



ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



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

*Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

*«Εκπαίδευση ιδιοδεκτικότητας στα κάτω άκρα σε ασθενείς μετά από  
αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο»*

Όνομα Επώνυμο Φοιτητή

Πάππας Θωμάς

Ειδικότητα

Φυσικοθεραπευτής

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

Λάρισα, Ιανουάριος 2022

«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 τις πηγές τους στο τμήμα της βιβλιογραφίας.

Υπογραφή:

Πάππας Θωμάς

## ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΠΑΠΠΑΣ ΘΩΜΑΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, 2021

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

*ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ*

*ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ*

*ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ*

### **Επιβλέπων:**

*Βασιλική Φώλια, Επικ. Καθηγήτρια Ψυχολογίας Α.Π.Θ.*

### **Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:**

1. *Βασιλική Φώλια, Επικ. Καθηγήτρια Ψυχολογίας Α.Π.Θ.*

- (*Επιβλέπων*),

2. *Ευθύμιος Δαρδιώτης, Αναπλ. Καθηγητής Νευρολογίας Π.Θ.*

3. *Σγάντζος Μάρκος, Αναπλ. Καθηγητής Ανατομίας – Ιστορίας Ιατρικής Π.Θ.*

### **Αναπληρωματικό μέλος:**

.....

Τίτλος εργασίας στα Αγγλικά:

***“Proprioceptive training at lower limbs on patients after a stroke”***

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Όνοματεπώνυμο φοιτητή

Πάππας Θωμάς

## ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ (προαιρετικά)

Ονομάζομαι Πάππας Θωμάς και είμαι γεννηθείς στις 5/12/1988. Αποφοίτησα από το τμήμα φυσικοθεραπείας Πατρών (παράρτημα Αιγίου) το 2011 και έκτοτε είμαι μέλος του πανελληνίου συλλόγου φυσικοθεραπευτών αποκτώντας την άδεια ασκήσεως του επαγγέλματος. Η προϋπηρεσία μου ξεκίνησε το 2013 σε κέντρα αποκατάστασης της πόλης της Λάρισας, εφόσον εκπλήρωσα τη στρατιωτική μου θητεία το 2012. Οι κλινική μου άσκηση βασίζεται σε νευρολογικούς ασθενείς κυρίως εσωτερικής – εξωτερικής νοσηλείας, καθώς και σε βαρέως πάσχοντες ασθενείς από μονάδες αυξημένης φροντίδας και εντατικής θεραπείας. Έχω εξειδικευτεί στις μεθόδους - τεχνικές της Bobath NDT και της PNF που απευθύνονται σε ενήλικες νευρολογικούς ασθενείς, έχω παρακολουθήσει σεμινάρια αποκατάστασης βαρέως πασχόντων από μονάδες, σεμινάρια αποκατάστασης της σκλήρυνσης κατά πλάκας, κακώσεων νωτιαίου μυελού, αναπνευστικής αποκατάστασης, αξιολόγησης – διαχείρισης πόνου ενώ είμαι εξειδικευμένος και σε μεθόδους – τεχνικές στη μυοσκελετική αποκατάσταση. Από το 2019 συνεχίζω να εργάζομαι στο δικό μου εργαστήριο φυσικοθεραπείας στη πόλη του Βόλου και να παρακολουθώ νευρολογικούς ασθενείς στον ειδικά διαμορφωμένο μου χώρο καθώς και σε θεραπείες κατ'οίκον. Η ενημέρωσή μου γύρω από τη νευροαποκατάσταση προέρχεται από ερευνητικά άρθρα του διαδικτύου, συνέδρια και ημερίδες. Ο στόχος που επέλεξα το μεταπτυχιακό της νευροαποκατάστασης είναι να διευρύνω τον τρόπο σκέψης μου, τη σφαιρική μου προσέγγιση καθώς και να εμπλουτίσω τις θεραπείες μου με νέες γνώσεις.

## Περίληψη

Αντικείμενο: Η μυϊκή αδυναμία είναι συχνή συνέπεια του εγκεφαλικού επεισοδίου και ενδέχεται να οδηγήσει σε μείωση της κινητικής λειτουργίας στα κάτω άκρα. Συνήθως παρατηρούνται μείωση της ταχύτητας βάρδισης και αυξημένη ασυμμετρία βάρδισης. Προκειμένου να κατανοηθεί το πρόβλημα, παρατίθενται συνοπτικά, ορισμένα δεδομένα για τη φύση του εγκεφαλικού επεισοδίου και την έννοια της ιδιοδεκτικότητας

Στόχος: είναι ο εντοπισμός νεότερων γνώσεων, οι οποίες συμβαδίζουν με την τεχνολογική πρόοδο, πάνω στις τεχνικές που ενισχύουν τα κάτω άκρα, ώστε να βελτιωθεί η δύναμη, η ισορροπία και η ικανότητα βάδισης ασθενών με χρόνιο εγκεφαλικό επεισόδιο.

Πληθυσμός μελέτης: Αναλύθηκαν δεκαπέντε μελέτες, με τη συμμετοχή 503 ασθενών συνολικά.

Μέθοδος: πραγματοποιήθηκε συστηματική ανασκόπηση, με συλλογή τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών σε βάσεις δεδομένων όπως η Pubmed. Οι μελέτες επιλέχθηκαν με ορισμένα κριτήρια όπως η χρονολογία, η εφαρμογή πρόσφατων τεχνολογιών και το αναφερόμενο αποτέλεσμα.

Αποτελέσματα: αναφέρονται ποικίλου βαθμού βελτιώσεις της κινητικότητας των κάτω άκρων. Υπάρχει σαφής τάση να δοκιμαστούν ρομποτικές συσκευές, αρκετές φορές σε συνδυασμό με ήδη γνωστές τεχνικές. Τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται δίνουν αρκετές ελπίδες, χωρίς να θεωρηθούν ότι είναι θεαματικά και οριστικά.

Κύρια συμπεράσματα: Η γενικότερη εικόνα είναι ότι οι παρεμβάσεις βρίσκονται μεν σε καλό δρόμο, αλλά οι έρευνες για τη βελτίωσή τους πρέπει να συνεχιστούν.

**Λέξεις – Κλειδιά:** ιδιοδεκτικότητα, εγκεφαλικό, φυσικοθεραπεία, βάδιση, ρομποτική συσκευή

## **Abstract**

Objective: Muscle weakness is a common consequence of stroke and may lead to decreased motor function in the lower extremities. Decreased gait speed and increased gait asymmetry are usually observed. In order to understand the problem, some data on the nature of the stroke and the concept of proprioception are summarized.

Goal: is to identify new knowledge, which is in line with technological progress, on techniques that empower the lower extremities, to improve the strength, balance and gait of patients with chronic stroke.

Study population: Fifteen studies were analyzed, involving a total of 503 patients.

Method: A systematic review was performed, with a collection of randomized controlled trials in databases such as Pubmed. The studies were selected according to certain criteria such as the date, the application of recent technologies and the reported result.

Results: varying degrees of improvements in lower limb mobility are reported. There is a clear tendency to test robotic devices, several times in combination with already known techniques. The results achieved give a lot of hope, without being considered spectacular and definitive.

Main conclusions: The general picture is that the interventions are well on their way, but research to improve them must continue.

**Key words:** proprioception, stroke, physiotherapy, gait, robotic device

## **Πίνακας Περιεχομένων**

<b>Ευχαριστίες</b> .....	4
<b>Περίληψη</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Εισαγωγή</b> .....	13
<b>Σκοπός της εργασίας</b> .....	13



<b>ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	15
<b>Κεφάλαιο 1. Εγκεφαλικό επεισόδιο</b>	15
1.1 Επιδημιολογικά στοιχεία	15
1.2 Τύποι εγκεφαλικού επεισοδίου που συμβάλλουν στη λειτουργική εξασθένιση	16
1.3 Παράγοντες πρόκλησης αγγειακού κινδύνου	18
1.4 Νόσος μεγάλων (ή μεγάλου μεγέθους) αγγείων έναντι μικρών (ή μικρού μεγέθους) αγγείων	18
1.5 Κίνδυνος για τον εγκέφαλο από την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία	19
1.6 Αθηροσκλήρωση και υπερχοληστερολαιμία	21
1.6.1 Αθηροσκλήρωση	21
1.6.2 Αλλαγές στην αγγειακή δομή και μηχανική	23
1.6.3 Υπερχοληστερολαιμία	24
<b>Κεφάλαιο 2. Ιδιοδεκτικότητα</b>	25
2.1 Ορισμός της ιδιοδεκτικότητας	25
2.2 Ιδιοδεκτικότητα και κιναισθησία	26
2.3 Μυϊκές άτρακτοι στα θηλαστικά και χορδοτονικά όργανα στα έντομα	28
2.4 Τενόντια όργανα Golgi	28
2.5 Υποδοχείς αρθρώσεων και τριχοειδείς/κροσσωτές πλάκες	30
2.6 Κεντρικές προβολές αξόνων ιδιοδεκτικών υποδοχέων	30
2.7 Συμπεριφορικές χρήσεις της ιδιοδεκτικότητας	31
2.8 Ο ρόλος της ιδιοδεκτικής ανάδρασης στη δημιουργία περίπλοκων ακολουθιών κινήσεων	32
2.8.1 Ευέλικτη ρύθμιση της ιδιοδεκτικής ανάδρασης	32
2.8.2 Εκτίμηση κατάστασης για κινήσεις σχεδιασμού και αυξημένης λεπτομέρειας	37
2.9 «Συνειδητή» αντίληψη του σώματος: ψυχοσωματικά όρια και παραπλανητική παρουσίαση	39
2.9.1 Προσδιορισμός τοποθεσιών και μηχανισμών πολυτροπικής (multimodal) ολοκλήρωσης	40
2.9.2 Πώς επηρεάζεται η ιδιοδεκτικότητα στα κάτω άκρα μετά από	

αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια .....	41
<b>ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	45
<b>Κεφάλαιο 3. Φυσικοθεραπευτική παρέμβαση – μορφές αποκατάστασης ....</b>	45
3.1 Κλασσική φυσικοθεραπεία από έγκυρα θεραπευτικά πρωτόκολλα .....	45
3.2 Υδροθεραπεία .....	46
3.3 Ρομποτική αποκατάσταση .....	47
3.4 Ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση και εικονική πραγματικότητα .....	48
3.5 Διακρανιακή διέγερση συνεχούς ρεύματος ως υποσχόμενη θεραπεία	50
<b>Κεφάλαιο 4. Επιλεγμένες μελέτες .....</b>	51
4.1 Μεθοδολογία – κριτήρια συμπερίληψης μελετών .....	51
4.2 Τελική Διαλογή .....	51
4.3 Αποτελέσματα .....	52
4.3.1 Μελέτες με ρομποτικές συσκευές .....	52
4.3.2 Διερεύνηση της PNF .....	55
4.3.3 PNF, σε συνδυασμό με ρομποτικές συσκευές .....	56
4.3.4 PNF σε συνδυασμό με εικονική πραγματικότητα (VR) .....	57
4.3.5 Βιντεοπαιχνίδι που είναι εμπορικά διαθέσιμο .....	58
4.3.6 Μέθοδοι διέγερσης με ηλεκτρικό ρεύμα .....	59
4.3.7 Μελέτες που αναφέρονται σε τεχνικές άσκησης .....	63
4.3.8 Μελέτη με χρήση υδροθεραπείας .....	68
4.4 Συνοπτικοί πίνακες μελετών .....	71
<b>Συζήτηση .....</b>	96
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	99

<b>Πίνακες</b>	<b>Σελ.</b>
Πίνακας 1. Μελέτες που αναφέρονται σε ρομποτικές συσκευές .....	71
Πίνακας 2. Μελέτες που αναφέρονται στη PNF .....	74
Πίνακας 3. Μελέτη που αναφέρεται στη PNF, σε συνδυασμό με ρομποτικές συσκευές	76

Πίνακας 4. Μελέτη που αναφέρεται στη PNF σε συνδυασμό με εικονική πραγματικότητα (VR) .....	78
Πίνακας 5. Μελέτη που αναφέρεται σε βιντεοπαιχνίδι που είναι διαθέσιμο στην αγορά .....	80
Πίνακας 6. Μελέτες που αναφέρονται σε διέγερση με ηλεκτρικό ρεύμα .....	82
Πίνακας 7. Μελέτες που αναφέρονται σε τεχνικές άσκησης .....	88
Πίνακας 8. Μελέτη που αναφέρεται σε υδροθεραπεία .....	94

<b>Εικόνες</b>	<b>Σελ.</b>
Εικόνα 1. Μέσα για την εφαρμογή της ιδιοδεκτικότητας .....	29
Εικόνα 2Α. Λειτουργία ιδιοδεκτικότητας .....	33
Εικόνα 2Β. Αντανακλαστική αναστροφή στους αισθητικοκινητικούς βρόχους των	

κάτω άκρων .....	35
Εικόνα 2C. Η δόνηση του τένοντα διεγείρει κατά προτίμηση τους Ia προσαγωγούς και διαταράσσει τις εκούσιες κινήσεις των άκρων .....	36
Εικόνα 2D. Test και σφάλματα προσέγγισης από ακρίδα.....	37
Εικόνα 3. Σύστημα εξωσκελετού στερεωμένο στη μια πλευρά.....	52
Εικόνα 4. (α) AFO υποβοηθούμενη από ρομπότ και (β) ασθενείς με εγκεφαλικό που περπατούν σε σκάλες φορώντας το υποβοηθούμενο από ρομπότ AFO .....	54
Εικόνα 5. Επισκόπηση της συσκευής PKU-RARS .....	56
Εικόνα 6A. Διασταυρούμενη προπόνηση που εφαρμόζεται από το ισχίο ως το άκρο του ποδιού, μέσω του γόνατος .....	64
Εικόνα 6B. Διασταυρούμενη προπόνηση που εφαρμόζεται από το γόνατο ως τον άκρο πόδα .....	65
Εικόνα 7. Σύστημα μονόπλευρης διατάραξης σε πλατφόρμα.....	66
Εικόνα 8. (α) Η CoP τροχιά του παρρετικού άκρου .....	67
Εικόνα 9. Πρότυπα ασκήσεων αποκατάστασης ισορροπίας .....	67
Εικόνα 7A. Παρέμβαση σε διαδρόμο βυθισμένο σε νερό, υπό την επίβλεψη ενός φυσικοθεραπευτή .....	69
Εικόνα 7B. Μέτρηση δοκιμής άνετης βάδισης και χωροχρονικές παράμετροι βάδισης, με τη χρήση συστήματος ανάλυσης κίνησης .....	69

## Συνομογραφίες

Αξονική Τομογραφία	CT, Computed Tomography
Αγγειακή Άνοια	VaD, Vascular Dementia
Προσαρμοσμένα στην Ανικανότητα Λόγω	DALYs, Disability Adjusted Life Years

Ασθένειας, Έτη Ζωής	
Νόσος Των Μεγάλων και των Μικρών Αγγείων	SVD, Small Vessel Disease
Πράσινη Φθορίζουσα Πρωτεΐνη	GFP, Green Fluorescent Protein
Υποβοηθούμενη από Ρομπότ Όρθωση Άκρου Πόδα	AFO, Robot-Assisted Ankle-Foot-Orthosis
Ιδιοδεκτική Νευρομυϊκή Διευκόλυνση	PNF, Proprioceptive Neuromuscular Facilitation
Εικονική Πραγματικότητα	VR, virtual reality
Διακρανιακή Διέγερση Συνεχούς Ρεύματος	tDCS, Transcranial Direct Current Stimulation
Παρεγκεφαλιδική Διαλείπουσα Διέγερση Theta- Έκρηξης	CRB-iTBS
Επιφανειακή Ηλεκτρομυογραφία	sEMG
Δοκιμή Βημάτων Τεσσάρων Τετραγώνων	FSST, Four-Square Step Test
Διαδερμική Ηλεκτρική Νευρική Διέγερση	TENS, Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation
Σύστημα Αποκατάστασης Ισορροπίας με χρήση Εικονικής Πραγματικότητας	V2BaT, VR-based two WiiBB-assisted balance training system

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το εγκεφαλικό επεισόδιο αποτελεί μείζονα αιτία αναπηρίας παγκοσμίως. Μετά από ένα τόσο σοβαρό συμβάν, ενδέχεται να επηρεαστεί η αντίληψη της ισορροπίας, την οποία υπό κανονικές συνθήκες τη θεωρούμε ως δεδομένη. Η συνέπεια είναι ότι επηρεάζεται

αιφνιδιαστικά η ικανότητα εκτέλεσης συνηθισμένων κατά τα άλλα δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής. Επίσης, είναι συχνό το φαινόμενο, η διαταραχή της ισορροπίας μετά το εγκεφαλικό, να σχετίζεται με μειωμένο έλεγχο της στάσης του σώματος, σε ημιπληγικούς ασθενείς. Αυτό συμβαίνει επειδή τα αισθητηριακά και κινητικά ελλείμματα που προκαλούνται από το εγκεφαλικό, αναγκάζουν τους ασθενείς με ημιπληγία να βασιστούν σε μεγάλο βαθμό στο μη παρειακό πόδι τους και να μειώσουν τη χρήση του παρειακού άκρου, για να προσαρμόσουν τη στάση του σώματος. Καθώς συνεχίζεται η μελέτη πάνω στην ιδιοδεκτικότητα, αλλά και οι περιορισμοί που εμπεριέχονται στην παραδοσιακή θεραπεία, γίνονται νέες διαπιστώσεις για το γεγονός ότι η επανάληψη των κινήσεων με τον ίδιο τρόπο, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ο ασθενής να μην επικεντρώνεται στη θεραπεία όσο χρειάζεται. Κατά συνέπεια, η απώλεια της αποτελεσματικότητας οδηγεί σε λύσεις που προσφέρει κυρίως η πρόοδος της τεχνολογίας, όπως η αλληλεπίδραση του χρήστη με ένα εικονικό περιβάλλον. Αυτή η απόδοση της κίνησης εμφανίζεται στο εικονικό περιβάλλον και, στη συνέχεια, το σύστημα παρέχει πολυτροπική ανατροφοδότηση σχετικά με την εκτέλεση κίνησης.

Μέσω των εξωτερικών (όπως η όραση) και των εσωτερικών αισθήσεων (ουσιαστικά, της ιδιοδεκτικότητας) η αισθητηριακή ανατροφοδότηση ενσωματώνεται στη νοητική αναπαράσταση του ασθενούς. Η τεχνολογία δίνει επίσης τη δυνατότητα να επανασχεδιαστούν οι προτεινόμενες ασκήσεις, για να επιτευχθεί ο στόχος της βελτίωσης της κινητικής λειτουργίας.

Επίσης, μπορεί να προτιμηθεί συνδυασμός παραδοσιακών τεχνικών με διαδραστικές τεχνολογίες, επιτρέποντας στο άτομο να συμμετέχει, ενώ εμβυθίζεται στο περιβάλλον αποκατάστασης.

### **Σκοπός της εργασίας**

Είναι ενδιαφέρον για τους κλινικούς και τους ερευνητές, να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της σωματοαισθητηριακής επανεκπαίδευσης των κάτω άκρων, από ένα πλήθος ερευνών που διεξάγονται τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος και της ελπίδας που πηγάζει από την πρόοδο της τεχνολογίας. Υπάρχει επομένως υλικό για τη διεξαγωγή συστηματικών ανασκοπήσεων, όπως η παρούσα, με σκοπό τη συγκέντρωση περιγραφών των μεθόδων και των αποτελεσμάτων τους στη σωματοαισθητική λειτουργικότητα, την ισορροπία, τη βάδιση, την κινητική δυσλειτουργία, στα κάτω άκρα.

## **ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εγκεφαλικό επεισόδιο**

#### **1.1 Επιδημιολογικά στοιχεία**

Το εγκεφαλικό επεισόδιο, ως η τρίτη κύρια αιτία θανάτου, θεωρείται σημαντική αιτία μακροχρόνιας αναπηρίας και γνωσιακής εξασθένησης. Γι' αυτό απαιτεί τεράστιας έκτασης πόρους από τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Η επίπτωση (συχνότητα εμφάνισης) του εγκεφαλικού διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με την ηλικιακή δομή του υπό μελέτη πληθυσμού. Η προσαρμοσμένη στην ηλικία ετήσια επίπτωση όλων των εγκεφαλικών επεισοδίων που συμβαίνουν για πρώτη φορά σε διάφορες χώρες, έχει αλλάξει σημαντικά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες (1970–2010). Η συχνότητα των εγκεφαλικών επεισοδίων στη Βρετανία έχει μειωθεί και η επιβίωση μετά το εγκεφαλικό έχει βελτιωθεί τα 10 τελευταία χρόνια. Η βελτιωμένη φαρμακευτική θεραπεία στην πρωτοβάθμια περίθαλψη είναι πιθανό να συμβάλει σημαντικά, με καλύτερο έλεγχο των παραγόντων κινδύνου τόσο πριν, όσο και μετά το περιστατικό. Η αυξανόμενη επίπτωση των εγκεφαλικών επεισοδίων σε χώρες χαμηλού έως μεσαίου εισοδήματος τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, πιθανώς εξηγείται από τις εξελίξεις στην υγεία και τις δημογραφικές αλλαγές σε αυτές τις χώρες. Ωστόσο, η παγκόσμια επιβάρυνση από τα εγκεφαλικά επεισόδια πιθανότατα υποτιμάται, γιατί δεν λαμβάνονται υπόψη στους ορισμούς των περιπτώσεων, τα σιωπηλά εγκεφαλικά επεισόδια, οι παροδικές ισχαιμικές κρίσεις σε πολλές περιπτώσεις, η αγγειακή άνοια (vascular dementia, VaD) και η μακροχρόνια αναπηρία που σχετίζεται με εγκεφαλικό επεισόδιο (Kalaria et al., 2016).

Οι θάνατοι από εγκεφαλικό επεισόδιο έχουν μειωθεί σε χώρες υψηλού εισοδήματος και σε πολλές χώρες μεσαίου και χαμηλού εισοδήματος. Το βασικό στοιχείο αυτής της μείωσης είναι η μειωμένη επίπτωση εμφάνισης εγκεφαλικού, αλλά τα ποσοστά θνησιμότητας έχουν επίσης μειωθεί είτε λόγω μικρότερης σοβαρότητας, είτε βελτιωμένης διαχείρισης. Αν και τα τυποποιημένα σύμφωνα την ηλικία ποσοστά θνησιμότητας από εγκεφαλικό έχουν μειωθεί παγκοσμίως τις τελευταίες δύο δεκαετίες, ο απόλυτος αριθμός των ανθρώπων που παθαίνουν εγκεφαλικό κάθε χρόνο, οι επιζώντες από εγκεφαλικό επεισόδιο, οι σχετικοί θάνατοι και η συνολική επιβάρυνση από εγκεφαλικό παγκοσμίως (απώλεια σε DALYs, Disability Adjusted Life Years, προσαρμοσμένα στην ανικανότητα λόγω ασθένειας, έτη ζωής), αυξάνεται. Περισσότερο επιβαρυνμένες είναι οι χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος. Οι πιο εντυπωσιακές αυξήσεις στον αριθμό των επιζώντων εγκεφαλικού επεισοδίου (113%), των χαμένων DALYs (31%) και των θανάτων που σχετίζονται με εγκεφαλικό (36%), έγιναν σε άτομα ηλικίας 75 ετών και άνω. Η μεγαλύτερη ηλικία είναι ο ισχυρότερος παράγοντας κινδύνου για εγκεφαλικό, σε όλη τη διάρκεια της ζωής. Οι απότομες αυξήσεις στην επίπτωση (συχνότητα εμφάνισης) με την ηλικία, εμφανίζονται τόσο σε άνδρες, όσο και σε γυναίκες. Ενώ ο κίνδυνος για ένα παιδί



ηλικίας κάτω των 15 ετών σημαίνει 1 στα 100.000, ανεβαίνει σε 1 στους 33 για άτομα ηλικίας 85 ετών και άνω. Η συχνότητα των εγκεφαλικών επεισοδίων υπερδιπλασιάζεται κάθε δεκαετία μετά την ηλικία των 55 ετών, έως τα 84 έτη και άνω. Στην αγγειακή μελέτη της Οξφόρδης (the Oxford vascular study), τα ποσοστά εγκεφαλικών επεισοδίων αυξήθηκαν από 1,8/1000 άτομα ετησίως για ηλικίες 55-64 ετών, στα 17 για άτομα ηλικίας 85 ετών και άνω (Rothwell et al., 2005).

Η υψηλή αρτηριακή πίεση είναι ο πλέον θεραπεύσιμος παράγοντας κινδύνου, τόσο για τα ισχαιμικά όσο και για τα αιμορραγικά εγκεφαλικά επεισόδια. Δημιουργεί μια πρώτης τάξης ευκαιρία για την πρόληψη και τη μείωση της επιβάρυνσης από το επεισόδιο και της γνωσιακής εξασθένησης που ακολουθεί (Kalaria et al., 2016).

### **1.2 Τύποι εγκεφαλικού επεισοδίου που συμβάλλουν στη λειτουργική εξασθένηση**

Η κλινική διάγνωση του εγκεφαλικού επεισοδίου είναι συνήθως ακριβής, αλλά ο ακριβής τύπος εγκεφαλικού επεισοδίου και ο ακριβής εντοπισμός μπορεί να μην είναι τόσο απλοί. Ο προσδιορισμός του παθολογικού τύπου του εγκεφαλικού επεισοδίου επιτυγχάνεται καλύτερα με πρόωμη απεικόνιση εγκεφάλου συνήθως αξονική τομογραφία (CT) ή με επιβεβαίωση αυτοψίας. Στις δυτικές χώρες, το έμφρακτο του εγκεφάλου ευθύνεται για το 80% περίπου των εγκεφαλικών επεισοδίων που συμβαίνουν για πρώτη φορά και η αιμορραγία του εγκεφαλικού παρεγχύματος για το 20%. Στην Αφρική, ωστόσο, το βάρος των αιμορραγικών εγκεφαλικών επεισοδίων αναφέρεται ότι είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το 10%, σε αναλογία ισχαιμικού προς αιμορραγικό, 66:34. Σύμφωνα με πιο πρόσφατους επικαιροποιημένους ορισμούς του Stroke Council of the American Heart Association/American Stroke Association (Sacco et al., 2013), οι σχετικές συχνότητες και υπότυποι ισχαιμικών και αιμορραγικών εμφράκτων μπορεί να είναι: (1) αθηροθρομβωτικά, εξαιτίας είτε (1A) θρόμβωσης μεγάλης αρτηρίας ή (1B) εμβολής από αρτηρία σε αρτηρία. (2) καρδιοεμβολικά και (3) κενοδοπιώδη.

Οι συνέπειες της εγκεφαλοαγγειακής νόσου συγκαταλέγονται μεταξύ των κορυφαίων ζητημάτων υγείας παγκοσμίως (Writing Group Members, Mozaffarian et al., 2016).

Παρ' όλο που το ισχαιμικό και αιμορραγικό εγκεφαλικό ασκούν ίσως την πιο γνωστή επίδραση στα τελικά όργανα, οι νόσοι της εγκεφαλικής κυκλοφορίας συμβάλλουν σημαντικά στο αιμορραγικό εγκεφαλικό επεισόδιο, τις άνοιες (νόσος Alzheimer και

αγγειακά άνοια) και άλλες μορφές νευρολογικής δυσλειτουργίας και εκφυλισμού (Wardlaw et al., 2013).

Το ισχαιμικό εγκεφαλικό είναι κατά κύριο λόγο συνέπεια της καρωτιδικής και εγκεφαλοαγγειακής νόσου, η τελευταία από τις οποίες περιλαμβάνει νόσο των μεγάλων και των μικρών αγγείων (small vessel disease, SVD). Εκτός από τα μεγαλύτερα ισχαιμικά εγκεφαλικά επεισόδια που προκαλούνται από θρόμβωση στις καρωτίδες ή τις εγκεφαλικές αρτηρίες, μπορεί επίσης να εμφανιστεί αιμορραγικό εγκεφαλικό. Οι μικροαγγειακές αλλαγές κατά τη διάρκεια της SVD έχουν ως αποτέλεσμα μικρές περιοχές ισχαιμίας και μικροαιμορραγιών. Αυτός ο ρυθμός εξέλιξης καθώς και η συχνότητα μεγάλων και μικρών ισχαιμικών επεισοδίων και μικροαιμορραγιών, επιταχύνεται κατά τη διάρκεια της γήρανσης και παρουσία παραγόντων αγγειακού κινδύνου. Επιπλέον, παράγοντες τροποποίησης ασθενειών όπως γενετικοί μηχανισμοί ή η διατροφή, μπορούν να μειώσουν ή να αυξήσουν τον ρυθμό εξέλιξης της αγγειακής νόσου και συμβάντων στον εγκέφαλο (Hu et al., 2017).

