συν/εβδ 3 εβδομάδες	Λειτουργικότητα	Πριν την έναρξη της παρέμβασης 1 μήνα μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: FMA-UL πριν/1 μήνα μετά: 35.6 / 39.4 * ARAT πριν/1 μήνα μετά: 25.1 / 29.2 *
Masiero et al. (2014)	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο N=30 Πειραματική ομάδα: 14	Πειραματική ομάδα: Εφαρμογή προγράμματος συμβατικής φυσικοθεραπείας (80 λεπτά/συνεδρία) και προγράμματος ασκήσεων με την υποβοήθηση εξωσκελετού (40 λεπτά/συνεδρία).	25 συνεδρίες 120'/συν 5 συν/εβδ 5 εβδομάδες	Λειτουργικότητα Μυϊκή δύναμη Σπαστικότητα	Πριν την έναρξη της παρέμβασης Μετά το τέλος της παρέμβασης	Πειραματική ομάδα: MRC wrist flexor πριν/μετά/ follow-up: 3 / 4 / 5 ** MRC wrist extensor πριν/μετά/ follow-up: 3 / 4 / 5 ** FMA-UL πριν/μετά/ follow-up: 36 / 56 / 64 ** MAS πριν/μετά/ follow-up:

Ομάδα Ελέγχου: 16	Ομάδα Ελέγχου: Εφαρμογή μόνο του προγράμματος συμβατικής ψυχοθεραπείας (120 λεπτά/συνεδρία).	3 μήνες μετά το τέλος της παρέμβασης	0 / 0 / 0 ** Ομάδα Ελέγχου: MRC wrist flexor: πριν/μετά/ follow-up: 3 / 4 / 4 ** MRC wrist extensor: πριν/μετά/ follow-up: 3 / 4 / 4,5 ** FMA-UL πριν/μετά/ follow-up: 25 / 39 / 57 ** MAS πριν/μετά/ follow-up: 0 / 0 / 1 **
----------------------	---	--	--

*Αποτελέσματα όπου ανευρέθη στατιστικά σημαντική διαφορά πριν και μετά την παρέμβαση (p<0.05)

**Αποτελέσματα όπου δεν ανευρέθη στατιστικά σημαντική διαφορά πριν και μετά την παρέμβαση

ARAT: Action Research Arm Test [min: 0 / max: 57 (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε καλύτερη λειτουργικότητα του άνω άκρου)]

FMA-UL: Fugl-Meyer Assessment-Upper Limb [min: 0 / max: 66 (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε καλύτερη λειτουργικότητα του άνω άκρου)]

FMA-Distal: Fugl-Meyer Assessment- Distal Upper Limb [min: 0 / max: 24 (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε καλύτερη λειτουργικότητα του άνω άκρου)]

BBT: Box and Block test [min: 0 / max: 150 (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε καλύτερη λειτουργικότητα του άνω άκρου)]

HGS: Handgrip Strength [δυναμόμετρο χειρός (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη μυϊκή ισχύ των καμπτήρων των δαχτύλων)]

MAS: Modified Ashworth scale [min: 0 / max: 4 (χαμηλότερο score αντιστοιχεί σε λιγότερη σπαστικότητα)]

AROM: Active Range of Motion [ενεργητικό εύρος κίνησης μετρημένο σε μοίρες (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο εύρος)]

MRC muscle scale: Medical Research Council muscle scale [min: 0 / max: 5 (υψηλότερο score αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη μυϊκή δύναμη)]

PRWE: Patient-Rated Wrist Evaluation [min: 0 / max: 50 (χαμηλότερο score αντιστοιχεί σε λιγότερο πόνο στον καρπό)]

JHFT: Jebsen Hand Function Test [min: 0 / max: 120 sec (χαμηλότερο χρόνος επίδοσης αντιστοιχεί σε καλύτερη λειτουργικότητα του άνω άκρου)]

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Μεθοδολογική ποιότητα των ερευνών

5.2 Εξεταζόμενες μεταβλητές

5.3 Περιορισμοί των ερευνών και της παρούσας
ανασκόπησης

5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Μεθοδολογική ποιότητα των ερευνών

Η συνολική βαθμολογία των 12 μελετών της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης ήταν 6,75/10. Ειδικότερα, 9 έρευνες πληρούσαν το κριτήριο της τυχαιοποιημένης κατανομής των συμμετεχόντων σε ομάδες (Hsieh et al., 2018; Albanese et al., 2021; Tkahashi et al., 2008; Cho et al., 2020; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Masiero et al., 2014). Η «τυφή» μέθοδος κατανομής συμμετεχόντων σε ομάδες εφαρμόστηκε σε 6 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Albanese et al., 2021; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019). Το κριτήριο της ομοιότητας αρχικών τιμών μεταβλητών το πληρούσαν 10 έρευνες (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014). Επιπροσθέτως, οι συμμετέχοντες ήταν «τυφλοί» σε 6 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Albanese et al., 2021; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Cordo et al., 2022), οι θεραπευτές ήταν «τυφλοί» σε 4 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020) και οι αξιολογητές ήταν «τυφλοί» σε 10 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014). Το κριτήριο της μέτρησης των τιμών των κύριων μεταβλητών με ποσοστό τουλάχιστον το 85% του αρχικού αριθμού των συμμετεχόντων, το πληρούσαν 9 έρευνες (Hsieh et al., 2018; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020). Η ανάλυση δεδομένων όπου κάθε συμμετέχων δέχτηκε την προσχεδιασμένη παρέμβαση που αντιστοιχεί στην ομάδα του («intention to treat») εφαρμόστηκε σε 6 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Albanese et al., 2021; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Sale et al., 2014; Masiero et al., 2014). Επιπλέον, η σύγκριση στατιστικών αποτελεσμάτων μεταξύ δύο ερευνητικών ομάδων πραγματοποιήθηκε σε 9 έρευνες (Tkahashi et al., 2008; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014).

Τέλος, το κριτήριο της ανάλυσης στατιστικών δεικτών και μέτρων μεταβλητότητας το πληρούσαν και οι 12 μελέτες (Hsieh et al., 2018; Albanese et al., 2021; Tkahashi et al., 2008; Hu et al., 2009; Cho et al., 2020; Sale et al., 2014; Cordo et al., 2022; El-Kafy et al., 2022; Singh et al., 2021; Qian et al., 2019; Wu et al., 2020; Masiero et al., 2014).

5.2 Εξεταζόμενες μεταβλητές

5.2.1 Η επίδραση των εξωσκελετών στον πόνο

Η μελέτη της μεταβλητής του πόνου κρίνεται απαραίτητη, καθώς η παρουσία του μπορεί περιορίσει την αποκατάσταση σε μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά, ο πόνος μελετήθηκε μόνο στην έρευνα των Albanese et al. (2021), όπου ο πόνος μειώθηκε και στις δύο ομάδες. Ωστόσο, στην ομάδα παρέμβασης ο πόνος παρέμεινε σταθερός στην εξέταση που έγινε μετά από τρεις μήνες, από την ολοκλήρωση της παρέμβασης, ενώ στην ομάδα ελέγχου επιδεινώθηκε.

