



**ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**«Η επίδραση της κνημοποδικής ορθωτικής συσκευής έσω υποδήματος (AFOs), στην
εμβιομηχανική του κάτω άκρου μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Βιβλιογραφική
ανασκόπηση»**

**ΡΙΖΟΣ ΜΗΤΣΙΟΥ
ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΗΣ / ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ & ΟΡΘΩΤΙΚΟΣ**

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

Λάρισα, ΙΟΥΝΙΟΣ 2025



**DEPARTMENT OF MEDICINE
SCHOOL OF HEALTH SCIENCES
UNIVERSITY OF THESSALY**



**POSTGRADUATE PROGRAM
NEUROREHABILITATION**

Director of the Postgraduate Program: Professor EFTHIMIOS G. DARDIOTIS

POSTGRADUATE THESIS

«The effect of Ankle Foot Orthoses (AFOs) at lower limb biomechanics in patients with stroke»

**RIZOS MITSIOU
PHYSIOTHERAPIST / PROSTHETIST & ORTHOTIST**

Submitted for partial completion of
requirements in order to obtain the
Master of Science Degree on
«NEUROREHABILITATION»

Larissa, JUNE 2025

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

Υπογραφή

ΡΙΖΟΣ ΜΗΤΣΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, 2025

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Επιβλέπων: Μάρκος Σγάντζος , Ιατρός Φυσιάτρος, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Μάρκος Σγάντζος
2. Ευθύμιος Δαρδιώτης
3. Σιώκας Βασίλειος.

Αναπληρωματικό μέλος: Ευθύμιος Δαρδιώτης

Τίτλος εργασίας στα αγγλικά:

«The effect of Ankle Foot Orthoses (AFOs) at lower limb biomechanics in patients with stroke»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιστημονικά υπεύθυνο του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών , «ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ» του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Καθηγητή κύριο Ευθύμιο Δαρδιώτη, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να συμμετάσχω σε αυτό, ως μεταπτυχιακός φοιτητής, και να επεκτείνω τις γνώσεις μου στον τομέα της νευρολογικής αποκατάστασης.

Θερμές ευχαριστίες και στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας αναπληρωτή καθηγητή στο τμήμα Ιατρικής του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κύριο Μάρκο Σγάντζο, που με την υπομονή του, τις συμβουλές του, τις εύστοχες και χρήσιμες διορθώσεις του και την ερευνητική και συγγραφική του εμπειρία συνέβαλε καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Κατόπιν θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια και με βοήθησαν να φτάσω στο σημείο που βρίσκομαι και να παλεύω για το όσο το δυνατόν καλύτερο, τόσο για μένα όσο και για τους ασθενείς μου. Παράλληλα, ένα μεγάλο ευχαριστώ και στους διδάσκοντες του ΠΜΣ για την σημαντική προσφορά τους στην όλη εκπαιδευτική διαδικασία.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για όλη την υλική και ηθική υποστήριξη σε κάθε νέα μου προσπάθεια, καθώς και τους φίλους μου για την συμπαράστασή τους και την παρουσία τους σε κάθε φάση της ζωής μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
Περίληψη στα ελληνικά	6
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	7
Περίληψη στα αγγλικά	8
KEY WORDS	8
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	9
1. Εισαγωγή στο εγκεφαλικό επεισόδιο	10
1.1·Επιδημιολογία και αίτια του εγκεφαλικού	11
2. Αποκατάσταση των κάτω άκρων μετά το εγκεφαλικό	13
2.1 Σημασία της αποκατάστασης μετά το εγκεφαλικό	13
2.2 Επιπτώσεις του εγκεφαλικού στη λειτουργικότητα του κάτω άκρου-διαταραχές βάδισης	14
2.3 Προκλήσεις στην αποκατάσταση των κάτω άκρων μετά από εγκεφαλικό	16
3. Ρόλος των AFOs στην αποκατάσταση μετά από εγκεφαλικό	16
3.1 Ορισμός και τύποι AFOs που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση	16
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	21
ΣΚΟΠΟΣ	22
ΜΕΘΟΔΟΣ	22
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	24
1.Μηχανισμοί δράσης των AFOs στη βελτίωση της λειτουργίας των κάτω άκρων	24
1.1 Επίδραση των AFOs στις εμβιομηχανικές παραμέτρους των προτύπων βάδισης	24
1.2 Επίδραση των AFOs στην ισορροπία και στη σταθερότητα κατά τη βάδιση	28
1.3 Περιορισμοί στην εφαρμογή των AFOs στην κλινική πράξη	30
2.Εναλλακτικές προσεγγίσεις αποκατάστασης και μελλοντικές κατευθύνσεις	32
2.1 Σύγκριση FES και AFOS	32
2.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις και ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης (TN)	33
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	36

Περίληψη στα ελληνικά

Το εγκεφαλικό επεισόδιο αποτελεί τον κύριο αιτιολογικό παράγοντα για τη δυσλειτουργία κινητικότητας και τις διαταραχές βάδισης σε ασθενείς με νευρολογικές καταστάσεις καθώς συχνά προκαλεί αδυναμία ή παράλυση των μυών των κάτω άκρων, οδηγώντας σε δυσκολίες στη βάδιση. Η σταθερότητα και η κινητικότητα της άρθρωσης του αστραγάλου αυτών των ασθενών, κατέχουν υψίστη σημασία. Επιπλέον, η παρατεταμένη ακινητοποίηση ή τα παθολογικά πρότυπα βάδισης μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο μπορεί να οδηγήσουν σε μυϊκές συσπάσεις, δυσκαμψία αρθρώσεων και άνιση κατανομή πίεσης κάτω από το πόδι. Η ποδοκνημική και η υπαστραγαλική άρθρωση είναι οι αρθρώσεις που εμπλέκονται άμεσα με τις δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους (GRFs) και επηρεάζουν τα πρότυπα βάδισης. Η αποκατάσταση του αστραγάλου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση ενός μοτίβου βάδισης όσο το δυνατόν πιο κοντά στην κανονικότητα για τους ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο.

Η φυσικοθεραπεία (PT), η εργοθεραπεία (OT) και οι ορθώσεις της ποδοκνημικής (AFOs) έχουν αναδειχθεί ως πολύτιμο εργαλείο στην αποκατάσταση της λειτουργίας των κάτω άκρων σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο. Προσφέρουν μια σειρά από οφέλη παρέχοντας εξωτερική υποστήριξη στον αστράγαλο και το πόδι και συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η χρήση τους σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει διάφορες πτυχές της εμβιομηχανικής της βάδισης, όπως η ταχύτητα βάδισης, η κινητικότητα, η ισορροπία, η κινητική και κινηματική. Επιπλέον, οι ορθώσεις AFOs παίζουν κρίσιμο ρόλο στο αίσθημα της ασφάλειας κατά την κίνηση, καθώς οι επιζώντες του εγκεφαλικού επεισοδίου διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο πτώσεων λόγω εξασθενημένης ισορροπίας και συντονισμού. Οι ορθώσεις AFOs συμβάλλουν στη μείωση της πτώσης του άκρου ποδός “Drop Foot”, παρέχοντας δομική υποστήριξη και αποτρέποντας τον κίνδυνο πτώσης, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ασφάλεια κατά τη βάδιση. Εκτός από τα εμβιομηχανικά οφέλη, οι ορθώσεις AFOs μπορούν επίσης να έχουν θετικό αντίκτυπο στην ψυχολογία του ασθενούς. Επαναφέροντας την κινητικότητα και την ανεξαρτησία, οι ορθώσεις AFOs δίνουν τη δυνατότητα στους ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο να συμμετέχουν περισσότερο στις καθημερινές δραστηριότητες και να κοινωνικοποιούνται, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ποιότητα ζωής.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία της αποκατάστασης, σε συνδυασμό με βελτιωμένες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της βάδισης, έχουν συνεισφέρει την εξέλιξη των ορθώσεων AFOs, ιδιαίτερα όσον αφορά τις ιδιότητες των υλικών και τον αντίκτυπό τους στις αντιδράσεις των μυϊκών ομάδων. Επομένως, διεξαγάγαμε μια λεπτομερή ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

προκειμένου να διερευνήσουμε την αποτελεσματικότητα, τους τύπους και τα οφέλη από τη χρήση των ορθώσεων AFOs στην αποκατάσταση των κάτω άκρων μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Stroke, Hemiplegia, Drop foot, Gait biomechanics, Stroke Rehabilitation, AFOs (Ankle Foot Orthosis), FES (functional electrical stimulation), Artificial Intelligence

Περίληψη στα αγγλικά

Abstract

Stroke stands as the foremost causative factor for motor dysfunction and gait impairment in patients with neurological conditions. Stroke often results in weakness or paralysis of the lower limb muscles, leading to difficulties in walking. Among these patients, the stability and mobility of the ankle joint holds paramount importance. Furthermore, prolonged immobilization or abnormal gait patterns following stroke can lead to muscle contractures, joint stiffness, and uneven pressure distribution underneath the foot. As the primary joint engaged with ground reaction forces (GRFs), the ankle's rehabilitation assumes a pivotal role in facilitating stroke patients' maintenance of a gait pattern as close to normalcy as possible.

Along with physiotherapy (PT) and occupational therapy (OT), ankle foot orthoses (AFOs) have been emerged as an invaluable tool in the rehabilitation of lower limb function among stroke patients. They offer a range of benefits providing external support to the ankle and foot and they contribute to improve quality of life. Their utilization in stroke patients has been demonstrated to enhance various aspects of gait biomechanics, encompassing walking speed, mobility, balance, kinetics, and kinematics. Furthermore, AFOs play a crucial role in promoting safety during ambulation, as stroke survivors are at an increased risk of falls due to impaired balance and coordination. By providing structural support and preventing foot drop, AFOs aid to mitigate the risk of tripping and stumbling, thus enhancing overall safety during walking activities. In addition to biomechanical benefits, AFOs can also have a positive impact on psychological well-being. By restoring mobility and independence, AFOs empower stroke patients to participate more fully in daily activities and engage with their communities, thereby improving overall quality of life.

Recent advancements in rehabilitation technology coupled with refined methodologies for assessing human walking gait, have catalysed the evolution of AFOs notably, in terms of material properties and their impact on muscle group responses. Therefore, we conducted a thorough literature review in order to delve into the effectiveness, types and benefits regarding the utilization of AFOs in lower limb rehabilitation post-stroke.

KEY WORDS

Stroke, Hemiplegia, Drop foot, Gait biomechanics, Stroke Rehabilitation, AFOs (Ankle Foot Orthosis), FES (functional electrical stimulation), Artificial Intelligence

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Εισαγωγή στο εγκεφαλικό επεισόδιο

Το εγκεφαλικό επεισόδιο καταγράφηκε για πρώτη φορά μεταξύ 460 και 370 π.Χ. από τον Ιπποκράτη, ο οποίος παρατήρησε ότι η απόφραξη των καρωτίδων αρτηριών προκαλούσε απώλεια συνείδησης (Donkor, 2018). Κατά την ίδια περίοδο, τα συμπτώματα του εγκεφαλικού επεισοδίου, όπως οι σπασμοί και η παράλυση, αναφέρονταν συλλογικά ως αποπληξία. Το 1970, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας όρισε το εγκεφαλικό επεισόδιο ως την απρόσμενη έναρξη μιας εντοπισμένης ή γενικευμένης διαταραχής της εγκεφαλικής λειτουργίας, με συμπτώματα που διαρκούν για τουλάχιστον 24 ώρες και οδηγούν μέχρι και στο θάνατο τους προσβεβλημένους ασθενείς, προερχόμενα από αγγειακά αίτια χωρίς άλλα εμφανή αίτια (Donkor, 2018). Η εφεύρεση της αξονικής τομογραφίας (CT) και της μαγνητικής τομογραφίας (MRI) από τον Hounsfield από τον Damadian αντίστοιχα τη δεκαετία του 1970, επέτρεψε τον ακριβή εντοπισμό των σημείων εγκεφαλικών εμφράκτων και αιμορραγιών (Donkor, 2018). Οι τεχνολογικές αυτές προόδους στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης έχουν οδηγήσει στη δημιουργία εξειδικευμένων μονάδων υγείας, οι οποίες προσφέρουν αποτελεσματική φροντίδα και αποκατάσταση στους ασθενείς και επιζώντες εγκεφαλικών επεισοδίων στον 21ο αιώνα (Donkor, 2018).

Η διαχείριση των εγκεφαλικών επεισοδίων έχει παραδοσιακά αντιμετωπιστεί στο παρελθόν σαν να πρόκειται για μια προσωρινή ή παροδική κατάσταση, αντί να αναγνωρίζεται ως μια χρόνια κατάσταση που απαιτεί συνεχή παρακολούθηση πέρα από τη φάση της οξείας κρίσης (Liampas et al. 2023). Πρόσφατα, η Αμερικανική Εταιρεία για το Εγκεφαλικό Επεισόδιο πρότεινε έναν νέο ορισμό για το «Εγκεφαλικό επεισόδιο» που εμπεριέχει κλινικά και ιστολογικά κριτήρια (Winstein et al., 2016). Αυτός ο νέος ορισμός περιλαμβάνει οποιαδήποτε απόδειξη για μόνιμο κυτταρικό θάνατο στον εγκέφαλο, τον νωτιαίο μυελό ή τον αμφιβληστροειδή προκαλούμενη από αγγειακές βλάβες, υποστηριζόμενο από παθολογικά ή απεικονιστικά ευρήματα, ανεξαρτήτως του εάν υπάρχουν κλινικά συμπτώματα ή όχι (Winstein et al., 2016). Καθώς λοιπόν το εγκεφαλικό επεισόδιο είναι ουσιαστικά μια χρόνια κατάσταση, έχουμε επιχειρήσει να καλύψουμε ολόκληρο το φάσμα της αποκατάστασης, από τις αρχικές παρεμβάσεις στο νοσοκομείο μέχρι την καλύτερη δυνατή επανένταξη στην κοινωνία (Winstein et al., 2016).