Πρέπει να αναγνωριστεί ότι ακόμη και με τις πιο προηγμένες τεχνικές απεικόνισης υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στον εντοπισμό του αιτίου, οπότε συμπεριλαμβάνονται και (4) έμφρακτα απροσδιόριστης αιτίας. Σε έμφρακτα γνωστής αιτίας, ο αυλός των μεγάλων έως μεσαίων ενδοκρανιακών αρτηριών αποφράσσεται συχνότερα από έμβολο (Sacco et al., 2013). Η συχνότητα των τοπικά σχηματισμένων θρόμβων σε αυτές τις αρτηρίες, αποδείχθηκε πολύ χαμηλότερη από ό,τι είχε εκτιμηθεί παλαιότερα. Αντίθετα, μια τοπική διεργασία αποφράσσει συχνότερα μικρές αρτηρίες οι οποίες διεισδύουν στο εσωτερικό του παρεγχύματος: θρόμβωση μιας πάσχουσας μικρής αρτηρίας, μικροαθήρωμα ή μικροέμβολα από αθηρωματική πλάκα, τα οποία αποφράσσουν μια αρτηρία που διεισδύει στο εσωτερικό του παρεγχύματος, στην έναρξη της πορείας της (Zheng et al., 2013).

Η παρουσία μικροεμβόλων στις αρτηρίες του αμφιβληστροειδούς, παρέχει έμμεσες ενδείξεις ότι τα μικροέμβολα μπορούν επίσης να εισέλθουν στις αρτηρίες που αναφέρθηκαν και είναι μικρού διαμετρήματος. Ωστόσο, πιο πρόσφατες συστάσεις υπογραμμίζουν ότι εκτός από τη διάκριση των κύριων αιτιολογικών κατηγοριών, συμπεριλαμβανομένων των αθηροθρομβωτικών, των καρδιοεμβολικών, παθήσεων των μικρών αγγείων και άλλων πιο σπάνιων αιτιών, η αιτιολογική ταξινόμηση του εγκεφαλικού θα πρέπει να αντικατοπτρίζει την πιο πιθανή αιτία, χωρίς να παραμελούνται άλλες αγγειακές παθήσεις που ενδέχεται να συνυπάρχουν. Για παράδειγμα, η νόσος των μικρών αγγείων εμφανίζεται συχνά παρουσία σοβαρής απόφραξης των μεγάλων αγγείων (Kalaria et al., 2016).

### **1.3 Παράγοντες πρόκλησης αγγειακού κινδύνου**

Σε μεγάλο βαθμό, το εγκεφαλικό είναι μια ασθένεια των ηλικιωμένων. Το ποσοστό των αγγειακών συμβάντων, συμπεριλαμβανομένου του εγκεφαλικού, αυξάνεται σημαντικά με την ηλικία. Η τελευταία παγκόσμια ανάλυση δείχνει ότι οι άνδρες έχουν υψηλότερη συχνότητα ισχαιμικού και αιμορραγικού εγκεφαλικού σε σύγκριση με τις γυναίκες που ταιριάζουν με την ηλικία. Η χρόνια υπέρταση ήταν και συνεχίζει να είναι ο κύριος παράγοντας κινδύνου για αγγειακές παθήσεις, ισχαιμικό και αιμορραγικό εγκεφαλικό επεισόδιο (Wardlaw et al., 2013; Feigin, et al., 2016). Για λόγους που δεν είναι σαφείς, η υπέρταση αποτελεί μεγαλύτερο παράγοντα κινδύνου για εγκεφαλικό επεισόδιο, από ό,τι το έμφραγμα του μυοκαρδίου. Ενώ ορισμένοι παράγοντες κινδύνου ποικίλλουν γεωγραφικά ως προς τον αντίκτυπό τους, η υπέρταση είναι ο κύριος παράγοντας κινδύνου για εγκεφαλικό, ανεξαρτήτως περιοχής. Άλλοι βασικοί παράγοντες κινδύνου για εγκεφαλικό είναι η διατροφή (υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι, χαμηλή σε φρούτα και δημητριακά ολικής άλεσης), ο μεταβολισμός (αυξημένη γλυκόζη νηστείας και δείκτης μάζας σώματος, ΔΜΣ), η συμπεριφορά (κάπνισμα, χαμηλή σωματική δραστηριότητα) και το περιβάλλον (ατμοσφαιρική ρύπανση). Συλλογικά, οι συγκεκριμένοι αυτοί παράγοντες κινδύνου ευθύνονται για πάνω από το 90% όλων των εγκεφαλικών επεισοδίων (Feigin, et al., 2016).

### **1.4 Νόσος μεγάλων (ή μεγάλου μεγέθους) αγγείων έναντι μικρών (ή μικρού μεγέθους) αγγείων**

Η εγκεφαλοαγγειακή νόσος συζητείται συχνά με όρους νόσου μεγάλων αγγείων και SVD. Σ' αυτό το πλαίσιο, τα μικρά αγγεία αναφέρονται ως αυτά στην επιφάνεια του εγκεφάλου και εντός του παρεγχύματος, συμπεριλαμβανομένων μικρότερων αρτηριών, αρτηριδίων, τριχοειδών αγγείων και φλεβιδίων. Τα μεγάλα αγγεία και τα SVD έχουν κοινά χαρακτηριστικά, αλλά έχουν επίσης και δικά τους μοναδικά χαρακτηριστικά (Hu et al., 2017).

Ο εγκέφαλος είναι μοναδικός σε σχέση με την κατανομή της αγγειακής αντίστασης. Όταν τα μικρά αρτηρίδια στην κυκλοφορία λαμβάνονται ως σημείο αναφοράς, περίπου το ήμισυ της αγγειακής αντίστασης βρίσκεται στα αρτηρίδια και τις αρτηρίες ανάντη, το άλλο μισό είναι κατάντη μέσα στην κυκλοφορία του παρεγχύματος (De Silva et al., 2016). Αν και ο BBB (blood-brain barrier, αιματοεγκεφαλικός φραγμός) ισχύει για το σύνολο της

εγκεφαλικής κυκλοφορίας, έχει ετερογενή χαρακτηριστικά. Τα τριχοειδή αποτελούν συχνότερα αντικείμενο μελέτης, αλλά πολλές από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του BBB και των ανοσοκυττάρων, από κοινού με δυναμικές αλλαγές στην ακεραιότητα των σφιχτών συνδέσεων (TJ), ως απόκριση στην ισχαιμία, συμβαίνουν στο επίπεδο των μικρών φλεβιδίων (Hu et al., 2017).

### **1.5 Κίνδυνος για τον εγκέφαλο από την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία**

Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η απώλεια της υγείας του ενδοθηλίου αντιπροσωπεύει ένα γεγονός που αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο στην παθογένεση της αγγειακής νόσου και ως συνέπεια, στην υγεία του εγκεφάλου (De Silva et al., 2016).

Οι ανωμαλίες που κατά βάση συμβαίνουν στο ενδοθήλιο, βρίσκονται στο επίκεντρο σε σχέση με την εγκεφαλοαγγειακή νόσο, την έναρξη του εγκεφαλικού επεισοδίου, τη νευροαγγειακή βλάβη και την αποκατάσταση. Αυτές οι αλλαγές στο ενδοθήλιο προάγουν το οξειδωτικό στρες, τη χαμηλού βαθμού φλεγμονή, τον αυξημένο αγγειακό τόνο, την απώλεια της ακεραιότητας του BBB, την αθηροσκλήρωση και τη θρόμβωση. Τέτοιες αλλαγές αναφέρονται συχνά στο σύνολό τους ως ενδοθηλιακή δυσλειτουργία. Επειδή ένα μέρος της απόκρισης εξαρτάται από το ενδοθήλιο, η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία συμβάλλει επίσης στην απώλεια της NVC (neurovascular coupling, νευροαγγειακή σύζευξη). Σε σχέση με τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία του εγκεφάλου, οι μειώσεις του NVC πιστεύεται ότι συμβάλλουν στην κυτταρική βλάβη και τον εκφυλισμό, με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, η σχετική σημασία της αρχικής υποαιμάτωσης έναντι των μειώσεων του NVC *per se*, δεν είναι γνωστή. Μια διαταραχή του ελέγχου του αγγειακού τόνου στο ενδοθήλιο, είναι προγνωστική για καρδιαγγειακά συμβάντα, τα οποία συμπεριλαμβάνουν το εγκεφαλικό, σε ζώα και ανθρώπους (Hu et al., 2017).

Η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, που συχνά ανιχνεύεται για πρώτη φορά με βάση τις αλλαγές στον αγγειακό τόνο, εξελίσσεται σε πιο σοβαρή νόσο και τελικά σε ισχαιμικά επεισόδια. Είναι πλέον γνωστό ότι συμβάλλουν πολλαπλοί μηχανισμοί σ' αυτό. Μια βασική επίδραση του NO που προέρχεται από την eNOS (endothelial nitric oxide synthase, ενδοθηλιακή σύνθεση μονοξειδίου του αζώτου), είναι η καταστολή της αθηροσκλήρωσης. Αυτός ο φαινότυπος προκύπτει από ανασταλτικές επιδράσεις του NO στα αιμοπετάλια, έκφραση μορίων προσκόλλησης με στρατολόγηση μονοκυττάρων, σχηματισμό οξειδωμένων λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας (ox-LDL) και ισοπροστανία, ενεργοποίηση του NF-κB (Hu et al., 2017). Πέρα από το ρόλο τους στην αιμόσταση, τα

αιμοπετάλια και τα μικροσωματίδια που προέρχονται από αιμοπετάλια μπορεί να συμβάλλουν στην εξέλιξη της αθηροσκλήρωσης (Nording et al., 2015).

Η συσσώρευση αιμοπεταλίων μπορεί να είναι ένα πρώιμο συμβάν στην παθογένεση της νόσου του Αλτσχάιμερ, καθώς τα αιμοπετάλια προάγουν τη συσσώρευση του β-αμυλοειδούς, μέσω μηχανισμών που εξαρτώνται από την ιντεγκρίνη και εξαρτώμενους από μηχανισμούς πρωτεϊνών συνοδείας ή συνοδών (chaperones) (Hu et al., 2017).

Η ρύθμιση της eNOS και της σηματοδότησης του είναι πολύπλοκη, συμβαίνει στο επίπεδο της μεταγραφής, της μετα-μεταφραστικής τροποποίησης, της ενζυμικής δραστηριότητας, της βιοδιαθεσιμότητας του NO (μονοξείδιο του αζώτου), καθώς και των μοριακών στόχων του NO. Έτσι, ανωμαλίες σ' αυτό το δίκτυο σηματοδότησης μπορεί να συμβούν σε διάφορα επίπεδα. Για παράδειγμα, η γενετική απώλεια της eNOS αυξάνει την αθηρογένεση σε υπερλιπιδαιμικούς ποντικούς, ενώ η μερική γενετική ανεπάρκεια, όταν συνδυάζεται με την ηλικία, οδηγεί σε σχηματισμό μικροθρόμβων στον εγκέφαλο, ανωμαλίες στον BBB, εντοπισμένη απώλεια αιμάτωσης και γνωσιακά ελλείμματα (Hu et al., 2017).

Το σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης (RAAS), τόσο το τοπικό (σε όργανα), όσο και της κυκλοφορίας, συμβάλλουν στην αγγειακή νόσο που συμπεριλαμβάνει την αθηροσκλήρωση. Η αγγειοτενσίνη II (Ang II), ένα κύριο τελεστικό πεπτίδιο του RAAS, παράγει οξειδωτικό στρες, ενεργοποίηση του NF-κΒ και φλεγμονή χαμηλού βαθμού σε μεγάλα και μικρά αγγεία (De Silva et al., 2016). Πολλές από τις διαφορετικές επιδράσεις του RAAS μεσολαβούνται από το Ang II που δρα στους υποδοχείς AT1 (AT1R). Ενώ είναι λιγότερο γνωστές σε σχέση με το Ang II, οι επιδράσεις της σηματοδότησης αλδοστερόνης μέσω υποδοχέων μεταλλοκορτικοειδών (MR) στο ενδοθήλιο και τους λείους μυς, που έχουν αρχίσει να εμφανίζονται. Η αλδοστερόνη στην κυκλοφορία προκαλεί ενδοθηλιακή δυσλειτουργία εξαρτώμενη από Nox-2 (NADPH oxidase 2) χωρίς αύξηση της αρτηριακής πίεσης. Εκτός από τις επιβλαβείς επιπτώσεις, υπάρχει ένας προστατευτικός βραχίονας του RAAS. Αυτό περιλαμβάνει τον υποδοχέα AT2, την οδό του μετατρεπτικού ενζύμου της αγγειοτενσίνης 2 (ACE2) και τις αγγειοτενσίνες 1-7 (Ang 1-7) που δρα στους υποδοχείς mas. Για παράδειγμα, η ενεργοποίηση των υποδοχέων mas παράγει μεσολαβούμενη από NO, εξαρτώμενη από το ενδοθήλιο, αγγειοδιαστολή στις εγκεφαλικές αρτηρίες (Hu et al., 2017).

Ένας από τους μηχανισμούς με τους οποίους μπορεί να μειωθεί η δραστηριότητα της eNOS και η παραγωγή NO, είναι ο σχηματισμός και η συσσώρευση μεθυλιωμένων αναλόγων της L-αργινίνης, συμπεριλαμβανομένης της ασύμμετρης διμεθυλαργινίνης

[ADMA, asymmetric dimethylarginine), ενός αναστολέα της δραστηριότητας της NOS. Κυτταρικές συγκεντρώσεις ADMA και οι επιδράσεις στα αγγεία, εξαρτώνται εν μέρει από την υδρόλυση της από διμεθυλαμινοϋδρολάσες διμεθυλαργινίνης (DDAH)]. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ADMA, οξειδάσης NADPH και RAAS έχουν περιγραφεί σε άλλες μελέτες. Σε ασθενείς, τα επίπεδα κυκλοφορίας της ADMA συσχετίζονται θετικά με την παρουσία ενδοκρανιακής αθηροσκλήρωσης (Hu et al., 2017).

Μέσω ανασταλτικών επιδράσεων στην έκφραση και τη δραστηριότητα της eNOS (και άλλων μηχανισμών), η Rho κινάση (ROCK, Rho-associated coiled-coil kinase) προάγει την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, την αγγειοσυστολή και την εξέλιξη της αθηροσκλήρωσης. Η ενεργοποίηση του RhoA και της ROCK που αποτελεί στόχο του, απαιτείται για ενδοθηλιακή δυσλειτουργία που επάγεται από Ang II και ενδοθηλίνη-1 και μειωμένο NVC (De Silva et al., 2016).

Μεταγενέστερα πειράματα αποκάλυψαν ότι η ισομορφή ROCK2 της ROCK ήταν απαραίτητη για την επαγόμενη από την Ang II ενδοθηλιακή δυσλειτουργία (De Silva et al., 2016).

## **1.6 Αθηροσκλήρωση και υπερχοληστερολαιμία**

### **1.6.1 Αθηροσκλήρωση**

Σε σχέση με τα ισχαιμικά συμβάντα και τα συναφή γνωσιακά ελλείμματα, η αθηροσκλήρωση είναι μία από τις πιο σημαντικές μορφές αγγειακής νόσου (Ritz et al., 2014; Suri et al., 2016). Η αθηροσκλήρωση ξεκινά σε περιοχές όπου η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία και η τοπική αιμοδυναμική υποστηρίζουν μια διαδικασία που περιλαμβάνει κατακράτηση και τροποποίηση λιπιδίων, στρατολόγηση μονοκυττάρων και άλλα φλεγμονώδη κύτταρα, μαζί με τη φαινοτυπική εναλλαγή των αγγειακών μυών. Η αθηροσκλήρωση είναι πρωτίστως ασθένεια μεγάλων αρτηριών, αλλά μπορεί να επεκταθεί σε μικρότερα αγγεία με την προσθήκη υπέρτασης, και ίσως και άλλων παραγόντων κινδύνου (Hu et al., 2017).

Η ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση είναι μια κοινή αιτία ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου, αλλά μια μορφή αθηροσκλήρωσης με μοναδικά χαρακτηριστικά. Τόσο στα ζωικά μοντέλα όσο και στους ανθρώπους, η ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση αναπτύσσεται με βραδύτερο ρυθμό από την εξωκρανιακή αθηροσκλήρωση. Ενώ οι λιπαρές ραβδώσεις (πρόδρομες πλάκες) δημιουργούνται σε νεαρή ηλικία, ο αριθμός και το μέγεθος αυτών των βλαβών είναι μικρότερος στον εγκέφαλο παρά στις εξωκρανιακές αρτηρίες. Η

ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση προχωρά με την ηλικία και είναι πολύ συχνή στους ηλικιωμένους. Η αθηροσκλήρωση είναι πιο συχνή σε Αφροαμερικανούς, Ισπανόφωνους και Ασιάτες. Ο ρυθμός εξέλιξης της επιταχύνεται, όταν συνδυάζεται με επιλεγμένους παράγοντες κινδύνου που περιλαμβάνουν υπέρταση και διαβήτη. Παρόμοιο επιταχυντικό αποτέλεσμα παρατηρείται σε ζωικά μοντέλα. Ο ρόλος των λιπιδίων και των επιδράσεων του καπνίσματος φαίνεται ότι είναι μικρότερος για την εγκεφαλική αθηροσκλήρωση, σε σύγκριση με τις αρτηρίες εκτός εγκεφάλου. Υπάρχουν επίσης ενδείξεις ότι οι διαφορές φύλου μπορεί να είναι λιγότερο εμφανείς στην ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση (Ritz et al., 2014; Suri et al., 2016).

Η προχωρημένη αθηροσκλήρωση μπορεί να γίνει στενωτική, εισδύοντας στον αυλό του αγγείου, επηρεάζοντας έτσι την κατάντη ή παράπλευρη αιμάτωση. Αυτές οι βλάβες μπορούν επίσης να γίνουν ασταθείς και να προκαλέσουν ρήξη, με επακόλουθο την αγγειοσυστολή, την ενεργοποίηση αιμοπεταλίων και τη θρόμβωση. Εκτός από τις πιθανές επιπτώσεις στην αιμοδυναμική και τη θρόμβωση, η ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση έχει συνδεθεί με τη νόσο Alzheimer. Για παράδειγμα, όσο πιο σοβαρή είναι η έκταση της αθηροσκλήρωσης, τόσο μικρότερη είναι η απόδοση σε μια σειρά γνωστικών τομέων και μεγαλύτερος ο κίνδυνος για άνοια. Η ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση μπορεί να επηρεάσει τη νόσο Αλτσχάιμερ συμβάλλοντας στην υποαιμάτωση, αλλά και άλλους μηχανισμούς, όπως η αυξημένη επεξεργασία της προδρομίου πρωτεΐνης αμυλοειδούς (APP, amyloid precursor protein) και η μειωμένη κάθαρση του β-αμυλοειδούς. Επειδή έχει προοξειδωτικές και προφλεγμονώδεις επιδράσεις, το β-αμυλοειδές μπορεί επίσης να προάγει την αθηρογένεση (Hu et al., 2017).

### **1.6.2 Αλλαγές στην αγγειακή δομή και μηχανική**

Μείζονες δομικές και μηχανικές αλλαγές στο αγγείο που μειώνουν συλλογικά τον αυλό των αγγείων, επηρεάζουν τις αποκρίσεις σε αγγειοδιασταλτικά και περιορίζουν το απόθεμα αγγειοδιασταλτικών (αυξάνουν την ελάχιστη αγγειακή αντίσταση) (Hu et al., 2017).

Το γιατί η αθηροσκλήρωση αναπτύσσεται πιο αργά στον εγκέφαλο, δεν είναι ξεκάθαρο, αλλά μπορεί να ληφθούν υπόψη αρκετές πιθανότητες. Οι μηχανιστικές μελέτες που επικεντρώνονται στην ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση είναι σχετικά σπάνιες, αλλά

φαίνεται πολύ πιθανό ότι πρέπει να υπάρχουν θεμελιώδεις διαφορές στα ενδοθηλιακά κύτταρα, την στρατολόγηση ανοσοκυττάρων και την ισορροπία μεταξύ προ-και αντι-αθηρογόνων μηχανισμών. Σημαντικοί παράγοντες μεταγραφής που καθορίζουν το ρυθμό εξέλιξης της αθηροσκλήρωσης εκτός του εγκεφάλου, περιλαμβάνουν το ενδοθηλιακό NF-κB και τον παράγοντα Kuppel-like 2 (παρόμοιο με αυτόν του Kuppel). Έτσι, οι διαφορές μεταξύ της αιμοδυναμικής, των βασικών μοριακών ενοποιητών καθώς και η επίδραση του ενδοθηλίου που προέρχεται από το NO, ίσως να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Οι ενδοκρανιακές αρτηρίες μπορεί να είναι λιγότερο ευαίσθητες σε υπερχοληστερολαιμία και ox-LDL, εν μέρει λόγω των διαφορών στα αντιοξειδωτικά που είναι γνωστό ότι επηρεάζουν την εξέλιξη της πειραματικής αθηροσκλήρωσης. Επιπλέον, η μικροχλωρίδα του εντέρου μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό εξέλιξης της πειραματικής αθηροσκλήρωσης. Δεν είναι γνωστό εάν αυτό ή άλλο μικρόβιο επηρεάζει την ενδοκρανιακή αθηροσκλήρωση. Τα μικρόβια του εντέρου μπορούν να επηρεάσουν την ανταπόκριση των αιμοπεταλίων και τον σχηματισμό θρόμβων, οι οποίοι είναι σημαντικοί παράγοντες στην αιμόσταση και τη θρόμβωση (Hu et al., 2017).

Σε σχέση με συγκεκριμένους μηχανισμούς, η Ang II προάγει την αθηροσκλήρωση μέσω του υποδοχέα AT1R (Angiotensin II Receptor Type 1 receptor), με κατάντη επιδράσεις στη σύνθεση και τη σταθερότητα της πλάκας. Οι αθηροσκληρωτικές βλάβες εκφράζουν κύρια συστατικά του RAAS. Η γενετική ανεπάρκεια AT1R έχει ως αποτέλεσμα μειώσεις της περιεκτικότητας σε λιπίδια, υπεροξείδιο, ανοσοκύτταρα, προφλεγμονώδεις κυτοκίνες και ενεργοποίηση της μεταλλοπρωτεϊνάσης μήτρας (MMP, matrix metalloproteinase) εντός του αγγειακού τοιχώματος, επιδράσεις που συλλογικά έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερες και πιο σταθερές αθηροσκληρωτικές πλάκες. Ας σημειωθεί ότι το τοπικό RAAS συμβάλλει στην εξέλιξη της αθηροσκλήρωσης ακόμη και απουσία αυξήσεων της Ang II στο πλάσμα. Εκτός από τις επιδράσεις στην αθηροσκλήρωση, η ανεπάρκεια AT1R μειώνει τον ρυθμό εναπόθεσης αμυλοειδούς και την παραγωγή β-αμυλοειδούς σε μοντέλο νόσου Alzheimer, μέσω επιδράσεων στο σύμπλεγμα γ-εκκρίτασης (Hu et al., 2017).

### **1.6.3 Υπερχοληστερολαιμία**

Οι μηχανισμοί που αποτελούν τη βάση της εγκεφαλοαγγειακής δυσλειτουργίας με υπερχοληστερολαιμία, δεν έχουν καθοριστεί καλά ακόμη, αλλά περιλαμβάνουν επιδράσεις στη σηματοδότηση NO. Υπάρχουν ενδείξεις για μειωμένη παραγωγή NO, με μειωμένη φωσφορυλίωση της eNOS στη Ser1179. Η ROS και η οξειδάση NADPH που περιέχει



Nox2, έχουν ενοχοποιηθεί για πολλά τελικά σημεία. Η ROCK μπορεί να προάγει την εξέλιξη της αθηροσκλήρωσης μέσω πολλών μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων στις NADPH οξειδάσες και την eNOS. Η έκφραση τόσο της ROCK1 όσο και της ROCK2, αυξάνεται στα μικροαγγεία του εγκεφάλου σε υπερλιπιδαιμικούς ποντικούς. Μια ουσιαστική μείωση στην έκφραση του του πυρηνικού υποδοχέα με την ονομασία υποδοχέας-γ υπεροξειδιοσώματος, που ενεργοποιείται από πολλαπλασιαστή (PPAR $\gamma$ , Peroxisome proliferator- activated receptor gamma), εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της υπερχοληστερολαιμίας. Ο PPAR $\gamma$  ασκεί φυσιολογικά προστατευτικά αποτελέσματα σε μεγάλα και μικρά αιμοφόρα αγγεία, που περιλαμβάνουν την προώθηση της σηματοδότησης που εξαρτάται από το NO, ενώ καταστέλλει το οξειδωτικό στρες, την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία που προκαλείται από υπεροξείδιο, την αναδιαμόρφωση με κατεύθυνση προς το εσωτερικό των αγγείων και τις αυξήσεις του αγγειακού τόνου που προκαλούνται από ROCK. Εμφανίζοντας συνέπεια με την άσκηση ενός προστατευτικού ρόλου, τα μειωμένα επίπεδα PPAR $\gamma$  σε μακροφάγα και αγγειακούς μυς, σχετίζονται με περισσότερο προωθημένη αθηροσκλήρωση. Η γενετική παρέμβαση με PPAR $\gamma$  στο ενδοθήλιο ή στους αγγειακούς μυς ενισχύει την αθηροσκλήρωση (Hu et al., 2017).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ιδιοδεκτικότητα**

### **2.1 Ορισμός της ιδιοδεκτικότητας**

Αν και οικεία στον καθένα μας, η αίσθηση ενός ατόμου ότι ενοικεί σε ένα σώμα, δε μπορεί να περιγραφεί λεκτικά. Παραδοσιακές αισθήσεις όπως η όραση και η ακοή παρακολουθούν το εξωτερικό περιβάλλον, επιτρέποντας στους ανθρώπους να έχουν κοινές

αισθητηριακές εμπειρίες. Αλλά η ιδιοδεκτικότητα, η αίσθηση της θέσης και της κίνησης του σώματος, είναι θεμελιωδώς προσωπική και τυπικά απουσιάζει από τη συνειδητή αντίληψη. Ωστόσο, αυτή η «έκτη αίσθηση» παραμένει κρίσιμη για την ανθρώπινη εμπειρία, γεγονός που είναι πιο εμφανές όταν αναλογιστεί κανείς αυτούς που την έχουν χάσει (Tuthill & Azim, 2018).

Η ιδιοδεκτικότητα βασίζεται σε πλήθος μηχανικών-αισθητήριων νευρώνων, κατανεμημένων σε όλο το σώμα, οι οποίοι συλλογικά αναφέρονται ως ιδιοδεκτικοί υποδοχείς ή ιδιοϋποδοχείς. Οι ιατροί του 19<sup>ου</sup> αιώνα, αγνοώντας την ύπαρξη εξειδικευμένων ιδιοδεκτικών υποδοχέων, συζητούσαν την προέλευση της «μυϊκής αίσθησης», ενός όρου που αποδόθηκε στον Charles Bell, τον πρώτο που διέκρινε τα κινητικά από τα αισθητήρια νεύρα. Ορισμένοι Γερμανοί ιατροί της εποχής υποστήριζαν ότι αυτό το «Muskelsinn» είναι καθαρά κεντρικής προέλευσης, με τον εγκέφαλο να παρακολουθεί τη θέση του σώματος μέσω προσεκτικής καταγραφής των κινητικών εντολών. Στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα, ο Charles Sherrington παρείχε οριστικά αποδεικτικά στοιχεία για μια περιφερειακή πηγή αισθητηριακών προσαγωγών και την επιρροή τους στη συστολή των μυών (Tuthill & Azim, 2018).