5.2.2 Η επίδραση των εξωσκελετών στην δύναμη

Η εξέταση της μυϊκής δύναμης είναι εξίσου σημαντική, καθώς αποτελεί καταλυτική παράμετρο για την απόδοση μιας κίνησης. Συγκρίνοντας, τα αποτελέσματα της λειτουργικότητας στις έρευνες των Hsieh et al. (2018), όπου είχε μέσο όρο χρόνου 1.2 χρόνια μετά το εγκεφαλικό στην πειραματική ομάδα, και των Cho et al. (2020) όπου είχαν μέσο όρο χρόνου μετά το εγκεφαλικό 12.65 χρόνια στην ομάδα παρέμβασης, συμπεραίνουμε ότι στην έρευνα των Hsieh et al. (2018) υπήρχε πολύ μεγαλύτερη βελτίωση στην ομάδα παρέμβασης σε σχέση με την ομάδα παρέμβασης των Cho et al. (2020). Το πόρισμα αυτό μπορεί να εξηγηθεί λόγω του ότι όσο μεγαλύτερο διάστημα έχει μεσολαβήσει από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο αναφορικά με τη θεραπευτική παρέμβαση αντιμετώπισής του, τόσο δυσχεραίνει και η πρόγνωσή του. Στην έρευνα των Tkahashi et al. (2008), όπου ουσιαστικά εξετάστηκε η απόδοση της υποβοηθητικής λειτουργίας, στην ομάδα με την υποβοηθούμενη λειτουργία σε όλη την χρονική περίοδο είχε με διαφορά πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την ομάδα όπου είχε ενεργοποιημένη την λειτουργία υποβοήθησης μόνο τη μισή χρονική περίοδο της αποκατάστασης. Επιπροσθέτως, στην έρευνα των El-Kafy et al. (2022), φάνηκε πως η εφαρμογή ρομποτικού εξωσκελετού σε περιβάλλον ψηφιακής πραγματικότητας μαζί με

συμβατική φυσικοθεραπεία βελτίωσε σημαντικά τη μυϊκή δύναμη καρπού και των δαχτύλων συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Η χρήση οπτικού feedback ήταν καταλυτικής σημασίας, καθώς οι συμμετέχοντες είχαν μεγαλύτερο κίνητρο να προσπαθήσουν για την παραγωγή αυξημένης δύναμης στο δυναμόμετρο χειρός. Στην μελέτη των Sale et al. (2014) και στις δύο ομάδες υπήρξε σημαντική βελτίωση, όπου η μια ομάδα ακολούθησε ρομποτική θεραπεία και η άλλη συμβατική αποκατάσταση, υποδηλώνοντας έτσι ότι και τα δύο είδη παρεμβάσεων είναι αποδοτικά και ότι ένα πρόγραμμα αποκατάστασης θα πρέπει να εμπεριέχει και τα δύο. Στη μελέτη των Masiero et al. (2014) η βελτίωση στη δύναμη έδειξε πολύ μικρή θετική διαφορά υπέρ της ομάδας παρέμβασης εξωσκελετού με υποβοηθούμενες ασκήσεις, ωστόσο τα αποτελέσματα δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Μολονότι η μη στατιστική σημασία φαίνεται να μειώνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ερευνητές της μελέτης συμπέραναν πως η εφαρμογή εξωσκελετού μπορεί να υποκαταστήσει μερικώς τη συμβατική φυσικοθεραπεία διατηρώντας τα αντίστοιχα θετικά οφέλη στην αύξηση της δύναμης. Τέλος, στη μελέτη των Hu et al. (2009) υπήρχε σημαντική βελτίωση στην μια και μοναδική ομάδα παρέμβασης, όπου εφαρμόστηκε μόνο ρομποτική θεραπεία.

5.2.3 Η επίδραση των εξωσκελετών στο εύρος τροχιάς

Η μελέτη του ενεργητικού εύρους τροχιάς κρίνεται αναγκαία, καθώς η μείωση του εύρους τροχιάς αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των ασθενών που έχουν μεσολαβήσει από ένα νευρολογικό επεισόδιο ή ένα μυοσκελετικό τραυματισμό. Όσον αφορά τη μελέτη των Singh et al. (2021) η πειραματική ομάδα του εξωσκελετού σημείωσε πολύ μεγαλύτερη βελτίωση του εύρους τροχιάς του καρπού έναντι της ομάδας ελέγχου συμβατικής φυσικοθεραπείας. Συγκεκριμένα, η ομάδα του εξωσκελετού οδήγησε σε 83% μεγαλύτερη βελτίωση στην κλίμακα AROM συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Στην έρευνα των Hsieh et al. (2018), όπου το αντικείμενο σύγκρισης ήταν ο συνδυασμός συμβατικής φυσικοθεραπείας και εξωσκελετικού μηχανισμού έναντι της αμιγούς φυσικοθεραπείας, φάνηκε ότι το υβριδικό μοντέλο είχε πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο εύρος τροχιάς σε σχέση με το μοντέλο της συμβατικής φυσικοθεραπείας. Επίσης, στην εργασία των Tkahashi et al. (2008), όπου εξέταζε παράλληλα τόσο τις αρθρώσεις των μετακαρποφαλαγγικών αρθρώσεων όλων των δαχτύλων, όσο και την

άρθρωση του καρπού, φάνηκε ότι το εύρος τροχιάς αυξήθηκε σημαντικά στην πειραματική ομάδα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Στην έρευνα των Cordo et al. (2022) φάνηκε πως στην πειραματική ομάδα με τον εξωσκελετό αυξήθηκε περισσότερο το εύρος κίνησης στον καρπό και στα δάχτυλα από ότι στην ομάδα ελέγχου με τον εξωσκελετό με τη μορφή placebo. Αξίζει να σημειωθεί πως ο εξωσκελετός με τη μορφή placebo σχεδιάστηκε έτσι ώστε να έχει ελάχιστο ή καθόλου θεραπευτικό αποτέλεσμα. Η δόνηση που διοχετεύθηκε στην ομάδα του κανονικού εξωσκελετού, στους τένοντες των καμπτήρων και των εκτεινόντων του καρπού και των δαχτύλων αποτελεί ένα αποδοτικό μέσο χαλάρωσης των σπαστικών μυών και στη συγκεκριμένη παρέμβαση προσομοιάζε τη διάταση. Μια ακόμα έρευνα όπου η επίδραση του εξωσκελετικού μηχανισμού φέρεται να είναι σημαντική στο εύρος τροχιάς, είναι των Sale et al. (2014), καθώς η βελτίωση που σημειώθηκε στο τέλος του προγράμματος αποκατάστασης διατηρήθηκε σε μεγάλο βαθμό και μέχρι και τον τρίτο μήνα όπου επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις. Ωστόσο, τα δεδομένα από την μελέτη των Cho et al. (2020), όπου σημειώθηκε μικρή βελτίωση μόνο στην ομάδα με την συσκευή με την χαμηλή αδράνεια ενεργοποίησης της λειτουργίας υποβοήθησης, δεν είναι ενθαρρυντικά. Παρόλα αυτά, είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι ο μέσος όρος χρόνου μετά το εγκεφαλικό στην ομάδα αυτή ήταν 11.75 χρόνια, ενώ ακόμα ο μέσος όρος ηλικίας των ασθενών αυτών ήταν 60.25 χρονών. Τα δεδομένα αυτά, μας δίνουν τη δυνατότητα να υποθέσουμε ότι ο παράγοντας της νευροπλαστικότητας είναι περιορισμένος σε αυτό το χρονικό σημείο, καθώς είναι μια ιδιότητα η οποία φθίνει εκθετικά σε σχέση με τον χρόνο και την ηλικία. Τέλος, στην εργασία των Hu et al. (2009), η πειραματική ομάδα σημείωσε μικρή βελτίωση στην παράμετρο του εύρους τροχιάς.