Η αμερικανική εταιρία για το εγκεφαλικό επεισόδιο υπογραμμίζει ότι η ολοκλήρωση της επίσημης αποκατάστασης, η οποία συνήθως λαμβάνει χώρα 3-4 μήνες μετά από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο, δεν θα πρέπει να σηματοδοτεί το τέλος της διαδικασίας ανάρρωσης (Winstein et al., 2016). Πολλές ανάγκες των ασθενών αυτών παραμένουν ανεκπλήρωτες σε διάφορους τομείς, όπως η κοινωνική επανένταξη, η ποιότητα ζωής που σχετίζεται με την υγεία, η διατήρηση της δραστηριότητας και η αυτοαποτελεσματικότητα (δηλαδή, η εμπιστοσύνη στην ικανότητα κάποιου να εκτελεί μια συμπεριφορά). Περισσότερο από το 50% των επιζώντων εγκεφαλικού επεισοδίου

παρουσιάζουν απάθεια ένα χρόνο μετά το επεισόδιο (Donkor, 2018). Οι χρόνιοι επιζώντες συχνά βιώνουν κόπωση, ένα κοινό και εξουθενωτικό σύμπτωμα και συχνά συμμετέχουν σε χαμηλά επίπεδα καθημερινής σωματικής δραστηριότητας (Sioakas et al. 2018). Τέσσερα χρόνια μετά την έναρξη ενός εγκεφαλικού επεισοδίου, περισσότερο από το 30% των επιζώντων αναφέρουν συνεχείς περιορισμούς, όπως δυσκολίες με την αυτονομία και την εκπλήρωση των κοινωνικών του ρόλων (Winstein et al., 2016).

Τα εγκεφαλικό επεισόδιο αναμένεται να αποτελέσει ένα σημαντικό αντίκτυπο στις επόμενες δεκαετίες λόγω των δημογραφικών αλλαγών, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτό το γεγονός υπογραμμίζει τη σημασία του εγκεφαλικού επεισοδίου ως ένα σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας στον 21ο αιώνα και τονίζει τη σημαντικότητά του ως κύριο πεδίο έρευνας στη δημόσια υγεία (Aloizou et al. 2021).

1.1-Επιδημιολογία και αίτια του εγκεφαλικού

Τα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια χωρίζονται γενικά σε δύο κύριες κατηγορίες: το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο και το αιμορραγικό εγκεφαλικό επεισόδιο. Το ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο προκαλείται από τη διακοπή της αιμάτωσης σε ένα μέρος του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα την ξαφνική απώλεια λειτουργίας. Το αιμορραγικό εγκεφαλικό επεισόδιο αποδίδεται στη ρήξη ενός αιμοφόρου αγγείου ή μιας ανώμαλης αγγειακής δομής. (Aloizou et al. 2021) Γενικά, τα ισχαιμικά εγκεφαλικά επεισόδια αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% όλων των περιπτώσεων εγκεφαλικών επεισοδίων, ενώ τα αιμορραγικά εγκεφαλικά επεισόδια αντιπροσωπεύουν το υπόλοιπο 20% (Donkor, 2018).

Το εγκεφαλικό επεισόδιο κατατάσσεται ως η δεύτερη κύρια αιτία θανάτου παγκοσμίως, με ετήσιο ρυθμό θνησιμότητας περίπου 5,5 εκατομμυρίων. Η σημασία του εγκεφαλικού επεισοδίου δεν περιορίζεται μόνο στο υψηλό ποσοστό θνησιμότητας, αλλά και η υψηλή νοσηρότητα οδηγεί έως και το 50 % των επιζώντων προσβεβλημένων ασθενών να αποκτούν χρόνια αναπηρία (Donkor, 2018). Η μειωμένη λειτουργία βάδισης μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο συμβάλλει σημαντικά στη συνολική αναπηρία των ασθενών και αυξάνει τον κίνδυνο πτώσεων (Taylor-Piliae et al., 2014). Μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο η βάδιση χαρακτηρίζεται από μειωμένη κάμψη του γόνατος και ραχιαία κάμψη της ΠΔΚ κατά τη φάση αιώρησης στην παρκετική πλευρά (Tsuchiyama et al., 2022). Ως εκ τούτου, τα άτομα μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο υιοθετούν αντισταθμιστικές στρατηγικές κίνησης όπως ανύψωση και περιστροφή της λεκάνης (Tsuchiyama et al., 2022). Εκτός από αυτές τις αλλοιώσεις, οι βλάβες στην όραση, τα αισθησιακά και αισθητηριακά συστήματα καθώς και ο συντονισμός μπορεί να συνυπάρχουν (Kim et al., 2015) (Sinani et al. 2022).

Το 2020, η παγκόσμια επίπτωση εγκεφαλικών επεισοδίων ήταν 11,71 εκατομμύρια άτομα (Capirossi et al., 2023). Τα ισχαιμικά εγκεφαλικά επεισόδια αποτελούσαν περίπου το 65% όλων των περιπτώσεων, ενώ η ενδοεγκεφαλική αιμορραγία (ICH) και η υπαραχνοειδής αιμορραγία (SAH) αντιπροσώπευαν περίπου το 29% και το 6% των περιπτώσεων, αντίστοιχα. Όσον αφορά τη θνησιμότητα, το 2020, ο αριθμός των θανάτων που αποδίδονται σε εγκεφαλικά επεισόδια ήταν 7,08 εκατομμύρια. Συγκεκριμένα, τα ισχαιμικά εγκεφαλικά επεισόδια προκάλεσαν 3,48 εκατομμύρια θανάτους, η ICH προκάλεσε 3,25 εκατομμύρια θανάτους και η SAH ήταν υπεύθυνη για 0,35 εκατομμύρια θανάτους (Capirossi et al., 2023). Η Capirossi et al αναφέρει ότι στην Αμερική μεταξύ 2015 και 2035, το συνολικό ιατρικό κόστος που σχετίζεται με τα εγκεφαλικά επεισόδια προβλέπεται να υπερδιπλασιαστεί από 36,7 δισεκατομμύρια δολάρια σε 94,3 δισεκατομμύρια δολάρια, με το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης να προέρχεται από άτομα ηλικίας 80 ετών και άνω. Κάθε χρόνο περίπου 795.000 άνθρωποι βιώνουν ένα νέο ή επαναλαμβανόμενο εγκεφαλικό επεισόδιο. Από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις το 87% είναι ισχαιμικά, το 10% είναι ενδοεγκεφαλικές αιμορραγίες (ICH) και το 3% είναι υπαραχνοειδείς αιμορραγίες (SAH). Κατά την περίοδο 2010-2050, ο αριθμός των νέων εγκεφαλικών επεισοδίων αναμένεται να αυξηθεί (Capirossi et al., 2023).

Μέσω επιδημιολογικών μελετών, έχει εντοπιστεί ένα ευρύ φάσμα παραγόντων κινδύνου για εγκεφαλικό επεισόδιο, οι οποίοι είναι σημαντικοί για την πρωτογενή και δευτερογενή πρόληψη (Donkor, 2018). Οι παράγοντες κινδύνου για εγκεφαλικό επεισόδιο κατατάσσονται γενικά σε δύο κατηγορίες: τροποποιήσιμοι και μη τροποποιήσιμοι (O'Donnell et al., 2016). Οι τροποποιήσιμοι παράγοντες κινδύνου περιλαμβάνουν την υπέρταση, τον σακχαρώδη διαβήτη, την υψηλή χοληστερόλη αίματος, τις καρδιαγγειακές παθήσεις, τον καθιστικό τρόπο ζωής, την κολπική μαρμαρυγή, το κάπνισμα και την κατανάλωση αλκοόλ (Dardiotis et al. 2019). Οι μη τροποποιήσιμοι παράγοντες κινδύνου είναι λιγότεροι και περιλαμβάνουν την ηλικία και το φύλο. Η ηλικία είναι ο σημαντικότερος καθοριστικός παράγοντας, με τον κίνδυνο εγκεφαλικού επεισοδίου να διπλασιάζεται κάθε δεκαετία μετά την ηλικία των 55 ετών. Η ηλικία μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης της διάρκειας έκθεσης σε άλλους παράγοντες κινδύνου για εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι O'Donnell et al σε μελέτη σε 32 χώρες για τους παράγοντες κινδύνου του εγκεφαλικού επεισοδίου (INTERSTROKE) υποδεικνύουν ότι δέκα συγκεκριμένοι παράγοντες κινδύνου, η υπέρταση, η υψηλή χοληστερόλη, το κάπνισμα, η κατανάλωση αλκοόλ, ο διαβήτης, το άγχος, η παχυσαρκία, οι καρδιακές παθήσεις, η έλλειψη σωματικής άσκησης και η κακή διατροφή ευθύνονται για το 90% όλων των εγκεφαλικών επεισοδίων (O'Donnell et al., 2016).

2. Αποκατάσταση των κάτω άκρων μετά το εγκεφαλικό

2.1 Σημασία της αποκατάστασης μετά το εγκεφαλικό

Η αποκατάσταση ορίζεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) ως ένα σύνολο εξειδικευμένων παρεμβάσεων που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της λειτουργικής ικανότητας και στη μείωση της αναπηρίας των ατόμων με προβλήματα υγείας, σε συνάρτηση με τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες που βιώνουν. Η πρόσφατη έκθεση του ΠΟΥ, που δημοσιεύθηκε τον Ιανουάριο του 2023, επισημαίνει ότι η αποκατάσταση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια προαιρετική ή πολυτελής υπηρεσία υγείας· αντιθέτως, αποτελεί μια σημαντική επένδυση με πολλαπλά οφέλη τόσο για το ίδιο το άτομο όσο και για τη συλλογική υγεία και ευημερία της κοινωνίας (World Health Organization, 2023).

Οι τρέχουσες παγκόσμιες εκτιμήσεις υποδεικνύουν ότι περίπου 2,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζουν με κάποια πάθηση που θα μπορούσε να ωφεληθεί από την παροχή υπηρεσιών αποκατάστασης (Nasios et al., 2023). Ανάμεσά τους, σημαντική είναι η ομάδα των ασθενών με νευρολογικές παθήσεις, για τους οποίους η πρόσβαση σε εξειδικευμένα προγράμματα νευροαποκατάστασης είναι ζωτικής σημασίας. Οι εξελίξεις στον τομέα της νευροαποκατάστασης υπήρξαν αξιοσημείωτες, ιδιαιτέρως κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η πρόοδος αυτή αντανakλά τη συνολική εξέλιξη των κλινικών νευροεπιστημών, οι οποίες έχουν επιταχυνθεί χάρη σε πληθώρα παραγόντων, με την τεχνολογική ανάπτυξη να κατέχει κυρίαρχο ρόλο (Nasios et al., 2023).

Η απομάκρυνση από εμπειρικές και μη συστηματικές μεθοδολογίες προς την υιοθέτηση τεκμηριωμένων, επιστημονικά δομημένων προσεγγίσεων, συνοδεύεται από τη διεπιστημονική συνεργασία και την αξιοποίηση της μεταφραστικής έρευνας ήδη από τα πρώιμα στάδια της νόσου (Nasios et al., 2023). Πολλά ερευνητικά κέντρα και ομάδες διερευνούν πλέον συστηματικά τους μηχανισμούς πλαστικότητας και λειτουργικής αναδιοργάνωσης του νευρικού συστήματος, με στόχο την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων –κυρίως μη φαρμακολογικών και νευροσυμπεριφορικών– θεραπευτικών παρεμβάσεων (Nasios et al., 2023).

Το εγκεφαλικό επεισόδιο είναι μια κατάσταση σημαντική για τη δημόσια υγεία, με σοβαρές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες. Ιστορικά, το εγκεφαλικό επεισόδιο θεωρούνταν ως μια ασθένεια των ανεπτυγμένων χωρών. Ωστόσο, με την εφαρμογή τεκμηριωμένων πρακτικών αντιμετώπισης των επιπτώσεων της νόσου, ο αντίκτυπος των εγκεφαλικών επεισοδίων έχει μειωθεί σημαντικά σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες (Donkor, 2018). Τα επόμενα χρόνια, ο αντίκτυπος των εγκεφαλικών επεισοδίων στις αναπτυσσόμενες χώρες αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά.

Αυτή η προβλεπόμενη αύξηση οφείλεται εν μέρει σε δημογραφικές αλλαγές, όπως η γήρανση του πληθυσμού καθώς και στην ανεπαρκή ενημέρωση του κοινωνικού συνόλου, σχετικά με τους παράγοντες κινδύνου και τα προειδοποιητικά σημάδια του εγκεφαλικού επεισοδίου (Donkor, 2018). Ο Donkor (2018) επισημαίνει πως η αυξημένη ευαισθητοποίηση σχετικά με αυτούς τους παράγοντες κινδύνου βελτιώνει τη συμμόρφωση με τις πρακτικές πρόληψης εγκεφαλικών επεισοδίων, ενώ η αδυναμία αναγνώρισης των προειδοποιητικών σημείων του εγκεφαλικού επεισοδίου αποτελεί σημαντικό αιτιώδη παράγοντα καθυστέρησης στην αναζήτηση νοσοκομειακής φροντίδας για το εγκεφαλικό επεισόδιο. Από την μεριά τους οι επαγγελματίες υγείας είναι σημαντικό να δίνουν σημασία στα περιστατικά και να χρησιμοποιούν εργαλεία για την αξιολόγηση των πολύπλευρων επιπτώσεων της νόσου στη ζωή του ασθενούς (Donkor, 2018). Το Health Related Quality of Life (HRQoL) χρησιμοποιείται ως σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση, τον εντοπισμό και την ιεράρχηση των αναγκών των ασθενών με εγκεφαλική παράλυση (Mentis et al. 2021). Οι μετρήσεις HRQoL αναφέρονται στην ποιότητα ζωής των προσβεβλημένων ασθενών και περιλαμβάνουν την αξιολόγηση της συναισθηματικής, λειτουργικής, κοινωνικής και υποκειμενικής ευεξίας τους μετά την εμφάνιση της νόσου (Donkor, 2018).