Επινοώντας τον όρο “proprioception”, τον οποίο όρισε ως την αίσθηση των ερεθισμάτων που «ανιχνεύονται στις ενέργειες του ίδιου του οργανισμού», ο Sherrington διέκρινε αυτή την αισθητηριακή μέθοδο από αυτό που αποκάλεσε εξωδεκτική αντίληψη, αίσθηση ερεθισμάτων που προέρχονται έξω από το σώμα και ενδοδεκτική αντίληψη, αισθητήρια σήματα από τα όργανα, όπως το έντερο. Αν και οι Kühne, Ruffini και άλλοι είχαν περιγράψει όργανα ιδιοδεκτικού υποδοχέα πολλά χρόνια νωρίτερα, ο Sherrington ήταν ο πρώτος που έδειξε την επίδραση των αισθητήριων νευρώνων που νευρώνουν αυτά τα ιδιοδεκτικά όργανα, στον έλεγχο της στάσης και της κίνησης. Σήμερα, η μελέτη του αισθητηριο-κινητικού ελέγχου συνεχίζει να βασίζεται στην αρχική αντίληψη του Sherrington για το ιδιοδεκτικό σύστημα, ιδιαίτερα στην έμφαση που δίνει στα αποκαλούμενα μονοπάτια ή οδούς «αντανακλαστικών» που μεταφράζουν την ιδιοδεκτική ανάδραση σε κινητική απόδοση έργου (Tuthill & Azim, 2018).

Δεδομένου του θεμελιώδους του ρόλου της στον συντονισμό της κίνησης, δεν πρέπει να προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η αίσθηση της ιδιοδεκτικότητας δεν περιορίζεται στα ανώτερα θηλαστικά. Πράγματι, γνωρίζουμε πλέον ότι σχεδόν όλα τα κινητικά ζώα βασίζονται στην ιδιοδεκτική ανάδραση για τον έλεγχο του σώματός τους (Tuthill & Azim, 2018).

## 2.2 Ιδιοδεκτικότητα και κιναισθησία

Το εγκεφαλικό επεισόδιο είναι ένα πρόβλημα υγείας που απαντάται συχνά παγκοσμίως. Πιο ασαφής από την κινητική δυσλειτουργία, η σωματοαισθητική δυσλειτουργία, ως ένα πλαίσιο λειτουργίας, επηρεάζει το 67% των ατόμων με εγκεφαλικό επεισόδιο. Η σωματοαισθητική δυσλειτουργία μετά το εγκεφαλικό σχετίζεται με μειωμένο συντονισμό στην προσέγγιση προς ένα αντικείμενο και τη λαβή σύλληψής του, μειωμένη λειτουργική κινητικότητα και μεγαλύτερη χρονικά παραμονή στο νοσοκομείο. Η κιναισθησία είναι το σωματοαισθητηριακό πλαίσιο λειτουργίας που περιλαμβάνει την αίσθηση της θέσης των άκρων και την αντίληψη της κίνησης και αποτελεί συστατικό της ιδιοδεκτικότητας. Σε προηγούμενη έρευνα με χρήση ρομποτικής, υποδηλώνεται ότι το 61% των ατόμων με οξύ εγκεφαλικό επεισόδιο έχουν κιναισθητική βλάβη (Semrau et al., 2013).

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η σωματοαισθητοποίηση (somatosensation) συμβάλλει σημαντικά στους μηχανισμούς αισθητικοκινητικού ελέγχου και στην ανάρρωση από το εγκεφαλικό (Borstad & Nichols-Larsen, 2016).

Για την ποσοτικοποίηση της κιναισθησίας ως ξεχωριστής ενεργού, συμπεριφορικής πτυχής της ιδιοδεκτικότητας, οι (Borstad & Nichols-Larsen, 2016) πρότειναν μια σύντομη μέθοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους κλινικούς γιατρούς, ώστε να εξατομικεύσουν την αποκατάσταση του εγκεφαλικού, το Brief Kinesthesia Test (BKT), το οποίο διαρκεί περίπου οκτώ λεπτά. Μ' αυτό το τεστ, η αξιολόγηση της κιναισθητικής βλάβης γίνεται με μέτρηση σφάλματος στις κινήσεις προσέγγισης που ζητούνται. Το BKT αποδείχθηκε ότι είναι έγκυρο και αξιόπιστο (ICC=0,71) σε υγιή άτομα σε όλη τη διάρκεια της ζωής (Dunn et al., 2013).

Ο προβληματισμός των Khan et al. (2020) δεν ξεκινά από τις συνέπειες στην ιδιοδεκτικότητα μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, αλλά από προβλήματα στην κεφαλή και τον αυχένα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, περίπου το 75% του συνολικού παγκόσμιου πληθυσμού διαθέτει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του σε ηλεκτρονικές συσκευές. Η χρήση αυτών των συσκευών απαιτεί από τα άτομα να λαμβάνουν στατικές στάσεις σώματος για μεγάλες διάρκειες χρόνου, που προκαλούν συνεχείς συσπάσεις των μυών της κεφαλής και του αυχένα, γεγονός που οδηγεί στην υιοθέτηση μη φυσιολογικών στάσεων. Η έρευνα προτείνει επίσης ότι η διάθεση περισσότερων από 20 ώρες την εβδομάδα σε μη υποστηριζόμενες συσκευές αυξάνει τον κίνδυνο για την ανάπτυξη μυοσκελετικών παθήσεων της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης (Khan et al., 2020).

Η παράταση της καθιστικής ζωής σε μια σταθερή στάση, οδηγεί συχνά σε μια συνήθη παραμόρφωση, γνωστή ως στάση της κεφαλής προς τα εμπρός (forward head posture, FHP), η οποία χαρακτηρίζεται από πρόσθια θέση της, σε σχέση με τη γραμμή της βαρύτητας (Khan et al., 2020; Κέλλης, 2015).

Με αφορμή την έρευνα πάνω σ' αυτό το πρόβλημα, δίνουν έναν ορισμό της κιναισθησίας ως την ικανότητα να κρίνεται ποια είναι η θέση της άρθρωσης, η οποία είναι χρήσιμη στη συντονισμένη κίνηση της κεφαλής, του κορμού και των άκρων. Η δυσλειτουργία της κιναισθητικής ευαισθησίας αυχένα και κεφαλής μπορεί να χαρακτηριστεί από σφάλματα κίνησης και μετατόπισης της κεφαλής και αυξημένες κινητικές ανωμαλίες ή αταξίες. Η αυχενική ιδιοδεκτικότητα συμβάλλει στον σωστό προσανατολισμό της κεφαλής στον χώρο και του κορμού, όπως και στον προσανατολισμό του σώματος και τον έλεγχο της ισορροπίας. Η ιδιοδεκτική λειτουργία είναι πιο ακριβής στον αυχένα παρά στο κάτω μέρος του θώρακα, λόγω περισσότερων μηχανοϋποδοχέων και μυϊκών ατράκτων στους υποϊνιακούς μύες (Khan et al., 2020).

Οι Xue et al. (2021) μελετούν το διάστρεμμα πλάγιου συνδέσμου στο έξω σφυρό ως έναν από τους πιο συνηθισμένους τραυματισμούς στον αθλητισμό, με το υψηλότερο ποσοστό υποτροπής από όλες τις μυοσκελετικές κακώσεις των κάτω άκρων.

Αναφέρουν ότι η ιδιοδεκτικότητα της άρθρωσης ορίστηκε ως η αντίληψη της θέσης και της κίνησης (αναφέρονται στη «αίσθηση της θέσης» και την «κιναισθησία», αντίστοιχα), ενώ περιλαμβάνει και άλλες μηχανικές αισθήσεις, όπως ισχύ και δόνηση (Han et al., 2016). Επιπλέον, η χαμηλή ιδιοδεκτικότητα σχετίζεται με χαμηλότερες αθλητικές επιδόσεις, υψηλότερο κίνδυνο αθλητικών τραυματισμών που σχετίζονται με το έξω σφυρό και την εξέλιξη της οστεοαρθρίτιδας μετά τον τραυματισμό (Han et al., 2016; Xue et al., 2021).

### **2.3 Μυϊκές άτρακτοι στα θηλαστικά και χορδοτονικά<sup>1</sup> όργανα στα έντομα**

Ενσωματωμένες βαθιά μέσα στους σκελετικούς μύες των θηλαστικών είναι οι μυϊκές (ή νευρομυϊκές) άτρακτοι: κάψουλες συνδετικού ιστού που περιέχουν εξειδικευμένες ενδοατράκτιες μυϊκές ίνες τοποθετημένες παράλληλα με τις εξωατράκτιες μυϊκές ίνες που νευρώνονται από κινητικούς νευρώνες άλφα. Οι προβολές των πρωτογενών αισθητήριων

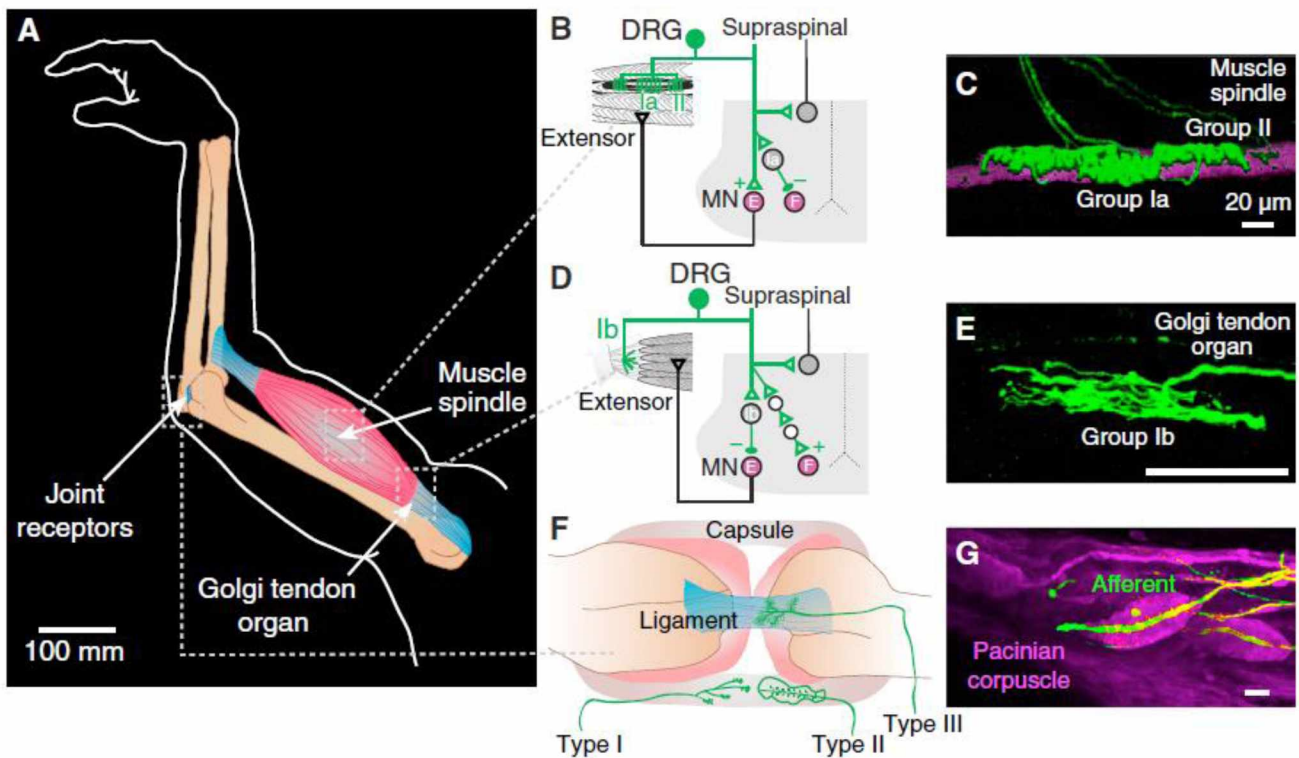
---

<sup>1</sup> Χορδοτονικά όργανα υπάρχουν στα έντομα και όχι στα θηλαστικά. Αναφέρονται γιατί σ' αυτά εκτελούνται πειράματα σχετικά με την ιδιοδεκτικότητα.

νευρώνων, γνωστών ως προσαγωγών της ομάδας Ia, σπειροειδώς περιστρέφονται γύρω από το κεντρικό τμήμα των ενδοατράκτιων ινών και ανταποκρίνονται στη διάταση των μυών με σύντομες εξάρσεις δυναμικών δράσης. Οι νευρώνες της ομάδας Ia κωδικοποιούν τόσο το μήκος των μυών όσο και τον ρυθμό μεταβολής (ταχύτητα) του μήκους τους. Στα πλάγια των ινών Ia, στο άκρο της ατράκτου, βρίσκονται οι αισθητήριες απολήξεις προσαγωγών, δευτερευόντων ή της ομάδας II, οι οποίες κωδικοποιούν γραμμικά το στατικό μήκος μυών. Ένα πιθανό πλεονέκτημα της ευαισθησίας ταχύτητας στους προσαγωγούς Ia είναι ότι επιτρέπει την ταχεία ανίχνευση των διαταραχών της στάσης (πριν συμβούν μεγάλες αλλαγές στο μέγεθος της θέσης και ανιχνευθούν από προσαγωγούς της ομάδας II). Οι μυϊκές άτρακτοι δέχονται απαγωγό νεύρωση από κινητικούς νευρώνες γ (gamma), οι οποίοι ρυθμίζουν την τάση στην άτρακτο, και έτσι ρυθμίζουν με ακρίβεια το όφελος από αυτούς των αισθητήριους προσαγωγούς (Tuthill & Azim, 2018).

#### **2.4 Τενόντια όργανα Golgi**

Στα θηλαστικά, το φορτίο που ασκείται σε ένα άκρο ανιχνεύεται από όργανα του τένοντα Golgi, ιδιόυποδοχείς που βρίσκονται στη διεπιφάνεια μεταξύ μυών και τενόντων. Κάθε όργανο τενόντων περιέχει τις αισθητήριες απολήξεις ενός μεμονωμένου μηχανοαισθητηριακού νευρώνα, ο οποίος περιελίσσεται γύρω από κλώνους κολλαγόνου, οι οποίοι συνδέονται με μεμονωμένες μυϊκές ίνες. Αυτοί οι προσαγωγοί της ομάδας Ib νευρώνουν τα όργανα των τενόντων και κωδικοποιούν τη μυϊκή δύναμη - είναι σιωπηλοί σε ηρεμία και αυξάνουν τη συχνότητα πυροδότησης καθώς αυξάνεται η ένταση στον μυ, όπως κατά τη διάρκεια κινήσεων που συναντούν αντίσταση (Tuthill & Azim, 2018).



**Εικόνα 1.** Μέσα για την εφαρμογή της ιδιοδεκτικότητας.

(A) Θέση των ιδιοδεκτικών οργάνων σε ένα άκρο θηλαστικού. (B) Σχηματική απεικόνιση της προσαγωγού συνδεσιμότητας της μυϊκής ατράκτου της σπονδυλικής στήλης, τονίζοντας την ενεργοποίηση της ομώνυμης κινητικής δεξαμενής και την αναστολή ανταγωνιστή, μέσω ανασταλτικών ενδονευρώνων Ia (βλ. επίσης Εικόνα 1B). MN, κινητικός νευρώνας; E, εκτείνων; F, καμπτήρας; DRG, γάγγλιο ραχιαίας ρίζας. (C) Έκφραση GFP (Green fluorescent protein, πράσινη φθορίζουσα πρωτεΐνη) σε προσαγωγούς της ομάδας Ia (κεντρική) και της ομάδας II (πλευρικά) που νευρώνουν μια ενδοατράκτια ίνα (αυτοφθορισμός με χρώση ματζέντα) σε άτρακτο του πελματιαίου μυός ποντικού. (D) Σχηματική απεικόνιση για την ομάδα Ib του τενόντιου οργάνου του Golgi, για την προσαγωγή συνδεσιμότητα στο νωτιαίο μυελό. Επισημαίνονται τα αντίθετα αποτελέσματα στη δραστηριότητα του εκτείνοντος και του καμπτήρα, σε σύγκριση με τους προσαγωγούς μυϊκής ατράκτου, εν μέρει με τη μεσολάβηση των ανασταλτικών ενδονευρώνων Ib που νευρώνουν τους ομώνυμους κινητικούς νευρώνες. (E) Έκφραση GFP σε προσαγωγό ομάδας Ib που νευρώνει ένα τενόντιο όργανο Golgi του γλουτιαίου μυ ποντικού. (F) Σχηματική απεικόνιση τύπων υποδοχέα στον αρθρικό θύλακο και τον σύνδεσμο, οι οποίοι θα μπορούσαν να μεταφέρουν ιδιοδεκτικές πληροφορίες. (G) Έκφραση GFP σε προσαγωγό που νευρώνει ένα μη μυελινωτικό κύτταρο Schwann ενός

σωμάτιου Pacinian (ανοσοχρώση S100, ματζέντα) σε μεσοοστική μεμβράνη ποντικού (Tuthill & Azim, 2018).

## **2.5 Υποδοχείς αρθρώσεων και τριχοειδείς/κροσσωτές πλάκες hair plates**

Εκτός από το συντονισμένο σήμα από τις μυϊκές άτρακτους και τα χορδοτονικά όργανα, τα έντομα και τα θηλαστικά διαθέτουν και τα δύο ιδιοδεκτικά όργανα που ανιχνεύουν το πότε μια άρθρωση φτάνει σε ένα συγκεκριμένο όριο. Στα θηλαστικά, αυτό το σύστημα αποτελείται από αισθητήριους νευρώνες που τυπικά συνδέονται με το απτικό σύστημα: μηχανοϋποδοχείς χαμηλού ουδού όπως τα σωματίδια Ruffini και Pacinian, τα οποία είναι ενσωματωμένα στην άρθρωση. Αυτοί οι μηχανικοί υποδοχείς αρθρώσεων γενικά θεωρείται ότι ανήκουν σε τρεις κύριους τύπους: τύπου I, υποδοχείς που προσαρμόζονται με αργό ρυθμό στα εξωτερικά στρώματα του ινώδους αρθρικού θυλάκου, τύπου II, υποδοχείς που προσαρμόζονται γρήγορα στα βαθύτερα στρώματα του αρθρικού θυλάκου και τύπου III, υποδοχείς βραδείας προσαρμογής, ενσωματωμένους στους συνδέσμους και τις τερματικές περιοχές των τενόντων κοντά στον αρθρικό θύλακο. Αυτές οι κατηγορίες υποδοχέων διακρίνονται από τους υποδοχείς πόνου από τους ελεύθερους υποδοχείς πόνου (ή αλγοϋποδοχείς) νευρικών απολήξεων τύπου IV, που είναι κατανεμημένοι σε όλο τον αρθρικό θύλακο, οι οποίοι έχουν υψηλότερο μηχανικό ουδό και συμβάλλουν στην αίσθηση του πόνου. Οι αποκρίσεις των αρθρικών υποδοχέων μπορεί συχνά να κορυφωθούν στα άκρα της θέσης της άρθρωσης, υποδηλώνοντας ότι ένας ρόλος τους μπορεί να είναι μια λειτουργία ως «ανιχνευτές ορίων» (Tuthill & Azim, 2018).

## **2.6 Κεντρικές προβολές αξόνων ιδιοδεκτικών υποδοχέων**

Τόσο στα θηλαστικά όσο και στα έντομα, οι αξονικές προβολές των ιδιοϋποδοχέων των άκρων οργανώνονται συστηματικά, ανάλογα με τον τύπο του ιδιοϋποδοχέα και τη θέση του σώματος. Στα θηλαστικά, τα κυτταρικά σώματα των ιδιοδεκτικών προσαγωγών από τα άκρα βρίσκονται στα γάγγλια της ραχιαίας ρίζας, όπου αναμειγνύονται με νευρώνες που είναι αφιερωμένοι σε άλλες αισθητηριακές μεθόδους λειτουργίας (όπως ο πόνος και η αφή). Αυτοί οι προσαγωγοί προβάλλουν μέσω των ραχιαίων ριζών στο κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ), όπου ορισμένοι ιδιοδεκτικοί άξονες εκτείνονται στον κοιλιακό νωτιαίο μυελό με φορά προς συγκεντρώσεις κινητικών νευρώνων (Tuthill & Azim, 2018).

Διαφορετικοί τύποι προσαγωγών συναρμολογούνται σε εξειδικευμένα και στερεότυπα μοτίβα κυκλωμάτων που μπορούν να επηρεάσουν τη μυϊκή δραστηριότητα με

διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, οι ομάδες Ia προσαγωγοί μυϊκής ατράκτου διεγείρει άμεσα τους άλφα κινητικούς νευρώνες που νευρώνουν τους ίδιους (ομώνυμους) και συνεργιστές (ετερώνυμους) μύες, ενώ επίσης στρατολογούν ανασταλτικούς νευρώνες που νευρώνουν τις ομάδες κινητικών ανταγωνιστών. Αντίθετα, οι ομάδες Ib προσαγωγοί οργάνων Golgi του τένοντα συνάπτονται σε διεγερτικούς και ανασταλτικούς ενδονευρώνες που τελικά αναστέλλουν τους άλφα κινητικούς νευρώνες των ομώνυμων μυών και διεγείρουν αυτούς των ανταγωνιστών μυών. Οι αρθρικοί μηχανοϋποδοχείς έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζουν τη δραστηριότητα του κινητικού νευρώνα καθώς και τη ροή των πληροφοριών πρόκλησης πόνου, αν και δεν υπάρχουν αρκετές γνώσεις για τα κυκλώματα της σπονδυλικής στήλης που συμμετέχουν. Από κοινού, αυτές οι «βασικές» αντανακλαστικές οδοί της σπονδυλικής στήλης αντιπροσωπεύουν μόνο την καλύτερα περιγραφόμενη συνδεσιμότητα κυκλώματος, χωρίς να αποκλείονται άλλες που δεν έχουν περιγραφεί ακόμη. Η ιδιοδεκτική ανάδραση μεταδίδεται επίσης απευθείας, από τους ίδιους τους προσαγωγούς, ή έμμεσα, μέσω των νευρώνων, σε τοπικά κυκλώματα, σε άλλα τμήματα της σπονδυλικής στήλης και στον εγκέφαλο. Επιπλέον, αυτοί οι κανόνες για την ολοκλήρωση του κυκλώματος δεν είναι άκαμπτοι από λειτουργική άποψη. Οι επιδράσεις στη μυϊκή δραστηριότητα έχουν ως επί το πλείστον καθοριστεί σε αναισθητοποιημένα ζώα και μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια εκδήλωσης μιας συμπεριφοράς (Tuthill & Azim, 2018).

## **2.7 Συμπεριφορικές χρήσεις της ιδιοδεκτικότητας**

### **Σταθερότητα, προστασία και κίνηση**

Η πιο στοιχειώδης λειτουργία της ιδιοδεκτικής ανάδρασης είναι η σταθεροποίηση και η προστασία του σώματος. Ένας άνθρωπος «κολλημένος» σε ένα λεωφορείο που ταλαντεύεται, ή μια ακρίδα σκυμμένη σε ένα φύλλο που φυσάει από τον άνεμο, πρέπει να ρυθμίσει τη μυϊκή δραστηριότητα για να διατηρήσει τη στάση του σώματος και να παραμείνει όρθιος. Ένας τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η σταθερότητα είναι μέσω της άμεσης ανάδρασης από τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς στους κινητικούς νευρώνες. Για παράδειγμα, όταν ο τετρακέφαλος τεντώνεται, οι προσαγωγοί Ia από αυτή την μυϊκή ομάδα διεγείρουν άμεσα τους κινητικούς νευρώνες του τετρακέφαλου και αναστέλλουν έμμεσα τους ανταγωνιστές κινητικούς νευρώνες του οπίσθιου μηριαίου καμπτήρα, ένα φαινόμενο που ονομάζεται αμοιβαία αναστολή. Μαζί, αυτές οι δύο οδοί ανάδρασης προστατεύουν τον μυ από το να έλκεται με υπερβολική δύναμη ή να κινείται πέρα από το



φυσιολογικό του εύρος και εξασφαλίζουν σταθερή έκταση της άρθρωσης του γόνατος (Tuthill & Azim, 2018).

## **2.8 Ο ρόλος της ιδιοδεκτικής ανάδρασης στη δημιουργία περίπλοκων ακολουθιών κινήσεων**

Οι ρυθμικές συμπεριφορές όπως το περπάτημα, το τρέξιμο, το κολύμπι, πιστεύεται ότι καθοδηγούνται από κεντρικές γεννήτριες προτύπων (CPG, central pattern generators): νευρωνικά δίκτυα ικανά να δημιουργούν οργανωμένα μοτίβα εναλλασσόμενης δραστηριότητας καμπτήρων/εκτεινόντων και προς τα αριστερά/δεξιά, ανεξάρτητα από τις αισθητηριακά εισερχόμενα ερεθίσματα ή τον κατάντη έλεγχο. Αν και ορισμένα κυκλώματα CPG μπορεί να είναι ικανά να παράγουν στοιχειώδεις κινητικούς ρυθμούς με καθαρά ανατροφοδοτούμενο τρόπο, τα κινητικά κυκλώματα κίνησης σπάνια λειτουργούν ανεξάρτητα από την ιδιοδεκτική ανάδραση (Tuthill & Azim, 2018).

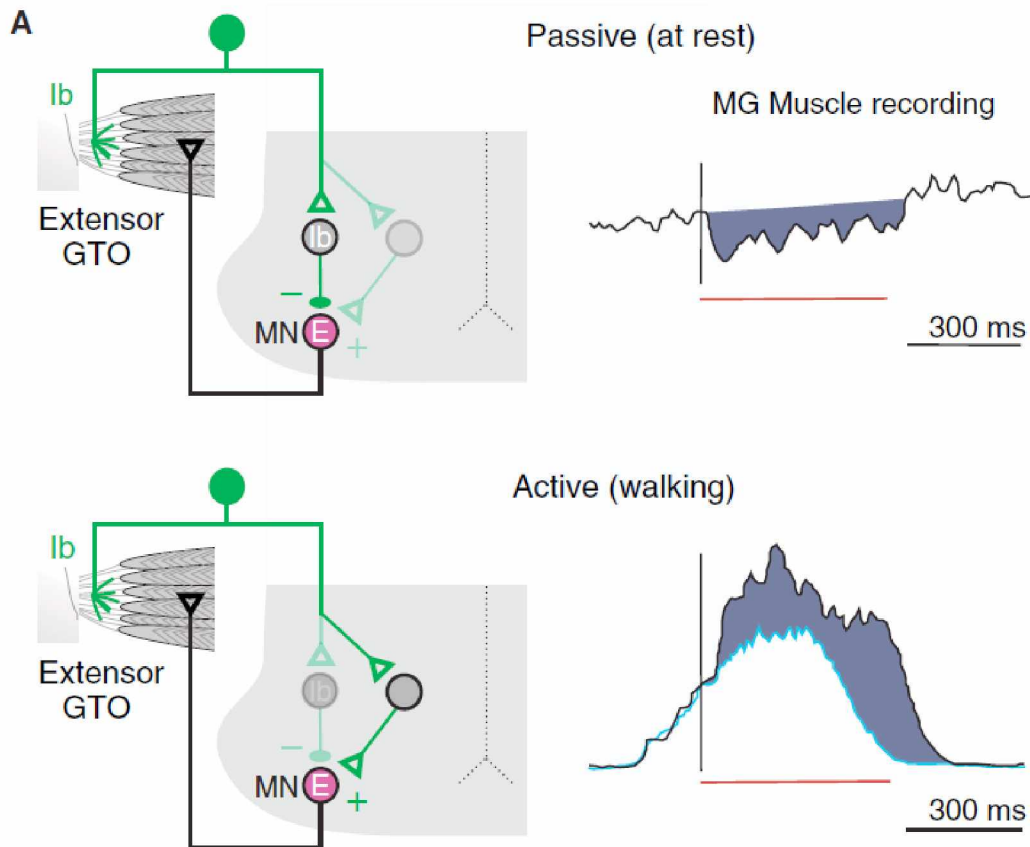
### **2.8.1 Ευέλικτη ρύθμιση της ιδιοδεκτικής ανάδρασης**

Η ιδιοδεκτική σηματοδότηση δεν είναι αμετάβλητη - οι επιπτώσεις της στην απόδοση της κίνησης μπορεί να ποικίλλουν δραματικά. Αυτό εγείρει το ερώτημα πώς η ανατροφοδότηση «συντονίζεται» κατά τη διάρκεια διαφορετικών συμπεριφορικών πλαισίων. Όπως πολλά κατασκευασμένα συστήματα, μια βασική παράμετρος ελέγχου είναι το κέρδος ανάδρασης: η αναλογία μεταξύ της εξόδου της κίνησης και της αισθητήριας εισόδου του συστήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το όφελος ιδιοδεκτικής ανάδρασης θα πρέπει να είναι υψηλό για να μεγιστοποιηθεί η ευαισθησία σε χρήσιμες περιφερειακές πληροφορίες. Αυτό συμβαίνει σε μια παίκτρια του τένις που διορθώνει τη θέση των άκρων της πριν χτυπήσει τη μπάλα ή σε ένα έντομο με σχήμα ραβδιού που ακινητοποιείται για να μιμηθεί ένα μικρό κλαδί. Σε άλλες περιπτώσεις, το περιφερικό κέρδος ανάδρασης πρέπει να περιοριστεί, για παράδειγμα, όταν ένα ζώο χρειάζεται να συστέλλει ταυτόχρονα ανταγωνιστές μύες, οι οποίοι υπό κανονικές συνθήκες αναστέλλουν αμοιβαία ο ένας τον άλλον (Tuthill & Azim, 2018).