5.2.4 Η επίδραση των εξωσκελετών στην λειτουργικότητα

Το επίπεδο της λειτουργικότητας υφίσταται σημαντική μείωση σε άτομα που αντιμετωπίζουν νευρολογικές και μυοσκελετικές παθήσεις. Η μελέτη της λειτουργικότητας είναι αναγκαία, καθώς εξετάστηκε στις 10 από τις 12 έρευνες που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση, κάνοντας χρήση πληθώρας εργαλείων μέτρησης. Στην μελέτη των Hsieh et al. (2018) σημειώθηκε πολύ μεγαλύτερη βελτίωση στην ομάδα παρέμβασης σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, όσον αφορά την

λειτουργικότητα. Στην έρευνα αυτή, μάλιστα, οι θεραπευόμενοι υποβλήθηκαν σε εξεταστικό διάστημα 16 επαναλήψεων, για την διαπίστωση του είδους λειτουργίας εφαρμογής στη θεραπευτική ομάδα όσον αφορά την υποβοηθούμενη, ενεργητική ή υπό αντίσταση κίνηση. Οι Sale et al. (2014) όπου όλοι οι ασθενείς υποβλήθηκαν πρόσφατα, ενδονοσοκομειακά, σε φυσικοθεραπευτικό πρόγραμμα αποκατάστασης και οι δύο ομάδες είχαν πολύ μεγάλη βελτίωση της λειτουργικότητας. Ωστόσο, στην ομάδα παρέμβασης τα αποτελέσματα παρέμειναν υψηλά και στο follow-up υποδηλώνοντας, ότι έτσι ενθαρρύνεται η αναδιάρθρωση των εγκεφαλικών δομών, καθώς τα δάχτυλα, κινητικά, έχουν κοινό σημείο λειτουργίας σε επίπεδο φλοιού (Sale et al., 2014). Στην εργασία των Tkahashi et al. (2008) σημειώθηκε μεγαλύτερη απόδοση στην ομάδα παρέμβασης σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, σχετικά με την παράμετρο της λειτουργικότητας. Μάλιστα, κατά την ρομποτική θεραπεία μετά από κάθε εντολή για την εκτέλεση κίνησης δινόταν ο χρόνος των 3 δευτερολέπτων για την εκκίνηση της κίνησης. Στην περίπτωση μη ανταπόκρισης γινόταν υποβοήθηση της κίνησης. Ακόμα, στην έρευνα των El-Kafy et al. (2022) βρέθηκε πως η εφαρμογή ρομποτικού εξωσκελετού σε περιβάλλον ψηφιακής πραγματικότητας βελτίωσε περισσότερο τη λειτουργικότητα του καρπού και των δαχτύλων από ότι η ομάδα ελέγχου της συμβατικής φυσικοθεραπείας. Στο λειτουργικό αυτό κέρδος φαίνεται να βοήθησε η καθοδήγηση του οπτικού feedback από την οθόνη του διαδραστικού παιχνιδιού, η οποία ενίσχυσε τον κινητικό έλεγχο των συμμετεχόντων στις διαφορετικές κινητικές δοκιμασίες που κλήθηκαν να εκτελέσουν. Όσον αφορά τη μελέτη των Qian et al. (2019), τόσο η πειραματική ομάδα Α με εξωσκελετό στον καρπό και τα δάχτυλα με τη χρήση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης (NMES) στα δάχτυλα όσο και η πειραματική ομάδα Β με εξωσκελετό στον καρπό και τα δάχτυλα με τη χρήση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης (NMES) στον καρπό, οδήγησαν σε αξιοσημείωτη βελτίωση αντίστοιχου βαθμού της λειτουργικότητας. Και οι δύο διαφορετικές παρεμβάσεις βελτίωσαν τις κινητικές λειτουργίες του άνω άκρου και κυρίως των δαχτύλων -ειδικά αυτές που αφορούσαν καθημερινές δραστηριότητες- ενώ τα οφέλη διατηρήθηκαν για 3 μήνες και για τις δύο ομάδες. Στην έρευνα των Wu et al. (2020), η πειραματική ομάδα του εξωσκελετού στον καρπό, τον αντίχειρα και τα δάχτυλα με τη μορφή διαδραστικού παιχνιδιού σε οθόνη έδειξε βελτίωση στη λειτουργικότητα και στην ενασχόληση με καθημερινές δραστηριότητες. Είναι γεγονός

πως τα παιχνίδια ενθαρρύνουν τη συμμετοχή του ασθενή στα θεραπευτικά πρωτόκολλα καθώς προσφέρουν τα στοιχεία του κινήτρου και της ψυχαγωγίας. Στην έρευνα των Hu et al. (2009), υπήρξε βελτίωση της λειτουργικότητας. Στην έρευνα εκείνων δινόταν δυνατότητα διαλείμματος μεταξύ δύο συνεχόμενων κύκλων επανάληψης κάμψης-έκτασης του καρπού. Στην εργασία των Cho et al. (2020), παρατηρήθηκε μικρή βελτίωση της λειτουργικότητας μόνο στην ομάδα που εφαρμόστηκε η συσκευή χαμηλής αδράνειας. Η βελτίωση αυτή, πιθανόν, να οφείλεται στην δυνατότητα της πιο άμεσης αλληλεπίδρασης που προσφέρει ο εξωσκελετός χαμηλής αδράνειας (Cho et al., 2020). Στη μελέτη των Masiero et al. (2014) η βελτίωση στη λειτουργικότητα έδειξε πολύ μικρή θετική διαφορά υπέρ της ομάδας παρέμβασης εξωσκελετού με υποβοηθούμενες ασκήσεις, ωστόσο τα αποτελέσματα δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Η αρχική εκτίμηση των ερευνητών, βέβαια, για μερική υποκατάσταση της συμβατικής φυσικοθεραπείας από την εφαρμογή εξωσκελετού και ταυτόχρονη διατήρηση των αντίστοιχων θετικών οφελών στη λειτουργικότητα επιβεβαιώθηκε. Τέλος, στη μελέτη των Albanese et al. (2021) όπου οι ασθενείς ήταν μυοσκελετικού τύπου σημειώθηκε μικρή επιδείνωση της λειτουργικότητας, τόσο στην ομάδα παρέμβασης, όσο και στην ομάδα ελέγχου όπου ακολούθησε συμβατικό προγραμμά φυσικοθεραπευτικής αποκατάστασης.