2.2 Επιπτώσεις του εγκεφαλικού στη λειτουργικότητα του κάτω άκρου- διαταραχές βάδισης

Ένα σημαντικό στοιχείο της μακροχρόνιας αποκατάστασης των ασθενών με εγκεφαλικό επεισόδιο είναι η διαχείριση των δυσκολιών κατάποσης, της κατάθλιψης και κυρίως της σπαστικότητας (Tomiooka et al., 2017). Πολλοί επιζώντες από εγκεφαλικό επεισόδιο αντιμετωπίζουν περιορισμένη κινητικότητα, και οι περισσότεροι ερευνητές θέτουν την αποκατάσταση της βάδισης ως την κύρια προτεραιότητα για την αποκατάστασή τους (Tomiooka et al., 2017).

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει εκτενής ερευνητική βιβλιογραφία για την επιδημιολογία, τους παράγοντες κινδύνου και την ανάπτυξη προγραμμάτων πρόληψης πτώσεων που αποτελεί ένα βασικό ζητούμενο στην αποκατάσταση της ισορροπίας και της βάδισης (Capirossi et al., 2023). Η πλειοψηφία των πτώσεων που συμβαίνουν σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο κατά τη διάρκεια νοσηλείας σχετίζονται με μεταφορές και προσπάθειες δραστηριοτήτων χωρίς επίβλεψη, ενώ η πλειοψηφία των πτώσεων για ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο που ζουν στην κοινότητα σχετίζονται με το περπάτημα (Capirossi et al., 2023). Μέχρι και το 70% των ατόμων που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο αντιμετωπίζουν φαινόμενα αστάθειας και πτώσεις κατά τους πρώτους 6 μήνες μετά την έξοδό τους από το νοσοκομείο ή το κέντρο αποκατάστασης (Capirossi et al., 2023). Οι ασθενείς αυτοί διατρέχουν κίνδυνο συχνών πτώσεων και είναι πιθανό να υποστούν τραυματισμό που σχετίζεται με πτώση (Winstein et al., 2016). Πέρα από τις ψυχολογικές και

κοινωνικές συνέπειες, οι πτώσεις έχουν και συνέπειες όπως τα κατάγματα και οι συναφείς τραυματισμοί(Siokas et al. 2017). Οι άνθρωποι που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο και πέφτουν έχουν διπλάσια πιθανότητα να υποστούν κάταγμα ισχίου σε σύγκριση με αυτούς που πέφτουν αλλά δεν έχουν εγκεφαλικό επεισόδιο (Kim et al., 2015). Οι περιορισμοί στην ισορροπία, τη βάδιση, τον έλεγχο των κινήσεων, την αντίληψη και την όραση συμβάλλουν σε μια αυξημένη φοβία της πτώσης στα άτομα που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο. Έρευνες δείχνουν ότι το 30% με 80% των ατόμων με εγκεφαλικό επεισόδιο αναφέρουν διάφορα επίπεδα φόβου σχετικά με τις πτώσεις και την κινητικότητα (Winstein et al., 2016). Ο φόβος της πτώσης μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένα επίπεδα δραστηριότητας, δημιουργώντας μια κατάπτωση στην ψυχολογία του ασθενή που με τη σειρά της, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των Δραστηριοτήτων της Καθημερινής Ζωής (Activities of Daily Living/ADLs) ή αλλιώς αυτοεξυπηρέτηση και ανεξαρτησία (Winstein et al., 2016). Επιπλέον, είναι πιθανό να οδηγήσει σε κοινωνική απομόνωση και κατάθλιψη. Παραδόξως, η μείωση της φυσικής δραστηριότητας που προκύπτει από τον φόβο της πτώσης μπορεί και η ίδια να συμβάλει σε αυξημένο κίνδυνο πτώσεων (Winstein et al., 2016). Η αξιολόγηση των παραγόντων κινδύνου αναγνωρίζεται ευρέως ως το πρώτο βήμα στην πρόληψη των πτώσεων. Οι παράγοντες κινδύνου που συνεισφέρουν στις πτώσεις στον ευρύτερο ηλικιακό πληθυσμό αποτελούν, η μειωμένη μυϊκή δύναμη, η σπαστικότητα, η χρήση συγκεκριμένων φαρμάκων και η κακή ισορροπία (Winstein et al., 2016).

Η ισορροπία εξαρτάται από αισθητηριακά ερεθίσματα μέσω του οπτικού του ακουστικού και σωματοαισθητικού συστήματος (Capirossi et al., 2023). Η διαταραχή της ισορροπίας, συμπεριλαμβανομένης της διαταραχής του ελέγχου της στάσης, είναι συχνή μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, καθώς το εγκεφαλικό επεισόδιο μπορεί να επηρεάσει ένα ή περισσότερα αισθητηριακά και κινητικά δίκτυα (Moraitou et al. 2011). Οι διαταραχές της ισορροπίας μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλή αυτοπεποίθηση στη στάση και στη βάδιση, η οποία με τη σειρά της μπορεί να μειώσει περαιτέρω τη δραστηριότητα (Capirossi et al., 2023).

Ασθενείς που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο μπορούν να εμφανίσουν σπαστικότητα, που ορίζεται ως η ταχοεξαρτώμενη αντίσταση στην επιμήκυνση του μυός, σε οποιοδήποτε άκρο και η πιθανότητα κυμαίνεται από 25% έως 43% κατά το πρώτο έτος μετά το επεισόδιο (Winstein et al., 2016). Ο ισχυρότερος δείκτης μέτριας έως σοβαρής σπαστικότητας (βαθμός κλίμακας Ashworth ≥ 2), αποτελεί η σοβαρή αδυναμία των άκρων είτε κατά την περίοδο νοσηλείας, είτε κατά τη περίοδο της αποκατάστασης (Winstein et al., 2016).

Απόρροια της μυϊκής αδυναμίας και της σπαστικότητας των κάτω άκρων αποτελεί η απώλεια της ικανότητας βάδισης. Η αποκατάσταση της βάδισης, είναι ένας από του σημαντικότερους στόχους της αποκατάστασης του ασθενούς καθώς η κινητικότητα βρίσκεται ψηλά στη λίστα των

κυριότερων στόχων των επαγγελματιών υγείας (Marogianni et al. 2021). Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με το περπάτημα περιλαμβάνουν διάφορες εργασίες όπως η μετακίνηση από καθιστή σε όρθια θέση, το κάθισμα, η ανάβαση σκαλοπατιών, η μεταφορά (π.χ., η μετακίνηση από αναπηρικό καροτσάκι σε κρεβάτι ή από κρεβάτι σε καρέκλα), η προσαρμογή στη χρήση αναπηρικού αμαξιδίου και η βάδιση με γρήγορο ρυθμό (Winstein et al., 2016).

2.3 Προκλήσεις στην αποκατάσταση των κάτω άκρων μετά από εγκεφαλικό

Η έλλειψη λειτουργικότητας επηρεάζει σημαντικά την Ποιότητα Ζωής που σχετίζεται με την Υγεία (HRQoL). Σύμφωνα με International Classification of Impairments, Disabilities, and Handicaps η αναπηρία ορίζεται ως οποιοσδήποτε περιορισμός ή έλλειψη (που προκύπτει από μια βλάβη) της ικανότητας εκτέλεσης μιας δραστηριότητας εντός του εύρους που θεωρείται φυσιολογικό για έναν άνθρωπο. (Weltgesundheitsorganisation, 1989) Διάφορα μέτρα χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αναπηρίας, ο Δείκτης Barthel και η Κλίμακα Αποτελεσμάτων Εγκεφαλικού Αμερικανικής Καρδιολογικής Εταιρείας (AHA) (Aloizou et al. 2021). Αυτά τα εργαλεία αξιολογούν βασικές και καθημερινές λειτουργίες, όπως η σίτιση, το ντύσιμο, το μπάνιο, η χρήση τουαλέτας και η κινητικότητα. Ωστόσο, μια κύρια πρόκληση με τα μέτρα των Δραστηριοτήτων Καθημερινής Ζωής (Activities of Daily Living/ADL) είναι ότι κανένα εργαλείο δεν μπορεί να αποτυπώσει επαρκώς τους πολυάριθμους παράγοντες ADL για κάθε άτομο (Weltgesundheitsorganisation, 1989).

Η άρθρωση της ποδοκνημικής (ΠΔΚ) αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος που συμβάλει καταλυτικά στη βάδιση (Clarimon et al. 2005). Οι ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο συχνά εμφανίζουν πτώση του άκρου ποδός με αποτέλεσμα να διαταράσσεται ο ομαλός κύκλος βάδισής τους και να ωθούνται σε αντισταθμιστικά πρότυπα κίνησης που μειώνουν την ταχύτητα μετακίνησης τους. Επιπρόσθετα κατά τη φάση αιώρησης της βάδισης η κατανάλωση ενέργειας του ασθενούς αυξάνεται λόγω της μείωσης του χρόνου κατά τον οποίο το παρετικό άκρο παραμένει στη φάση στήριξης (Zhou et al., 2022).

3. Ρόλος των AFOs στην αποκατάσταση μετά από εγκεφαλικό

3.1 Ορισμός και τύποι AFOs που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση

Ο κνημοποδικός κηδεμόνας έσω υποδήματος (AFO) είναι ένας από τους πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενους ορθοπεδικούς εξοπλισμούς για τη διευκόλυνση της ανάκτησης της ικανότητας της βάδισης σε ασθενείς που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο. Μπορεί να

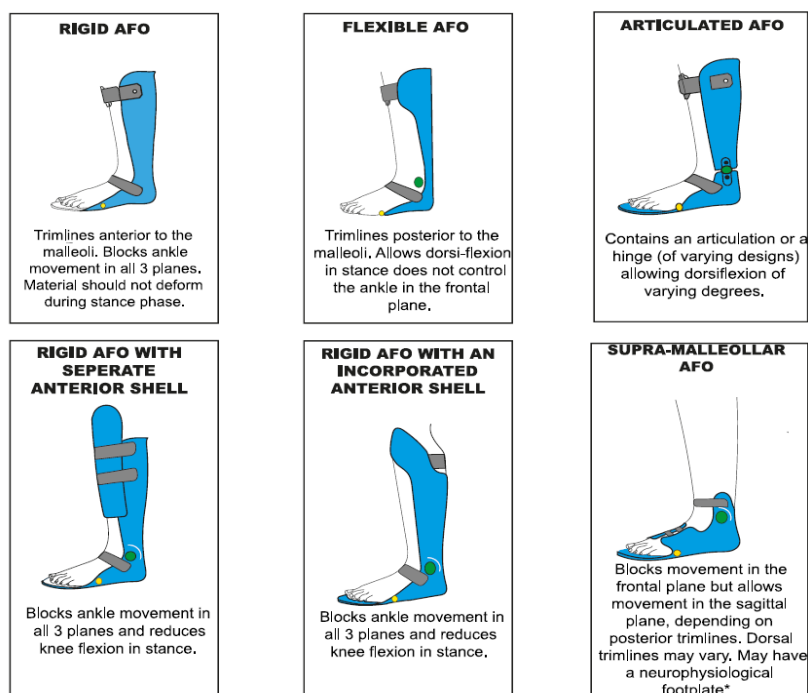
συνταγογραφηθεί σε οποιαδήποτε περίοδο της αποκατάστασης και μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με την ανάγκη ή την εξέλιξη της νόσου (Totah et al., 2019). Τα AFOs παρέχουν υποστήριξη κατά τις φάσεις της βάρδισης, αρχική επαφή με το έδαφος (Initial contact), τη μέση φάση της βάρδισης (mid stance) και την φάση αιώρησης (swing phase) με το να ενθαρρύνουν την πλευρική σταθερότητα της ποδοκνημικής και τη σταθερότητα του γόνατος και την ικανοποιητική τοποθέτηση της ποδοκνημικής σε ραχιαία κάμψη αντίστοιχα (Winstein et al., 2016). Σε περίπτωση μυϊκής αδυναμίας του κάτω άκρου, ο AFO παρέχει βοηθητικές ροπές για ραχιαία και πελματιαία κάμψη. Ενώ σε περίπτωση μυϊκών σπασμών, ο AFO παρέχει περιορίζει την ανεπιθύμητη κίνηση. Ο κατάλληλος σχεδιασμός της όρθωσης προάγει άμεσα τη διαδικασία αποκατάστασης του ασθενούς όσο το δυνατόν πιο κοντά στα φυσιολογικά πρότυπα βάρδισης (Totah et al., 2019).

Το 1992, ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) όρισε τους νάρθηκες κάτω άκρου σύμφωνα με το επίπεδο εφαρμογής τους σε κνημοποδικούς κηδεμόνες (Ankle-Foot-Orthoses/AFOs), μηρο-κνημοποδικούς κηδεμόνες (Knee-Ankle-Foot-Orthoses/KAFOs) και κηδεμόνες οσφυο-μηρο-κνημοποδικούς (Hip-Knee-Ankle-Foot-Orthoses/HKAFOs). Σύμφωνα με τις διαφορετικές λειτουργικές δομές, οι AFOs μπορούν να διακριθούν σε σταθερούς AFOs, δυναμικούς AFOs και σε εξατομικευμένους AFOs (Zhou et al., 2022). Πρόσφατα, υπήρξαν μικρές αλλαγές στην κατηγοριοποίηση των κηδεμόνων του κάτω άκρου και οι AFOs διακρίνονται σε παθητικοί κηδεμόνες ποδοκνημικής (Passive-AFOs/PAFOs), ημι-ενεργοί κηδεμόνες ποδοκνημικής (SemiActive-AFOs/SAFOs) και ενεργοί κηδεμόνες ποδοκνημικής (Active-AFOs/AAFOs) ανάλογα με το αν οι συσκευές μπορούν να παρέχουν άμεσα ενέργεια για το περπάτημα (Daryabor et al., 2018),(Alam et al., 2014). Οι διαδικασίες σχεδιασμού και η λογική κατασκευής των διαφόρων κατηγοριών ορθώσεων ποδοκνημικής (AFOs) είναι περίπου οι ίδιες. Η διαδικασία κατασκευής των AFOs περιλαμβάνει λειτουργικό σχεδιασμό, δομικό σχεδιασμό, σχεδιασμό μοντέλου και κλινική εφαρμογή. Εντός αυτών των διαδικασιών, ο δομικός σχεδιασμός, ο σχεδιασμός μοντέλου και η προσομοίωση κίνησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη μίας αξιόπιστης ορθωτικής συσκευής που ανταποκρίνεται στα πρότυπα της κλινικής έρευνας.