Σε ορισμένα πλαίσια, το όφελος από την ιδιοδεκτική ανάδραση μπορεί να αντιστραφεί εντελώς από αρνητικό σε θετικό, ένα φαινόμενο που αναφέρεται ως «αναστροφή αντανακλαστικών», υποδηλώνοντας την ύπαρξη ευέλικτων συστημάτων για συντονισμό της περιφερειακής ανάδρασης. Για παράδειγμα, κατά τη μετακίνηση

θηλαστικών και εντόμων, οι επιδράσεις της ιδιοδεκτικής ανατροφοδότησης στη δραστηριότητα των κινητικών νευρώνων μπορεί να αντιστραφούν, για να εξασφαλιστεί η έγκαιρη μετάβαση από τη στάση στην ταλάντευση. Σε επίπεδο κυκλώματος, στις γάτες, αυτή η ευέλικτη αναστροφή πιστεύεται ότι μεσολαβείται από μια μετάβαση από ανασταλτικές σε διεγερτικές οδούς αντανακλαστικών, που επιστρατεύονται από Ib προσαγωγούς τενόντιου οργάνου Golgi κατά τη μετακίνηση (Tuthill & Azim, 2018).

Η πρώτη θέση ελέγχου του οφέλους εντός του ιδιοδεκτικού συστήματος, εμφανίζεται στην περιφέρεια, μέσω της προσαρμογής της διεγερσιμότητας των αισθητήριων νευρώνων. Συγκεκριμένες κατηγορίες νευρώνων ιδιοδεκτικών υποδοχέων, εμφανίζουν διαφορετικούς βαθμούς και χρονικές πορείες προσαρμογής. Αυτές οι προσαρμοστικές ιδιότητες μπορεί να προκύψουν από μηχανισμούς, ενδογενείς ή εξωγενείς ως προς τον αισθητήριο νευρώνα, όπως οι ενεργές αγωγιμότητες της μεμβράνης ή η ιξωδοελαστική συμπεριφορά του οργάνου του υποδοχέα. Μια σημαντική λειτουργία της αισθητηριακής προσαρμογής είναι η ρύθμιση του δυναμικού εύρους του νευρώνα, είτε μειώνοντας τη συνολική ευαισθησία, είτε μετατοπίζοντας τον συντονισμό του ερεθίσματος. Το όφελος μπορεί επίσης να συντονιστεί ενεργά με απαγωγική διαμόρφωση, όπως στην περίπτωση των κινητικών νευρώνων  $\gamma$ , που ελέγχουν την ιδιοδεκτική ευαισθησία, ρυθμίζοντας την τάση στη μυϊκή άτρακτο (Tuthill & Azim, 2018).



**Εικόνα 2Α.** Λειτουργία ιδιοδεκτικότητας.

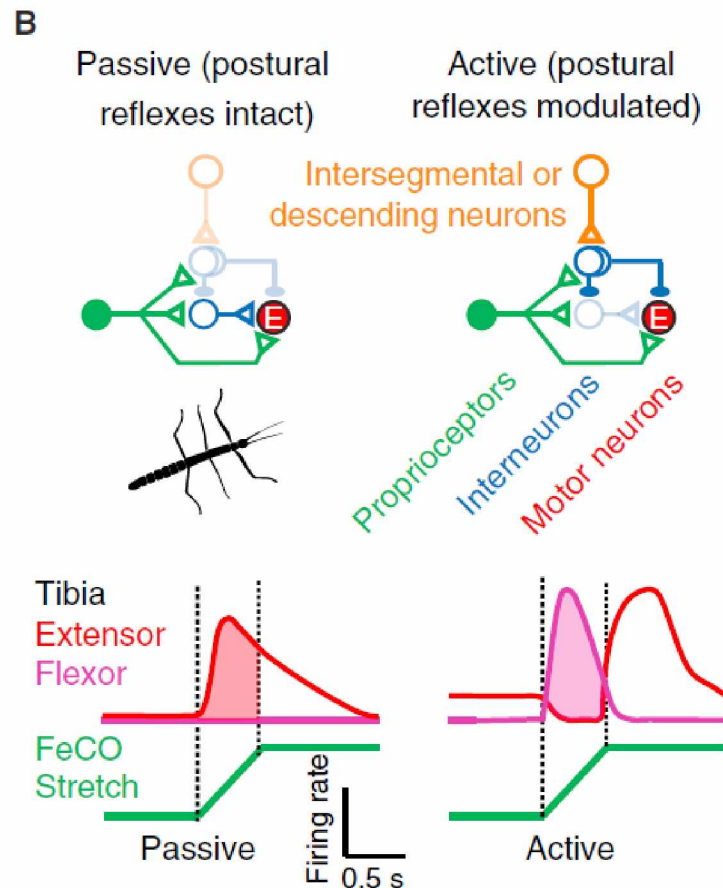
(Α) Η αντιστροφή της αντανακλαστικής δράσης των Ib προσαγωγών από τα τενόντια όργανα του Golgi (GTO) προς τους κινητικούς νευρώνες συμβαίνει κατά τη διάρκεια της κίνησης.

(Επάνω) Σε ηρεμία, οι Ib προσαγωγοί αναστέλλουν τους ομώνυμους κινητικούς νευρώνες (MN) του εκτεινόντος (E), μέσω μιας δυσυναπτικής ανασταλτικής οδού (όπως φαίνεται στην Εικ. 2D). Η γραφική παράσταση δείχνει διορθωμένη και μέση καταγραφή ηλεκτρομυογραφίας (ΗΜΓ) κατά τη διάρκεια διάτασης του έσω γαστροκνήμιου (MG) μύος στη γάτα. Κατά τη διέγερση του πελματιαίου νεύρου (κόκκινη γραμμή), η δραστηριότητα που προκαλείται από διάταση μειώνεται (σκιασμένη περιοχή).

(Κάτω) Κατά τη μετακίνηση, οι Ib προσαγωγοί στρατολογούν μια δυσυναπτική διεγερτική οδό για να διεγείρουν ομώνυμους κινητικούς νευρώνες. Η διέγερση του πελματιαίου νεύρου (κόκκινη γραμμή) αυξάνει το μέγεθος των πυροδοτήσεων bursts στον MG (σκιασμένη περιοχή), σε σύγκριση με τη δραστηριότητα του MG απουσία νευρικής διέγερσης (ανοιχτό μπλε ίχνος). Πίνακες ΗΜΓ προσαρμοσμένοι από τους Pearson and Collins (1993) και Pearson (1995), που ανατυπώθηκαν με άδεια από τον Springer Nature ©1995 (Tuthill & Azim, 2018).

Pearson, K.G., and Collins, D.F. (1993). Reversal of the influence of group Ib afferents from plantaris on activity in medial gastrocnemius muscle during locomotor activity. *J. Neurophysiol.* 70, 1009–1017.

Pearson, K.G. (1995). *Reflex reversal in the walking systems of mammals and arthropods*. In *Neural Control of Movement*, W.R. Ferrell and U. Proske, eds. (Boston, MA: Springer US), pp. 135–141.



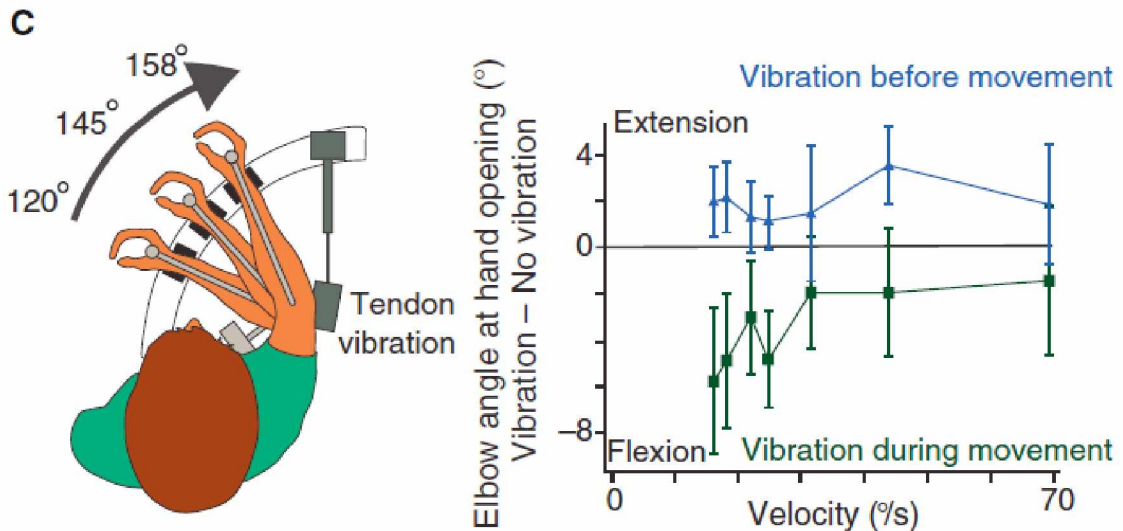
**Εικόνα 2B.** Αντανακλαστική αναστροφή στους αισθητικοκινητικούς βρόχους των κάτω άκρων.

(Κορυφή) Υποθετικές αρχιτεκτονικές ενός κυκλώματος στο οποίο η κατιούσα ή διατμηματική εισερχόμενη διέγερση τροποποιεί το πρόσημο ενός σήματος ιδιοδεκτικής ανάδρασης.

(Κάτω) Σε ένα ήρεμο έντομο, οι ευαίσθητοι στην κάμψη ιδιοϋποδοχείς οδηγούν στην έκταση της κνήμης. Κατά τη διάρκεια μιας ενεργού κατάστασης όπως η κίνηση, το πρόσημο αυτού του αντανακλαστικού αντιστρέφεται και οι ευαίσθητοι στην κάμψη

ιδιοϋποδοχείς τη βοηθούν. Τα κάτω ίχνη/ανιχνεύσεις Bottom traces προσαρμόστηκαν από τους Bässler και Büschges (1998) (Tuthill & Azim, 2018).

Bässler, U., and Büschges, A. (1998). Pattern generation for stick insect walking movements - multisensory control of a locomotor program. *Brain Res. Rev.* 27, 65-88.

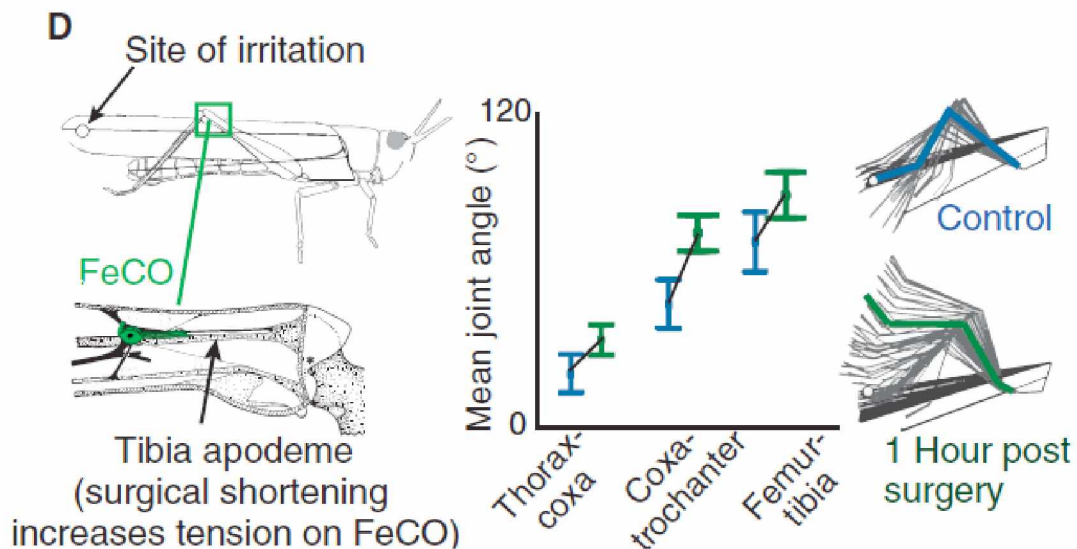


**Εικόνα 2C.** Η δόνηση του τένοντα διεγείρει κατά προτίμηση τους Ia προσαγωγούς και διαταράσσει τις εκούσιες κινήσεις των άκρων.

(Αριστερά) Ζητήθηκε από τα υποκείμενα να ανοίξουν το χέρι τους σε γωνία-στόχο (145° ή 158°), καθώς ο αγκώνας τους περιστρεφόταν παθητικά προς την κατεύθυνση της έκτασης. Για να διασφαλιστεί ότι η ιδιοδεκτικότητα ήταν η μόνη πληροφορία που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της κίνησης, η οπτική προς τον βραχίονα παρεμποδίστηκε και η ταχύτητα περιστροφής άλλαξε τυχαία από δοκιμή σε δοκιμή. Σε τυχαίες δοκιμές, ο τένοντας του δικέφαλου βραχιόνιου μυ δονήθηκε (40 Hz), διαταράσσοντας την Ia ιδιοδεκτική ανάδραση.

(Δεξιά) Όταν εφαρμόζεται δόνηση πριν από την έναρξη της κίνησης, το υποκείμενο ξεπερνά τον στόχο που τέθηκε. Όταν εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της κίνησης, το υποκείμενο κάνει κίνηση που υπολείπεται του στόχου. Τα διαγράμματα υποδεικνύουν τη γωνία του αγκώνα με την οποία ανοίγει το χέρι κατά τη δόνηση, μείον τη γωνία του αγκώνα κατά τις συνθήκες μάρτυρα, σε όλες τις ταχύτητες περιστροφής. Προσαρμογή από τους Cordo et al. (1995) (Tuthill & Azim, 2018).

Cordo, P., Gurfinkel, V.S., Bevan, L., and Kerr, G.K. (1995). Proprioceptive consequences of tendon vibration during movement. *J. Neurophysiol.* 74, 1675–1688.



**Εικόνα 2D.** Οι ακρίδες ζύνουν με ακρίβεια ένα σημείο στην πλάτη τους χρησιμοποιώντας ένα πίσω πόδι. Η αυξανόμενη τάση στο μηριαίο χορδοτονικό όργανο, με χειρουργική βράχυνση του τένοντα (αριστερά), οδηγεί σε συνεπή σφάλματα προσέγγισης, τα οποία προκαλούνται από αλλαγές σε κάθε γωνία άρθρωσης του ποδιού (δεξιά) (Tuthill & Azim, 2018). Αναδημοσίευση με άδεια της Εταιρείας Νευροεπιστήμης (the Society for Neuroscience), προσαρμοσμένη από τους Page & Matheson (2009).

### 2.8.2 Εκτίμηση κατάστασης για κινήσεις σχεδιασμού και αυξημένης λεπτομέρειας

Τα ιδιοδεκτικά σήματα παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση βασικών ρυθμικών κινήσεων. Πώς, όμως, τα κινητικά κυκλώματα εκμεταλλεύονται τις ιδιοδεκτικές πληροφορίες για να σχεδιάσουν και να προσαρμόσουν πιο περίπλοκες, μη ρυθμικές κινήσεις, όπως η σύλληψη κινούμενης λείας ή η τοποθέτηση κλωστής σε μια βελόνα; Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο πλαίσιο για την προσέγγιση αυτής της ερώτησης είναι ο βέλτιστος έλεγχος ανάδρασης (Tuthill & Azim, 2018).

Αυτό το σύνολο αρχών μηχανικής ελέγχου έχει εφαρμοστεί στην κίνηση, υποθέτοντας ότι το κινητικό σύστημα προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει ένα σύνολο συναρτήσεων με το κόστος, για παράδειγμα, προσπάθεια κίνησης, χαλαρότητα κινήσεων και αστάθεια. Ο ρόλος της ιδιοδεκτικότητας σ' αυτό το πλαίσιο είναι να βοηθήσει στη δημιουργία μιας ακριβούς εκτίμησης της κατάστασης του σώματος, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό των κινήσεων και την πρόβλεψη του

αποτελέσματος μελλοντικών ενεργειών. Ένας απλός τρόπος για να καταδειχθεί η χρησιμότητα του βέλτιστου ελέγχου ανάδρασης είναι να εξεταστούν τρεις φάσεις μιας στοχευμένης κίνησης του άκρου (Tuthill & Azim, 2018).

Πρώτον: πριν ξεκινήσει μια προσέγγιση, ο εγκέφαλος πρέπει να επιλέξει μια τακτική ελέγχου, κατά βάση ένα σύνολο κινητικών εντολών οι οποίες θα ωθήσουν το άκρο προς μια επιθυμητή θέση. Το τι συνιστά μια κατάλληλη στρατηγική, θα εξαρτηθεί από μια εκτίμηση της κατάστασης του κάτω άκρου, η οποία μπορεί να παρέχεται από οπτική και ιδιοδεκτική ανατροφοδότηση, και το πλαίσιο εντός του οποίου προκύπτουν αυτές οι καταστάσεις. Η διαταραχή αυτών των αρχικών εκτιμήσεων κατάστασης μπορεί να οδηγήσει σε προβλέψιμα σφάλματα στον σχεδιασμό και την κινητική εκτέλεση. Για παράδειγμα, η διέγερση των Ia προσαγωγών μυϊκής ατράκτου με δόνηση του τένοντα, παράγει συστηματικά σφάλματα στις εκούσιες κινήσεις των κάτω άκρων του ανθρώπου (Tuthill & Azim, 2018).

Δεύτερον: καθώς προχωρά η κίνηση, το κινητικό εξαγόμενο βελτιώνεται συνεχώς για να διασφαλιστεί ότι η τροχιά των άκρων θα φτάσει στο επιθυμητό τελικό σημείο. Κατά τη διάρκεια γρήγορων κινήσεων, οι καθυστερήσεις της ιδιοδεκτικής ανάδρασης αποτελούν πρόκληση για αυτές τις διαδικτυακές διορθώσεις, δηλ. το πώς είναι δυνατόν να διατηρηθεί μια ακριβής εκτίμηση κατάστασης εάν η περιφερειακή ανάδραση είναι ξεπερασμένη.

Μια ιδέα είναι ότι οι κινητικές εντολές που καθοδηγούν την κίνηση, αντιγράφονται και μεταφέρονται εσωτερικά, για να δημιουργούν διαδικτυακές προβλέψεις για το αποτέλεσμα της κίνησης. Αυτή η διαδικασία χρήσης αντίγραφων αναφορών για την πρόβλεψη του αποτελέσματος, που συχνά αναφέρεται ως μοντέλο ή υπόδειγμα για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αναμένεται ότι θα προκύψουν άμεσα ή πολύ σύντομα (forward model), μπορεί να αντισταθμίσει τις καθυστερήσεις της αισθητηριακής ανάδρασης, προβλέποντας μια μελλοντική κατάσταση και προσαρμόζοντας την τακτική ελέγχου όταν είναι απαραίτητο. Φυσικά, οι προβλέψεις είναι πιο ακριβείς, εάν εκτείνονται πέρα από μια ακριβή εκτίμηση της τρέχουσας κατάστασης. Έτσι, είναι πλεονέκτημα να συνδυάζονται τόσο οι εσωτερικές εκτιμήσεις, όσο και οι εξωτερικές αναφορές της κατάστασης των κάτω άκρων, ενσωματώνοντας προβλέψεις μοντέλου για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αναμένονται, με καθυστερημένες αισθητηριακές πληροφορίες. Πράγματι, οι εκτιμήσεις της θέσης του άκρου είναι πιο ακριβείς κατά τις ενεργητικές από ότι στις παθητικές κινήσεις, υποδηλώνοντας μια δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των προβλέψεων του μοντέλου για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αναμένονται (που δημιουργούνται κατά την ενεργητική κίνηση) και της ιδιοδεκτικής

ανάδρασης (που δημιουργείται κατά την ενεργητική και παθητική κίνηση). Στοιχεία για την ύπαρξη προχωρημένων μοντέλων για την αντιμετώπιση ζητημάτων που αναμένονται και τη σημασία της ιδιοδεκτικότητας στην εφαρμογή τους, παρέχονται από πειράματα συμπεριφοράς τόσο σε θηλαστικά, όσο και σε έντομα (Tuthill & Azim, 2018).

Τρίτον: σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα, σε πολλές επαναλήψεις της ίδιας κίνησης, το κινητικό σύστημα βελτιώνει την απόδοσή του, για να επιτύχει μεγαλύτερη ακρίβεια και να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Αυτό συμβαίνει σε έναν ερασιτέχνη τενίστα που εξασκείται στο σερβίς σε διάρκεια μηνών, ή να προσαρμόζεται σε έναν πόνο στον αγκώνα κατά τη διάρκεια ενός αγώνα. Και στις δύο περιπτώσεις, θα μπορούσε να είναι επωφελές για τον εγκέφαλο να συγκρίνει την πρόβλεψη βάσει μοντέλου (ή υποδείγματος), με την ιδιοδεκτική ανάδραση που αναφέρει το αποτέλεσμα της κίνησης. Εντοπίζοντας τις αναντιστοιχίες μεταξύ αυτών των σημάτων, τα μοντέλα που προσπαθούν να αντιμετωπίσουν ό,τι θα συμβεί στο άμεσο μέλλον, θα μπορούσαν να βαθμονομηθούν, διασφαλίζοντας ότι οι επακόλουθες τακτικές ελέγχου ελαχιστοποιούν την ασυμφωνία μεταξύ πρόθεσης και αποτελέσματος. Πρόσφατη ερευνητική εργασία σε ποντικούς και μύγες, έχει δείξει ότι αυτή η διαδικασία αισθητικοκινητικής προσαρμογής, κατά την εκμάθηση μιας νέας εργασίας ή την ανάρρωση από τραυματισμό, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ιδιοδεκτική ανάδραση (Tuthill & Azim, 2018).

## **2.9 «Συνειδητή» αντίληψη του σώματος: ψυχοσωματικά όρια και παραπλανητική παρουσίαση**

Η ιδιοδεκτικότητα είναι σε μεγάλο βαθμό υποσυνειδητή, καθώς δεν απαιτεί συνήθως κατευθυνόμενη προσοχή. Αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις, οι άνθρωποι έχουν συνειδητή πρόσβαση σε ιδιοδεκτικές αισθητηριακές πληροφορίες. Ψυχοσωματικές μελέτες έχουν εξερευνήσει τα αντιληπτικά όρια της ιδιοδεκτικότητας των κάτω άκρων του ανθρώπου. Για παράδειγμα, το απόλυτο όριο για την ανίχνευση παθητικής κίνησης της άρθρωσης του αγκώνα είναι μικρότερο από 1°. Είναι ενδιαφέρον ότι οι εκτιμήσεις για τη θέση και το μέγεθος του σώματος υπόκεινται επίσης σε στρεβλώσεις, όπως η τάση υποτίμησης του μήκους των δακτύλων και η υπερεκτίμηση του πλάτους των χεριών. Το ότι αυτά τα σφάλματα δεν φαίνεται να επηρεάζουν την συμπεριφορική απόδοση, υποδηλώνει ότι είτε οι άνθρωποι δεν έχουν αντιληπτική πρόσβαση στις ολοκληρωμένες ιδιοδεκτικές πληροφορίες, είτε ότι τα κυκλώματα κινητικού σχεδιασμού ευθύνονται για συστηματικές παραμορφώσεις στην ιδιοδεκτικότητα του σώματος.



Ενώ η σημασία της συνειδητής ιδιοδεκτικότητας για την εκτέλεση της κίνησης παραμένει ασαφής, η δυνητική επιβάρυνση από αυτή την αντίληψη, είναι πολύ γνωστή σε πολλούς ανθρώπους. Όσοι έχουν υποστεί ακρωτηριασμό μπορεί να υποφέρουν από έντονο πόνο, εντοπισμένο σε ένα «φάντασμα κάτω άκρου» που δεν υπάρχει πια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, συνεχίζουν επίσης να αντιλαμβάνονται λεπτομερείς πληροφορίες θέσης, ακόμη και μια αίσθηση ελέγχου στη θέση του χαμένου άκρου. Αυτά τα υπολείμματα αντίληψης δείχνουν την ύπαρξη ενός ιδιοδεκτικού «υποδείγματος του σώματος», που είναι αποθηκευμένο κάπου στο ΚΝΣ. Οι τρέχουσες θεραπείες για το σύνδρομο του κάτω άκρου-φάντασμα προσπαθούν να χειραγωγήσουν αυτό το μοντέλο σώματος με ανατροφοδότηση από άλλες αισθήσεις, όπως μέσω οπτικών ψευδαισθήσεων της θέσης ή της κίνησης του κάτω άκρου-φάντασμα (Tuthill & Azim, 2018).

### **2.9.1 Προσδιορισμός τοποθεσιών και μηχανισμών πολυτροπικής (multimodal) ολοκλήρωσης**

Διακριτά αισθητήρια συστήματα συχνά κωδικοποιούν επικαλυπτόμενες πληροφορίες. Πράγματι, οι ιδιοδεκτικοί υποδοχείς, οι υποδοχείς αφής και οι νευροϋποδοχείς ανταποκρίνονται σε πολλά από τα ίδια μηχανικά ερεθίσματα. Για παράδειγμα, οι μηχανοϋποδοχείς στο δέρμα και στη μεσοοστική μεμβράνη ανταποκρίνονται στην παραμόρφωση και τους κραδασμούς του δέρματος και πιθανότατα συμβάλλουν στην αίσθηση της θέσης και της κίνησης του σώματος. Επιπλέον, υπάρχουν καταγραφές που έχουν δείξει ότι η αφή και η ιδιοδεκτικότητα μπορεί ήδη να ενσωματωθούν στους νευρώνες του νωτιαίου μυελού και της κοιλιακής νευρικής χορδής (VNC), όταν αναφερόμαστε σε έντομα. Προς το παρόν δεν είναι γνωστός ο τρόπος με τον οποίο αυτή η ολοκλήρωση συμβάλλει στην ιδιοδεκτική νευρωνική κωδικοποίηση και στον έλεγχο ανατροφοδότησης της κίνησης. Υπάρχει λοιπόν το ερώτημα, αν τα ιδιοδεκτικά σήματα που καταγράφονται στον εγκέφαλο είναι αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης σε διάφορους τύπους σωματοαισθητηριακών νευρώνων (Tuthill & Azim, 2018).

Είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση της ιδιοδεκτικότητας με άλλες αισθητηριακές μεθόδους για τον κατάλληλο αισθητικοκινητικό έλεγχο; Αυτά είναι εν μέρει ερωτήματα ανατομίας, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν με ειδικές για τον τύπο του κυττάρου ανατομικές και λειτουργικές μεθόδους χαρτογράφησης κυκλωμάτων. Αλλά θα απαιτήσει επίσης μια λεπτομερή κατανόηση του πώς διαφορετικοί τύποι σωματοαισθητηριακών

νευρώνων κωδικοποιούν δυναμικά τα φυσικά ερεθίσματα και πώς αυτά τα σήματα αλληλεπιδρούν μέσα στα κεντρικά κυκλώματα (Tuthill & Azim, 2018).

Σε υψηλότερα επίπεδα, σε κέντρα κεντρικού κινητικού σχεδιασμού όπως ο εγκεφαλικός φλοιός και το κεντρικό σύμπλεγμα, τα ιδιοδεκτικά σήματα πρέπει να ολοκληρώνονται με πληροφορίες από τα όργανα όρασης και ισορροπίας. Αυτό εγείρει το ερώτημα των χωρικών πλαισίων αναφοράς: για παράδειγμα, στα θηλαστικά, τα οπτικά σήματα κωδικοποιούνται σε συντεταγμένες με επίκεντρο τον οφθαλμό, ενώ τα αισθησιακά σήματα είναι σε συντεταγμένες με κέντρο την κεφαλή. Υπάρχει ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων για πληροφορίες ιδιοδεκτικότητας ή διαφέρει από άκρο σε άκρο; Και πώς συνδυάζονται πολυτροπικά σήματα σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων για να σχηματίσουν μια σταθερή αναπαράσταση; Τα υπολογιστικά μοντέλα έχουν δείξει ότι οι πολυτροπικοί νευρώνες με μικτά ή ενδιάμεσα πλαίσια αναφοράς (intermediate reference frames) μπορούν να παρέχουν και χρήσιμες πληροφορίες για ορισμένες απλές εργασίες, όπως ο έλεγχος της περιστροφής της κεφαλής. Ωστόσο, δεν είναι ακόμη σαφές εάν αυτή η συνδυαστική στρατηγική ισχύει για πιο περίπλοκες, αληθινά φυσικές κινήσεις, όπως η επιδέξια προσέγγιση κάποιου αντικειμένου, ή η μετακίνηση σε ανώμαλο έδαφος (Tuthill & Azim, 2018).