5.2.5 Η επίδραση των εξωσκελετών στην σπαστικότητα

Η σπαστικότητα είναι ένας καταλυτικός παράγοντας για την ολιστική αποκατάσταση ενός ασθενούς, καθώς η μείωση αυτής αποτελεί σημαντικό προγνωστικό δείκτη. Για το λόγο αυτό είναι συνετό να εξετάζεται στα ερευνητικά πρωτόκολλα. Στην ανασκόπηση αυτή συμπεριλήφθηκαν 6 μελέτες, όπου εξέτασαν τη σπαστικότητα. Στην μελέτη των Tkahashi et al. (2008) σημειώθηκε σημαντικά μεγαλύτερη μείωση της σπαστικότητας στην ομάδα παρέμβασης, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μέσος χρόνος παρέλευσης από το εγκεφαλικό στην ομάδα παρέμβασης ήταν 1.2 χρόνια ενώ στην ομάδα ελέγχου ήταν 4.8 χρόνια. Γενικά, η περίοδος που έχει μεσολαβήσει από το εγκεφαλικό συνδέεται άρρηκτα με το επίπεδο της σπαστικότητας σύμφωνα με τα στάδια αποκατάστασης κατά Brunnstrom. Όσον αφορά τη μελέτη των Singh et al. (2021) η πειραματική ομάδα του εξωσκελετού σημείωσε μεγαλύτερη

βελτίωση της σπαστικότητας του καρπού έναντι της ομάδας ελέγχου συμβατικής φυσικοθεραπείας. Συγκεκριμένα, η ομάδα του εξωσκελετού οδήγησε σε 26% βελτίωση της σπαστικότητας στην κλίμακα MAS ενώ η ομάδα ελέγχου μόλις σε 14%. Στην έρευνα των Qian et al. (2019), τόσο η πειραματική ομάδα Α με εξωσκελετό στον καρπό και τα δάχτυλα με τη χρήση νευρομυκικής ηλεκτρικής διέγερσης (NMES) στα δάχτυλα όσο και η πειραματική ομάδα Β με εξωσκελετό στον καρπό και τα δάχτυλα με τη χρήση νευρομυκικής ηλεκτρικής διέγερσης (NMES) στον καρπό, οδήγησαν σε μείωση της σπαστικότητας στην κλίμακα MAS, ωστόσο αισθητά καλύτερα αποτελέσματα παρουσίασε η πειραματική ομάδα Α όπου εστίασε στα δάχτυλα. Στη μελέτη των Hu et al. (2009) παρατηρήθηκε μικρή βελτίωση της σπαστικότητας με μέσο χρόνο παρέλευσης από το εγκεφαλικό 1 χρόνο. Τέλος, τη μελέτη των Masiero et al. (2014) τόσο η ομάδα παρέμβαση εξωσκελετού με υποβοηθούμενες ασκήσεις όσο και η ομάδα ελέγχου συμβατικής φυσικοθεραπείας βελτίωσαν στον ίδιο βαθμό τη σπαστικότητα, ωστόσο τα αποτελέσματα δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Η αρχική εκτίμηση των ερευνητών, βέβαια, για μερική υποκατάσταση της συμβατικής φυσικοθεραπείας από την εφαρμογή εξωσκελετού και ταυτόχρονη διατήρηση των αντίστοιχων θετικών οφελών στη σπαστικότητα επιβεβαιώθηκε.

5.3 Περιορισμοί των ερευνών και της παρούσας ανασκόπησης

Σε αρκετές έρευνες απουσίαζε η επαναξιολόγηση των εξεταζόμενων μεταβλητών (follow-up) και υπήρχε μικρό δείγμα συμμετεχόντων. Αναφορικά με το χρονικό διάστημα στο οποίο βρίσκονταν οι συμμετέχοντες μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο κατά την έναρξη των ερευνών, αποτελεί επιτακτική ανάγκη η επιλογή ασθενών που να βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια μετά το εγκεφαλικό. Σημαντική είναι και η διεξαγωγή περισσότερων ερευνών σε ασθενείς με μυοσκελετικές κακώσεις. Επιπροσθέτως, σε 2 άρθρα δεν υπήρχε ομάδα ελέγχου.

Σε κάποιες έρευνες δεν εφαρμόστηκε επαρκής παρακολούθηση των ασθενών στις καθημερινές τους δραστηριότητες με αποτέλεσμα οι συμμετέχοντες, ενδεχομένως, να εκτελούσαν και κάποιο άλλο πρόγραμμα άσκησης ταυτόχρονα με τη θεραπευτική παρέμβαση. Έτσι, δεν μπορεί να εκτιμηθεί επακριβώς ο βαθμός στον οποίο συντέλεσε το υπό εξέταση θεραπευτικό πρωτόκολλο. Βέβαια, κρίνεται ωφέλιμη η μελλοντική

διεξαγωγή ερευνών που θα εξετάζεται η παρέμβαση εξωσκελετού έναντι ομάδας ελέγχου με θεραπεία placebo, έτσι ώστε να αποσαφηνιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η συνεισφορά του εξωσκελετού στο θεραπευτικό αποτέλεσμα.

Ένας ακόμη περιορισμός της παρούσας ανασκόπησης ήταν η εύρεση και αξιοποίηση δημοσιευμένων μελετών μόνο στην αγγλική γλώσσα και πιο συγκεκριμένα, σε επιστημονικά περιοδικά και βάσεις δεδομένων. Το γεγονός αυτό οδήγησε στο να μην βρεθούν άλλες μελέτες με τον ίδιο ερευνητικό σκοπό που πιθανόν να είχαν αρνητική έκβαση ως προς τα αποτελέσματα. Τέλος, η καταγραφή και η αξιολόγηση των μεταβολών, των υπό εξέταση μεταβλητών, έγινε μόνο ως προς τη στατιστική τους σημαντικότητα και όχι ως προς την κλινική τους εφαρμογή και το γεγονός αυτό, αποτέλεσε έναν ακόμη περιορισμό της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Γενικά, η στατιστική σημαντικότητα πιθανόν να μην αντικατοπτρίζει πάντα την κλινική αξία των αποτελεσμάτων και επομένως, το θέμα αυτό χρήζει περαιτέρω έρευνας.

5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Από το σύνολο των 12 τυχαιοποιημένων μελετών ελέγχου, στις 4 πραγματοποιήθηκε επαναξιολόγηση (follow-up) των μεταβλητών. Αποτελεί επιτακτική ανάγκη η πραγματοποίηση τουλάχιστον μιας επαναξιολόγησης στις μελλοντικές τυχαιοποιημένες μελέτες, προκειμένου να διερευνηθεί η μακροχρόνια επίδραση της εφαρμογής των εξωσκελετών στη λειτουργικότητα του ασθενούς. Επίσης, ιδιαίτερη σημασία έχει η διεξαγωγή περισσότερων ερευνών που θα εμπεριέχουν έγκυρα και αξιόπιστα εργαλεία μέτρησης και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να προκύψουν μελέτες με υψηλή μεθοδολογική ποιότητα. Ακόμη, η λεπτομερής στατιστική ανάλυση είναι μείζονος σημασίας προκειμένου να επιτευχθεί η ενίσχυση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Η εδραίωση ενός θεραπευτικού πρωτοκόλλου εφαρμογής εξωσκελετών μπορεί να ωφελήσει, καθώς θα συμπεριλαμβάνει το είδος του εξωσκελετού, τη συχνότητα, τον αριθμό των συνεδριών και τη χρονική διάρκειά των θεραπειών, ανάλογα με τη μεταβλητή που εξετάζεται σε κάθε έρευνα. Αξίζει να σημειωθεί πως με τη μακροπρόθεσμη χρήση εξωσκελετού σε ένα πλάνο αποκατάστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί η απόσβεση της οικονομικής δαπάνης που απαιτεί η αγορά ενός