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως, οι PAFOs δεν έχουν κανένα ηλεκτρονικό στοιχείο ελέγχου για να υποβοηθούν την κίνηση του αστραγάλου κατά τη βάρδιση, εκτός από μηχανικά στοιχεία όπως ελατήρια ή αποσβεστήρες κραδασμών (Daryabor et al., 2018). Οι PAFOs μπορούν να υποδιαιρεθούν σε αρθρωτές συσκευές και μη αρθρωτές συσκευές. Οι παθητικές μη αρθρωτές ορθώσεις αστραγάλου-ποδιού (PNAFOs) είναι συνήθως ένα ενιαίο κομμάτι που κρατά τον αστράγαλο σε μία θέση. Οι παθητικοί κνημοποδικοί κηδεμόνες με άρθρωση (PAAFOs) είναι σχεδιασμένοι να συνδυάζουν ένα ελαφρύ θερμοπλαστικό ή κέλυφος από ανθρακόνημα που επιτρέπει μια μικρή ανοχή στο εύρος κίνησης στην ανατομική άρθρωση του αστραγάλου και είναι

η πιο διαδεδομένη μορφή κνημοποδικού κηδεμόνα στην κλινική πράξη. Στην κατασκευή τους, σημαντικό ρόλο αποτελούν το σχήμα, οι γραμμές κοπής, οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού και το πάχος του υλικού του AFO (Eddison et al., 2022). Οι N. Eddison et al. κατηγοριοποίησαν τους PAFOs σε μια πιο απλουστευμένη μορφή που χρησιμοποιείται ευρέως στην κλινική πράξη από τους ορθωτικούς βασισμένο στην ορολογία που προτείνει ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (Εικόνα 1) (ISO 13404: 2007) (“Prosthetics and orthotics — Categorization and description of external orthoses and orthotic components. Edition 1,” 2007). Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει:

- Άκαμπτos AFO (Rigid AFO). Χρησιμοποιείται ο όρος «άκαμπτos» αντί «σταθερός», καθώς ο «άκαμπτos» εκφράζει τη δυσκαμψία.
- Εύκαμπτos AFO (Flexible AFO). Χρησιμοποιείται ο όρος «εύκαμπτos» αντί για την πληθώρα άλλων εναλλακτικών όρων, καθώς ευθυγραμμίζεται με τον όρο που χρησιμοποιείται στο ISO 13404.
- Αρθρωτός AFO (Articulated AFO). Χρησιμοποιείται ο όρος «αρθρωτός» αντί «αρθρωτός με μεντεσέ», καθώς συντάσσεται με τον όρο που χρησιμοποιείται στο ISO 13404.
- Άκαμπτos AFO (Rigid AFO with separate anterior shell) με ξεχωριστό πρόσθιο κέλυφος. Χρησιμοποιείται ο όρος «πρόσθιο κέλυφος» αντί «AFO αντίδρασης εδάφους», καθώς ευθυγραμμίζεται με τους όρους «πρόσθιο» και «κέλυφος» στο ISO 13404 και επειδή δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι AFOs με πρόσθια κελύφη επηρεάζουν τη δύναμη αντίδρασης εδάφους διαφορετικά από έναν AFO χωρίς πρόσθιο κέλυφος. Σημειωτέον ο συγκεκριμένος νάρθηκας διακρίνεται μεταξύ ενσωματωμένου και ξεχωριστού κελύφους.
- Άκαμπτos AFO (Rigid AFO with incorporated anterior shell) με ενσωματωμένο πρόσθιο κέλυφος. Χρησιμοποιώντας τον όρο «πρόσθιο κέλυφος» αντί «AFO αντίδρασης εδάφους» συντάσσεται με τους όρους «πρόσθιο» και «κέλυφος» στο ISO 13404 και επειδή δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι AFOs με πρόσθια κελύφη επηρεάζουν τη δύναμη αντίδρασης εδάφους διαφορετικά από έναν AFO χωρίς πρόσθιο κέλυφος.
- Υπέρ-αστραγαλικός AFO (Supra-malleolar AFO/SMO). Για αποφυγή παρανοήσεων μεταξύ των επαγγελματιών υγείας, χρησιμοποιείται ο όρος «Υπέρ-αστραγαλικός» αντί «δυναμικός» (Dynamic AFO/DAFO) λόγω της αμφισημίας του τι είναι δυναμικό στον AFO και του γεγονότος ότι ο όρος δυναμικός χρησιμοποιείται για να περιγράψει διάφορους τύπους AFO χωρίς σαφή ορισμό.



Εικόνα 1. Κατηγορίες PAFOs/ISO13404(Eddison et al., 2022)

Η τρέχουσα βιβλιογραφία δεν διαθέτει επικυρωμένα συστήματα ταξινόμησης για τους διάφορους τύπους κατά παραγγελία AFOs, καθώς οι περισσότεροι ορθωτικοί και συμμετέχοντες σε κλινικές μελέτες χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους σχεδίασης, υλικά και τρόπους κατασκευής για τους κηδεμόνες. Οι N. Eddison et al. υπογραμμίζουν τη σημασία ύπαρξης ενός επικυρωμένου, απλού και σαφούς συστήματος ταξινόμησης για τους κατά παραγγελία θερμοπλαστικούς AFOs και σημειώνει πως στην έρευνά του η κατηγοριοποίηση των έξι τύπων κηδεμόνων θεωρήθηκε χρήσιμη από το 84% των παρατηρητών. Ένα τέτοιο σύστημα ταξινόμησης είναι απαραίτητο για τη βελτίωση της τεκμηριωμένης θεραπείας των παθολογιών που απαιτούν παρεμβάσεις με κατά παραγγελία θερμοπλαστικούς AFOs (παραδείγματα “real life” τύπων των κνημοποδικών κηδεμόνων σύμφωνα με το ISO 13404 παρατίθενται στη συνέχεια)(Εικόνα 2).



A.



B.



Γ.



Δ.



E.



ΣΤ.

Εικόνα 2. A. Rigid AFO, B. Flexible AFO, Γ. Articulated AFO, Δ. AFO separate anterior Shell, E. AFO incorporated anterior Shell, ΣΤ. SMO (Eddison et al., 2022)

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της εργασίας είναι να παρέχουμε μια εικόνα της δημοσιευμένης βιβλιογραφίας σχετικά με την επιδημιολογία του εγκεφαλικού επεισοδίου και την επίδραση των AFOs (Νάρθηκες έσω υποδήματος) στην εμβιομηχανική του κάτω άκρου. Επιπλέον, στόχος της εργασίας είναι να συγκριθούν σε πρώτο χρόνο οι μεταγενέστερες τεχνολογικές προσεγγίσεις σε σύγκριση με τα AFOs, στην αποκατάσταση του κάτω άκρου. Τέλος έχοντας τα δεδομένα από την ανασκόπηση των προηγούμενων, να συζητηθούν οι δυνατότητες εξέλιξης νέων τεχνολογιών στην αντιμετώπιση των κινητικών προβλημάτων που προκύπτουν στον ασθενή μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, με στόχο τη συγκέντρωση και αξιολόγηση της υφιστάμενης επιστημονικής γνώσης και να εντοπιστούν πρωτότυπα άρθρα σχετικά με την επίδραση της κνημοποδικής ορθωτικής συσκευής έσω υποδήματος στην εμβιομηχανική του κάτω άκρου μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στηρίχθηκε στις διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες για τη διενέργεια συστηματικών ανασκοπήσεων, με βάση το πρωτόκολλο PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Το ερευνητικό ερώτημα διαμορφώθηκε σύμφωνα με το μοντέλο PICO, ως εξής:

- P (Population): Ασθενείς με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο
- I (Intervention): Εφαρμογή θερμοπλαστικής κνημοποδικής ορθωτικής συσκευής έσω υποδήματος (AFO)
- C (Comparison): Σύγκριση εμβιομηχανικής μεταξύ υγιούς κάτω άκρου και κάτω άκρου πάσχοντος από εγκεφαλικό επεισόδιο με την εφαρμογή διαφορετικών τύπων AFOs
- O (Outcome): Βελτίωση κινητικής λειτουργίας, ποιότητας ζωής, νευρολογικής αποκατάστασης

Το τελικό ερώτημα που καθοδήγησε την ανασκόπηση ήταν: «Ποια είναι η επίδραση της κνημοποδικής ορθωτικής συσκευής έσω υποδήματος (AFOs), στην εμβιομηχανική του κάτω άκρου μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο;»

Η αναζήτηση της βιβλιογραφίας πραγματοποιήθηκε στις διεθνώς αναγνωρισμένες επιστημονικές βάσεις δεδομένων PubMed (National Library of Medicine), Scopus (Elsevier) και Google Scholar. Οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν “Stroke”, “Hemiplegia” “Drop foot”, “Gait biomechanics”, “Stroke Rehabilitation”, “AFOs” (Ankle Foot Orthosis), “FES” (functional electrical stimulation), “Artificial Intelligence” και συνδυασμοί αυτών, με τη χρήση

των Boolean τελεστών AND και OR π.χ. ("stroke" OR "hemiplegia") AND "biomechanics" AND ("Orthotics" OR "AFOs").

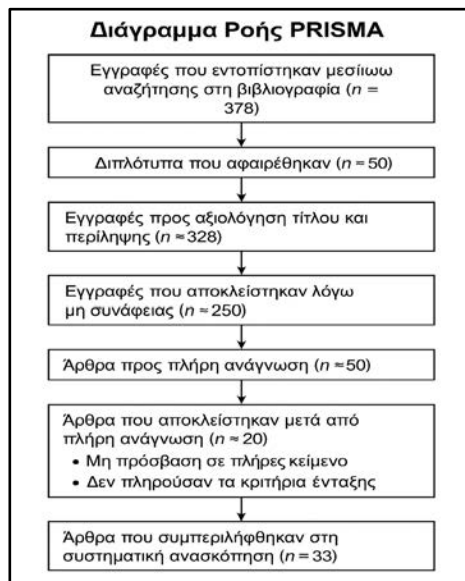
Η αναζήτηση περιορίστηκε σε άρθρα που δημοσιεύτηκαν την περίοδο 2011–2024, σε γλώσσα αγγλική ή ελληνική, με στόχο να βρεθούν, τα πιο αντιπροσωπευτικά δεδομένα για τη χρήση κνημοποδικών ναρθήκων σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο. Η αναζήτηση στη βάση δεδομένων ξεπέρασε το όριο της δεκαετίας που είχαμε θέσει εξ αρχής, λόγω του μικρού ποσού δημοσιεύσεων που υπήρχαν. Πιο συγκεκριμένα ανατρέξαμε σε έρευνες, σε άρθρα ανασκόπησης και αναφορές των σχετικών εργασιών στη βιβλιογραφία ώστε να παραθέσουμε τους μηχανισμούς δράσης της προ υπάρχουσας τεχνολογίας στους κνημοποδικούς κηδεμόνες και τον ρόλο τους στην παθολογική βάδιση. Τα κριτήρια αποκλεισμού δημοσιεύσεων αποτέλεσαν άρθρα ανασκόπησης χωρίς πρωτογενή δεδομένα (εκτός αν περιλάμβαναν συστηματική ανασκόπηση με μετα-ανάλυση), άρθρα που δεν σχετίζονταν άμεσα με τα ορθωτικά μέσα στην νευροαποκατάσταση (π.χ. φαρμακολογικές μελέτες ή μελέτες αναφορικά με την αποκατάσταση από άλλους επαγγελματίες υγείας, όπως η φυσικοθεραπεία), δημοσιεύσεις σε άλλες γλώσσες εκτός της ελληνικής και αγγλικής, καθώς και μελέτες σε παιδιατρικό πληθυσμό. Οι όροι αναζήτησης μας περιλάμβαναν, εγκεφαλικό επεισόδιο (Stroke), κάτω άκρο (lower limb), πτώση άκρου ποδός (Drop foot), ημιπληγία (hemiplegia), εμβιομηχανική βάδισης (Gait Biomechanics), αποκατάσταση εγκεφαλικού (Stroke Rehabilitation), AFOs (Ankle Foot Orthosis), διεπιστημονική ομάδα εγκεφαλικού (Stroke Multidisciplinary Team), Λειτουργικός μυϊκός ερεθισμός (Functional Electrical Stimulation), τεχνητή νοημοσύνη (AI).

Καθώς η παρούσα εργασία αποτελεί βιβλιογραφική ανασκόπηση και δεν περιλαμβάνει πρωτογενή συλλογή δεδομένων από ασθενείς, δεν απαιτήθηκε έγκριση από επιτροπή δεοντολογίας. Όλα τα άρθρα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από έγκριτα επιστημονικά περιοδικά.

Η αναζήτηση στη βιβλιογραφία επέστρεψε συνολικά 378 εγγραφές. Η διαδικασία επιλογής των μελετών PRISMA (προσεγγιστικά δεδομένα) (Εικόνα 3) περιλάμβανε τα εξής στάδια:

- Αρχικά, αφαιρέθηκε ένας αριθμός διπλότυπων εγγραφών (περίπου 50), με αποτέλεσμα να παραμείνουν περίπου 320 εγγραφές για αξιολόγηση.
- Οι εγγραφές αυτές εξετάστηκαν ως προς τον τίτλο και την περίληψη, και ένας σημαντικός αριθμός απορρίφθηκε σε αυτό το στάδιο λόγω μη συνάφειας με το θέμα της μελέτης (περίπου 250).
- Περίπου 50 άρθρα προχώρησαν στο στάδιο ανάγνωσης πλήρους κειμένου.