### **2.9.2 Πώς επηρεάζεται η ιδιοδεκτικότητα στα κάτω άκρα μετά από αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια**

Η σωματοαισθητική δυσλειτουργία είναι συχνή μετά το εγκεφαλικό, εμφανίζεται σε έως και 89% των επιζώντων. Η ιδιοδεκτικότητα και η απτική σωματοαισθητοποίηση είναι πιο εξασθενημένες στο πόδι παρά στο χέρι, μετά το εγκεφαλικό. Η συχνότητα αυξάνεται με την αύξηση του επιπέδου αδυναμίας και της σοβαρότητας του επεισοδίου. Η σωματοαισθητική δυσλειτουργία των κάτω άκρων έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στην ανεξαρτησία πραγματοποίησης δραστηριοτήτων της καθημερινότητας και στη συμμετοχή των επιζώντων από εγκεφαλικό επεισόδιο σε κοινωνικές δραστηριότητες στις οποίες συμμετέχουν και άλλα άτομα (Carey et al., 2018), καθώς επίσης προβλέπει μεγαλύτερη παραμονή στο νοσοκομείο και χαμηλότερη συχνότητα εξιτηρίων για την επιστροφή στο σπίτι (Chia et al., 2019).

Η σωματοαισθητική δυσλειτουργία των κάτω άκρων επηρεάζει αρνητικά την ισορροπία και το βάδισμα. Τα πελματιαία απτικά ελλείμματα μετά το εγκεφαλικό, συσχετίζονται με χαμηλότερους βαθμούς ισορροπίας και μεγαλύτερη ταλάντωση στάσης

κατά την ορθοστασία. Η απτική και η ιδιοδεκτική ανατροφοδότηση παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με το βάρος που μετατοπίζεται μέσω του άκρου (Chia et al., 2019).

Αντίστοιχα, τα απτικά και ιδιοδεκτικά σωματοαισθητικά ελλείμματα μπορεί να εμποδίσουν την ικανότητα αντίχενωσης του φορτίου του παρετικού άκρου, οδηγώντας δυνητικά σε μειωμένη αντοχή στο βάρος και συμβάλλοντας στη διαταραχή της ισορροπίας και στις πτώσεις μετά το εγκεφαλικό. Πράγματι, οι επιζώντες από εγκεφαλικό με σωματοαισθητηριακή δυσλειτουργία, έχουν υψηλότερη συχνότητα πτώσεων σε σύγκριση με εκείνους χωρίς σωματοαισθητηριακή βλάβη. Εκτός από τη μειωμένη ισορροπία, η εξασθενημένη αντίχενωση των χαρακτηριστικών του φορτίου μπορεί επίσης να συμβάλει στην ασυμμετρία βάδισης, ιδιαίτερα στη φάση της ώθησης. Επιπλέον, η ιδιοδεκτικότητα του ποδιού επηρεάζει τη διακύμανση του μήκους του διασκελισμού, της ταχύτητας βάδισης και της αντοχής στο περπάτημα σε επιζώντες από εγκεφαλικό επεισόδιο. Τελικά, η σωματοαισθητική δυσλειτουργία του ποδιού έχει αποδειχθεί ότι είναι ο τρίτος πιο σημαντικός ανεξάρτητος παράγοντας για τη μειωμένη ταχύτητα βάδισης, σε άτομα που επιβίωσαν από εγκεφαλικό (Chia et al., 2019).

Το εγκεφαλικό είναι η κύρια αιτία θανάτου και σοβαρής μακροχρόνιας αναπηρίας στις Ηνωμένες Πολιτείες (Go et al., 2014). Τα άτομα με ημιπάρεση λόγω εγκεφαλικού επεισοδίου, συνήθως δυσκολεύονται να φέρουν βάρος στο παρετικό κάτω άκρο και να μεταφέρουν βάρος από το ένα πόδι στο άλλο (Hsiao et al., 2020).

Η μειωμένη ικανότητα του παρετικού άκρου να φέρει βάρος, έχει συσχετιστεί με λειτουργικά ελλείμματα όταν κάποιος ανασηκώνεται από μια καρέκλα, στέκεται όρθιος και περπατάει. Η ικανότητα μεταφοράς σωματικού βάρους μεταξύ των κάτω άκρων σχετίζεται με τη διαταραχή της ισορροπίας στην όρθια στάση και τον βηματισμό και της απόδοσης στη βάδιση. Συγκεκριμένα, η μειωμένη μεταφορά βάρους στο παρετικό κάτω άκρο συμβάλλει σε ασυμμετρίες βάδισης, οι οποίες συνήθως οδηγούν σε μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη. Σε προηγούμενη μελέτη οι Hsiao et al. (2020) είχαν αναφέρει ότι η ικανότητα μεταφοράς βάρους πλευρικά στο παρετικό πόδι κατά τη διάρκεια ενιαίας στάσης (single stance) σχετιζόταν με την αυτοεπιλεγμένη ταχύτητα βάδισης και την ικανότητα αύξησης της ταχύτητας βάδισης. Αυτό μπορεί να υποδεικνύει ότι τα ελλείμματα μεταφοράς βάρους επηρεάζουν αρνητικά την πρόοδο προς τα εμπρός. Πράγματι, η έντονη μετατόπιση βάρους προς το παρετικό κάτω άκρο ενίσχυσε την παρετική κινητική των κάτω άκρων και τις μυϊκές δραστηριότητες που συμβάλλουν στην προοδευτική εξέλιξη της κίνησης με φορά προς τα εμπρός (Hsu et al., 2017).

Επιπλέον, τα ελλείμματα της ικανότητας του παρετικού κάτω άκρου να φέρει βάρος, συμβάλλουν στην αστάθεια της πλευρικής και κάθετης ισορροπίας και σχετίζονται με τον κίνδυνο πτώσης σε άτομα με χρόνια εγκεφαλικό. Αυτοί οι λειτουργικοί περιορισμοί μπορούν να επηρεάσουν τη συμμετοχή σε δραστηριότητες στο επίπεδο της κοινότητας και την ποιότητα ζωής. Κατά συνέπεια, η αποκατάσταση της ικανότητας του παρετικού κάτω άκρου να φέρει βάρος, αποτελεί έναν σημαντικό στόχο αποκατάστασης μετά το εγκεφαλικό (Hsiao et al., 2020).

Παρά τις σημαντικές προσπάθειες αποκατάστασης που στοχεύουν στη βελτίωση της μεταφοράς βάρους μετά από ένα εγκεφαλικό, οι βλάβες στον νευροκινητικό και εμβιομηχανικό έλεγχο που υποδηλώνουν δυσλειτουργία μεταφοράς βάρους, παραμένουν ελάχιστα κατανοητές. Η λειτουργική μεταφορά βάρους απαιτεί τον συντονισμό ενεργειών πολυάριθμων αρθρώσεων για την απορρόφηση της δύναμης πρόσκρουσης και την παροχή στήριξης στο σώμα. Ειδικότερα, οι αρθρώσεις του άκρου πόδα και του γόνατος συμβάλλουν καθοριστικά στην απορρόφηση των κραδασμών και στην υποστήριξη του σωματικού βάρους. Αυξημένη ακαμψία στο γόνατο του παρετικού άκρου και στις αρθρώσεις του άκρου πόδα έχει αναφερθεί σε άτομα με εγκεφαλικό. Η ανεπαρκής κάμψη της άρθρωσης του κάτω άκρου μπορεί να διαταράξει τη ρύθμιση της δύναμης κρούσης κατά την αποδοχή βάρους και να οδηγήσει σε αστάθεια που τελικά καθυστερεί και παρατείνει το χρόνο μεταφοράς βάρους κατά τη μετακίνηση. Εναλλακτικά, η υπερβολική κάμψη του άκρου πόδα και της άρθρωσης του γόνατος κατά τη διάρκεια της φόρτισης μπορεί να επισπεύσει την κατάρρευση του άκρου και να αποσταθεροποιήσει την ισορροπία κατά τη μεταφορά βάρους (Hsiao et al., 2020).

Έτσι, τόσο η ανεπαρκής, όσο και η υπερβολική κίνηση των αρθρώσεων, θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις διαδικασίες μεταφοράς βάρους. Εκτός από το πλάτος των γωνιακών μετατοπίσεων του παρετικού άκρου ποδός και του γόνατος, οι ανωμαλίες στον σχετικό χρόνο αυτών των κινήσεων των αρθρώσεων (δηλαδή, ο συντονισμός μεταξύ των αρθρώσεων) μπορεί επίσης να συμβάλλουν στη μειωμένη αποτελεσματικότητα μεταφοράς βάρους μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο (Hsiao et al., 2020).

Ένας άλλος βασικός παράγοντας που επηρεάζει τη λειτουργική μεταφορά βάρους είναι η ικανότητα ρύθμισης του κέντρου πίεσης (center of pressure, COP) κάτω από τα πόδια, σε σχέση με το κέντρο μάζας του σώματος (center of mass, COM). Κατά τη διάρκεια της κίνησης, ο αποτελεσματικός νευροκινητικός έλεγχος των κάτω άκρων συμβάλλει στη ρύθμιση της θέσης και της κίνησης COM σε σχέση με τη βάση στήριξης για τη διατήρηση της σταθερότητας και την πρόληψη της πτώσης. Σε σύγκριση με τους

ενήλικες που διατηρούν τις αντίστοιχες σωματικές ικανότητες, τα άτομα με χρόνια εγκεφαλικό επεισόδιο έχουν μειωμένη ικανότητα να μετατοπίζουν γρήγορα το COP τους στο κάτω άκρο που διαμορφώνει τη στάση σώματος κατά την έναρξη του βαδίσματος, αντικατοπτρίζοντας ανωμαλίες στον έλεγχο ισορροπίας κατά τη μεταφορά βάρους (Hsiao et al., 2020).

Επειδή οι μυς του ισχίου και του άκρου πόδα ρυθμίζουν τις κινήσεις COM και COP, οι δυσκολίες στον έλεγχο της κινηματικής (kinematics) του ισχίου και του συντονισμού της άρθρωσης ισχίου-άκρου ποδός, μπορεί να συμβάλλουν στην καθυστερημένη και μειωμένη μεταφορά βάρους μετά από εγκεφαλικό (Hsiao et al., 2020).

Μετά από εγκεφαλικό, τα άτομα συχνά περιορίζουν τη χρήση του παρετικού κάτω άκρου, ευνοώντας τη χρήση του λιγότερο προσβεβλημένου, κατά τη στάση και το βάδισμα (Hsiao et al., 2020).

## ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Κεφάλαιο 3. Φυσικοθεραπευτική παρέμβαση – μορφές αποκατάστασης

Οι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη λειτουργική αποκατάσταση του κάτω άκρου στο εγκεφαλικό είναι ασαφείς, περιορίζοντας επομένως την ικανότητα των ειδικών αποκατάστασης να στοχεύουν σε ελλείμματα που επηρεάζουν τη λειτουργία των κάτω άκρων, όπως το βάδισμα. Η κατανόηση των φλοιωδών υποστρωμάτων που αποτελούν τη βάση της αποκατάστασης των κινητικών συμπεριφορών κατά τη διάρκεια της διαφορικής ενεργοποίησης του παρετικού και μη παρετικού άκρου που εμπλέκεται στο περπάτημα, μπορεί να εξηγήσει το γιατί ορισμένοι ασθενείς ανταποκρίνονται καλά σε παρεμβάσεις αποκατάστασης, όπως η εκπαίδευση στο βάδισμα, ενώ άλλοι μπορεί να μην ανακτήσουν ποτέ την επαρκή κινητική λειτουργία για ασφαλές περπάτημα στην κοινότητα (Palmer et al., 2016).

#### 3.1 Κλασσική φυσικοθεραπεία από έγκυρα θεραπευτικά πρωτόκολλα

Στην ημιπληγία, ο διασκελισμός στο παρετικό κάτω άκρο παρέχει λιγότερη μυϊκή δύναμη και δείχνει ότι γίνεται πιο σύντομη στάση, σε σύγκριση με το μη προσβεβλημένο άκρο. Ωστόσο, μια χρονικά μεγαλύτερη στάση και μια υψηλότερη ισχύς μπορούν να ληφθούν από το παρετικό κάτω άκρο, εάν αυξηθεί η ταχύτητα διασκελισμού. Αυτό υποστηρίζει την ύπαρξη ενός φαινομένου «εκμάθησης της μη χρήσης», παρόμοιου με αυτό που κρύβεται πίσω από ορισμένες ασύμμετρες βλάβες της κίνησης των ματιών και των άνω άκρων. Το βάδισμα με επίκυψη, με το σώμα κυρτό (crouch gait, CG) (λυγισμένο ισχίο-γόνατο, περίπου 30° ελάχιστη κάμψη γόνατος), μπορεί να είναι μια αποτελεσματική μορφή θεραπείας για την «αναγκαστική χρήση» του παρετικού κάτω άκρου. Δεν είναι γνωστό εάν διεγείρει επίσης μια πιο συμμετρική απόδοση μυϊκής ισχύος (Tesió et al., 2017).

Η διασταυρούμενη προπόνηση (cross training), χρησιμοποιείται συνήθως για να παρέμβει σε σύνθετες κινήσεις όπως το βάδισμα. Αυτή η μέθοδος άρχισε να έλκει την προσοχή μετά από αρκετές μελέτες που ανέφεραν ότι η εκγύμναση της πλευράς χωρίς βλάβη θα μπορούσε να επηρεάσει τη λειτουργία στην πλευρά της βλάβης. Η διασταυρούμενη προπόνηση αναφέρεται στη δυνατότητα προώθησης της μυϊκής

δραστηριότητας στην παράλυτη πλευρά, με την εφαρμογή άσκησης αντίστασης σε πιο δυνατά μέρη του σώματος. Αν και οι μηχανισμοί της διασταυρούμενης προπόνησης δεν έχουν διευκρινιστεί με σαφήνεια ακόμη, οι Carroll et al. ανέφεραν ότι υπάρχει ένα χαλαρό ιεραρχικό δίκτυο που απλώνεται ευρέως σε όλους τους μετωπιαίους λοβούς του εγκεφαλικού φλοιού, που εμπλέκεται στον σχεδιασμό και την εκτέλεση της αυτόνομης κίνησης και ότι η κινητική μάθηση στη μία πλευρά συνδέθηκε με το εγκεφαλικό στέλεχος μέσω του μεσολοβίου που διαιρεί τις αμφίπλευρες κινητικές περιοχές, και θα μπορούσε να επηρεάσει την ετερόπλευρη πλευρά. Οι Chang et al. παρατήρησαν ότι το μη προσβεβλημένο εγκεφαλικό ημισφαίριο συμμετείχε περισσότερο στη δραστηριότητα των άκρων στην πληγείσα πλευρά ασθενών με χρόνια εγκεφαλικό και πρότεινε ότι αυτό οφείλεται στο ότι η ενδοημισφαιρική αναστολή και οι μη διασταυρούμενες φλοιονωτιαίες ίνες στην ετερόπλευρη πλευρά θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως προσαρμοστικοί μηχανισμοί σε ασθενείς με εγκεφαλικό (Park et al., 2021).

Στην έρευνα των Hsiao et al. (2020), οι συμμετέχοντες στάθηκαν με το ένα πόδι σε καθεμία από δύο προσαρμοσμένες πλατφόρμες. Μία από τις πλατφόρμες έπεσε 4,3 cm κατακόρυφα για να προκαλέσει πλευρική μεταφορά βάρους και να φέρει βάρος. Οι δοκιμές που αφορούσαν πτώση της πλατφόρμας κάτω από το παρετικό κάτω άκρο (μη κυρίαρχο άκρο για έλεγχο) συμπεριλήφθηκαν στις αναλύσεις. Μετρήθηκαν η παρετική κινηματική άρθρωση κάτω άκρου, οι κατακόρυφες δυνάμεις αντίδρασης που ασκούνται επί του εδάφους και η ταχύτητα κέντρου πίεσης (center of pressure velocity). Όλοι συμμετείχαν και στην κλινική δοκιμασία βημάτων (the clinical Step Test, ST), όπως και στη δοκιμή βημάτων τεσσάρων τετραγώνων (Four-Square Step Test, FSST) (Hsiao et al., 2020).

### **3.2 Υδροθεραπεία**

Στην Aquatic Treadmill training (ATT) χρησιμοποιείται υποβρύχιος διάδρομος που συνδυάζει τα οφέλη της βύθισης στο νερό, με τα πλεονεκτήματα της συνεχούς και ρυθμικής προπόνησης βάδισης σε διάδρομο. Η επίδραση στήριξης του σωματικού βάρους λόγω της άνωσης είναι το βασικό ευεργετικό χαρακτηριστικό, παρόμοιο με την επίδρασή του στο BWSTT (Body weight supported treadmill training) (Lee et al., 2017).

Η CWT που εφάρμοσαν οι Lee et al. (2017), θεωρείται έγκυρη και αξιόπιστη για τη μέτρηση της αυτοεπιλεγόμενης ταχύτητας βάδισης στο έδαφος, για μικρές αποστάσεις, σε ασθενείς με εγκεφαλικό. Η ταχύτητα των μεσαίων 10 m μετριέται από τα 14 m, διανύεται

με ταχύτητα που αυτο-επιλέγεται και διατηρεί της αίσθηση της άνεσης και με ανάπαυση τουλάχιστον 30 δευτερολέπτων μεταξύ των δοκιμών. Η μέση τιμή από τις 3 δοκιμές υπολογίστηκε για την ανάλυση δεδομένων. Οι χωροχρονικές παράμετροι βάρδισης μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας το σύστημα ανάλυσης κίνησης Vicon (Vicon Motion Systems, Oxford, UK). Η BBS είναι ένα αντικειμενικό μέσο μέτρησης για τη δυναμική ισορροπία, μέσω της εκτέλεσης 14 λειτουργικών εργασιών. Η Κλίμακα ABC είναι ένα αυτοαναφερόμενο ερωτηματολόγιο, στο οποίο οι συμμετέχοντες βαθμολογούν υποκειμενικά την εμπιστοσύνη στην ισορροπία τους, με εκτέλεση 16 δραστηριοτήτων σε μια κλίμακα από 0% (μη εμπιστοσύνη) έως 100% (πλήρης εμπιστοσύνη) (Lee et al., 2017).

### **3.3 Ρομποτική αποκατάσταση**

Η συσκευή παθητικής υποβοήθησης βηματισμού που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των Yao et al. (2021) ήταν το σύστημα Kickstart Walk Assist (Real Star Rehabilitation, Σαγκάη, Κίνα). Αυτή η συσκευή είναι μια συσκευή παθητικού εξωσκελετού με έναν εξωτένοντα που εκτείνεται παράλληλα, στην πλάγια πλευρά του ποδιού και περνά μέσα από τροχαλίες πάνω από τις αρθρώσεις του ισχίου, του γόνατος και του άκρου ποδός. Πριν από κάθε εκπαίδευση, η συσκευή εξωσκελετού προσαρτήθηκε στο πιο προσβεβλημένο άκρο του ατόμου. Αφού στερεώθηκε σταθερά η συσκευή, η στεγανότητα του εξωτένοντα ρυθμίστηκε χρησιμοποιώντας έναν οδοντωτό τροχό προσαρμοσμένο στο δίσκο που βρίσκεται πλευρικά της ζώνης μέσης, έως ότου το άτομο αισθανθεί την υποβοήθηση και μπορεί να απομακρύνει το πόδι του από το έδαφος. Ο αριθμός των «κλικ» στον οδοντωτό τροχό σημειώθηκε χρησιμοποιώντας ένα αυτοκόλλητο κολλημένο στο δίσκο (Yao et al. 2021).

Το PKU-RARS είναι μια άλλη συσκευή, η οποία παρέχει μια ποδοκνημική βάση για ρομποτική αποκατάσταση, που εκτελεί έκταση PNF για τη σπαστικότητα των πελματιαίων καμπτήρων του άκρου ποδός. Η προτεινόμενη συσκευή μπορεί λειτουργικά να χωριστεί σε δύο μέρη: τη διεπαφή με τον χρήστη και τη συσκευή. Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια κατά τη χρήση του συστήματος, έχουν σχεδιαστεί πλεονάζοντες μηχανισμοί προστασίας στο σύστημα ελέγχου και στη διεπαφή με τον χρήστη, μηχανικοί διακόπτες και διακόπτες έκτακτης ανάγκης (Zhou et al., 2016).



Οι Koch et al. (2019) διερεύνησαν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα ημερήσιας παρεγκεφαλιδικής διαλείπουσας διέγερση θ-έκρηξης (CRB-iTBS), διάρκειας 3 εβδομάδων, σε συνδυασμό με PT στην ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας, σε μια τυχαιοποιημένη, διπλά τυφλή, εικονικά ελεγχόμενη μελέτη φάσης Ια.

### **3.4 Ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση και εικονική πραγματικότητα**

Το εγκεφαλικό είναι η δεύτερη αιτία θανάτου στον κόσμο και μία από τις κύριες αιτίες θανάτου και αναπηρίας. Τόσο οι ισχαιμικές όσο και οι αιμορραγικές μορφές εγκεφαλικού μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά νευρολογικά ελλείμματα. Ημιπάρεση, ημιπληγία, αισθητηριακή και γνωστική εξασθένηση είναι μεταξύ των πιο συχνών κλινικών εκδηλώσεων (Junior et al., 2019). Κατά συνέπεια, υπάρχει συχνά μείωση της λειτουργικής ικανότητας και της ποιότητας ζωής (Billinger et al., 2014).

Η φυσικοθεραπεία ενισχύει την ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας και λειτουργικότητας, προάγοντας την αναδιοργάνωση του φλοιού και την εκ νέου κινητική εκμάθηση. Υπάρχει ένας αριθμός μεθόδων, όπως η νευροαναπτυξιακή θεραπεία (neurodevelopmental therapy), η ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση (proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF), η εκπαίδευση που είναι προσανατολισμένη στην εκτέλεση συγκεκριμένων κινήσεων (task-oriented training), και τα πρωτόκολλα εικονικής πραγματικότητας (virtual reality, VR) (Junior et al., 2019).

Η ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση αναπτύχθηκε αρχικά από τον Kabat στη δεκαετία του 1950 για τη θεραπεία ασθενών με κινητικά ελλείμματα. Σε αυτή τη θεραπευτική φιλοσοφία, κάθε άτομο έχει τη δυνατότητα να προχωρήσει, ακόμη και αν έχει σημαντικές αναπηρίες (Chen et al., 2014).

Οι τεχνικές PNF προωθούν τις λειτουργικές κινήσεις μέσω διευκόλυνσης, αναστολής, ενδυνάμωσης και χαλάρωσης μυϊκών ομάδων, χρησιμοποιώντας ομόκεντρες (ή σύγκεντρες), έκκεντρες και ισομετρικές συσπάσεις (συστολές) (Guiu-Tula et al., 2017).

Τα μοτίβα άσκησης για κάθε τμήμα βασίζονται σε λειτουργικές και τρισδιάστατες κινήσεις που εκτελούνται σε καθημερινές δραστηριότητες ρουτίνας (Sharma & Kaur, 2017).

Έχει προταθεί ότι μέρος των περιορισμών που υφίστανται στον παραδοσιακό τρόπο θεραπείας, σχετίζεται με το γεγονός ότι η επανάληψη των ίδιων κινήσεων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ο ασθενής να ασχολείται λιγότερο με τη θεραπεία και, κατά συνέπεια, να οδηγηθεί σε απώλεια αποτελεσματικότητας. Ο συνδυασμός παραδοσιακών τεχνικών με

διαδραστικές τεχνολογίες μπορεί να επηρεάσει θετικά, επιτρέποντας στο άτομο να συμμετέχει και να εμπυθιστεί στο περιβάλλον αποκατάστασης (Masseti et al., 2018).

Σε αυτό το πλαίσιο, η εικονική πραγματικότητα είναι μια σχετικά νέα στρατηγική που έχει δείξει ευνοϊκά αποτελέσματα στην ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας και τη βελτίωση της λειτουργικής ικανότητας (Saposnik et al., 2016).

Το ηλεκτρονικό παιχνίδι “Nintendo Wii” (της εταιρείας Nintendo Co Ltd, στο Κιότο, Ιαπωνία), έχει προοδευτικά αναγνωριστεί ως χρήσιμο θεραπευτικό εργαλείο. Οι θεραπευτικές στρατηγικές που περιλαμβάνουν αυτό το εργαλείο φαίνεται να έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες διατήρησης του κινήτρου των ασθενών, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την προσήλωσή τους στη φυσικοθεραπεία (Saposnik et al., 2016). Αυτή η συσκευή έχει προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω του χαμηλού κόστους και της δυνατότητας για τον ασθενή να τη χρησιμοποιεί ανεξάρτητα, ακόμη και για εκπαίδευση στο σπίτι (Junior et al., 2019).

Η χρησιμότητα της πλατφόρμας Wii στην αποκατάσταση εξετάζεται από έναν αυξανόμενο αριθμό μελετών και συγκρίνεται με τη συμβατική φυσικοθεραπεία. Ωστόσο, πρακτικά ζητήματα καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση όχι μόνο της υπεροχής της μιας τεχνικής έναντι της άλλης, αλλά και της δυνατότητας συσχέτισής τους. Οι ασκήσεις με παιχνίδια εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συμμετοχή του ασθενούς και τη σωματική του ικανότητα να παίζει. Επιπλέον, οι αποκλειστικές στρατηγικές παιχνιδιού μπορεί να αφήσουν κενά στην εξάσκηση, τα οποία είναι δύσκολο να καλυφθούν και δεν προβλέπουν εργασία με παθητικό χαρακτήρα, για τις καταστάσεις στις οποίες ένα κινητικό έλλειμμα ή δυσκολίες με τη στάση του σώματος εμποδίζουν τη χρήση των παιχνιδιών. Όταν μια πιο συμβατική στρατηγική (όπως η PNF) γίνεται μέρος της θεραπείας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση καταστάσεων που μπορεί να είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν μόνο με VR. Τα παιχνίδια Wii δεν σχεδιάστηκαν αρχικά για θεραπεία και, κατά συνέπεια, ενδέχεται να μην έχουν πληρότητα ή να μην εξερευνούν στον βέλτιστο βαθμό το μέγεθος της κίνησης. Είναι ένα θέμα που εξακολουθεί να συζητείται, αλλά θεωρείται σχετικό για την κλινική πρακτική, επειδή η γνώση των θεραπευτικών δυνατοτήτων αυτών των τεχνικών από κοινού, μπορεί να επηρεάσει τον προγραμματισμό για έναν δεδομένο επιζώντα από εγκεφαλικό επεισόδιο (Junior et al., 2019).

### 3.5 Διακρανιακή διέγερση συνεχούς ρεύματος ως υποσχόμενη θεραπεία

Η διακρανιακή διέγερση συνεχούς ρεύματος (Transcranial direct current stimulation, tDCS) αναπτύχθηκε σε ανθρώπους από τον Priori το 1998 και από τους Nitsche και Paulus το 2000.

Οι τελευταίοι συγγραφείς έδειξαν ότι, όταν εφαρμόζεται πάνω από τον κινητικό φλοιό, το tDCS τροποποιεί τη διεγερσιμότητα του φλοιού ανάλογα με την πολικότητα που χρησιμοποιείται. Όταν η άνοδος τοποθετείται πάνω από την προς διέγερση περιοχή του κινητικού φλοιού και η κάθοδος πάνω από το ετερόπλευρο μάτι, το tDCS (που ονομάζεται έτσι ανοδικό) αυξάνει τη διεγερσιμότητα του φλοιού, τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τη διέγερση, που αποδεικνύεται από μια αύξηση στο πλάτος του κινητικού προκλητού δυναμικού (motor-evoked potential, MEP) που δημιουργείται από το TMS. Αντίθετα, όταν η κάθοδος τοποθετείται πάνω από την προς διέγερση περιοχή του κινητικού φλοιού και η άνοδος πάνω από τον ετερόπλευρο οφθαλμό, η διεγερσιμότητα του φλοιού μειώνεται. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του tDCS επιμένουν μετά τη διέγερση (ονομάζονται μετα-επιδράσεις post effects). Η διάρκεια των μετα-επιδράσεων (post effects) εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της διέγερσης. Επιπλέον, το tDCS είναι ασφαλές, εύκολο στη χρήση, καλά ανεκτό και έχει μικρές παρενέργειες όπως (1) αίσθηση κνησμού κάτω από το διεγερτικό ηλεκτρόδιο, (2) πονοκέφαλο μετά τη διέγερση και (3) ήπια ναυτία, που είναι σπάνια (Geiger et al., 2017).