εξωσκελετού και να μειώσει τις μισθολογικές δαπάνες του θεραπευτικού δυναμικού. Επιπρόσθετα, θα ήταν αρκετά ωφέλιμο μελλοντικά να εξεταστεί και ο ψυχολογικός παράγοντας των ασθενών που συμμετέχουν στις έρευνες, καθώς αποτελεί συχνό φαινόμενο η ψυχολογική κατάπτωση των ασθενών μετά από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο. Τέλος, κρίνεται σημαντικό οι μελλοντικές τυχαιοποιημένες μελέτες ελέγχου να ακολουθούν τυφλή διαδικασία μετρήσεων, περικλείοντας μεγάλο αριθμό δοκιμαζόμενων, που θα έχουν διαμοιρασθεί με καθ' όλα έγκυρες μεθοδολογικά διαδικασίες τόσο στις πειραματικές ομάδες όσο και στις ομάδες ελέγχου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Συνοψίζοντας, η παρούσα συστηματική ανασκόπηση βιβλιογραφίας έδειξε πως η στοχευμένη αξιοποίηση ενός εξωσκελετικού μηχανισμού και η ορθή ενσωμάτωσή του σε ένα εξατομικευμένο θεραπευτικό πλάνο νευρολογικών και ορθοπαιδικών παθήσεων και κακώσεων, αποτελεί μια πρωτοποριακή και ανερχόμενη προσέγγιση που λειτουργεί συμπληρωματικά της συμβατικής φυσικοθεραπείας,

Σε όλες τις μελέτες ανεδείχθη ότι, η χρήση εξωσκελετικού συστήματος βελτίωσε με στατιστικώς σημαντική διαφορά όλες τις εξεταζόμενες μεταβλητές. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη βελτίωση ανευρέθη στις μεταβλητές της λειτουργικότητας και του εύρους τροχιάς, ομοίως θετική επίδραση φάνηκε στις μεταβλητές της δύναμης και της σπαστικότητα. Τέλος, η μεταβλητή του πόνου βελτιώθηκε αλλά δεδομένου πως η αξιολόγηση της συγκεκριμένης μεταβλητής αναφέρεται μόνο σε μία μελέτη, αποτελεί ανάγκη η περαιτέρω διερεύνηση της εν λόγω παρέμβασης σχετικά την επίδραση της στον πόνο.

Επομένως, η πραγματοποίηση νέων τυχαιοποιημένων μελετών ελέγχου σχετικά με την επίδραση των εξωσκελετικών μηχανισμών στην αποκατάσταση νευρολογικών και ορθοπαιδικών παθήσεων και κακώσεων κρίνεται αναγκαία. Η εγκυρότερη επιβεβαίωση της θετικής επίδρασής των εξωσκελετικών μηχανισμών στην αποκατάσταση, αλλά και η εκτενέστερη διερεύνηση της λειτουργίας τους θα συμβάλλουν τα μέγιστα στη λειτουργικότητα και την ποιότητα ζωής των ασθενών.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abd El-Kafy, E., Alshehri, M., El-Fiky, A., Guerhazi, M., Mahmoud, H. The Effect of Robot-Mediated Virtual Reality Gaming on Upper Limb Spasticity Poststroke: A Randomized-Controlled Trial. *Games for Health Journal*. 2022.; 11(2):93-103.
2. Action Research Arm Test (ARAT) [online]. Physiopedia. 2022. Available at: [https://www.physio-pedia.com/Action_Research_Arm_Test_\(ARAT\)](https://www.physio-pedia.com/Action_Research_Arm_Test_(ARAT)) [accessed 21 Jul 2022].
3. Albanese, G. A., Taglione, E., Gasparini, C., Grandi, S., Pettinelli, F., Sardelli, C., Catitti, P., Sandini, G., Masia, L., Zenzeri, J. Efficacy of Wrist Robot-Aided Orthopedic Rehabilitation: A Randomized Controlled Trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2022.; 18(1):130
4. Alt Murphy, M. Fugl-Meyer Assessment [online]. University of Gothenburg. 2022. Available at: <https://www.gu.se/en/neuroscience-physiology/fugl-meyer-assessment> [accessed 21 Jul 2022].
5. Muscle Strength Testing [online]. Physiopedia. 2022. Available at: https://www.physio-pedia.com/Muscle_Strength_Testing?utm_source=physiopedia&utm_medium=search&utm_campaign=ongoing_internal#contents [Accessed September 5, 2022].
6. PRWE score [online]. Physiopedia. 2022. Available at: https://www.physio-pedia.com/PRWE_Score [Accessed September 5, 2022].
7. Upper Extremity Rehabilitation Using Robotics [online]. Physiopedia. 2022. Available at: https://www.physio-pedia.com/Upper_Extremity_Rehabilitation_using_Robotics [Accessed September 5, 2022].
8. Antoniou, M. Σχεδιασμός Νάρθηκα Αποκατάστασης Κινητικότητας Άκρας Χείρας Έπειτα Από Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο [online]. Κεντρική βιβλιοθήκη ΕΜΠ. 2021. Available at: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/53355> [accessed 21 Jul 2022].
9. Box and Block Test [online]. Physiopedia. 2022. Available at: https://www.physio-pedia.com/Box_and_Block_Test [accessed 21 Jul 2022].
10. Cho, K. H., Song, W. K. Effects of Two Different Robot-Assisted Arm Training on Upper Limb Motor Function and Kinematics in Chronic Stroke Survivors: A Randomized Controlled Trial. *Topics in stroke rehabilitation*. 2021.; 28(4):241-250.
11. Cordo, P., Wolf, S., Rymer, W., Byl, N., Stanek, K., Hayes, J. Assisted Movement With Proprioceptive Stimulation Augments Recovery From Moderate-To-Severe Upper Limb Impairment During Subacute Stroke Period: A Randomized Clinical Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2022.; 36(3):239-250.