- Από αυτά, ένα μέρος αποκλείστηκε είτε λόγω έλλειψης πρόσβασης στο πλήρες κείμενο είτε επειδή δεν πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης (περίπου 20 άρθρα).
- Συνολικά, 33 άρθρα πληρούσαν τα κριτήρια και συμπεριλήφθηκαν στην



Εικόνα 3. Διάγραμμα PRISMA

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. Μηχανισμοί δράσης των AFOs στη βελτίωση της λειτουργίας των κάτω άκρων

1.1 Επίδραση των AFOs στις εμβιομηχανικές παραμέτρους των προτύπων βάδισης

Η χρήση των κνημοποδικών κηδεμόνων (AFOs) αποτελεί μία διαδεδομένη μέθοδο αντιμετώπισης των κινητικών διαταραχών στα κάτω άκρα που προκύπτουν από εγκεφαλικό επεισόδιο. Ειδικότερα η βιβλιογραφία έχει δείξει την ευεργετική επίδραση των ορθώσεων κάτω άκρων στην βάδισης, όπως η ταχύτητα, την εξασθένηση της βάδισης συμπεριλαμβανομένου του μήκους βήματος και διασκελισμού, και την ισορροπία δηλαδή την κατανομή βάρους κατά τη στάση (Tyson and Kent, 2013). Ωστόσο, οι μελέτες που περιλαμβάνονται σε αυτές τις αναλύσεις εξέτασαν μόνο τις άμεσες επιδράσεις κατά τη χρήση της ορθωτικής συσκευής. Μια πρόσφατη μετα-ανάλυση και συστηματική ανασκόπηση πρότειναν τους πιθανούς μηχανισμούς πίσω από αυτές τις επιδράσεις, υπογραμμίζοντας τη θετική επιρροή των AFOs στην κινηματική και κινητική του αστραγάλου, την κινηματική του γόνατος κατά τη φάση στήριξης και την κατανάλωση ενέργειας. Δύο τυχαioποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (RCTs) έδειξαν ότι μετά από τρεις μήνες χρήσης AFO, οι συμμετέχοντες παρουσίασαν βελτιωμένη κινητικότητα ενώ φορούσαν τη

συσκευή (Erel et al., 2011),(De Sèze et al., 2011). Μία μικρή RCT διαπίστωσε ότι, αν και ένας δυναμικός αρθρωτός νάρθηκας AFO βελτίωσε τη λειτουργία της βάδισης πιο αποτελεσματικά από έναν τυπικό AFO, προκάλεσε κάποιο βαθμό εξάρτησης. Οι συμμετέχοντες που χρησιμοποιούσαν τον τυπικό AFO παρουσίασαν καλύτερη απόδοση κατά το περπάτημα χωρίς καμία ορθωτική συσκευή μετά από τρεις μήνες. Από την άποψη του ασθενούς, είναι κρίσιμο να αξιολογηθεί η προθυμία τους να φορούν τακτικά έναν AFO. Για την αύξηση της συμμόρφωσης, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η ορθωτική συσκευή εφαρμόζει σωστά, είναι άνετη και έχει αποδεκτή εμφάνιση (De Sèze et al., 2011).

Πολλοί ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο εμφανίζουν ανωμαλίες στη βάδιση, όπως αργή ταχύτητα περπατήματος και μειωμένο μήκος βήματος. Επιπλέον, λόγω της αδυναμίας των μυών που είναι υπεύθυνοι για τη ραχιαία κάμψη του πέλματος και λόγω της γενικότερης αδυναμίας των εκτεινόντων του κάτω άκρου, οι ασθενείς σέρνουν τα δάχτυλα τους στην τελική φάση της αιώρησης. Η συνθήκη αυτή μπορεί να προκαλέσει αντισταθμιστικό μηχανισμό από το ισχίο, την κίνηση της περιαγωγής, το οποίο αποτελεί παθολογικό πρότυπο βάδισης (Moraitou et al. 2011). . Επιπλέον, σε ασθενείς μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, λόγω μυϊκής αδυναμίας, ο συγχρονισμός του κύκλου βάδισης διαταράσσεται, η δύναμη προώθησης μειώνεται κατά τη φάση στήριξης και αιώρησης με αποτέλεσμα να παρατηρείται πτώση του άκρου πόδα (Alnajjar et al., 2021). Η πτώση αυτή είναι ένα σημάδι νευρομυϊκής βλάβης που μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη (Beka et al. 2022). Λόγω της μυϊκής αδυναμίας, οι ασθενείς με πτώση άκρου πόδα δεν είναι σε θέση να σηκώσουν το μπροστινό μέρος του ποδιού και έτσι σέρνουν τα πόδια και τα δάχτυλα των ποδιών τους ενώ περπατούν (Alnajjar et al., 2021). Η άλλη ένδειξη της πτώσης άκρου πόδα είναι το χτύπημα του μπροστινού ποδιού μετά τη φτέρνα που συνήθως έχει ως αποτέλεσμα υπερβολικό θόρυβο κατά το περπάτημα. Η πτώση άκρου πόδα είναι πολύ συχνή στους ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι παραδοσιακές ορθώσεις αστραγάλου-ποδιού (AFO) είναι η πιο δημοφιλής προσέγγιση για τη θεραπεία της πτώσης του άκρου πόδα (Alnajjar et al., 2021). Οι εν λόγω ορθωτικές συσκευές είναι σχεδιασμένες να εφαρμόζονται εξωτερικά στην άρθρωση αστραγάλου-ποδιού για να αποτρέπουν την πτώση κατά τη φάση αιώρησης. Χρησιμοποιούνται κυρίως για να βελτιώσουν την ευθυγράμμιση της άρθρωσης του αστραγάλου, να αυξήσουν τη ταχύτητας βάδισης και να μειώσουν τη κατανάλωση ενέργειας κατά τη βάδιση (Alnajjar et al., 2021). Δεδομένου ότι επιτρέπουν μόνο περιορισμένη κίνηση του αστραγάλου με μηδενικό βαθμό ελευθερίας, η κίνηση αυτή δεν είναι ίδια με την κανονικό μοτίβο βάδισης. Έχουν λίγους περιορισμούς όπως, αναστολή της κανονικής ώθησης κατά τη διάρκεια του βάδισης και μείωση της προσαρμοστικότητας της βάδισης (Alnajjar et al., 2021). Από λειτουργική άποψη, οι AFOs μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: Παθητικοί AFOs και ενεργητικοί AFOs. Οι παθητικοί AFOs δρουν σαν τιράντες και

αποφεύγουν την πτώση διατηρώντας τη θέση του ποδιού σε γωνία 90 μοιρών. Λόγω της περιορισμένης κίνησης ορισμένων μυών, αυτός ο τύπος AFO δεν είναι καλός για μακροχρόνια χρήση, καθώς οδηγεί σε μυϊκή αδυναμία και ατροφία, με αποτέλεσμα αυξημένη εξάρτηση από την ορθωτική συσκευή σε καθημερινή βάση (Alnajjar et al., 2021). Παρόλα αυτά οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν τη δυνατότητα να αμβλύνουν αυτούς τους περιορισμούς φέρνοντας τη ρομποτική στον τομέα της αποκατάστασης της βάδισης. Τα ρομποτικά ενεργά AFOs, που εδώ ονομάζουμε RAFO, έχουν πιο πολύπλοκο σχεδιασμό και δομή. Διαθέτουν ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου και λειτουργικά συστήματα που επιτρέπουν αλλαγές της αντίστασής τους εντός των φάσεων βάδισης που οδηγούν σε βελτιωμένες συνθήκες βάδισης για τον ασθενή (Alnajjar et al., 2021). Αυτές οι συσκευές εκτελούν ενεργά υποβοήθηση η οποία βοηθά στην επανεκπαίδευση του νευροκινητικού συστήματος και επιταχύνει τη διαδικασία αποκατάστασης. Με τη χρήση στρατηγικών αποκατάστασης βασισμένων σε ρομπότ, μπορεί να εξασφαλιστεί η ένταση και η επανάληψη, η οποία είναι το κύριο κλειδί για την τόνωση της πλαστικότητας του εγκεφάλου (Nousia et al. 2020). Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την επανασύνδεση της κατεστραμμένης κινητικής οδού ώστε να προσαρμοστεί στο προγραμματισμένο μοτίβο (Alnajjar et al., 2021).

Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των διαφόρων ειδών AFOs στη βάδιση, η δυσκαμψία ενός AFO θεωρείται ένα βασικός καθοριστικός παράγοντας του λειτουργικού αποτελέσματός του (Sato et al., 2022). Ορισμένοι AFOs αναπτύχθηκαν για να βοηθήσουν την ανεπαρκή μυϊκή δραστηριότητα γύρω από την άρθρωση του αστραγάλου μέσω της δυσκαμψίας του. Η δυσκαμψία της ραχιαίας κάμψης ενός AFO αποτρέπει την υπερβολική ραχιαία κάμψη στη μέση φάση στήριξης και αντισταθμίζει την αδυναμία των πελματιαίων καμπτήρων (Sato et al., 2022).

Οι Ohtsuka et al. χρησιμοποιώντας ένα 3D σύστημα ανάλυσης της κίνησης επικεντρώθηκαν στα βασικότερα παθολογικά πρότυπα βάδισης (**Table 1**) με και χωρίς AFOs. Τα κύρια παθολογικά πρότυπα βάδισης που συμπεριλήφθηκαν στην έρευνα ήταν η επαφή με το πρόσθιο μέρος του ποδιού στο ξεκίνημα της βάδισης, η βίαιη έκταση του γόνατος, βάδιση με λυγισμένο γόνατο, η περιαγωγή του ισχίου, ανύψωση του ισχίου/λεκάνης, ανεπαρκής κάμψη του γόνατος κατά τη φάση αιώρησης, υπερβολική πλάγια μετατόπιση του κορμού προς την υγιή πλευρά (Ohtsuka et al., 2023). Πιο συγκεκριμένα, αναφέρει ότι η επαφή με το πρόσθιο μέρος του ποδιού είναι ένα κοινό σύμπτωμα στην βάδιση των ασθενών που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο που οφείλεται στην πτώση του άκρου ποδός (Drop Foot), εξαιτίας της κινητικής βλάβης στον πρόσθιο κνημιαίο μυ (Ohtsuka et al., 2023). Η πρόληψη του "Drop Foot" με την υποστήριξη της ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής άρθρωσης είναι ένα σημαντικό όφελος της χρήσης των AFOs. Επομένως, είναι λογικό ότι η χρήση των AFOs μειώνει σημαντικά την επαφή με το πρόσθιο μέρος του ποδιού.

Επιπλέον, το "Drop Foot" επηρεάζει την απομάκρυνση του ποδιού από το έδαφος κατά τη φάση αιώρησης, γεγονός που μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της περιαγωγής (Circumduction) του ισχίου και της ανύψωσης του ισχίου/λεκάνης (Hip Hiking) (Ohtsuka et al., 2023). Σε υγιή άτομα, η ανύψωση του ποδιού κατά τη φάση αιώρησης επιτυγχάνεται με τη "μείωση" του μήκους του ποδιού μέσω της συντονισμένης κάμψης του γόνατος και της ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής. Ωστόσο, οι προσβεβλημένοι ασθενείς αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν αντισταθμιστικές κινήσεις για να επιτύχουν την απομάκρυνση του ποδιού από το έδαφος. Οι AFOs βοηθούν στην διατήρηση του ποδιού σε μέση θέση αποτρέποντας την πελματιαία κάμψη συνεισφέροντας με αυτόν τον τρόπο στη μείωση και των λοιπών παθολογικών προτύπων βάδισης (Ohtsuka et al., 2023).

Abnormal gait definition	
Forefoot contact	At initial contact, the forefoot on the affected side is the first to make contact, regardless of walking brace use. Severity is assessed by the magnitude of the plantarflexion angle of the ankle joint at initial contact.
Knee extensor thrust Retropulsion of the hip	A dynamic, rapid knee extension during the loading response to terminal stance of the affected leg. The affected hip joint does not move continually forward over the affected ankle joint during loading response to mid-stance.
Flexed-knee gait	The knee remains in flexed position throughout the stance phase of the affected leg.
Medial whip	The medial rotation of the heel, with the toe as a pivot, during terminal stance to pre-swing of the affected leg.
Circumduction gait	The lower extremity of the affected side shows hip joint abduction and lateral rotation during initial to mid-swing, and hip joint adduction and medial rotation during mid- to terminal swing, following a semicircular trajectory. Severity is assessed by the lateral displacement of the foot on the affected side during the swing phase.
Hip hiking	The pelvis on the affected side is raised during pre- to mid-swing, associated with shortening of the trunk on the affected side. Severity is assessed by the vertical displacement of the pelvis on the affected side from pre- to mid-swing.
Insufficient knee flexion during swing phase	A decreased maximum knee flexion angle during the swing phase of the affected leg.
Excessive lateral shift of the trunk over the unaffected side	Trunk shifts excessively over the unaffected side during the swing phase of the affected leg.
Contralateral vaulting	The excessive pelvic rise by the unaffected side knee extension during the stance phase of the unaffected side
Excessive hip external rotation	A more excessive hip external rotation of the affected leg than normal throughout the entire swing phase.
Posterior pelvic tilt	A posterior tilting of the pelvis in the sagittal plane and is used to swing the leg during the swing phase

Table 1. Παθολογικά πρότυπα Βάδισης (Ohtsuka et al., 2023)

Οι Choo et al. μετά από ανάλυση των δεδομένων της μελέτης τους, διαπίστωσαν σημαντική βελτίωση στην ταχύτητα περπατήματος, τον ρυθμό, το μήκος του βήματος, τον χρόνο TUG (Time Up and Go test) και τις παραμέτρους βάδισης των κινηματικών όπως την τοποθέτηση του αστραγάλου στην αρχική επαφή με το έδαφος (initial contact) και τη γωνία του γόνατος στην τελική φάση στήριξης (late stance) πριν τη φάση αιώρησης (swing phase), στο οβελιαίο επίπεδο και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση AFO μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργία της βάδισης και την ισορροπία. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι οι AFOs βελτιώνουν τις παθολογικές κινήσεις στη βάδιση υποστηρίζοντας τη ραχιαία κάμψη του αστραγάλου και περιορίζοντας την πελματιαία κάμψη και έσω στροφή του πέλματος (Choo and Chang, 2021). Η μελέτη των Choo et al. σημειώνει τη σημαντικότητα των AFOs κατά τη φάση στήριξης καθώς αποτρέπουν την υπερέκταση του γόνατος και τη ραιβότητα της υπαστραγαλικής άρθρωσης βελτιώνοντας έτσι τη συνολική λειτουργία της βάδισης.

Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στη μελέτη των Tsuchiyama et al. υποστηρίζουν ότι υπήρξε σημαντική αύξηση στο μήκος βήματος του μη παρρετικού άκρου στο σύνολο των ασθενών

με εγκεφαλικό επεισόδιο που μελετήθηκαν, καθώς και αύξηση του χρόνου μονοποδικής στήριξης στο παραλυμένο άκρο σε ομάδα με σοβαρή βλάβη. Ωστόσο, παρατηρήθηκε μείωση της συχνότητας βημάτων και αύξηση του χρόνου διπλής στήριξης στο σύνολο του πληθυσμού. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη χρήση των ίδιων ταχυτήτων βάδισης που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη για τη σύγκριση της βάδισης σε ασθενείς με και χωρίς το AFO (Tsuchiyama et al., 2022).

1.2 Επίδραση των AFOs στην ισορροπία και στη σταθερότητα κατά τη βάδιση

Ένας τομέας της βάδισης που μπορεί να επιδράσει η χρήση AFO είναι η ισορροπία, οριζόμενη ως η ικανότητα να διατηρείται η προοδευτική κίνηση χωρίς να προκύπτει πτώση (Zissimopoulos et al., 2015). Οι διαταραχές της ισορροπίας είναι κοινές μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Αυτές οι πτώσεις αποδίδονται περισσότερο στη διαταραγμένη ισορροπία, παρά σε εξωτερικούς παράγοντες όπως τα εμπόδια. Η ισορροπία επηρεάζεται από παράγοντες που περιλαμβάνουν γνωστικούς, οπτικούς, αιθουσαίους, ιδιοδεκτικούς και μηχανισμούς κίνησης (Zissimopoulos et al., 2015). Η τοποθέτηση του ποδιού στη βάδιση κατά την αρχική επαφή στο μετωπιαίο επίπεδο είναι σημαντική για τη διατήρηση ενός ασφαλούς και αποδοτικού προτύπου βάδισης, καθώς καθορίζει τη βάση στήριξης και ανακατευθύνει την κίνηση του κέντρου μάζας του σώματος με κάθε βήμα (Zissimopoulos et al., 2015).

Ένας παράγοντας που μπορεί να συμβάλλει σε αυτά τα ελλείμματα είναι η δυσκολία με την προπαρασκευαστική κίνηση του προσβεβλημένου ποδιού κατά τη φάση αιώρησης. Κατά τον κύκλο βάδισης πριν την αρχική επαφή με το έδαφος (initial contact), το άκρο πόδι "προγραμματίζεται" κατά την προηγούμενη φάση αιώρησης διατηρώντας τη ραχιαία κάμψη της ΠΔΚ. Στους ασθενείς που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο στο συγκεκριμένο σημείο του κύκλου βάδισης το πέλμα έχει συχνά θέση υποποδίας παράλληλα με ανεπαρκή κάμψη του γόνατος (Zissimopoulos et al., 2015). Οι διαταραχές της φάσης αιώρησης συμβάλλουν στην ανεπαρκή απομάκρυνση των δακτύλων στο μέσο της αιώρησης και οι σχετικές αντισταθμίσεις της φάσης αιώρησης περιλαμβάνουν ανύψωση του ισχίου και περιαγωγή του ισχίου στο επηρεασμένο άκρο (Zissimopoulos et al., 2015).

Η διόρθωση των παθολογικών κινητικών προτύπων της άρθρωσης του αστραγάλου κατά τη φάση αιώρησης με ένα AFO μειώνει τον βαθμό ανύψωσης του ισχίου, ενώ η γωνία απαγωγής/προσαγωγής του ισχίου κατά τη φάση αιώρησης δεν επηρεάζεται από τη χρήση του AFO (Zissimopoulos et al., 2015). Η κινητική σύνδεση μεταξύ του ισχίου και του αστραγάλου θα υποδήλωνε ότι ένα AFO θα μπορούσε επίσης να μειώσει το βαθμό της περιαγωγής, αλλά αυτό παραμένει ανεπιβεβαίωτο. Η μείωση της ανώμαλης κίνησης στο μετωπιαίο επίπεδο κατά τη φάση

αιώρησης του επηρεασμένου άκρου με τη χρήση του AFO, μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα ενός ατόμου να επιτύχει μια πιο ακριβή τοποθέτηση του ποδιού, η οποία είναι βασικό χαρακτηριστικό της ασφαλούς βάδισης (Zissimopoulos et al., 2015).

Η μελέτη των Kazuhiro T. et. al. υποστήριξε ότι η μείωση της μεταβλητότητας των χωροχρονικών παραμέτρων βελτιώνει τη σταθερότητα των προτύπων βάδισης με τη χρήση AFO-ωστόσο, δεν υπάρχουν πιο άμεσα στοιχεία σχετικά με την επίδραση του δυναμικού ελέγχου της ισορροπίας κατά τη βάδιση. Η ικανότητα των AFO να βελτιώνουν τη στατική ισορροπία μπορεί να οδηγήσει στη βελτίωση του ελέγχου της ισορροπίας κατά τη βάδιση ωστόσο σε υγιή άτομα ο περιορισμός της κίνησης του αστραγάλου με AFO φέρεται να έχει αρνητική επίδραση στη δυναμική ισορροπία (Tsuchiyama et al., 2022). Η ικανότητα των AFO να βελτιώνουν τη στατική ισορροπία μπορεί να υποστηρίξει τη βελτίωση στον έλεγχο της ισορροπίας κατά τη βάδιση ωστόσο σε υγιή άτομα ο περιορισμός της κίνησης του αστραγάλου με τον νάρθηκα φέρεται να έχει αρνητική επίδραση στη δυναμική ισορροπία (Vistamehr et al., 2014). Σύμφωνα με την έρευνα των Tsuchiyama et al η χρήση AFO μείωσε το μήκος βήματος στη μη παρετική πλευρά καθώς επίσης παρατήρησαν ότι η συνιστώσα της βράχυνσης των άκρων αυξήθηκε και η συνιστώσα της ανύψωσης του ισχίου λόγω της ανύψωσης της λεκάνης μειώθηκε όταν φορούσαν τον κηδεμόνα AFO (Tsuchiyama et al., 2022). Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διακυμάνσεις των χωροχρονικών παραμέτρων, οι οποίες ήταν υψηλότερες στην παρετική πλευρά σε σύγκριση με τη μη παρετική πλευρά, μειώθηκαν με την AFO, υποδεικνύοντας τη βελτίωση του δυναμικού ελέγχου της ισορροπίας κατά τη διάρκεια της βάδισης (Tsuchiyama et al., 2022).

Τα αποτελέσματα της μελέτης των Karakkattil et al έδειξαν ότι με την εξάσκηση, οι συμμετέχοντες βελτίωσαν την αντοχή στη βάδιση και την ταχύτητα (αυτοεπιλεγμένη και με γρήγορο ρυθμό) με τη χρήση ορθώσεων ποδιού αστραγάλου. Σε μία εβδομάδα εξάσκησης, οι συμμετέχοντες βελτιώθηκαν πολύ πάνω από το αναφερόμενο ανώτερο όριο της ελάχιστης κλινικά σημαντικής διαφοράς (Karakattil et al., 2020). Το εύρημα αυτό επιβεβαιώθηκε από τη σημαντική κύρια επίδραση της εξάσκησης. Πιο συγκεκριμένα, η μέση ταχύτητα βάδισης την πρώτη ημέρα βάδισης με νάρθηκα ήταν 0,58m/s.45 Ανεξάρτητα από το σχεδιασμό, ένας νάρθηκας αστραγάλου παρέχει σταθερότητα στην προσβεβλημένη πλευρά στη φάση στήριξης, επιτρέποντας ταχύτερη και ασφαλέστερη προώθηση του ποδιού, βελτιώνοντας έτσι την ταχύτητα βάδισης (Karakattil et al., 2020). Παρόλο που ο νάρθηκας με διπλή άρθρωση αναμέναμε να είναι καλύτερος από αυτόν με το οπίσθιο ελατήριο στη βελτίωση της ταχύτητας βάδισης, αυτό δεν παρατηρήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη. Και τα δύο σχέδια νάρθηκα είναι ικανά να βοηθήσουν στην ελεγχόμενη προώθηση της κνήμης κατά τη μέση φάση στήριξης. Επιπλέον, καθοριστικός παράγοντας για τα

αποτελέσματα της βάδισης, είναι η εμπιστοσύνη του συμμετέχοντα στον νάρθηκα (Karakattil et al., 2020).

Παράλληλα οι Zissimopoulos et al. στη μελέτη τους υποδεικνύουν ότι η ικανότητα αντίληψης των ικανοτήτων του ασθενή μπορεί να είναι εξίσου σημαντική με την πραγματική ικανότητα στον καθορισμό της λειτουργικότητας και της κινητικότητας. Επομένως, ο AFO μπορεί επίσης να βελτιώσει την κινητικότητα ενισχύοντας απλά τη σιγουριά ότι του εμπνέει εμπιστοσύνη στην ισορροπία.

1.3 Περιορισμοί στην εφαρμογή των AFOs στην κλινική πράξη

Οι PAFOs χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της αποκατάστασης της ποδοκνημικής των ασθενών που έχουν περάσει εγκεφαλικό επεισόδιο, λόγω του απλού και αποτελεσματικού σχεδιασμού της δομής τους και της διαδικασίας παραγωγής τους. Ένας τρόπος για τη διαχείριση των δυσκολιών βάδισης είναι η χρήση ενός κνημοποδικού κηδεμόνα (AFO), που σκοπό έχει να σταθεροποιήσει το άκρο πόδι κατά τη φάση της φόρτισης και να ανυψώσει τα δάκτυλα κατά τη βάδιση.

Παρά την διαδεδομένη χρήση των ορθωτικών του άκρου ποδός, οι Zhou et al. στη βιβλιογραφική τους έρευνα σημειώνουν ότι η χρήση AFO μετά από νευρική βλάβη μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της δύναμης των ραχιαίων καμπτήρων σε σύντομο χρονικό διάστημα λόγω της στερέωσης του αστραγάλου/ποδοκνημικής. Αναφέρουν συγκεκριμένα ότι η μειωμένη δραστηριότητα των ραχιαίων καμπτήρων μπορεί να οδηγήσει σε ατροφία από αχρησία και μακροπρόθεσμη εξάρτηση από ορθωτικές συσκευές. Άλλες μελέτες που ανέλυσαν, προτείνουν ότι η δυσκαμψία της ορθωτικής συσκευής μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή εμβιομηχανικό έλεγχο της υπαστραγαλικής και την ποδοκνημικής άρθρωσης, καθώς και υπερβολική έκταση του γονάτου κατά τη βάδιση, που με τη σειρά του μπορεί να προκαλέσει έναν φαύλο κύκλο παθολογικών προτύπων βάδισης, μειωμένη μυϊκή δραστηριότητα και μυϊκή ατροφία (Zhou et al., 2022). Επομένως, τα άκαμπτα AFOs (Rigid AFOs) ενδέχεται να καθυστερήσουν την ανάρρωση σε ασθενείς με νευρολογικές διαταραχές. Αν και οι PAFOs μπορούν να βελτιώσουν την παθολογική βάδιση σε κάποιο βαθμό και να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας κατά το περπάτημα, περιορίζουν την κανονική κίνηση της άρθρωσης του αστραγάλου (Zhou et al., 2022).

Στην αποκατάσταση μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, διάφορες προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένης της φυσικοθεραπείας, της ενδυνάμωσης και της εργοθεραπείας, έχουν αποδειχθεί ότι βελτιώνουν τη κινητική λειτουργία. Τα οφέλη ενός προγράμματος αποκατάστασης ασθενών που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο είναι καλά τεκμηριωμένα στην κλινική πράξη, και παρόλο που δεν υπάρχουν σαφείς κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τα βέλτιστα επίπεδα

έντασης, η ανάγκη για ενσωμάτωσή τους σε ένα πρόγραμμα θεραπείας είναι ευρέως αναγνωρισμένη (Morrow and Bowers, 2019).

Οι Tomioka et al. μελέτησαν τη εφαρμογή επαναληπτικών ασκήσεων διευκόλυνσης (Repetitive facilitation exercises/RFEs), που συνδυάζουν υψηλή επαναληψιμότητα και νευρομυική συναρμογή και αποτελούν μια προσέγγιση στην αποκατάσταση των βλαβών των άκρων μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Στο πρόγραμμα RFEs, οι θεραπευτές χρησιμοποιούν τις διατάσεις και τα αντανακλαστικά που προκαλούνται από το δέρμα για να βοηθήσουν τις προσπάθειες του ασθενούς να κινήσει μια πληγείσα άρθρωση. Οι μελέτες που βασίστηκε η δική του προσέγγιση, έχουν δείξει ότι το πρόγραμμα RFE βελτίωσε την κινητική απόδοση των κάτω άκρων και τη δοκιμασία βάδισης 10 μέτρων σε ασθενείς με εγκεφαλική βλάβη (Tomioka et al., 2017). Επιπλέον, οι Tomioka et al. υποστηρίζουν την άποψη ότι η χρήση των AFOs βελτιώνει την ταχύτητα βάδισης και την ισορροπία σε ασθενείς μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Επομένως, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, η αποκατάσταση που συνδυάζει RFE και εφαρμογή κνημοποδικών κηδεμόνων βελτιώνει τόσο την κινητική απόδοση των κάτω άκρων όσο και τη λειτουργική βάδιση και παραθέτει ως ζητούμενο ένα συνεργατικό πλαίσιο διεπιστημονικής ομάδας αποκατάστασης για την αποτελεσματικότητα μιας συνδυαστικής θεραπείας (Tomioka et al., 2017).