Η ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση της πυέλου (proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF) βοηθά επίσης στη βελτίωση του ελέγχου της πυέλου, που αποτελεί βασικό σημείο για τη διατήρηση του ελέγχου του κορμού, της βάδισης και της ισορροπίας, μέσω της διέγερσης της ιδιοδεκτικότητας των μυών και των αρθρώσεων. Μελέτες στο παρελθόν έχουν δείξει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της κλίσης της πυέλου και του ελέγχου του κορμού, σε διάφορα στάδια εγκεφαλικού επεισοδίου (Sharma & Kaur, 2017).

## **Κεφάλαιο 4. Επιλεγμένες μελέτες**

### **4.1 Μεθοδολογία – κριτήρια συμπερίληψης μελετών**

Η αναζήτηση δημοσιεύσεων που σχετίζονται με το αντικείμενο της έρευνας πραγματοποιήθηκε στις γνωστές μηχανές αναζήτησης pubmed και googlescholar. Η αναζήτηση απέδωσε μεγάλο αριθμό δημοσιεύσεων, οι οποίες αποτελούν μελέτες περιπτώσεων, με εφαρμογή συγκεκριμένης τακτικής για την αποκατάσταση της λειτουργικότητας των κάτω άκρων μεμονωμένου ασθενούς, τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες (RCTs), αρκετές από αυτές με ομάδα μαρτύρων αλλά και κάποιες χωρίς αυτή, αλλά και αρκετές ανασκοπήσεις άλλων RCTs. Κατά την επισκόπηση αυτών των δημοσιεύσεων, διαπιστώθηκε ότι, σε σημαντικό βαθμό, αναφέρονταν σε τεχνικές οι οποίες, είτε με χρήση τεχνολογίας είτε όχι, δεν απέδιδαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Αυτό είχε σαν συνέπεια την έλλειψη ενδιαφέροντος για την επανάληψη της δοκιμής των τεχνικών αυτών σε νεότερες μελέτες, όχι μόνο γιατί δεν βελτιώναν εντυπωσιακά την κατάσταση των ασθενών που υπέστησαν το εγκεφαλικό επεισόδιο, αλλά και γιατί δεν τυποποιούνταν. Για παράδειγμα, μια θεραπεία που εφαρμόζεται με τη βοήθεια τεχνικών μέσων που καταλαμβάνουν πολύ χώρο, ή χρειάζεται αρκετούς εξειδικευμένους επαγγελματίες για να βοηθούν τον ασθενή και να χειρίζονται πολύπλοκες συσκευές.

Επομένως, και έχοντας υπόψη την πρόοδο της τεχνολογίας, θα έπρεπε να αποκλειστούν δημοσιεύσεις παλαιότερες της δεκαετίας και να επιλεγούν όσο το δυνατό πιο πρόσφατες και με κάποιο μέγεθος δείγματος, όχι σε μεμονωμένες περιπτώσεις, ώστε να αυξηθούν οι πιθανότητες να πρόκειται για εύχρηστες μεθόδους, που επαναλαμβάνονται εύκολα και αξιολογούνται με εργαλεία τα οποία, κατά προτίμηση, είναι ήδη δοκιμασμένα.

Ακόμη, δεν συμπεριλήφθηκαν συστηματικές ανασκοπήσεις, ενώ ήταν αξιόλογες, καθώς δεν είναι αυτό δυνατό γιατί και η παρούσα έρευνα συνιστά συστηματική ανασκόπηση.

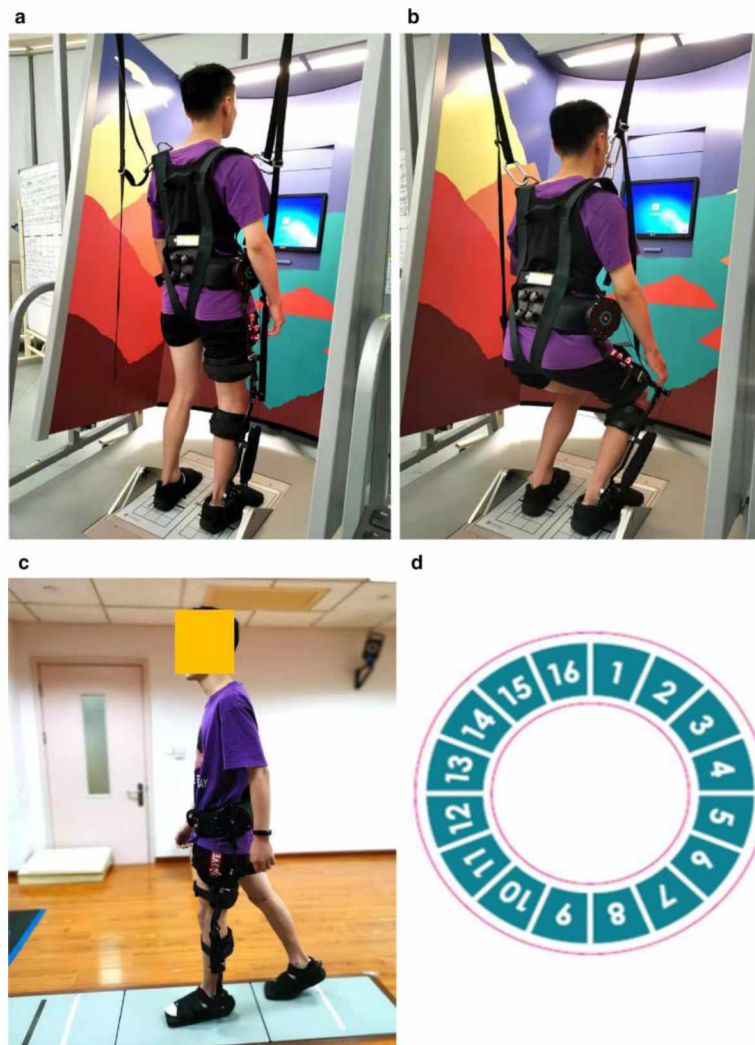
### **4.2 Τελική Διαλογή**

Κατά την τελική διαλογή, δόθηκε βαρύτητα σε προσπάθειες που περιλαμβάνουν την προσπάθεια αποκατάστασης της ιδιοδεκτικότητας των κάτω άκρων με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, ρομποτικών συσκευών που προσαρμόζονται στο σώμα του ασθενούς, ή μηχανισμών που βοηθούν στην εκτέλεση ασκήσεων, οι οποίοι συνδέονται επίσης με τεχνολογικές εξελίξεις.

### 4.3 Αποτελέσματα

#### 4.3.1 Μελέτες με ρομποτικές συσκευές

Σε γενικές γραμμές, οι περισσότερες μελέτες συγκλίνουν σε αποτελέσματα που παράγουν μια σαφή βελτίωση της δυνατότητας του παρεικτικού άκρου να κινηθεί, αλλά δεν πρόκειται για οριστικές λύσεις, οπότε προτείνεται η συνέχιση των προσπαθειών για τη βελτίωση των μεθόδων. Όμως, από την περιγραφή των μεθόδων και των μέσων που διατίθενται για την υλοποίησή τους, διαφαίνεται ότι πράγματι υπάρχει η βούληση από μέρους των ερευνητών, για εξέλιξη και καθιέρωσή τους ως τυποποιημένες μεθόδους για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος που δημιουργείται στην υγεία των ασθενών μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο.



**Εικόνα 3.** Το σχήμα δείχνει τη ρύθμιση για το τεστ σε (a) όρθια θέση και (b) θέση οκλαδόν με τη συσκευή εξωσκελετού στερεωμένη στη μια πλευρά. (c) Άτομο που δεν συμμετέχει στη μελέτη περπατά με τη βοήθεια του εξωσκελετού σε ένα σύνολο

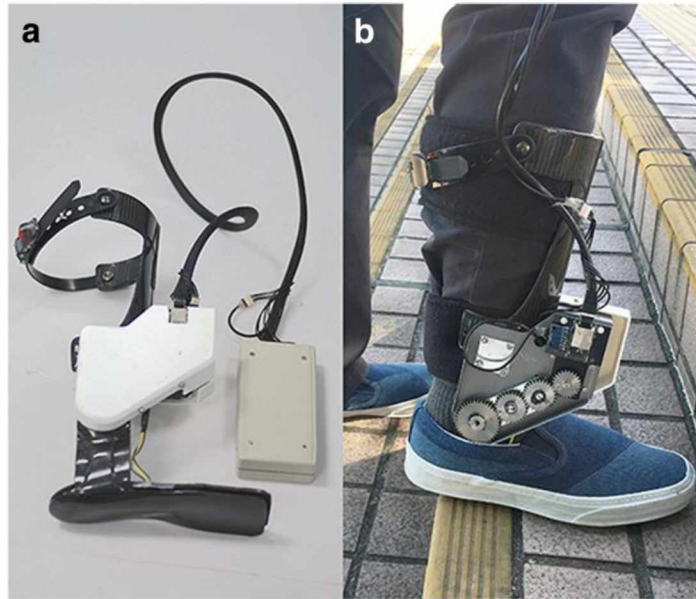
πλατφορμών δύναμης, στο εργαστήριο βάδισης, που διαθέτει κάμερες καταγραφής κίνησης τοποθετημένες στους τοίχους. (d) Αυτοκόλλητο καντράν προσαρμοσμένο στο τμήμα του εξωσκελετού στο ισχίο, για να σημειώνεται η κίνηση του οδοντωτού τροχού, για τη σύσφιξη του εξωτενόντιου καλωδίου.

Ανατύπωση από: Yao J, Sado T, Wang W, et al. The Kickstart Walk Assist System for improving balance and walking function in stroke survivors: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18(1):42.

Στη μελέτη σκοπιμότητας των Yao et al. (2021), ο στόχος ήταν να δοκιμαστεί σε δείγμα επιζώντων από εγκεφαλικό, το σύστημα Kickstart® Walk Assist, το οποίο είναι μια παθητική συσκευή εξωσκελετού κάτω άκρων. Η μελέτη στόχευε συγκεκριμένα στην ισορροπία, τη βάδιση και την αποτελεσματικότητα της βάδισης των συμμετεχόντων στη μελέτη. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν επίσης για να προσδιοριστούν οι αντιλήψεις τους σχετικά με τη βελτίωση της λειτουργικότητας και τα προβλήματα άνεσης που αντιμετωπίζουν κατά τη χρήση της συσκευής. Οι συμμετέχοντες στη μελέτη πήραν μέρος σε δοκιμασίες για να γίνουν διάφορες μετρήσεις με και χωρίς τη συσκευή, αφού βάδισαν με χρήση του εξωσκελετού, για διάρκεια 5 ημερών. Σημαντικές μειώσεις προσδιορίστηκαν στο τεστ 10 MWT, στην ασυμμετρία όταν μεταφέρεται βάρος, στο χρόνο βήματος και στο DST. Επιπλέον, δεν σημειώθηκαν ανεπιθύμητα συμβάντα στους συμμετέχοντες. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η συσκευή εξωσκελετού έχει βραχυπρόθεσμη σκοπιμότητα.

Η μελέτη των Yeung et al. (2018) αξιολογεί την προπόνηση βάδισης με AFO (robot-assisted ankle-foot-orthosis, με υποβοηθούμενη από ρομπότ όρθωση αστραγάλου-άκρου ποδός), με υποστήριξη της ραχιαίας κάμψης. Στοχεύει στο κατά πόσο μπορεί να φέρει μεγαλύτερη βελτίωση στην ικανότητα ανεξάρτητου βαδίσματος, σε σύγκριση με την προπόνηση με παθητική AFO.

Δεκαεννέα ασθενείς με χρόνιο εγκεφαλικό επεισόδιο, με κινητική αναπηρία στον άκρο πόδα, συμμετείχαν σε 20 συνεδρίες εκπαίδευσης βάδισης με τη βοήθεια ρομπότ, για περίπου πέντε εβδομάδες, με 30 λεπτά βάδιση στο έδαφος και περιπατητικές πρακτικές σε σκάλες (Yeung et al., 2018).



**Εικόνα 4.** (α) AFO υποβοηθούμενη από ρομπότ και (β) ασθενείς με εγκεφαλικό που περπατούν σε σκάλες φορώντας το υποβοηθούμενο από ρομπότ AFO. Ανατύπωση από: Yeung, L. F., Ockenfeld, C., Pang, M. K., Wai, H. W., Soo, O. Y., Li, S. W., & Tong, K. Y. (2018). Randomized controlled trial of robot-assisted gait training with dorsiflexion assistance on chronic stroke patients wearing ankle-foot-orthosis. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15(1), 51.

Το υποβοηθούμενο από ρομπότ AFO αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα των Yeung et al. και σχεδιάστηκε για περπάτημα μεγάλων αποστάσεων, ώστε να είναι φορητό, χωρίς προσδεμένη εξωτερική πηγή ενέργειας, για να διευκολύνει το απλό περπάτημα σε εσωτερικό περιβάλλον με σκάλες (εικ. 1) (Yeung et al., 2018).

Μια αδρανειακή μονάδα μέτρησης (MPU6050 6-axis MotionTracking™, InvenSense, USA) με ενσωματωμένο επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο απέκτησε δεδομένα κίνησης κορμού, τα οποία ήταν είσοδοι ενός αλγορίθμου δέντρου απόφασης για την ταξινόμηση τριών συνθηκών βάρδισης: βάρδιση σε επίπεδο, άνοδος και κάθοδος σε σκάλα (Yeung et al., 2018).

Μετά από 20 συνεδρίες εκπαίδευσης βάρδισης με τη βοήθεια ρομπότ, η οποία περιλάμβανε βάρδιση στο έδαφος και πρακτικές κινητικότητας σε σκαλοπάτια, η Ομάδα Ρομποτικής έδειξε ότι βελτιώνει σημαντικά τη λειτουργική, ανεξάρτητη ικανότητα βάρδισης, την ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας και την ταχύτητα βάρδισης, σε σύγκριση με την ομάδα που δεν έκανε την προπόνηση με πραγματικό ρομπότ. Οι αναλύσεις βάρδισης υποδεικνύουν ότι οι ασθενείς με εγκεφαλικό, που παρουσίαζαν πρόβλημα πτώσης του

ποδιού, βάδισαν με μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση στο βάδισμα, με λάκτισμα της πτέρνας στην προσβεβλημένη πλευρά, ακόμη και αφού είχαν διακόψει τη χρήση του AFO με τη βοήθεια ρομπότ, εύρημα το οποίο μπορεί να σχετίζεται με την προσαρμογή των ασθενών στην επαναλαμβανόμενη υποβοήθηση με ισχύ, της ραχιαίας κάμψης του άκρου ποδός. Κατά την παρακολούθηση διάρκειας 3 μηνών, οι μέσες τιμές της βελτίωσης στην Ομάδα Ρομποτικής διατηρήθηκαν στην ανεξαρτησία βάδισης, την ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας και την ταχύτητα βάδισης, αλλά δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, στο ίδιο χρονικό διάστημα (Yeung et al., 2018).

Η υποβοηθούμενη από ρομπότ εκπαίδευση βάδισης με υποστήριξη της ραχιαίας κάμψης, θα μπορούσε να βελτιώσει τη λειτουργική ανεξαρτησία της βάδισης, την κινητική ανάκαμψη και την ταχύτητα βάδισης, ασθενών με χρόνια εγκεφαλικό που παρουσιάζουν πτώση άκρου πόδα. Οι αναλύσεις βάδισης δείχνουν ότι οι ασθενείς με εγκεφαλικό που συμμετείχαν, βάδισαν με μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην αποδοχή του βάρους, χρησιμοποιώντας χτύπημα στη φτέρνα στην προσβεβλημένη πλευρά. Η εντατική επαναλαμβανόμενη ενεργή υποβοήθηση του άκρου πόδα μπορεί να έχει βελτιώσει την κινητική εκμάθηση μέσω της νευροπλαστικότητας. Η AFO με τη βοήθεια ρομπότ συνιστάται ως βοηθητική συσκευή για βάδιση, αλλά θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί προς πιο ελαφρύ και προσαρμοσμένο σχεδιασμό (Yeung et al., 2018).

#### **4.3.2 Διερεύνηση της PNF**

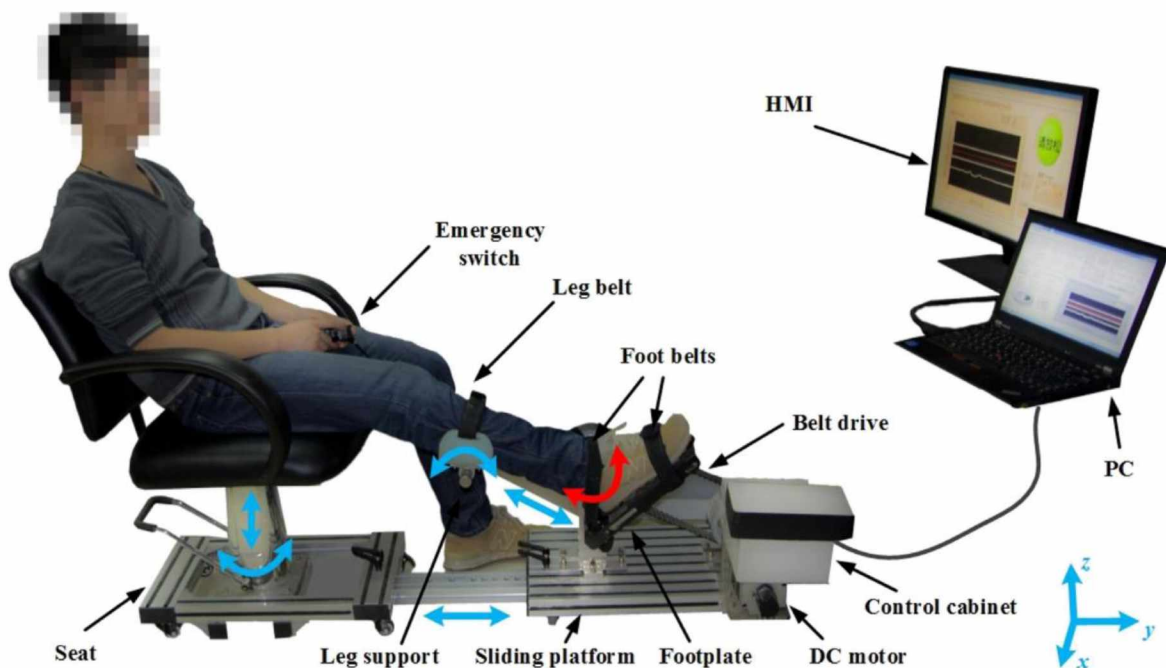
Ο πυρήνας του μυϊκού συστήματος περιλαμβάνει τους μύες του κορμού και της λεκάνης που είναι υπεύθυνοι για τη διατήρηση της σταθερότητας της σπονδυλικής στήλης και της πυέλου. Οι κοιλιακοί μπροστά, οι ραχιαίοι και οι γλουτιαίοι, το διάφραγμα ως οροφή και οι μύες της ζώνης της πυέλου και του ισχίου, αποτελούν το μυϊκό σύστημα του πυρήνα. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι το κεντρικό νευρικό σύστημα εκκινεί τη σύσπαση των κοιλιακών μυών και του πολυσχιδούς μυός με τρόπο τροφοδοσίας προς τα εμπρός, πριν από την κύρια κίνηση του κάτω άκρου, για να σταθεροποιήσει τη σπονδυλική στήλη. Ο εγκάρσιος κοιλιακός είναι ο πρώτος μυς που είναι ενεργός κατά την κίνηση των κάτω άκρων, μετά από ετερόπλευρη μετατόπιση βάρους. Αυτοί οι μύες έχουν χρησιμοποιηθεί για την προπόνηση αθλητών και την άσκηση ασθενών με οσφυαλγία. Μελέτες έχουν βρει ότι η εκγύμναση του πυρήνα βελτιώνει τη στατική και δυναμική ισορροπία σε ασθενείς με χρόνια εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι Sharma & Kaur (2017) υποθέτουν ότι η προσθήκη προγράμματος σταθεροποίησης του πυρήνα στην πυελική PNF θα βοηθούσε στη βελτίωση της σταθερότητας του κορμού, προκειμένου να επιτευχθεί



έλεγχος του κορμού και ελεγχόμενη κινητικότητα για τη βελτίωση της ισορροπίας, της βάδισης και της λειτουργικής ικανότητας σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο (Sharma & Kaur, 2017).

Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι υπάρχει μια αθροιστική επίδραση της ενδυνάμωσης του πυρήνα των μυών και του PNF της πύελου στη βελτίωση της βλάβης του κορμού, της ισορροπίας, της βάδισης και της λειτουργίας, σε ασθενείς με εγκεφαλικό. Η βελτιωμένη σταθερότητα του πυρήνα παρέχει μια σταθερή βάση για κινήσεις κορμού και ποδιών. Μπορεί να χορηγηθεί εύκολα, γιατί δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός (Sharma & Kaur, 2017).

### 4.3.3 PNF, σε συνδυασμό με ρομποτικές συσκευές



**Εικόνα 5.** Επισκόπηση της συσκευής PKU-RARS. Αποτελείται από ένα ρυθμιζόμενο κάθισμα, μια συρόμενη πλατφόρμα, ένα στήριγμα ποδιών, μια ρομποτική βάση, έναν ενεργοποιητή και έναν πίνακα ελέγχου, δύο χειροκίνητους διακόπτες έκτακτης ανάγκης και μια διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (human-machine interface, HMI). Τα μπλε βέλη αντιπροσωπεύουν τους παθητικούς, ρυθμιζόμενους βαθμούς ελευθερίας, ενώ το κόκκινο βέλος αντιπροσωπεύει την ενεργή κίνηση της άρθρωσης του αστραγάλου.

Ανατύπωση από: Zhou, Z., Sun, Y., Wang, N., Gao, F., Wei, K., & Wang, Q. (2016). Robot-Assisted Rehabilitation of Ankle Plantar Flexors Spasticity: A 3-Month Study with Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. *Frontiers in neurorobotics*, 10, 16.

Η ρομποτική συσκευή PKU-RARS, υπερέχει στη θεραπεία αποκατάστασης, λόγω των τροποποιήσεων στο προηγούμενο σύστημα. Συμπερασματικά, η προτεινόμενη ρομποτική αποκατάσταση με βάση το PNF, με οπτική ανατροφοδότηση, μπορεί να χρησιμεύσει ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την αποκατάσταση του εγκεφαλικού (Zhou et al., 2016).

#### **4.3.4 PNF σε συνδυασμό με εικονική πραγματικότητα (VR)**

Όταν πρόκειται για περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας (VR), οι Junior et al. (2019) πρότειναν ασκήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μιας συσκευής Nintendo Wii. Ένας επαγγελματίας φυσιοθεραπευτής επέβλεπε τη θεραπεία συνεχώς και κάθε συμμετέχων λάμβανε προηγουμένως οδηγίες για τη διεξαγωγή των αγώνων. Το θεραπευτικό πρωτόκολλο περιλάμβανε 4 παιχνίδια: Balance Bubble Plus, Rhythm Parade, Tennis και Box. Τα παιχνίδια περιλάμβαναν ασκήσεις για μετατόπιση πολλαπλών κατευθύνσεων, στατικό βάδισμα και για το άνω άκρο (Junior et al., 2019).

Στην ομάδα VR, οι ασκήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μιας συσκευής Nintendo Wii. Ο χώρος της παρέμβασης ήταν ένα δωμάτιο 20 τετραγωνικών μέτρων εξοπλισμένο με προβολέα πολυμέσων, ο οποίος πρόβαλλε την εικόνα στον τοίχο σε ύψος 1 m και 20 cm (Junior et al., 2019).

Μόνο πλήρως καταρτισμένοι φυσικοθεραπευτές, οι οποίοι ολοκλήρωσαν ένα τυποποιημένο πρόγραμμα εκπαίδευσης σχετικά με το πρωτόκολλο μελέτης, εφάρμοσαν τη θεραπεία. Η ακολουθία PNF περιλάμβανε ενεργοποίηση ωμοπλάτης, άνω άκρου, πυέλου, κάτω άκρου και βάδισης και κατανεμήθηκε μεταξύ 2 εβδομαδιαίων συνεδριών. Η εκγύμναση έγινε σε διαφορετικές θέσεις (κατάκλιση, καθιστή, όρθια) ανάλογα με τη συγκεκριμένη άσκηση. Στην πρώτη συνεδρία, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 10 λεπτά ασκήσεις διαγωνίου ωμοπλάτης (ανάσπαση και κατάσπαση ωμοπλάτης) και 30 λεπτών διαγώνιων άνω άκρων (κάμψη-απαγωγή-έξω στροφή και έκταση-απαγωγή-έσω στροφή). Στη δεύτερη συνεδρία, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 10 λεπτά πυελικών διαγώνιων με πρόσθια κλίση και οπίσθια κλίση, ακολουθούμενα από 20 λεπτά διαγώνιων κάτω άκρων [κάμψη-απαγωγή-έξω στροφή και κάμψη-απαγωγή-έσω στροφή] και 10 λεπτά κύκλου διασκελισμού (Junior et al., 2019).

Η διάρκεια κάθε θεραπευτικής συνεδρίας με το Nintendo Wii ήταν ίδια με αυτή των άλλων ομάδων, συμπεριλαμβανομένων των 10 αρχικών λεπτών διατάσεων. Στην πρώτη

συνεδρία της εβδομάδας, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν ασκήσεις με τα παιχνίδια Balance Bubble Plus και Tennis (20 λεπτά ο καθένας). Στη δεύτερη συνεδρία χρησιμοποιήθηκαν Rhythm Parade και Boxing (20 λεπτά το καθένα) (Junior et al., 2019).

Η ομάδα PNF/VR πραγματοποίησε ασκήσεις PNF και VR. Η διάρκεια των ασκήσεων τροποποιήθηκε έτσι ώστε ο μισός χρόνος να αφιερώνεται στο PNF και ο άλλος μισός στο VR. Η συνολική διάρκεια των συνεδριών παρέμεινε σταθερή. Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 5 λεπτά διαγώνιων ωμοπλάτης και 15 λεπτά διαγώνιων κάτω άκρων στην πρώτη εβδομαδιαία συνεδρία. Το υπόλοιπο της συνεδρίας ήταν αφιερωμένο σε ασκήσεις VR. Στη δεύτερη συνεδρία, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 5 λεπτά διαγώνιων πύελου, 10 λεπτά διαγώνιων κάτω άκρων, 5 λεπτά κύκλου βάρδιας και στη συνέχεια ασκήσεις VR. Τα παιχνίδια για την ομάδα PNF/VR ήταν τα ίδια με αυτά για την ομάδα VR, εκτός από τη διάρκειά τους. Ενώ εκτελέστηκαν για 20 λεπτά το καθένα στην ομάδα VR, εκτελέστηκαν για 10 λεπτά στην ομάδα PNF/VR (Junior et al., 2019).

Το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των πρωτοκόλλων θεραπείας δεν σημαίνει ότι η προσαρμοστικότητα και οι ενδείξεις τους είναι ίδιες. Στην κλινική πράξη, οι θεραπευτικές επιλογές πρέπει να αξιολογούνται κατά περίπτωση. Το επίπεδο αποδοχής των στόχων από τον ασθενή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, λαμβάνοντας υπόψη ότι, μέχρι σήμερα, δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί η υπεροχή του PNF ή της VR, ούτε ο συνδυασμός και των δύο (Junior et al., 2019).

Συνοπτικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, ο αντίκτυπος ενός προπονητικού προγράμματος που συνδυάζει VR και PNF στην αισθητικοκινητική απόδοση που αξιολογείται μέσω της κλίμακας FMA είναι παρόμοιος με αυτόν που επιτυγχάνεται με τεχνικές αυτόνομης τοποθέτησης του σώματος. Έτσι, δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική απώλεια στη συσχέτισή τους και μέχρι στιγμής δεν είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί η υπεροχή μιας θεραπευτικής στρατηγικής έναντι μιας άλλης (Junior et al., 2019).