12. De Morton, N. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2009.; 55(2):129-33.
13. Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*. 1992.; 91(1):176-180.
14. Edwards, D. J., Forrest, G., Cortes, M., Weightman, M. M., Sadowsky, C., Chang, S. H., Furman, K., Bialek, A., Prokup, S., Carlow, J., VanHiel, L., Kemp, L., Musick, D., Campo, M., Jayaraman, A. Walking Improvement in Chronic Incomplete Spinal Cord Injury with Exoskeleton Robotic Training (WISE): A Randomized Controlled Trial. *Spinal Cord*. 2022.; 60:522-532.
15. Faure, C., Limballe, A., Kerhervé, H. Fooling the Brain, Fooling the Pain: The Role of Mirror Therapy and Modern Uses in Virtual Reality [online]. *Frontiers for Young Minds*. 2022. Available at: <https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2019.00091> [accessed 21 Jul 2022].
16. Gassert, R., Dietz, V. Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2018.; 15(1):46.
17. Hsieh, Y. W., Lin, K. C., Wu, C. Y., Shih, T. Y., Li, M. W., Chen, C. L. Comparison of Proximal versus Distal Upper-Limb Robotic Rehabilitation on Motor Performance after Stroke: A Cluster Controlled Trial. *Scientific reports*., 2018.; 8:2091.
18. Hu, X. L., Tong, K. Y., Song, R., Zheng, X. J., Lui, K. H., Leung, W. W., Au-Yeung, S. S. Quantitative Evaluation of Motor Functional Recovery Process in Chronic Stroke Patients during Robot-Assisted Wrist Training. *Journal of electromyography and kinesiology*. 2022.; 19(4):639-50.
19. Kazeminasab, S., Hadi, A., Khalil, A., Mohammad, E. Force and Motion Control of a Tendon-Driven Hand Exoskeleton Actuated by Shape Memory Alloys. *International journal of robotics research and application*. 2018.; 45(5):623-633.
20. Kelley, K. W. NIH Public Access Policy. *Brain, Behavior, and Immunity*. 2008.; 22(5):629.
21. Lee, S. H., Park, G., Cho, D. Y., Kim, H. Y., Lee, J. Y., Kim, S., Park, S. B., Shin, J. H. Comparisons between End-Effector and Exoskeleton Rehabilitation Robots Regarding Upper Extremity Function among Chronic Stroke Patients with Moderate-to-Severe Upper Limb Impairment. *Scientific reports*. 2020.; 10:1806.
22. Lee, S. Y. Handgrip Strength: An irreplaceable indicator of muscle function. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2021.; 45(3):167-169.

23. Marinov, B. Electrical Muscle Stimulation in Rehabilitation, Cybernetic Bicycles and Exoskeletons [online]. Exoskeleton Report. 2016. Available at: <https://exoskeletonreport.com/2016/08/electrical-muscle-stimulation-rehabilitation-cybernetic-bicycles-exoskeletons/> [accessed 21 Jul 2022].
24. Marinov, B. What Is an Exoskeleton? [online]. Exoskeleton Report. 2022. Available at: <https://exoskeletonreport.com/what-is-an-exoskeleton/> [accessed 21 Jul 2022].
25. Masiero, S., Armani, M., Ferlini, G., Rosati, G., Rossi, A. Randomized Trial of a Robotic Assistive Device for the Upper Extremity During Early Inpatient Stroke Rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2013.; 28(4):377-386.
26. Modified Ashworth Scale [online]. Physiopedia. 2022. Available at: https://www.physio-pedia.com/Modified_Ashworth_Scale [accessed 21 Jul 2022].
27. Mubin, O., Alnajjar, F., Jishtu, N., Alsinglawi, B., Al Mahmud, A. Exoskeletons with virtual reality, augmented reality, and gamification for stroke patients' rehabilitation: Systematic review. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*. 2019.; 6(2):12010.
28. Nguyen, T.bC., Parnichkun, M., Phan, M. T. T., Nguyen, A. D., Pham, C. N., Nguyen, H. N. Force Control of Upper Limb Exoskeleton to Support User Movement. *Journal of Mechanical Engineering, Automation and Control Systems*. 2020.; 1(2):89-101.
29. Qian, Q., Nam, C., Guo, Z., Huang, Y., Hu, X., Ng, S., Zheng, Y., Poon, W. Distal versus proximal - an investigation on different supportive strategies by robots for upper limb rehabilitation after stroke: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2019.; 16(1):64.
30. Rizzolatti, G., Fabbri-Destro, M. Mirror Neurons and Mirror Systems in Monkeys and Humans. *Physiology*. 2008.; 23(3):171-179.
31. Rodríguez-Fernández, A., Lobo-Prat, J., Font-Llagunes, J. M. Systematic Review on Wearable Lower-Limb Exoskeletons for Gait Training in Neuromuscular Impairments. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2021.; 18:22.
32. Sale, P., Mazzoleni, S., Lombardi, V., Galafate, D., Massimiani, M. P., Posteraro, F., Damiani, C., Franceschini, M. Recovery of Hand Function with Robot-Assisted Therapy in Acute Stroke Patients: A Randomized-Controlled Trial. *International journal of rehabilitation research*. 2022.; 37(3):236-42.
33. Savaki, H., Raos, V. Action perception and motor imagery: Mental practice of action. *Progress in Neurobiology*. 2019.; 175:107-125.

34. Singh, N., Saini, M., Kumar, N., Srivastava, M. Mehndiratta, A. Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2021.; 18(1):76.
35. Sirlantzis, K., Oprea, P., F. Ruiz-Olaya, A. *Handbook of Electronic Assistive Technology* [ebook]. Academic Press. 2022. Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/exoskeleton-robotics> [accessed 21 Jul 2022].
36. Yozbatiran, N., Der-Yeghiaian, L., Cramer, S. C. A standardized approach to performing the Action Research Arm Test. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2008.; 22(1):78-90.
37. Spinal Cord Injury [online]. National Institute of Neurological Disorders and Stroke. 2022. Available at: <https://www.ninds.nih.gov/health-information/disorders/spinal-cord-injury> [accessed 21 Jul 2022].
38. Takahashi, C. D., Der-Yeghiaian, L., Vu, L., Motiwala, R. R., Cramer, S. C. Robot-Based Hand Motor Therapy after Stroke. *Brain*. 2022.; 131(2):425-37.
39. Tzetzis, G., Lola, A. Φυσική Αγωγή: Υγεία, Μάθηση, Απόδοση [ebook]. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. 2015. Available at: <https://www.kougioumtzis.org/drupal/?q=%CE%BC%CE%AC%CE%B8%CE%B7%CF%83%CE%B7-vs-%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7> [accessed 21 Jul 2022].
40. Wu, J., Dodakian, L., See, J., Quinlan, E. B., Meng, L., Abraham, J., Wong, E., Le, V., McKenzie, A., Cramer, S. C. Gains Across WHO Dimensions of Function After Robot-Based Therapy in Stroke Subjects. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2020.; 34(12):1150-1158.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Έρευνα (Έτος)	Αναλυτική περιγραφή της θεραπευτικής παρέμβασης
Hsieh et al. (2018)	<p>Η θεραπεία επικεντρώθηκε στην άρθρωση του καρπού στις κινήσεις της κάμψης-έκτασης, ωλένιας- κερκιδικής απόκλισης και πρηνισμού υπτιασμού.</p> <p>Πειραματική ομάδα: Οι θεραπείες εμπειρείχαν δύο είδη θεραπείας 50 λεπτά ρομποτικής θεραπείας και 40 λεπτά συμβατικής φυσικοθεραπείας. Η θεραπεία με τον εξωσκελετό αποτελούταν από το Clock game (ηλεκτρονικό παιχνίδι με στόχους καταναμημένους σε διάταξη ενός ρολογιού) και το Point game (ηλεκτρονικό παιχνίδι με μεταφορά αντικειμένου από τη θέση Α στη θέση Β). Η συμβατική φυσικοθεραπεία αποτελούταν από χρήση λειτουργικών εργαλείων, ντύσιμο και ξεφύλλισμα περιοδικών).</p> <p>Ομάδα ελέγχου: Η θεραπεία στην ομάδα αυτή αποτελούταν από 45 λεπτά τυπικής ενδυνάμωσης του καρπού και 45 λεπτά λειτουργικής αποκατάστασης της άκρας χείρας (χειρισμός αντικειμένων).</p>
Albanese et al. (2021)	<p>Η θεραπεία επικεντρώθηκε στην άρθρωση του καρπού στις κινήσεις της κάμψης-έκτασης, ωλένιας- κερκιδικής απόκλισης και πρηνισμού υπτιασμού.</p> <p>Πειραματική ομάδα: 4 είδη ασκήσεων με τη χρήση του εξωσκελετικού μηχανισμού</p> <ol style="list-style-type: none">1. Παθητική κινητοποίηση2. Υποβοηθούμενη κινητοποίηση3. Ασκήσεις με αντίσταση(ιμάντες ή βάρη)4. Ασκήσεις επιδεξιότητας <p>Η συσκευή είχε χαμηλές τιμές αδράνειας, μιμούμενες τις φυσικές κινήσεις, όσον αφορά τη λειτουργία υποβοήθησης.</p> <p>Ομάδα ελέγχου: 4 είδη ασκήσεων με τη βοήθεια φυσικοθεραπευτή</p> <ol style="list-style-type: none">1. Παθητική κινητοποίηση2. Υποβοηθούμενη κινητοποίηση3. Ασκήσεις με αντίσταση(ιμάντες ή βάρη)4. Ασκήσεις επιδεξιότητας