Οι Morrow et al. με μελέτη τους αναφέρονται στη διεπιστημονική ομάδα αποκατάστασης και στα κύρια εμπόδια στην πρόσβαση των παροχών υπηρεσιών για ορθώσεις στο Ηνωμένο Βασίλειο. Τα βασικότερα προβλήματα, όπως εντοπίστηκαν από τους περισσότερους επαγγελματίες υγείας, αποτελούσαν η έλλειψη γνώσης των διαδρομών παραπομπής και η περιορισμένη ικανότητα διάγνωσης κινητικών προβλημάτων (Morrow and Bowers, 2019). Οι φυσικοθεραπευτές ανέφεραν διαφορετικά εμπόδια, όπως μεγάλες λίστες αναμονής και έλλειψη ολιστικών κλινικών. Η δημιουργία κοινών κλινικών φυσικοθεραπευτών-ορθωτικών (physiotherapists-orthotists) προτάθηκε για τη βελτίωση της διεπιστημονικής γνώσης και τον καθορισμό στόχων θεραπείας για ασθενείς με σύνθετα κινητικά προβλήματα. Παρόλο που η ευαισθητοποίηση για τη Δήλωση Βέλτιστων Πρακτικών (Best Practice Statement/BPS) είναι γενικά υψηλή, με ποσοστό 69% σε όλη τη Σκωτία, υπάρχουν περιοχές και επαγγέλματα με χαμηλά ποσοστά ευαισθητοποίησης (Morrow and Bowers, 2019).

Οι Morrow et al. υποστηρίζουν ότι τα αρνητικά αποτελέσματα αυτής της μελέτης εκτός Ηνωμένου Βασιλείου, ενδέχεται να είναι μεγαλύτερα λόγω της περιορισμένης γνώσης ύπαρξης του επαγγέλματος των ορθωτικών από άλλους επαγγελματίες υγείας και τη σημασία και χρησιμότητά τους ως μέρος της διεπιστημονικής ομάδας (Multidisciplinary Team/MDT) για το εγκεφαλικό. Ως εκ τούτου, προτείνουν ότι θα μπορούσε να είναι χρήσιμο να εξεταστεί η

δημιουργία ενός οδηγού για τον έλεγχο, την παραπομπή και τις εμβιομηχανικές επιδράσεις των ορθώσεων ποδοκνημικής άρθρωσης μετά από εγκεφαλικό σε άλλες χώρες, ιδιαίτερα σε εκείνες με λίγους ορθωτικούς και κέντρα εκπαίδευσης (Morrow and Bowers, 2019).

2.Εναλλακτικές προσεγγίσεις αποκατάστασης και μελλοντικές κατευθύνσεις

2.1Σύγκριση FES και AFO

Όπως αναλύθηκε εκτενώς ένα συχνό πρόβλημα των ασθενών μετά από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο είναι η πτώση του άκρου ποδός "Drop Foot". Αυτή η κατάσταση προκύπτει λόγω αδυναμίας των ραχιαίων καμπτήρων του πέλματος, συχνά σε συνδυασμό με σπαστικότητα των πελματιαίων καμπτήρων, οδηγώντας σε θέση υποποδίας με εσω στροφή του ποδιού κατά τη φάση αιώρησης και στην αρχή της φάσης στήριξης. Μια κοινή μέθοδος αντιμετώπισης του "Drop Foot" μετά από εγκεφαλικό είναι η χρήση ενός κνημοποδικού νάρθηκα (AFO). Μια εναλλακτική λύση για τον AFO είναι η λειτουργική ηλεκτρική διέγερση (FES) του κοινού περονιαίου νεύρου, η οποία παρέχει "ενεργή" ραχιαία κάμψη του αστραγάλου κατά τη φάση αιώρησης και διευκολύνει την ομαλή προσγείωση του ποδιού κατά την αρχική φάση στήριξης χωρίς να παρεμποδίζει την κίνηση του αστραγάλου κατά τη μέση φάση στήριξης (Alnajjar et al., 2021). Παρά τα θεωρητικά πλεονεκτήματα της FES σε σχέση με το AFO, και οι δύο παρεμβάσεις έχουν αποδειχθεί εξίσου αποτελεσματικές στη βελτίωση κοινών αποτελεσμάτων βάδισης όπως η ταχύτητα βάδισης και η φυσική δραστηριότητα (Alnajjar et al., 2021).

Μία δημοσιευμένη έρευνα των Berenpas et al. αναφέρει ότι τα θεωρητικά πλεονεκτήματα του FES έναντι του AFO σε αρκετές ομάδες έχουν δείξει ότι η αντικατάσταση του AFO με FES μπορεί πράγματι να βελτιώσει την κινητική της ποδοκνημικής. Στην βιβλιογραφική τους έρευνα αναφέρονται ότι η χρήση FES ενίσχυσε την πελματιαία κάμψη του αστραγάλου κατά την τελική φάση στήριξης και κατά την ώθηση, οδηγώντας σε καλύτερη συμμετρία στο μήκος βήματος. Παρόλο που η δύναμη πελματιαίας κάμψης στην τελική φάση στήριξης είναι εξαιρετικά σημαντική για την παραγωγή προώθησης, καθοριστικό ρόλο παίζει και η κάμψη του γόνατος στη φάση της αιώρησης (Berenpas et al., 2018). Πηγαίνοντας ένα βήμα παρακάτω οι Berenpas et al. χρησιμοποίησαν περονιαίο εμφύτευμα FES και επιβεβαίωσαν την υπόθεσή τους ότι το εμφύτευμα FES θα βελτιώσει τη σταθερότητα του γόνατος σε σύγκριση με το AFO σε ασθενείς με υπερέκταση του γόνατος στο πάσχον πόδι. Πολλοί από τους ασθενείς που μελέτησαν εμφάνιζαν υπερέκταση του γόνατος, η οποία ενισχύεται από έναν AFO καθώς περιορίζει την προώθηση της κνήμης κατά το δεύτερο μισό της φάσης στήριξης. Η βελτίωση ήταν μια μείωση κατά 14% της μέγιστης ταχύτητας της βίαιης έκτασης του γόνατος (Knee Extensor Thrust), μια διαφορά που μπορεί να έχει κλινική σημασία (Berenpas et al., 2018). Ωστόσο, δεν υπάρχει βιβλιογραφία σχετικά

με τη μικρότερη κλινικά σημαντική διαφορά για αυτό το αποτέλεσμα που να υποστηρίζει την ερμηνεία του και καμία προηγούμενη μελέτη δεν έχει συγκρίνει τη μέγιστη ταχύτητα βίαιης έκτασης του γόνατος μεταξύ FES και AFO.

Οι Winstein et al. σε μια συστηματική ανασκόπηση παρέθεσε δεδομένα για μια μικρή αλλά σημαντική θετική επίδραση της FES στην ικανότητα βάδισης σε άτομα στη χρόνια φάση μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Ομοίως υποστήριξε την αποτελεσματικότητα της FES στη βελτίωση της ταχύτητας βάδισης σε άτομα μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Σε μερικές τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (RCTs) που μελέτησαν έχουν παρατηρήσει βελτίωση της λειτουργίας βάδισης στη χρόνια και οξεία φάση μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο όταν η FES εφαρμόστηκε σε συνδυασμό με ένα συμβατικό πρόγραμμα αποκατάστασης (Winstein et al., 2016). Μελέτες που συνέκριναν τη χρήση ενός AFO με τη FES για τον έλεγχο της πτώσης του ποδιού κατά το περπάτημα έχουν βρει παρόμοια αποτελέσματα.

2.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις και ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης (TN)

Με τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία, η τεχνητή νοημοσύνη (TN) αναδεικνύεται ως ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας με τη δυναμική να μετασχηματίζει ριζικά την αποκατάσταση της κινητικότητας μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Ιδιαίτερα, η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης (deep learning) στοχεύει στη βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας ορθωτικών συσκευών όπως οι AFOs, συμβάλλοντας στην προσωποποιημένη αποκατάσταση της βάδισης.

Η μηχανική μάθηση είναι μια τεχνική τεχνητής νοημοσύνης (AI) όπου αποτελεί έναν αλγόριθμο που μαθαίνει πρότυπα και κανόνες από τις δεδομένες πληροφορίες. Η μηχανική μάθηση έχει πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ανίχνευση πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ πολλών χαρακτηριστικών/μεταβλητών και επομένως μπορεί να είναι χρήσιμη στην κλινική πρόβλεψη. Οι αλγόριθμοι νευρωνικών δικτύων μπορούν να αναλύσουν τα δεδομένα ασθενών και να προβλέψουν την πρόοδο της αποκατάστασης καθώς και την αποτελεσματικότητα διαφόρων θεραπευτικών προσεγγίσεων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προσαρμοσμένη και πιο αποτελεσματική θεραπεία για κάθε ασθενή.

Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης έχουν χρησιμοποιηθεί για να προβλέψουν την κινητική και λειτουργική αποκατάσταση στα οξεία και υποξεία στάδια του εγκεφαλικού επεισοδίου (Heo et al., 2019; Wang et al., 2019). Ωστόσο, μέχρι το 2021, καμία μελέτη μηχανικής μάθησης δεν έχει ερευνήσει την πρόβλεψη της ανάγκης για AFO σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι Choo et al. λαμβάνοντας υπόψη τον αναμενόμενο αντίκτυπο στη διαχείριση των εγκεφαλικών επεισοδίων, μελέτησε την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη ανάγκης για AFO σε ασθενείς

με εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι Choo et al. απέδειξαν στη μελέτη τους ότι οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, ειδικότερα το βαθύ νευρωνικό δίκτυο, μπορούν να βελτιώσουν την πρόβλεψη της ανάγκης για AFO σε ασθενείς με οξύ εγκεφαλικό επεισόδιο.

Παράλληλα, άλλες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην εφαρμογή deep learning σε ρομποτικές AFOs, με στόχο την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του χρήστη σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τον ρυθμό, την σταθερότητα και την ασφάλεια της βάδισης (Hussain et al., 2021).

Οι τεχνολογίες αυτές αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά τη γενικότερη συμμετοχή των ατόμων με κινητική αναπηρία στη φυσική και κοινωνική δραστηριότητα, μέσω της προσαρμοστικής αποκατάστασης που λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τη λειτουργία των αρθρώσεων, αλλά και τους εξατομικευμένους θεραπευτικούς στόχους του κάθε ασθενούς, καθιστώντας την TN έναν βασικό πυλώνα στην επόμενη γενιά αποκατάστασης μετά από αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια (Jung et al., 2024).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαχείριση των εγκεφαλικών επεισοδίων παρουσιάζεται συχνά ως προσωρινή κατάσταση, αγνοώντας τη χρόνια φύση της. Η παροχή φροντίδας από την αρχική κρίση μέχρι την επανένταξη στην κοινωνία είναι καθοριστική (Mentis et al. 2021). Πάνω από το 30% των ασθενών αντιμετωπίζουν χρόνιους περιορισμούς στην κίνηση και σε άλλες πτυχές της καθημερινότητάς τους. Οι πτώσεις και οι τραυματισμοί αποτελούν σοβαρό κίνδυνο, ενώ η έλλειψη λειτουργικότητας επηρεάζει την ποιότητα ζωής (Clarimon et al. 2005). Η αναγνώριση των παραγόντων κινδύνου και των προειδοποιητικών σημάδιων βελτιώνει την πρόληψη, ενώ οι επαγγελματίες υγείας πρέπει να δίνουν προσοχή στις πολύπλευρες επιπτώσεις της νόσου και να διατηρούν μια διεπιστημονική ματιά στο κλινικό συλλογιστικό.

Οι AFOs είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι ορθοπεδικοί εξοπλισμοί που χρησιμοποιείται στην ανάκτηση της ικανότητας βάδισης σε ασθενείς που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι AFOs βοηθούν στη διατήρηση της ισορροπίας και τη βελτίωση των παθολογικών προτύπων βάδισης, ενώ η χρήση τους επηρεάζει θετικά την κίνηση του ασθενούς. Η εφαρμογή AFOs φαίνεται να συμβάλλει στην αποκατάσταση της εμβιομηχανικής συμμετρίας, στη μείωση του κινδύνου πτώσεων και στην ενίσχυση της ανεξαρτησίας των ασθενών. Ωστόσο, η ετερογένεια των παρεμβάσεων, των πληθυσμιακών ομάδων και των μεθοδολογικών εργαλείων αξιολόγησης καθιστά δύσκολη την εξαγωγή απόλυτων συμπερασμάτων. Παρόλο που χρησιμοποιούνται ευρέως στην αποκατάσταση της ποδοκνημικής λειτουργίας των ασθενών που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο, λόγω της απλής και αποτελεσματικής δομής τους έχουν μερικά μειονεκτήματα

συγκριτικά με μεταγενέστερες μεθόδους αποκατάστασης όπως ο ηλεκτρικός μυϊκός ερεθισμός. Τεχνική η οποία παρακάμπτει την κακή (κατά πολλούς ασθενείς) αισθητική παράμετρο κάνοντας βήματα προς το μέλλον. Μέλλον που δεν αφήνει εκτός τους σύγχρονους προβληματισμούς και την εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης που πέρα από χρήση της για πρόβλεψη προόδου αποκατάστασης καλείται να παίζει καταλυτικό ρόλο και στη ρομποτική αποκατάσταση.

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση ανέδειξε τη σημασία της χρήσης των κνημοποδικών ορθωτικών συσκευών (AFOs) στην αποκατάσταση της λειτουργικότητας του κάτω άκρου μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι περισσότερες μελέτες κατέδειξαν θετική επίδραση των AFOs στη βελτίωση της βάδισης, της ισορροπίας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των ασθενών, ενώ παρατηρήθηκε διαφοροποίηση της αποτελεσματικότητας ανάλογα με τον τύπο της συσκευής και τη φάση της αποκατάστασης.