#### **4.3.5 Βιντεοπαιχνίδι που είναι εμπορικά διαθέσιμο**

Σε ό,τι αφορά το δομημένο πρωτόκολλο που ακολούθησαν οι Cano-Mañás et al. (2020), με χρήση της κονσόλας βιντεοπαιχνιδιών (VG) Xbox 360° και τη συσκευή Kinect® (θεραπεία βασισμένη σε βιντεοπαιχνίδια), η οποία σχεδιάστηκε από μια ομάδα νευροαποκατάστασης βασισμένη σε εμπορικό VG, η αρχική υπόθεση των είναι ότι θα μπορούσε να είναι συμπλήρωμα της συμβατικής θεραπείας και να εφαρμοστεί σωστά σε ένα νοσοκομειακό περιβάλλον, για ασθενείς στο υποξύ εγκεφαλικό στάδιο.

Τα αποτελέσματα των Cano-Mañás et al. (2020) υποδηλώνουν ότι η χρήση ενός πρωτοκόλλου βασισμένου σε VG, χρησιμοποιώντας ορισμένα από αυτά που υπάρχουν στην αγορά, σε συνδυασμό με συμβατική θεραπεία, μπορεί να προκαλέσει βελτιώσεις στην ισορροπία, τον έλεγχο της στάσης, τη λειτουργικότητα, την ποιότητα ζωής, το επίπεδο κινήτρων, την τήρηση της θεραπείας και την ικανοποίηση, σε ασθενείς στο υποξύ εγκεφαλικό στάδιο.

#### **4.3.6 Μέθοδοι διέγερσης με ηλεκτρικό ρεύμα**

Οι επιδράσεις της tDCS δεν περιορίζονται στον κινητικό φλοιό που βρίσκεται κάτω από το ηλεκτρόδιο διέγερσης. Κατά τη διέγερση, η ανοδική tDCS προκαλεί αλλαγές και στη διεγερσιμότητα των νευρωνικών κυκλωμάτων της σπονδυλικής στήλης. Οι Roche et al. (2012) έδειξαν ότι 20 λεπτά ανοδικής tDCS αύξησαν την ομώνυμη υποτροπιάζουσα αναστολή στους α κινητικούς νευρώνες του πελματιαίου μυός κατά τη διέγερση και μείωσε την ιδιοσπονδυλική διευκόλυνση στην οσφυϊκή μοίρα (lumbar proprio-spinal facilitation) κατά τη διάρκεια και μετά τη διακοπή της διέγερσης του φλοιού σε υγιά υποκείμενα (Geiger et al., 2017).

Τα αποτελέσματα αυτών των διαφορετικών μελετών υποδηλώνουν έντονα ότι η ανοδική tDCS είναι μια πιο κατάλληλη διαμόρφωση διέγερσης από την καθοδική tDCS για τη βελτίωση σύνθετων κινητικών εργασιών, όπως το βάδισμα και η ισορροπία σε ασθενείς με εγκεφαλικό, καθώς αυξάνει τη διεγερσιμότητα του φλοιού και τροποποιεί τη διεγερσιμότητα του νωτιαίου κυκλώματος, βελτιώνοντας την ισορροπία και την πρόληψη της μη φυσιολογικής μυϊκής ενεργοποίησης κατά το βάδισμα (Geiger et al., 2017).

Το πρωταρχικό αποτέλεσμα είναι η μεταβλητότητα της μετατόπισης του κέντρου μάζας κατά το βάδισμα και ένα έργο στατικής ισορροπίας (static-balance). Τα δευτερογενή αποτελέσματα περιλαμβάνουν κλινικές και λειτουργικές μετρήσεις πριν και μετά τη διέγερση. Μια τρισδιάστατη ανάλυση βάδισης και αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας σε πλάκα με δυναμόμετρο θα πραγματοποιηθεί επίσης πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διέγερση (Geiger et al., 2017).

Η διαδερμική ηλεκτρική νευρική διέγερση (transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS) χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική θεραπεία για την ενίσχυση της μυϊκής δύναμης των παρετικών κάτω άκρων, της ταχύτητας βαδίσματος, απόδοσης στην ισορροπία, και λειτουργικής κινητικότητας σε άτομα με οξύ, υποξύ και χρόνιο εγκεφαλικό επεισόδιο. Τα θεραπευτικά αποτελέσματα της TENS μπορεί να μεσολαβούνται μέσω

περιφερειακών και κεντρικών μηχανισμών. Σε περιφερικό επίπεδο, η TENS που εφαρμόζεται σε παρετικά κάτω άκρα, μείωσε το εύρος του H-reflex (αντανακλαστικό Η της γαστροκνημίας) και επέκτεινε τον λανθάνοντα χρόνο αντανακλαστικού διάτασης και τον λανθάνοντα χρόνο του Η-αντανακλαστικού σε άτομα με χρόνια εγκεφαλικό. Στο επίπεδο του φλοιού, μία μόνο συνεδρία δερματικής ηλεκτρικής διέγερσης που εφαρμόστηκε σε παρετικό χέρι μείωσε την βραχυχρόνια ενδοφλοιώδη αναστολή και ενίσχυσε τη φλοιο-μυϊκή σύζευξη κατά τη συστολή του παρετικού αντίχειρα. Προηγούμενες μελέτες από το εργαστήριο των Kwong et al. (2018) έδειξαν ότι 20 συνεδρίες TENS σε μία πλευρά του σώματος (Uni-TENS), που εφαρμόστηκαν στα παρετικά κάτω άκρα, σε συνδυασμό με εκπαίδευση προσανατολισμένη στο έργο που πρόκειται να εκτελεστεί (TOT), οδήγησε σε μεγαλύτερη βελτίωση της μυϊκής δύναμης των κάτω άκρων και στην απόδοση κατά την βάρδια από την TENS ως εικονικό φάρμακο, σε συνδυασμό με TOT, σε άτομα στο χρόνια εγκεφαλικό στάδιο (Kwong et al., 2018).

Η μελέτη των Kwong et al. (2018) δείχνει ότι το Bi-TENS που εφαρμόζεται στα κοινά περνιαία νεύρα common peroneal nerves σε συνδυασμό με το TOT κάτω άκρων lower-limb TOT, επάγουν μεγαλύτερη βελτίωση στην αντοχή pDF ξεκινώντας μετά από 10 συνεδρίες και μεγαλύτερη βελτίωση στον χρόνο ολοκλήρωσης TUG μετά από 20 συνεδρίες σε σύγκριση με το Uni-TENS σε συνδυασμό με TOT, ενώ το Bi-TENS δεν έδειξε επιπλέον πλεονέκτημα στη βελτίωση της δύναμης pPF και της μυϊκής δύναμης του γόνατος. Τόσο το Bi-TENS+TOT όσο και το Uni-TENS+TOT προκάλεσαν σημαντικές βελτιώσεις εντός της ομάδας στη δύναμη του παρετικού άκρου ποδός, τον συντονισμό των κάτω άκρων, τη δυναμική ισορροπία στην ορθοστασία, τη λειτουργική κινητικότητα και την απόδοση ισορροπίας σε άτομα με χρόνια εγκεφαλικό επεισόδιο, μετά από 20 συνεδρίες προπόνησης. Τα αποτελέσματα της προπόνησης και στις δύο ομάδες διατηρήθηκαν για 3 μήνες (Kwong et al., 2018).

Μετά από νευρολογικό τραυματισμό, η αποκατάσταση του ελέγχου των κάτω άκρων και η ικανότητα βάρδιας είναι πρωταρχικός στόχος των ασθενών που έχουν υποστεί εγκεφαλικό. Ωστόσο, πολλά άτομα μένουν με μακροχρόνια αναπηρία ως προς τη λειτουργικότητα των κινήσεων μετά από εγκεφαλικό, παρά την αποκατάσταση που εφαρμόζεται πάντα με συγκεκριμένο τρόπο. Η πρόοδος της έρευνας της νευροεπιστήμης τις τελευταίες δεκαετίες, έχει ενισχύσει την κατανόηση των δομικών αλλαγών στον εγκέφαλο που μπορεί να αποτελούν τη βάση της λειτουργικής αναπηρίας μετά από εγκεφαλικό. Μελέτες έχουν δείξει την «προσαρμοστική ικανότητα» του ΚΝΣ και την

εντυπωσιακή ικανότητα των νευρώνων να τροποποιούν τη δομή και τη λειτουργία, σε απόκριση σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Ωστόσο, ένα μεγάλο κενό παραμένει στην τρέχουσα κατανόηση αυτής της νευροπλαστικότητας και των νευροφυσιολογικών μηχανισμών που επηρεάζουν τη λειτουργική αποκατάσταση στους ανθρώπους μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο. Πράγματι, αυτή η έλλειψη κατανόησης έχει περιορίσει την ικανότητα ανάπτυξης αποτελεσματικών θεραπειών νευροαποκατάστασης, για την αποκατάσταση της κινητικής λειτουργίας (Kleim and Jones 2008; Harris-Love 2013) (Palmer et al., 2016).

Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να διερευνήσει 1) τη σχέση μεταξύ των μετρήσεων της φλοιικής ασυμμετρίας μεταξύ των άκρων και της ταχύτητας βάδισης και 2) τις διαφορές στη φλοιοκινητική διεγερσιμότητα του παρετικού ποδιού κατά τη διάρκεια ηρεμίας και ενεργών συνθηκών κάθε ποδιού (Palmer et al., 2016).

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι, παρόμοια με το άνω άκρο, η φυσιολογική ισορροπία της διεγερσιμότητας του φλοιού στο κάτω άκρο μεταβάλλεται στα άτομα που έχουν πληγεί περισσότερο μετά από εγκεφαλικό. Αυτή η άτυπη ώθηση από τον φλοιό εξαρτάται από την ενεργοποίηση του μη αλλοιωμένου ημισφαιρίου κατά τη διάρκεια της βουλητικής συστολής του μη παρετικού ποδιού. Αυτό υποδηλώνει ότι οι βελτιώσεις της άτυπης κίνησης του φλοιού μπορεί να οδηγήσουν σε βελτιωμένες ταχύτητες βάδισης. Νέες στρατηγικές αποκατάστασης που έχει αποδειχθεί ότι ενισχύουν τα φλοιοκινητικά εισερχόμενα δεδομένα από το αλλοιωμένο ημισφαίριο, μειώνουν τα φλοιοκινητικά εισερχόμενα δεδομένα από το μη αλλοιωμένο ημισφαίριο και βελτιώνουν τη φλοιοκινητική ασυμμετρία μεταξύ των άνω άκρων, όπως η θεραπεία κίνησης που προκαλείται από περιορισμούς και η λειτουργική ηλεκτρική διέγερση, θα μπορούσαν ενδεχομένως να βελτιώσουν την κινητική λειτουργία των κάτω άκρων μέσω παρόμοιων μηχανισμών. Μελλοντική έρευνα που θα διερευνήσει την αποτελεσματικότητα τέτοιων στρατηγικών αποκατάστασης στην προώθηση θετικών αλλαγών στα πρότυπα της φλοιοκινητικής διεγερσιμότητας στο κάτω άκρο, θα μπορούσε να ενισχύσει τους κλινικούς γιατρούς, ώστε να εφαρμόσουν θεραπείες που στοχεύουν σε ατομικά ελλείμματα και τελικά να οδηγήσουν σε βελτιώσεις στη λειτουργική περιπατητική κινητικότητα (Palmer et al., 2016).

Επομένως, η μη ικανοποιητική ανάκαμψη της βάδισης μετά από εγκεφαλικό σχετίζεται με ενισχυμένη φλοιώδη ώθηση προς το παρετικό πόδι κατά την ενεργοποίηση του μη αλλοιωμένου ημισφαιρίου και τη σύσπαση του μη παρετικού ποδιού.

Οι νευροφυσιολογικοί μηχανισμοί που προκαλούν την αδυναμία διαφορικής ενίσχυσης της φλοιώδους ώθησης στα παρετικά και μη παρετικά πόδια μπορεί να αποτελούν τη βάση των διαταραχών βάδισης μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο.

Οι στρατηγικές αποκατάστασης που προάγουν την φλοιοκινητική ισορροπία στα παρετικά και μη παρετικά πόδια, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε βελτιωμένη ανάκαμψη του βαδίσματος (Palmer et al., 2016).

Από κλινική άποψη, οι Koch, et al. (2019) διαπίστωσαν ότι η ημερήσια εφαρμογή παρεγκεφαλιδικής διαλείπουσας διέγερσης theta-έκρηξης (CRB-iTBS) σε συνδυασμό με το PT, αύξησε τη βαθμολογία στην κλίμακα BBS από 35 σε 47 βαθμούς, περνώντας από ένα επίπεδο στο οποίο οι ασθενείς χρειάζονται βοήθεια για να περπατήσουν, σε ένα επίπεδο ανεξάρτητου βαδίσματος. Συγκεκριμένα, αυτή η αύξηση στη βαθμολογία BBS υποδηλώνει επίσης σημαντική μείωση του κινδύνου πτώσης, μεταβαίνοντας από έναν μεσαίο κίνδυνο πτώσης σε έναν χαμηλό κίνδυνο πτώσης. Αυτό το αποτέλεσμα είναι σχετικό με τη μελέτη, για διάφορους λόγους. Πρώτον, οι Koch, et al. (2019) μπόρεσαν να βελτιώσουν το βάδισμα σε ένα δείγμα ασθενών στο χρόνιο στάδιο του εγκεφαλικού. Αυτό είναι σημαντικό καθώς οι λειτουργίες βάδισης τείνουν να μειώνονται περισσότερο στους 6 μήνες από την έναρξη του εγκεφαλικού μετά από μια παροδική αρχική βελτίωση και αυτό το έλλειμμα σχετίζεται με μακροχρόνια αναπηρία και μειωμένη ποιότητα ζωής. Δεύτερον, αυτή η βελτίωση επιτεύχθηκε σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα προπόνησης (3 εβδομάδες), δείχνοντας ότι το CRB-iTBS μπορεί να είναι χρήσιμο για το σχεδιασμό γρήγορων, χαμηλού κόστους και αποτελεσματικών πρωτοκόλλων για την αποκατάσταση της βάδισης (Koch, et al., 2019).

Από άποψη συμπεριφοράς, η προκαλούμενη από το TBS μείωση του πλάτους του βήματος οφειλόταν σε μείωση του βήματος του μη επηρεασμένου άκρου. Λόγω της έλλειψης σταθερότητας στο βάδισμα, το μοτίβο βάδισης των ατόμων μετά το εγκεφαλικό διαφέρει από αυτό των υγιών ατόμων. Πράγματι, ένα μεγαλύτερο πλάτος βηματισμού σε άτομα μετά το εγκεφαλικό επεισόδιο έχει εξηγηθεί ως αντιστάθμιση για τη μεγαλύτερη ταλάντευση του σώματος στο μετωπιαίο επίπεδο.<sup>32</sup> Επομένως, η μείωση του πλάτους του βήματος θα πρέπει να θεωρείται ως σαφής ένδειξη της βελτίωσης της σταθερότητας στη βάδιση σε ασθενείς της ομάδας CRB-iTBS. Από την άλλη πλευρά, η χαμηλότερη αύξηση της ταχύτητας βαδίσματος μπορεί να θεωρηθεί ως στρατηγική για τη βελτίωση της σταθερότητας στο βάδισμα (Koch, et al., 2019).

#### 4.3.7 Μελέτες που αναφέρονται σε τεχνικές άσκησης

Από τους Tesio et al. (2017) πραγματοποιήθηκε ανάλυση βάδισης σε διάδρομο δύναμης σε 12 υγιείς ενήλικες και επτά ημιπληγικούς ασθενείς (1-127 μήνες μετά το εγκεφαλικό, διάμεσος: 1,6). Η ταχύτητα ορίστηκε στα 0,3 m/s. Το μήκος του βήματος και οι χρόνοι μονής και διπλής στάσης, οι περιστροφές σε οβελιαίο επίπεδο της άρθρωσης, η μέγιστη θετική ισχύς και το έργο στην έκταση του ισχίου, του γόνατος και του αστραγάλου (πελματιαία κάμψη) και της επιφανειακής ηλεκτρομυογραφίας (sEMG) από τους εκτεινόντες μύες κατά τη διάρκεια της παραγωγής ισχύος μετρήθηκε και στις δύο πλευρές, τόσο κατά το βάδισμα σε όρθια θέση, όσο και με CG.

Η CG φαίνεται να είναι μια αποτελεσματική μορφή άσκησης αναγκαστικής/επιβαλλόμενης χρήσης που προκαλεί περισσότερη δύναμη και έργο από τους παρετικούς μύες των κάτω άκρων που υποστηρίζονται από μια μεγαλύτερη νευρωνική παρώθηση. Φαίνεται επίσης αποτελεσματικό στο να επιβάλλει μια πιο συμμετρική δύναμη και έργο από τους εκτεινόντες μύες του ισχίου, αλλά όχι από το γόνατο, ούτε από τον άκρο πόδα (Tesio et al., 2017).

Οι ασθενείς, σε σύγκριση με υγιείς μάρτυρες, υιοθέτησαν και στις δύο μεθόδους βάδισης, και στις δύο πλευρές, μικρότερο μήκος βήματος (61-84%), καθώς και μικρότερο χρόνο στάσης (76-90%) και αιώρησης (63-83%). Κατά κανόνα, παρείχαν επίσης υψηλότερο μυϊκό έργο (διάμεσος: 137%, εύρος: 77-250%), παράλληλα με μεγαλύτερη περιοχή sEMG (διάμεσος: 174%, εύρος: 75-185%). Στην βάδιση με ορθοστασία, η παραγωγή μέγιστης εκτατικής δύναμης στις αρθρώσεις του ισχίου, του γόνατος και του άκρου ποδός ήταν γενικά χαμηλότερη (83-90%) από το παρετικό άκρο και υψηλότερη (98-165%) από το μη επηρεασμένο άκρο, σε σύγκριση με τις τιμές που είχαν ληφθεί από τους μάρτυρες. Στην CG, η μέγιστη παραγωγή ισχύος στις τρεις αρθρώσεις των κάτω άκρων ήταν πάντα υψηλότερη σε ημιπαρετικούς ασθενείς: 107-177% από το παρετικό άκρο και 114-231% από το μη προσβεβλημένο άκρο. Όταν το βάδισμα μετατοπίστηκε από όρθια στάση σώματος σε κυρτή, μόνο για τους ημιπληγικούς ασθενείς, στο ισχίο, η αναλογία ισχύος παρετικού/μη επηρεαζόμενου άκρου, αυξήθηκε σημαντικά. Για τη μέγιστη ισχύ, το έργο, την περιοχή sEMG και την περιστροφή της άρθρωσης, η αναλογία παρετικού/μη επηρεαζόμενου άκρου αυξήθηκε από 55 σε 85%, 56 σε 72%, 68 σε 91% και 67 σε 93%, αντίστοιχα.

Φαίνεται λοιπόν ότι η CG είναι μια αποτελεσματική μορφή άσκησης που εφαρμόζεται με συγκεκριμένες οδηγίες και προκαλεί περισσότερη ισχύ και έργο από τους παρετικούς μύες των κάτω άκρων, που υποστηρίζονται από μεγαλύτερη νευρική ώθηση.



Φαίνεται επίσης αποτελεσματική στο να παραχθεί εξαναγκασμένα μια πιο συμμετρική ισχύς και έργο, από τους εκτεινόμενους μύες του ισχίου, αλλά όχι από το γόνατο, ούτε τον άκρο πόδα (Tesio et al., 2017).

Οι Park et al. (2021) παρέχουν κλινικά στοιχεία για τη χρήση της διασταυρούμενης προπόνησης σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο.

Σε μελέτες που έχουν προηγηθεί, έχουν εξεταστεί με επιμονή τα αποτελέσματα και οι κλινικές εφαρμογές της διασταυρούμενης προπόνησης. Ωστόσο, στις περισσότερες έχουν διερευνηθεί αυξήσεις στη μυϊκή δύναμη ή τη μυϊκή δραστηριότητα και οι συμμετέχοντες είναι συχνά υγιή άτομα και όχι ασθενείς με εγκεφαλικό. Επιπλέον, η πλειονότητα των μελετών έχει εξετάσει τα αποτελέσματα της διασταυρούμενης προπόνησης που εφαρμόζεται στην πληγείσα πλευρά, μέσω της μη επηρεασμένης πλευράς, ενώ υπάρχουν λίγες μελέτες που συγκρίνουν τα αποτελέσματα της διασταυρούμενης προπόνησης που εφαρμόζεται σε κάθε πλευρά.

Επομένως, στη μελέτη των Park et al. (2021) εφαρμόστηκε διασταυρούμενη προπόνηση στην πληγείσα ή μη επηρεασμένη πλευρά ασθενών με εγκεφαλικό για να εξετάσει τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου στο βάδισμα και την ισορροπία και να διερευνήσει τις διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων.



**Εικόνα 6Α.** Διασταυρούμενη προπόνηση που εφαρμόζεται από το ισχίο ως το άκρο του ποδιού, μέσω του γόνατος. Ο άκρος πόδας στην πλευρά παρέμβασης είναι σε πλήρη ραχιαία κάμψη και το γόνατο είναι πλήρως εκτεταμένο. Στη συνέχεια, το ισχίο κάμπτεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Όταν φτάσει στο τέρμα του εύρους, ο θεραπευτής διατηρεί αντίσταση για 10 δευτερόλεπτα. Η αντίθετη κίνηση εκτελείται από την τελική θέση προς την αρχική θέση.



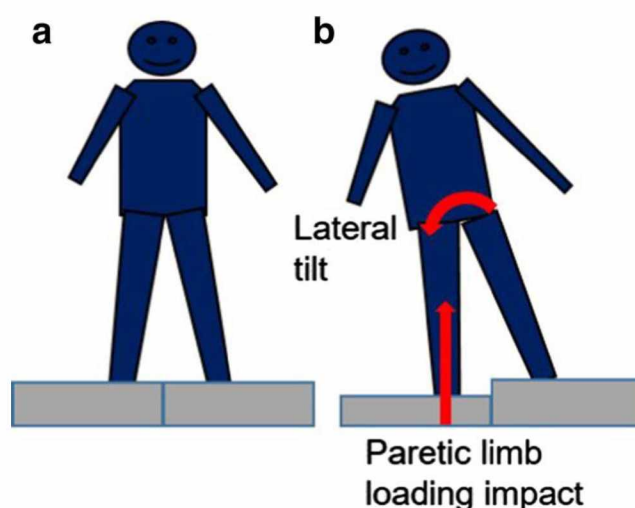
**Εικόνα 6B.** Διασταυρούμενη προπόνηση που εφαρμόζεται από το γόνατο ως το άκρο του ποδιού. Ενώ διατηρείται η κάμψη του ισχίου στην πλευρά παρέμβασης, με τον άκρο πόδα σε πλήρη πελματιαία κάμψη, το γόνατο κάμπτεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Στο τέρμα του εύρους, ο θεραπευτής διατηρεί αντίσταση για 10 δευτερόλεπτα. Η αντίθετη κίνηση εκτελείται από την τελική θέση προς την αρχική θέση.

Ανατύπωση από: Park, C., Son, H., & Yeo, B. (2021). The effects of lower extremity cross-training on gait and balance in stroke patients: a double-blinded randomized controlled trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 57(1), 4–12.

Στη δοκιμασία Timed Up and Go (TUG), συγκρίνοντας πριν και μετά την παρέμβαση, η ομάδα μαρτύρων δεν έδειξε σημαντική αλλαγή ( $P > 0,05$ ), ενώ οι ομάδες διασταυρούμενης προπόνησης από την πληγείσα πλευρά και την μη επηρεασμένη πλευρά παρουσίασαν σημαντικές βελτιώσεις στη λειτουργία ( $P < 0,05$ ). Στο τεστ βάρδισης των 10 μέτρων, η ομάδα μαρτύρων δεν παρουσίασε σημαντική αλλαγή ( $P > 0,05$ ), ενώ οι ομάδες διασταυρούμενης προπόνησης από την πληγείσα πλευρά και την μη επηρεασμένη πλευρά παρουσίασαν σημαντικές αυξήσεις στην ταχύτητα ( $P < 0,05$ ). Στη δοκιμή ισορροπίας, τα όρια σταθερότητας παρουσίασαν σημαντική αύξηση και στις τρεις ομάδες ( $P < 0,05$ ). Δεν υπήρχαν διαφορές πριν ή μετά την παρέμβαση, στο βάδισμα ή στην ισορροπία, μεταξύ των ομάδων ( $P > 0,05$ ) (Park et al., 2021).

Η βάρδιση και η ισορροπία βελτιώθηκαν σε ασθενείς με ημιπληγικό εγκεφαλικό επεισόδιο, που συμμετείχαν στη διασταυρούμενη προπόνηση, ανεξάρτητα από την παρέμβαση που εφαρμόστηκε στην προσβεβλημένη ή μη προσβεβλημένη πλευρά (Park et al., 2021).

Σε κλινικά περιβάλλοντα, για ασθενείς που αντιμετωπίζουν δυσκολίες από άμεσες παρεμβάσεις στην πληγείσα πλευρά, προτείνονται έμμεσες παρεμβάσεις για τη βελτίωση της βάρδισης και της ισορροπίας (Park et al., 2021).



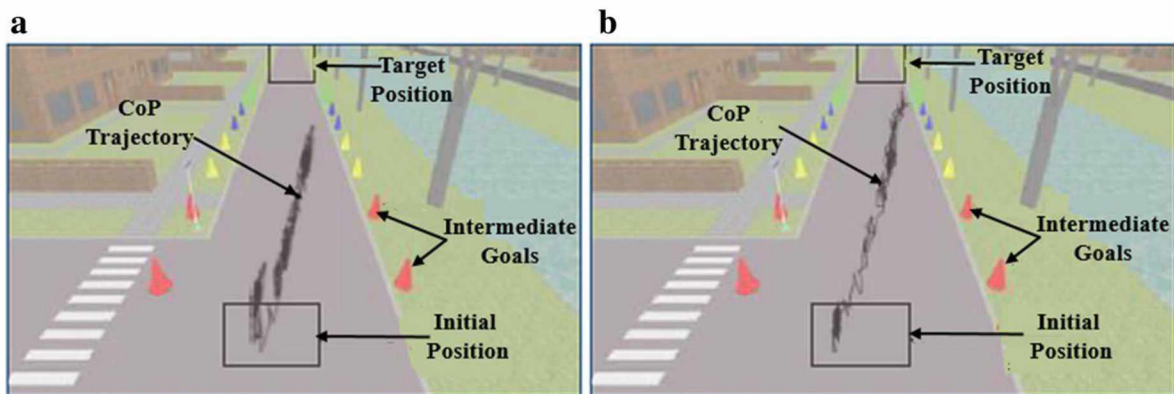
**Εικόνα 7.** Σύστημα μονόπλευρης διατάραξης σε πλατφόρμα (α) που προκαλείται από πλευρική κλίση του σώματος και (β) εξαναγκασμένη κατακόρυφη στήριξη βάρους στο παρετικό άκρο. Ανατύπωση από: Hsiao HY, Gray VL, Borrelli J, Rogers MW. Biomechanical control of paretic lower limb during imposed weight transfer in individuals post-stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):140.

Η προσέγγιση της επαγόμενης μεταφοράς βάρους [κλινική δοκιμασία βημάτων (the clinical Step Test, ST) και δοκιμή βημάτων τεσσάρων τετραγώνων (Four-Square Step Test, FSST)] εντόπισε ανωμαλίες που σχετίζονται με το εγκεφαλικό επεισόδιο, στον έλεγχο της μεταφοράς βάρους προς την πλευρά του παρετικού άκρου, σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Η μειωμένη κάμψη της άρθρωσης του παρετικού άκρου ποδός και του γόνατος, ο αλλοιωμένος χρονισμός μεταξύ των αρθρώσεων και οι αυξημένοι χρόνοι COP σταθεροποίησης, μπορεί να αντικατοπτρίζουν δυσκολίες στον νευρομυϊκό έλεγχο κατά τη μεταφορά βάρους μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Ανάλογες έρευνες στο μέλλον θα πρέπει να διερευνήσουν τις δυνατότητες βελτίωσης της λειτουργικής μεταφοράς βάρους μέσω της εξάσκησης στην επαγόμενη μεταφορά βάρους (Hsiao et al., 2020).