<p>Tkashi et al. (2008)</p>	<p>Και στην πειραματική και στην ομάδα ελέγχου εφαρμόστηκε το ίδιο θεραπευτικό πρόγραμμα ασκήσεων με μόνη διαφορά, ο αριθμός των συνεδριών στις οποίες ήταν ενεργοποιημένη η λειτουργία αυτόματης υποβοήθησης του εξωσκελετού. Η συσκευή λειτουργούσε στις μετακαρποφαλαγγικές αρθρώσεις όλων των δαχτύλων και στην άρθρωση του καρπού. Η λειτουργία αυτόματης ενεργοποίησης της υποβοηθούμενης λειτουργίας γινόταν με την ανίχνευση έλλειψης μυϊκής δύναμης για την ολοκλήρωση της κίνησης και ολοκληρωνόταν με τη βοήθεια του εξωσκελετού. Το θεραπευτικό πρόγραμμα εμπειρεύει ασκήσεις κάμψης και έκτασης των αρθρώσεων που προαναφέρθηκαν προσομοιάζοντας την σύλληψη. Κάθε κύκλος άσκησης σύλληψης διαρκούσε 11-15 δευτερόλεπτα.</p> <p>Πειραματική ομάδα: Είχε ενεργοποιημένη της λειτουργία αυτόματης υποβοήθησης και στις 15 συνεδρίες.</p> <p>Ομάδα ελέγχου: Είχε ενεργοποιημένη την λειτουργία αυτόματης υποβοήθησης μόνο στις 7 συνεδρίες.</p>
<p>Hu et al. (2009)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Κάθε συνεδρία εμπειρεύει 12 σειρές παρεμβάσεων. Κάθε σειρά αποτελούταν από 5 κύκλους κάμψης-έκτασης στην άρθρωση του καρπού μεταξύ των 45^ο έκτασης και 60^ο κάμψης. Σε όλες τις επαναλήψεις εφαρμοζόταν είτε υποβοήθηση είτε αντίσταση ανάλογα με την ισομετρική δοκιμασία (κάμψης-έκτασης καρπού) που έγινε σε αρχικό στάδιο. Υπήρχε η δυνατότητα διαλείμματος μεταξύ 2 συνεχόμενων κύκλων.</p> <p>Ομάδα Ελέγχου: Χωρίς ομάδα ελέγχου.</p>
<p>Cho et al. (2020)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Στην ομάδα αυτή εφαρμόστηκε η συσκευή υψηλής αδράνειας «high inertia», όπου λειτούργησε στην άρθρωση του καρπού στις κινήσεις της κάμψης-έκτασης. Στη συσκευή αυτή, η λειτουργία υποβοήθησης ενεργοποιούταν, όταν ο σθενής εφαρμόζε δύναμη της τάξεως 0,1-0.5 kgm², ενώ ακόμα είχε και προσομοιωτή βαρύτητας.</p> <p>Ομάδα ελέγχου: Στην ομάδα αυτή εφαρμόστηκε η συσκευή χαμηλής αδράνειας «low inertia», όπου λειτούργησε στην άρθρωση του καρπού στις κινήσεις της κάμψης-έκτασης. Στη συσκευή αυτή, η λειτουργία υποβοήθησης ενεργοποιούταν, όταν ο σθενής εφαρμόζε δύναμη της τάξεως 0,025-0.12 kgm², ενώ ακόμα είχε και προσομοιωτή βαρύτητας.</p>

<p>Sale et al. (2014)</p>	<p>Όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε ενδονοσοκομειακή αποκατάσταση που αποτελούνταν από τουλάχιστον 3 ώρες/ημέρα φυσικοθεραπείας σύμφωνα με εξατομικευμένο πρόγραμμα άσκησης.</p> <p>Πειραματική ομάδα: Ακολουθήθηκε επιπρόσθετη θεραπεία με εξωσκελετικό μηχανισμό σε όλο το εύρος των αρθρώσεων και των 5 δαχτύλων. Τα πρώτα 30 λεπτά εμπειρείχαν 3 ειδών ασκήσεων, οι οποίες ήταν συνεχής παθητική κινησιοθεραπεία (10 λεπτά), υποβοηθούμενη κινησιοθεραπεία σε κινήσεις σύλληψης (10 λεπτά), ενεργητική εκπαίδευση σε εικονικό περιβάλλον εκτελώντας διάφορες στοχευμένες κινήσεις (10 λεπτά) και 10 λεπτά παθητικής κινησιοθεραπείας όλου του άνω άκρου.</p> <p>Ομάδα ελέγχου: Συμβατικό εξατομικευμένο πρόγραμμα εργοθεραπείας 40 λεπτών.</p>
<p>Cordo et al. (2022)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν το παρακάτω πρόγραμμα υποβοήθησης από ρομποτική συσκευή παράλληλα με συμβατική φυσικοθεραπεία (ενδυνάμωση, διατάσεις). Συγκεκριμένα, τοποθέτησαν το πάσχον άνω άκρο στη ρομποτική συσκευή και στο χέρι εφαρμόστηκε δόνηση στους τένοντες των καμπτήρων και των εκτεινόντων του καρπού και των δαχτύλων. Η δόνηση αποσκοπούσε στην ελαφριά διάταση των ανταγωνιστών μυών όπου και διοχετευόταν τη στιγμή που γινόταν σύσπαση στον αγωνιστή. Σε κάθε συνεδρία, οι ασθενείς εκτελούσαν κάμψη και έκταση καρπού και στη συνέχεια κάμψη και έκταση όλων των δαχτύλων στις μετακαρποφαλαγγικές αρθρώσεις. Όλες οι κινήσεις γίνονταν υποβοηθούμενα όπου ο ασθενής έπρεπε να κινηθεί ενεργητικά ταυτόχρονα με την υποβοήθηση της συσκευής παρακολουθώντας την επίδοσή του σε μια οθόνη (biofeedback).</p> <p>Ομάδα Ελέγχου: Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν και αυτοί πρόγραμμα υποβοήθησης από ρομποτική συσκευή με τη μορφή, όμως, placebo ενώ παράλληλα έκαναν και συμβατική φυσικοθεραπεία (ενδυνάμωση, διατάσεις). Συγκεκριμένα, οι ασθενείς δεν πραγματοποίησαν καμία ενεργητική κίνηση, η δόνηση εφαρμόστηκε στους αγωνιστές μύες και ήταν πολύ μικρότερης συχνότητας και στην οθόνη παρακολουθούσαν μη σχετικές φωτογραφίες με την παρέμβαση.</p> <p>Μετά το τέλος της πρώτης μελέτης και καταγραφής των αποτελεσμάτων, οι συμμετέχοντες μόνο της ομάδας ελέγχου είχαν τη δυνατότητα να συμμετάσχουν προαιρετικά σε μια δεύτερη «cross-over» μελέτη όπου μπορούσαν να ακολουθήσουν ακριβώς την ίδια παρέμβαση και διαδικασία που ακολούθησε η πειραματική ομάδα με τη ρομποτική συσκευή. 22 συμμετέχοντες δέχτηκαν να ακολουθήσουν την cross-over μελέτη.</p>