Η παρούσα εργασία ενισχύει τη θέση των AFOs ως ένα σημαντικό μέσο στη μετα-εγκεφαλική αποκατάσταση, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για εξατομικευμένη προσέγγιση στην επιλογή και χρήση της ορθωτικής συσκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Alam, M., Choudhury, I.A., Mamat, A.B., 2014. Mechanism and Design Analysis of Articulated Ankle Foot Orthoses for Drop-Foot. *The Scientific World Journal* 2014, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2014/867869>
- Alnajjar, F., Zaier, R., Khalid, S., Gochoo, M., 2021. Trends and Technologies in Rehabilitation of Foot Drop: A Systematic Review. *Expert Review of Medical Devices* 18, 31–46. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1857729>
- Aloizou, A. M., V. Siokas, G. Pateraki, I. Liampas, C. Bakirtzis, Z. Tsouris, G. Lazopoulos, D. Calina, A. O. Docea, A. Tsatsakis, D. P. Bogdanos, and E. Dardiotis. 2021. 'Thinking outside the Ischemia Box: Advancements in the Use of Multiple Sclerosis Drugs in Ischemic Stroke', *J Clin Med*, 10.
- Beka, D., C. Marogianni, S. Ralli, O. Karyda, J. Hatzioannou, G. M. Hadjiigeorgiou, E. Dardiotis, I. Bizakis, C. E. Skoulakis, and V. A. Lachanas. 2022. 'Bilateral Vocal Cord Palsy as the Only Symptom of Thymoma Associated-Myasthenia Gravis', *Maedica (Bucur)*, 17: 230-33.
- Berenpas, F., Schiemanck, S., Beelen, A., Nollet, F., Weerdesteyn, V., Geurts, A., 2018. Kinematic and kinetic benefits of implantable peroneal nerve stimulation in people with post-stroke drop foot using an ankle-foot orthosis. *Restorative Neurology and Neuroscience* 36, 547–558. <https://doi.org/10.3233/RNN-180822>
- Capirossi, C., Laiso, A., Renieri, L., Capasso, F., Limbucci, N., 2023. Epidemiology, organization, diagnosis and treatment of acute ischemic stroke. *European Journal of Radiology Open* 11, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2023.100527>
- Choo, Y.J., Chang, M.C., 2021. Effectiveness of an ankle–foot orthosis on walking in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 11, 15879. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95449-x>
- Clarimon, J., G. Xiromerisiou, J. Eerola, V. Gourbali, O. Hellström, E. Dardiotis, T. Peuralinna, A. Papadimitriou, G. M. Hadjiigeorgiou, P. J. Tienari, and A. B. Singleton. 2005. 'Lack of evidence for a genetic association between FGF20 and Parkinson's disease in Finnish and Greek patients', *BMC Neurol*, 5: 11.

Dardiotis, E., V. Siokas, S. Moza, M. H. Kosmidis, C. Vogiatzi, A. M. Aloizou, N. Geronikola, E. Ntanasi, I. Zalonis, M. Yannakoulia, N. Scarmeas, and G. M. Hadjigeorgiou. 2019. 'Pesticide exposure and cognitive function: Results from the Hellenic Longitudinal Investigation of Aging and Diet (HELIAD)', *Environ Res*, 177: 108632.

Daryabor, A., Arazpour, M., Aminian, G., 2018. Effect of different designs of ankle-foot orthoses on gait in patients with stroke: A systematic review. *Gait & Posture* 62, 268–279. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.026>

De Sèze, M.-P., Bonhomme, C., Daviet, J.-C., Burguete, E., Machat, H., Rousseaux, M., Mazaux, J.M., 2011. Effect of early compensation of distal motor deficiency by the Chignon ankle-foot orthosis on gait in hemiplegic patients: a randomized pilot study. *Clin Rehabil* 25, 989–998. <https://doi.org/10.1177/0269215511410730>

Donkor, E.S., 2018. Stroke in the 21st Century: A Snapshot of the Burden, Epidemiology, and Quality of Life. *Stroke Research and Treatment* 2018, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/3238165>

Eddison, N., Healy, A., Buchanan, D., Chockalingam, N., 2022. Standardised classification system for bespoke thermoplastic ankle foot orthoses. *The Foot* 53, 101924. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2022.101924>

Erel, S., Uygur, F., Engin Şimşek, İ., Yakut, Y., 2011. The effects of dynamic ankle-foot orthoses in chronic stroke patients at three-month follow-up: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 25, 515–523. <https://doi.org/10.1177/0269215510390719>

Heo, J., Yoon, J.G., Park, H., Kim, Y.D., Nam, H.S., Heo, J.H., 2019. Machine Learning–Based Model for Prediction of Outcomes in Acute Stroke. *Stroke* 50, 1263–1265. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.024293>

Hussain, S., Jamwal, P.K., Vliet, P.V., Brown, N.A.T., 2021. Robot Assisted Ankle Neuro-Rehabilitation: State of the art and Future Challenges. *Expert Review of Neurotherapeutics* 21, 111–121. <https://doi.org/10.1080/14737175.2021.1847646>

Jung, S., Bong, J.H., Kim, K., Park, S., 2024. Machine-learning-based coordination of powered ankle–foot orthosis and functional electrical stimulation for gait control. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 11, 1272693. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1272693>

- Karakkattil, P.S., Trudelle-Jackson, E., Medley, A., Swank, C., 2020. Effects of two different types of ankle-foot orthoses on gait outcomes in patients with subacute stroke: a randomized crossover trial. *Clin Rehabil* 34, 1094–1102. <https://doi.org/10.1177/0269215520927738>
- Kim, T.J., Seo, K.M., Kim, D.-K., Kang, S.H., 2015. The Relationship Between Initial Trunk Performances and Functional Prognosis in Patients With Stroke. *Ann Rehabil Med* 39, 66. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.1.66>
- Liampas, I., V. Folia, R. Morfakidou, V. Siokas, M. Yannakoulia, P. Sakka, N. Scarmeas, G. Hadjigeorgiou, E. Dardiotis, and M. H. Kosmidis. 2023. 'Language Differences Among Individuals with Normal Cognition, Amnestic and Non-Amnestic MCI, and Alzheimer's Disease', *Arch Clin Neuropsychol*, 38: 525-36.
- Marogianni, C., D. Georgouli, K. Dadouli, P. Ntellas, D. Rikos, G. M. Hadjigeorgiou, C. Spanaki, and G. Xiromerisiou. 2021. 'Identification of a novel de novo KMT2B variant in a Greek dystonia patient via exome sequencing genotype-phenotype correlations of all published cases', *Mol Biol Rep*, 48: 371-79.
- Mentis, A. A., E. Dardiotis, V. Efthymiou, and G. P. Chrousos. 2021. 'Non-genetic risk and protective factors and biomarkers for neurological disorders: a meta-umbrella systematic review of umbrella reviews', *BMC Med*, 19: 6.
- Moraitou, M., G. Hadjigeorgiou, I. Monopolis, E. Dardiotis, M. Bozi, D. Vassilatis, L. Vilageliu, D. Grinberg, G. Xiromerisiou, L. Stefanis, and H. Michelakakis. 2011. 'β-Glucocerebrosidase gene mutations in two cohorts of Greek patients with sporadic Parkinson's disease', *Mol Genet Metab*, 104: 149-52.
- Morrow, E., Bowers, R., 2019. Post-stroke ankle-foot orthoses: Examining referral trends in the Scottish multi-disciplinary team. *Health Planning & Management* 34, 521–533. <https://doi.org/10.1002/hpm.2713>
- Nasios, G., Messinis, L., Dardiotis, E., Sgantzios, M., 2023. Neurorehabilitation: Looking Back and Moving Forward, 1st Edition. *Healthcare* 11, 1452. <https://doi.org/10.3390/healthcare11101452>
- Nousia, A., M. Martzoukou, Z. Tsouris, V. Siokas, A. M. Aloizou, I. Liampas, G. Nasios, and E. Dardiotis. 2020. 'The Beneficial Effects of Computer-Based Cognitive Training in Parkinson's Disease: A Systematic Review', *Arch Clin Neuropsychol*, 35: 434-47.

O'Donnell, M.J., Chin, S.L., Rangarajan, S., Xavier, D., Liu, L., Zhang, H., Rao-Melacini, P., Zhang, X., Pais, P., Agapay, S., Lopez-Jaramillo, P., Damasceno, A., Langhorne, P., McQueen, M.J., Rosengren, A., Dehghan, M., Hankey, G.J., Dans, A.L., Elsayed, A., Avezum, A., Mondo, C., Diener, H.-C., Ryglewicz, D., Czlonkowska, A., Pogosova, N., Weimar, C., Iqbal, R., Diaz, R., Yusoff, K., Yusufali, A., Oguz, A., Wang, X., Penaherrera, E., Lanas, F., Ogah, O.S., Ogunniyi, A., Iversen, H.K., Malaga, G., Rumboldt, Z., Oveisgharan, S., Al Hussain, F., Magazi, D., Nilanont, Y., Ferguson, J., Pare, G., Yusuf, S., 2016. Global and regional effects of potentially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study. *The Lancet* 388, 761–775. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30506-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30506-2)

Ohtsuka, K., Mukaino, M., Yamada, J., Fumihiro, M., Tanikawa, H., Tsuchiyama, K., Teranishi, T., Saitoh, E., Otaka, Y., 2023. Effects of ankle-foot orthosis on gait pattern and spatiotemporal indices during treadmill walking in hemiparetic stroke. *International Journal of Rehabilitation Research* 46, 316–324. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000602>

Prosthetics and orthotics — Categorization and description of external orthoses and orthotic components. Edition 1, 2007. URL <https://www.iso.org/standard/41480.html>

Sato, K., Inoue, T., Maeda, K., Shimizu, A., Murotani, K., Ueshima, J., Ishida, Y., Ogawa, T., Suenaga, M., 2022. Early Wearing of Knee-Ankle-Foot Orthosis Improves Functional Prognosis in Patients after Stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases* 31, 106261. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.106261>

Sinani, O., K. Dadouli, P. Ntellas, E. Z. Kapsalaki, M. Vlychou, D. G. Raptis, C. Marogianni, K. Markou, E. Dardiotis, and G. Xiromerisiou. 2022. 'Association between white matter lesions and Parkinson's disease: an impact on Postural/Gait difficulty phenotype and cognitive performance', *Neurol Res*, 44: 1122-31.

Siokas, V., A. M. Aloizou, Z. Tsouris, A. Michalopoulou, A. A. Mentis, and E. Dardiotis. 2018. 'Risk Factor Genes in Patients with Dystonia: A Comprehensive Review', *Tremor Other Hyperkinet Mov (N Y)*, 8: 559.

Siokas, V., E. Dardiotis, E. E. Tsironi, G. Tsivgoulis, D. Rikos, M. Sokratous, S. Koutsias, K. Paterakis, G. Deretzi, and G. M. Hadjigeorgiou. 2017. 'The Role of TOR1A Polymorphisms in Dystonia: A Systematic Review and Meta-Analysis', *PLoS One*, 12: e0169934.

- Taylor-Piliae, R.E., Hoke, T.M., Hepworth, J.T., Latt, L.D., Najafi, B., Coull, B.M., 2014. Effect of Tai Chi on Physical Function, Fall Rates and Quality of Life Among Older Stroke Survivors. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 95, 816–824. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.01.001>
- Tomioka, K., Matsumoto, S., Ikeda, K., Uema, T., Sameshima, J.-I., Sakashita, Y., Kaji, T., Shimodozono, M., 2017. Short-term effects of physiotherapy combining repetitive facilitation exercises and orthotic treatment in chronic post-stroke patients. *J Phys Ther Sci* 29, 212–215. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.212>
- Total, D., Menon, M., Jones-Hershinow, C., Barton, K., Gates, D.H., 2019. The impact of ankle-foot orthosis stiffness on gait: A systematic literature review. *Gait & Posture* 69, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.020>
- Tsuchiyama, K., Mukaino, M., Ohtsuka, K., Matsuda, F., Tanikawa, H., Yamada, J., Pongpipatpaiboon, K., Kanada, Y., Saitoh, E., Otaka, Y., 2022. Effects of ankle-foot orthoses on the stability of post-stroke hemiparetic gait. *Eur J Phys Rehabil Med* 58. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.21.07048-9>
- Tyson, S.F., Kent, R.M., 2013. Effects of an Ankle-Foot Orthosis on Balance and Walking After Stroke: A Systematic Review and Pooled Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 94, 1377–1385. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.12.025>
- Vistamehr, A., Kautz, S.A., Neptune, R.R., 2014. The influence of solid ankle-foot-orthoses on forward propulsion and dynamic balance in healthy adults during walking. *Clinical Biomechanics* 29, 583–589. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.02.007>
- Wang, H.-L., Hsu, W.-Y., Lee, M.-H., Weng, H.-H., Chang, S.-W., Yang, J.-T., Tsai, Y.-H., 2019. Automatic Machine-Learning-Based Outcome Prediction in Patients With Primary Intracerebral Hemorrhage. *Front. Neurol.* 10, 910. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00910>
- Weltgesundheitsorganisation (Ed.), 1989. International classification of impairments, disabilities, and handicaps: a manual of classification relating to the consequences of disease, Repr. ed. WHO, Genf.

Winstein, C.J., Stein, J., Arena, R., Bates, B., Cherney, L.R., Cramer, S.C., Deruyter, F., Eng, J.J., Fisher, B., Harvey, R.L., Lang, C.E., MacKay-Lyons, M., Ottenbacher, K.J., Pugh, S., Reeves, M.J., Richards, L.G., Stiers, W., Zorowitz, R.D., 2016. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 47. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000098>

World Health Organization, 2023. Rehabilitation.

Zhou, C., Yang, Z., Li, K., Ye, X., 2022. Research and Development of Ankle–Foot Orthoses: A Review. *Sensors* 22, 6596. <https://doi.org/10.3390/s22176596>

Zissimopoulos, A., Fatone, S., Gard, S., 2015. Effects of ankle–foot orthoses on mediolateral foot-placement ability during post-stroke gait. *Prosthetics & Orthotics International* 39, 372–379. <https://doi.org/10.1177/0309364614534294>