<p>El-Kafy et al. (2022)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Οι συμμετέχοντες σε κάθε δίωρη συνεδρία ακολούθησαν για την πρώτη ώρα πρόγραμμα συμβατικής φυσικοθεραπείας (μυική ενδυνάμωση, διατάσεις, λειτουργικές ασκήσεις) και για τη δεύτερη ώρα πραγματοποίησαν ασκήσεις σε περιβάλλον ψηφιακής πραγματικότητας με τη βοήθεια ρομποτικού εξωσκελετού. Ο εξωσκελετός παρείχε βάση στήριξης χεριού και ο ασθενής εκτελούσε κινήσεις πλοήγησης με το χέρι, κινήσεις καρπού και δαχτύλων και ασκήσεις σύλληψης. Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα περιελάμβανε διαδραστικά παιχνίδια με λειτουργικές δραστηριότητες του άνω άκρου και παροχή άμεσου feedback στα πλαίσια του παιχνιδιού.</p> <p>Ομάδα Ελέγχου: Οι συμμετέχοντες σε κάθε δίωρη συνεδρία ακολούθησαν μόνο το πρόγραμμα συμβατικής φυσικοθεραπείας (μυική ενδυνάμωση, διατάσεις, λειτουργικές ασκήσεις).</p>
<p>Singh et al. (2021)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν ασκήσεις κάμψης και έκτασης καρπού και δαχτύλων (μετακαρποφαλαγγικές αρθρώσεις) με τη χρήση ρομποτικού εξωσκελετού και με την υποβοήθηση ηλεκτρομυογραφήματος.</p> <p>Ομάδα Ελέγχου: Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν συμβατικό πρόγραμμα φυσικοθεραπείας το οποίο περιελάμβανε παθητικές διατάσεις καρπού και δαχτύλων και ασκήσεις λεπτής κινητικότητας (σύλληψη και χρήση ποτηριού, μπάλας, στυλό).</p>
<p>Qian et al. (2019)</p>	<p>Πειραματική ομάδα Α: Στους συμμετέχοντες εφαρμόστηκε φορετός εξωσκελετός στον καρπό και τα δάχτυλα με τη χρήση νευρομυικής ηλεκτρικής διέγερσης (NMES) και την επιστράτευση ηλεκτρομυογραφήματος. Συγκεκριμένα, το πάσχον άκρο συγκρατούνταν από ένα σύστημα αιώρησης και ο ασθενής καλούνταν να πραγματοποιήσει ενεργητικά έκταση καρπού με έκταση δαχτύλων και κάμψη καρπού με κάμψη δαχτύλων καθοδηγούμενος από μια οθόνη. Παράλληλα με την ενεργητική κίνηση ο εξωσκελετός υποβοηθούσε την κίνηση ταυτόχρονα με την πρόκληση διέγερσης μέσω ηλεκτροδίων στον κοινό εκτείνοντα των δαχτύλων. Συνεπώς στην πειραματική ομάδα Α δόθηκε έμφαση στα δάχτυλα.</p> <p>Πειραματική Ομάδα Β: Ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια παρέμβαση με τις εξής διαφορές: ο φορετός εξωσκελετός εφαρμόστηκε στον αγκώνα και τον καρπό (αντί του καρπού και των δαχτύλων) και η ηλεκτρική διέγερση προκλήθηκε μέσω ηλεκτροδίων στον βραχύ και τον μακρό κερκιδικό εκτείνοντα του καρπού (αντί του κοινού εκτείνοντα των δαχτύλων). Συνεπώς στην πειραματική ομάδα Β δόθηκε έμφαση στον καρπό.</p>

<p>Wu et al. (2020)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν ασκήσεις με την υποβοήθηση εξωσκελετού στον καρπό, τον αντίχειρα και τα δάχτυλα (μετακαρποφαλαγγικές αρθρώσεις). Συγκεκριμένα, η παρέμβαση ξεκινούσε με παθητικές διατάσεις από τον εξωσκελετό και συνεχιζόταν υποβοηθούμενα με ασκήσεις σύλληψης όπου εκτελούνταν έκταση καρπού με κάμψη δαχτύλων και κάμψη καρπού με έκταση δαχτύλων. Επιπρόσθετα, εκτελούνταν ασκήσεις στερεογνωσίας διαφόρων αντικειμένων. Οι ασκήσεις διαδραματιζόνταν με τη μορφή διαδραστικού παιχνιδιού σε οθόνη.</p> <p>Ομάδα Ελέγχου: Χωρίς ομάδα ελέγχου.</p>
<p>Masiero et al. (2014)</p>	<p>Πειραματική ομάδα: Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν πρόγραμμα συμβατικής φυσικοθεραπείας για αποκατάσταση άνω άκρου (80 λεπτά της συνεδρίας) αλλά και πρόγραμμα ασκήσεων με την υποβοήθηση εξωσκελετού (40 λεπτά της συνεδρίας). Συγκεκριμένα, η συμβατική φυσικοθεραπεία περιελάμβανε ενεργητική και παθητική κινητοποίηση του καρπού και της άκρας χείρας, ασκήσεις βάδισης, λειτουργική επανεκπαίδευση και ασκήσεις ιδιοδεκτικότητας ενώ το πρόγραμμα του εξωσκελετού αφορούσε υποβοηθούμενες ασκήσεις κάμψης και έκτασης του καρπού.</p> <p>Ομάδα Ελέγχου: Οι συμμετέχοντες ακολούθησαν μόνο το πρόγραμμα συμβατικής φυσικοθεραπείας για αποκατάσταση άνω άκρου (120 λεπτά της συνεδρίας).</p>