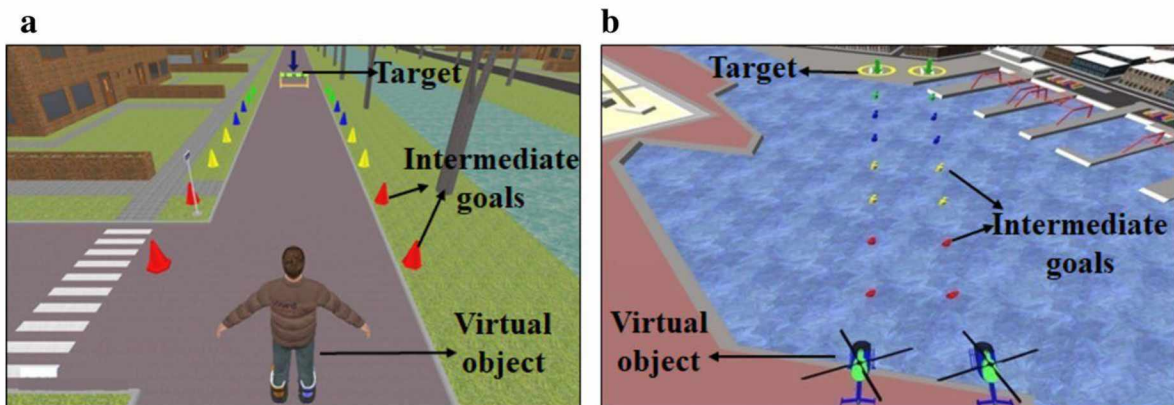
Οι Kumar et al. (2019) δοκίμασαν το σύστημα V2BaT σε εικοσιεννέα ημιπληγικούς συμμετέχοντες, για μία μόνο συνεδρία εκπαίδευσης ισορροπίας. Με το σύστημα V2BaT χρησιμοποιούνται δύο WiiBB, ένα για κάθε πόδι, για τη μέτρηση της μετατόπισης CoP για κάθε πόδι. Το σταθμισμένο άθροισμα του CoP για το αριστερό και το δεξί σκέλος

χρησιμοποιήθηκε για τον ελιγμό του εικονικού αντικειμένου (VRObj) στα περιβάλλοντα VR.

Στους συμμετέχοντες προσφέρθηκαν κανονικές κλινικές δοκιμές διαφόρων επιπέδων δυσκολίας (NT\_Levelin), με ενδιάμεσες CT ασκήσεις (ενότητα "Task switching rationale"). Στις επόμενες υποενότητες, παρουσιάζουμε την παρατήρησή μας σχετικά με τη βελτίωση της ισορροπίας των συμμετεχόντων όσον αφορά τη βαθμολογία απόδοσης στις εργασίες που βασίζονται σε VR, τη βελτιωμένη μετατόπιση CoP και τη βελτιωμένη σταθερότητα στην εκδρομή CoP (Kumar et al., 2019).



**Εικόνα 8.** (a) Η CoP τροχιά του παρετικού άκρου για μια τυπική περίπτωση σε  $CT_{First}$ , (b)  $CT_{Final}$ , τυπική περίπτωση.



**Εικόνα 9.** Πρότυπα ασκήσεων αποκατάστασης ισορροπίας, τα οποία βασίζονται σε VR του συστήματος V2BaT.

Ανατύπωση από: Kumar, D., Sinha, N., Dutta, A., & Lahiri, U. (2019). Virtual reality-based balance training system augmented with operant conditioning paradigm. *Biomedical engineering online*, 18(1), 90.

Το σύστημα V2BaT βοήθησε τους συμμετέχοντες να επιτύχουν βελτιωμένη βουλητική CoP ικανότητα ελιγμών που οδηγεί σε βελτιωμένη CoP σταθερότητα αφού η εξωτερική διαταραχή απορρίφθηκε ηθελημένα από τους συμμετέχοντες. Ωστόσο, πρέπει να συνδέσουμε μια τέτοια ενισχυμένη βουλητική ικανότητα ελιγμών CoP με αλλαγές (ή «βελτίωση») στις βαθμολογίες κλινικής ισορροπίας η οποία θα πραγματοποιηθεί σε μελλοντική έρευνα (Kumar et al., 2019).

#### **4.3.8 Μελέτη με χρήση υδροθεραπείας**

Η υποβρύχια ή η υδάτινη άσκηση θεωρείται σημαντική θεραπευτική μέθοδος για πολλές δεκαετίες. Οι βασικές φυσικές ιδιότητες του νερού είναι η πυκνότητα, η υδροστατική πίεση, η άνωση, το ιζώδες και η θερμοδυναμική. Η άνωση έχει μεγάλη θεραπευτική χρησιμότητα αντισταθμίζοντας τη βαρύτητα, έτσι ώστε μόνο οι δυνάμεις της μυϊκής ροπής να δρουν στα άκρα. Το ιζώδες και η υδροστατική πίεση μπορούν να υποστηρίξουν ένα σώμα που δεν έχει ισορροπία. Επιπλέον, αυτές οι ιδιότητες μειώνουν τον φόβο της πτώσης και ενθαρρύνουν την εμπιστοσύνη στην ισορροπία. Ανάλογα με τη στάθμη του νερού του βυθισμένου σώματος του ασθενούς, η επίδραση της υποστήριξης βάρους ποικίλλει. Η βύθιση έως την ξιφοειδή απόφυση είναι ισοδύναμη με το αποτέλεσμα στο 60% ή και περισσότερο της εκφόρτωση, ανάλογα με τη θέση του βραχίονα. Οι Chu et al. ανέφεραν βελτιώσεις στην ταχύτητα βάδισης μετά από 8 εβδομάδες άσκησης στο νερό, σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο (Lee et al., 2017).

Συμπερασματικά, αυτή η μελέτη είναι η πρώτη που προσδιορίζει την αποτελεσματικότητα της ATT στην ταχύτητα βάδισης, τη συμμετρία βάδισης, την ισορροπία και την εμπιστοσύνη στην ισορροπία, σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο. Η μελέτη διαπίστωσε ότι υπήρχαν βελτιώσεις στις λειτουργικές πτυχές της βάδισης, συμπεριλαμβανομένων των βαθμολογιών CWT, BBS και ABC, και παρόλο που δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, η χωροχρονική συμμετρία βάδισης βελτιώθηκε επίσης. Τα αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα για να δικαιολογήσουν περαιτέρω κλινικές μελέτες με χρήση μεγαλύτερου μεγέθους δείγματος και μαρτύρων, για να εξεταστούν τα οφέλη της ATT ως μια νέα μέθοδο για τη θεραπεία εγκεφαλικού, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους (Lee et al., 2017).



**Εικόνα 7Α.** Παρέμβαση σε διαδρόμο βυθισμένο σε νερό, υπό την επίβλεψη ενός υσικοθεραπευτή.



**Εικόνα 7Β.** Μέτρηση δοκιμής άνετης βάδισης και χωροχρονικές παράμετροι βάδισης, με τη χρήση συστήματος ανάλυσης κίνησης. (Α) Θέση των δεικτών για ανάλυση βάδισης. (Β) Το υποκείμενο περπατά με αυτοεπιλεγμένη και πιο άνετη ταχύτητα, σε μονοπάτι 12 μέτρων.

Ανατύπωση από: Lee, M. E., Jo, G. Y., Do, H. K., Choi, H. E., & Kim, W. J. (2017). Efficacy of Aquatic Treadmill Training on Gait Symmetry and Balance in Subacute Stroke Patients. *Annals of rehabilitation medicine*, 41(3), 376–386.

Η ΑΤΤ παρέχει εν μέρει αντοχή στην άρση βάρους και ένα περιβάλλον στο οποίο η υπέρβαση της αντίστασης στο νερό εξαναγκάζει σε απόδοση ρυθμικής, καθώς και επαναλαμβανόμενης βάδισης, στη ζώνη του διαδρόμου. Η ΑΤΤ έχει τη δυνατότητα να αποδειχθεί τελικά ότι είναι μια πιο αποτελεσματική, βολική και εφικτή μέθοδος, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, για την παροχή συνεχούς ανατροφοδότησης και την επίτευξη συμμετρίας στη βάδιση. όμως τα ευρήματα των Lee et al. (2017) χρειάζεται να επαληθευτούν και γι' αυτό θα χρειαστούν νέες μελέτες, με μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων και μαρτύρων.

Ένα μειονέκτημα του BBS είναι η επίδρασή του, που φτάνει σε μια οροφή λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια της εφαρμογής του. Στη μελέτη συμμετείχαν άτομα με εγκεφαλικό επεισόδιο, τα οποία ήταν σε θέση να βαδίζουν ανεξάρτητα, χωρίς βοηθητική συσκευή. Κατά συνέπεια, η μέση βαθμολογία BBS πριν από την παρέμβαση ήταν σχετικά υψηλή, στις 39,6 μονάδες. Δώδεκα άτομα είχαν βαθμολογία BBS άνω των 41 πόντων,

υποδεικνύοντας ότι το BBS μπορεί να μην αποδίδει επαρκείς κλινικές πληροφορίες, για να αποσαφηνιστεί εάν η ισορροπία βελτιώθηκε πραγματικά (Lee et al., 2017).

#### 4.4 Συνοπτικοί πίνακες μελετών

**Πίνακας 1. Μελέτες που αναφέρονται σε ρομποτικές συσκευές**

Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
<b>1. Yao et al., 2021</b>	Τριάντα επιζώντες εγκεφαλικού επεισοδίου, 27 άνδρες και 3 γυναίκες, από το Νοσοκομείο Αποκατάστασης Shanghai Yangzhi (Shanghai Sunshine Rehabilitation Center), της Ιατρικής Σχολής του πανεπιστημίου Tongji. Η μέση ηλικία των ατόμων ήταν (52,57 ±	Συσκευή παθητικού εξωσκελετού	Περίπου οι μισοί από τους συμμετέχοντες παρουσίαζαν εξασθένηση στη δεξιά πλευρά (n = 16/30). Είκοσι είχαν εγκεφαλικό έμφρακτο και 10 υπέφεραν από αιμορραγικό εγκεφαλικό επεισόδιο. Περίπου οι μισοί (n = 16) ήταν σε θέση να περπατήσουν ανεξάρτητα, ενώ οι υπόλοιποι χρησιμοποιούσαν μια βοηθητική συσκευή. Σε κάθε συμμετέχοντα στη	Επάρκεια/αποτελεσματικότητας βάδισης: αξιολογήθηκε με τα τεστ 10-MWT και TUG. Η απόδοση τους ισορροπίας αξιολογήθηκε με τη δοκιμή Weight Bearing/Squat του NeuroCom Balance Master (Neurocom International, Clackamas, OR).	Σημαντικές μειώσεις προσδιορίστηκαν στο τεστ 10 MWT, στην ασυμμετρία όταν μεταφέρεται βάρος, στο χρόνο βήματος και στο DST. Επιπλέον, δεν σημειώθηκαν ανεπιθύμητα συμβάντα τους συμμετέχοντες. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η συσκευή εξωσκελετού έχει βραχυπρόθεσμη



	2,28 ετών) και ο μέσος χρόνος έναρξης ήταν (7,27 ± 1,05 μήνες).		μελέτη ανατέθηκε τους εκπαιδευμένους φυσικοθεραπευτές ο οποίος τοποθέτησε στον ασθενή συσκευή παθητικού εξωσκελετού και αξιολόγησε την ικανότητά του να περπατά και να ισορροπεί με ή χωρίς τη συσκευή.		σκοπιμότητα, οπότε η χρήση τους για μεγαλύτερες περιόδους θα ήταν εφικτή για τους επιζώντες από εγκεφαλικό επεισόδιο.
<b>2. Yeung et al., 2018</b>	Δεκαεννέα ασθενείς με χρόνια εγκεφαλικό επεισόδιο, με κινητική αναπηρία στον άκρο πόδα.	Αξιολογείται εάν η προπόνηση βάρδισης με AFO (robot-assisted ankle-foot-orthosis, υποβοηθούμενη από ρομπότ όρθωσης άκρου ποδός με υποστήριξη	Η υποβοήθηση από ρομπότ AFO αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα των Yeung et al. και σχεδιάστηκε για περπάτημα μεγάλων αποστάσεων, ώστε να είναι φορητό χωρίς προσδεμένη εξωτερική πηγή ενέργειας, για να διευκολύνει το απλό περπάτημα σε εσωτερικό περιβάλλον με σκάλες.	20 συνεδρίες προπόνησης βάρδισης με τη βοήθεια ρομπότ, για περίπου πέντε εβδομάδες, με 30 λεπτά περπάτημα στο έδαφος και περιπατητικές πρακτικές σε σκάλες. Μια αδρανειακή μονάδα μέτρησης (MPU6050 6-axis MotionTracking™, InvenSense, USA) με ενσωματωμένο	Η υποβοηθούμενη από ρομπότ προπόνηση βάρδισης με υποστήριξη της ραχιαίας κάμψης, θα μπορούσε να βελτιώσει τη λειτουργική ανεξαρτησία της βάρδισης, την κινητική ανάκαμψη και την ταχύτητα βάρδισης, ασθενών με χρόνια

		<p>της ραχιαίας κάμψης, μπορεί να φέρει μεγαλύτερη βελτίωση στην ικανότητα ανεξάρτητου βαδίσματος από την προπόνηση με παθητικό AFO.</p>		<p>επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο απέκτησε δεδομένα κίνησης κορμού, τα οποία ήταν είσοδοι ενός αλγορίθμου δέντρου απόφασης για την ταξινόμηση τριών συνθηκών βάδισης: βάδισμα σε επίπεδο, άνοδος και κάθοδος σε σκάλα.</p>	<p>εγκεφαλικό που παρουσιάζουν πτώση άκρου ποδός.</p> <p>Η AFO με τη βοήθεια ρομπότ συνιστάται ως βοηθητική συσκευή για περπάτημα, αλλά η περαιτέρω ανάπτυξη θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί προς πιο ελαφριά και προσαρμοσμένα σχέδια.</p>
--	--	--	--	---	--

**Πίνακας 2. Μελέτες που αναφέρονται σε PNF**

Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
<b>3. Sharma &amp; Kaur, 2017</b>	23 συμμετέχοντες με πρώτο ισχαιμικό εγκεφαλικό επεισόδιο στη μια πλευρά, που αφορούσε την περιοχή της μέσης εγκεφαλικής αρτηρίας, με διάρκεια εγκεφαλικού επεισοδίου άνω των 6 μηνών. Συμπεριλήφθηκαν ηλικίες μεταξύ 45-60 ετών.	Ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση της πύελου (proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF).	Οι δύο ομάδες ήταν η ομάδα 1-πυελική PNF + ομάδα ενδυνάμωσης πυρήνα και η ομάδα 2-πυελική PNF.	Οι συμμετέχοντες θα έπρεπε να είναι σε θέση να κατανοούν και να ακολουθούν απλές προφορικές οδηγίες (Mini-Mental Status Examination [MMSE] $\geq 24$ ).  Οι συμμετέχοντες θα πρέπει να μπορούν να περπατούν με ή χωρίς υποστήριξη για 10 μέτρα.	Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι υπάρχει μια αθροιστική επίδραση της ενδυνάμωσης του πυρήνα των μυών και του PNF της πύελου στη βελτίωση της βλάβης του κορμού, της ισορροπίας, της βάδισης και της λειτουργίας, σε ασθενείς με εγκεφαλικό. Η βελτιωμένη σταθερότητα του

					πυρήνα παρέχει μια σταθερή βάση για κινήσεις κορμού και ποδιών. Μπορεί να χορηγηθεί εύκολα, γιατί δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός.
--	--	--	--	--	--

**Πίνακας 3. Μελέτη που αναφέρεται σε PNF, σε συνδυασμό με ρομποτικές συσκευές**

Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
<b>4. Zhou et al., 2016</b>	Συμμετείχαν επτά ασθενείς μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο (έξι άνδρες και μία γυναίκα), οι οποίοι εγγράφηκαν από το Τμήμα Ιατρικής Αποκατάστασης, Πρώτο Νοσοκομείο, στο Πανεπιστήμιο του Πεκίνου.	Τεχνική ιδιοδεκτικής νευρομυϊκής διευκόλυνσης (PNF), σε ένα ρομποτικό σύστημα ποδοκνημικής αποκατάστασης (PKU-RARS, συντομογραφία του Robotic Ankle-foot Rehabilitation System, Πανεπιστήμιο του Πεκίνου)	Οι Zhou et al. (2016) προσπαθούν να διερευνήσουν περαιτέρω τις επιπτώσεις της μακροχρόνιας ρομποτικής αποκατάστασης με PNF στη σπαστικότητα των πελματιαίων καμπτήρων του άκρου πόδα μέσω πιο ολοκληρωμένης αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.	Πραγματοποιήθηκαν εμβιομηχανικές, κλινικές και λειτουργικές αξιολογήσεις πριν και μετά την περίοδο άσκησης, οι οποίες περιλαμβάνουν παθητικές και ενεργητικές εμβιομηχανικές ιδιότητες της άρθρωσης του αστραγάλου, ιδιότητες του Αχιλλείου τένοντα (AT) και το κανονικό και γρήγορο βάδισμα σε απόσταση 10 μέτρων. Οι παρεμβάσεις είχαν διάρκεια 3 μηνών.	Οι ασθενείς μετά το εγκεφαλικό, με σπαστικότητα των πελματιαίων καμπτήρων του άκρου πόδα, παρουσιάζουν βελτιώσεις στις εμβιομηχανικές, κλινικές και λειτουργικές μετρήσεις, μετά την προτεινόμενη ρομποτική αποκατάσταση. Μπορεί να μειωθούν το σφίξιμο των μυών του τρικεφάλου και η οιονεί στατική ακαμψία της

					<p>άρθρωσης, σε διαφορετικά επίπεδα αρθρώσεων και να αυξηθεί το παθητικό ROM. Αποδείχθηκε επίσης η παθητική επιμήκυνση της μυϊκής δέσμης ή του σαρκομερίου μέσω της αλλαγής του μήκους AT. Επιπλέον, η ρομποτική προπόνηση μπορεί να βελτιώσει την ταχύτητα βάρδισης και τη συμμετρία του κύκλου βάρδισης, μέσω της απόκτησης καλύτερου ελέγχου της ώθησης και της αιώρησης.</p>
--	--	--	--	--	--

**Πίνακας 4. Μελέτη που αναφέρεται σε PNF σε συνδυασμό με εικονική πραγματικότητα (VR)**

Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
5. Junior et al., 2019	48 συμμετέχοντες.	PNF, VR και PNF/VR.	<p>Οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν σε 3 παράλληλες ομάδες σύμφωνα με το αποτέλεσμα μιας απλής τυχαίας διαδικασίας δειγματοληψίας: PNF, VR και PNF/VR.</p> <p>Στην ομάδα VR, οι ασκήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μιας συσκευής Nintendo Wii.</p> <p>Το θεραπευτικό πρωτόκολλο περιλάμβανε 4 ηλεκτρονικά παιχνίδια: Balance Bubble Plus, Rhythm Parade, Tennis και Box. Τα παιχνίδια περιλάμβαναν ασκήσεις για μετατόπιση πολλαπλών</p>	<p>Βαθμολογία στην αξιολόγηση Fugl-Meyer (Fugl-Meyer Assessment, FMA), η οποία είναι μια ποσοτική κλίμακα 155 στοιχείων που βασίζεται στην απόδοση, ειδικά για το εγκεφαλικό επεισόδιο.</p> <p>Οι συνεδρίες διάρκειας 50 λεπτών πραγματοποιούνταν δύο φορές την εβδομάδα.</p> <p>Ακολουθία PNF περιλάμβανε εκγύμναση ωμοπλάτης, άνω άκρου, λεκάνης, κάτω άκρου και βάδισης και κατανεμήθηκε μεταξύ 2 εβδομαδιαίων συνεδριών.</p>	<p>Ο αντίκτυπος ενός προπονητικού προγράμματος που συνδυάζει VR και PNF στην αισθητικοκινητική απόδοση που αξιολογείται μέσω της κλίμακας FMA είναι παρόμοιος με αυτόν που επιτυγχάνεται με τεχνικές αυτόνομης τοποθέτησης του σώματος. Έτσι, δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική απώλεια στη συσχέτισή τους και μέχρι στιγμής δεν είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί</p>

			κατευθύνσεων, στατικό βάδισμα και για το άνω άκρο	Ο χώρος της VR παρέμβασης ήταν ένα δωμάτιο 20 τετραγωνικών μέτρων εξοπλισμένο με προβολέα πολυμέσων, ο οποίος πρόβαλλε την εικόνα στον τοίχο σε ύψος 1 m και 20 cm.	η υπεροχή μιας θεραπευτικής στρατηγικής έναντι μιας άλλης.
--	--	--	---	---	--

**Πίνακας 5. Μελέτη που αναφέρεται σε βιντεοπαιχνίδι που είναι διαθέσιμο στην αγορά**



Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
<b>6. Cano-Mañas et al., 2020</b>	56 άτομα που διαγνώστηκαν με εγκεφαλικό επεισόδιο στην υποξεία φάση.	Οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία σε δύο ομάδες, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή QuickCalcs της GraphPad Software®: μια ομάδα ελέγχου (n = 28) και μια πειραματική ομάδα (n = 28). Όλοι οι	Η κονσόλα βιντεοπαιχνιδιών Xbox 360° και τη συσκευή Kinect® (θεραπεία βασισμένη σε βιντεοπαιχνίδια) που σχεδιάστηκε από μια ομάδα νευροαποκατάστασης βασισμένη σε εμπορικό VG, θα μπορούσε να είναι συμπλήρωμα της συμβατικής θεραπείας.	Πραγματοποιήθηκαν δύο αξιολογήσεις. Πρώτον, πριν από τη θεραπεία μετά την ανάθεση των υποκειμένων στην ομάδα ελέγχου ή στην πειραματική ομάδα. Δεύτερον, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση μετά τη θεραπεία οκτώ εβδομάδες μετά την παρέμβαση.	Η χρήση ενός πρωτοκόλλου βασισμένου σε βιντεοπαιχνίδια, χρησιμοποιώντας ορισμένα από αυτά που υπάρχουν στην αγορά, σε συνδυασμό με συμβατική θεραπεία, μπορεί να προκαλέσει βελτιώσεις στην ισορροπία, τον έλεγχο της στάσης, τη λειτουργικότητα, την ποιότητα ζωής, το επίπεδο κινήτρων, την τήρηση και την ικανοποίηση σε

		<p>συμμετέχοντες έπρεπε να έχουν διαγνωστεί με εγκεφαλικό επεισόδιο στην υποξεία φάση της νόσου, η οποία θεωρείται ότι είναι μια περίοδος μεταξύ 15 ημερών και έξι μηνών μετά το αγγειακό επεισόδιο.</p>			<p>ασθενείς με υποξύ εγκεφαλικό.</p>
--	--	--	--	--	--------------------------------------

**Πίνακας 6. Μελέτες που αναφέρονται σε διέγερση με ηλεκτρικό ρεύμα**

Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
7. Geiger et al., 2017	Σαράντα ασθενείς με χρόνιο εγκεφαλικό.	Διακρανιακή διέγερση συνεχούς ρεύματος (Transcranial direct current stimulation, tDCS),	Κάθε ασθενής θα συμμετάσχει σε τρεις επισκέψεις: μια επίσκεψη ένταξης και δύο επισκέψεις κατά τις οποίες όλοι θα υποβληθούν είτε σε μία συνεδρία 30 λεπτών διακρανιακής διέγερσης συνεχούς ρεύματος, είτε σε μία συνεδρία 30 λεπτών διέγερσης τύπου εικονικού φαρμάκου με τυχαιοποιημένη σειρά.	Οι αξιολογήσεις θα πραγματοποιηθούν πριν, κατά τη διάρκεια και δύο φορές μετά τη διέγερση.	Το πρωταρχικό αποτέλεσμα είναι η μεταβλητότητα της μετατόπισης του κέντρου μάζας κατά το βάδισμα και ένα έργο στατικής ισορροπίας (static-balance). Τα δευτερογενή αποτελέσματα περιλαμβάνουν κλινικές και λειτουργικές μετρήσεις πριν και μετά τη διέγερση. Μια τρισδιάστατη ανάλυση βάρδισης και αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας σε

					πλάκα με δυναμόμετρο θα πραγματοποιηθεί επίσης πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διέγερση,
<b>8. Kwong et al., 2018</b>	Το συνολικό μέγεθος του δείγματος υπολογίστηκε σε 72 άτομα (36 ανά ομάδα), ώστε να ανιχνευθούν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων.	Διαδερμική ηλεκτρική νευρική διέγερση (transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS).	Σύγκριση των αποτελεσμάτων της αμφοτερόπλευρης ηλεκτρικής διέγερσης με εκείνα της μονόπλευρης διέγερσης στην κινητική λειτουργία των κάτω άκρων.	Εφαρμογή TENS τόσο σε παρετικά όσο και σε μη παρετικά πόδια (Bi-TENS). Χρησιμοποιήθηκαν βαθμολογία LEMOCOT, ST score και βαθμολογία BBS.	Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποδηλώνουν ότι το Bi-TENS+TOT είναι ανώτερο από το Uni-TENS+TOT για τη βελτίωση του χρόνου ολοκλήρωσης TUG σε άτομα με χρόνιο εγκεφαλικό, αλλά τα 2 πρωτόκολλα εκπαίδευσης φαίνεται να επιδεικνύουν παρόμοια αποτελεσματικότητα. Τα άτομα που

					συμμετείχαν σε αυτή τη μελέτη είχαν σχετικά υψηλό επίπεδο κινητικής λειτουργίας, επομένως τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμα σε άτομα με περιορισμένη κινητική λειτουργία.
<b>9. Palmer et al., 2016</b>	18 άτομα (13 άντρες, μέση ηλικία 61,3±8,3 έτη, μέσος χρόνος από το εγκεφαλικό επεισόδιο 57±65 μήνες), με χρόνιο εγκεφαλικό (>6 μήνες).	Τα 18 άτομα με εγκεφαλικό χωρίστηκαν σε ομάδες γρήγορου ή αργού βαδίσματος.	Οι συμμετέχοντες φόρεσαν ένα ελαστικό κάλυμμα και κάθονταν άνετα σε όρθια θέση, σε κάθισμα με βραχίονες, με γωνίες γονάτων και άκρου πόδα στις 90 μοίρες, με τα δύο πόδια να ακουμπούν στο πάτωμα για τη δοκιμή. Ηλεκτρόδια επιφανείας με διαφορική παλμική βολταμμετρία, με	Η διακρανιακή μαγνητική διέγερση (TMS) χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή κινητικών προκλητών δυναμικών (MEPs) από τον πρόσθιο κνημιαίο σε κάθε κάτω άκρο κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης, των συσπάσεων του παρετικού μυός και των μη παρετικών μυϊκών	Οι βλάβες στην ώθηση του φλοιού σχετίζονται με την ταχύτητα βαδίσματος που επιλέγουν τα ίδια τα άτομα με χρόνιο εγκεφαλικό επεισόδιο. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ όσων βαδίζουν με ταχύ και αργό

			<p>ενσωματωμένη γείωση (BL-AE, B&amp;L Engineering, Santa Ana, CA) τοποθετήθηκαν και στερεώθηκαν στο δέρμα πάνω από τους πρόσθιους κνημιαίους μύες (TA) αμφίπλευρα.</p>	<p>συσπάσεων. Το προσαρμοσμένο λογισμικό LabVIEW (National Instruments, Austin, TX) αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τη ρύθμιση των εντάσεων, την ενεργοποίηση των παλμών TMS και τη συλλογή δεδομένων ΗΜΓ.</p>	<p>ρυθμό, με τους τρόπους μέτρησης ΑΙ του φλοιού και στην απόκριση MEP100 σε καθεμία από τις τρεις συνθήκες. Αυτές οι διαφορές έδειξαν ότι τα άτομα με αργό ρυθμό βαδίσματος βασίζονται στην ενεργοποίηση του μη αλλοιωμένου ημισφαιρίου και στη σύσπαση του μη παρετικού ποδιού, για να επιτύχουν φλοιώδη ώθηση προς το παρετικό πόδι, η οποία είναι διαφορετική από τις φλοιώδεις αποκρίσεις που παρατηρούνται σε</p>
--	--	--	---	--	---

					συμμετέχοντες με εγκεφαλικό επεισόδιο που βαδίζουν ταχύτερα και σε αρτιμελείς μάρτυρες.
<b>10. Koch et al., 2019</b>	36 ασθενείς.	13 γυναίκες, και 23 άνδρες, μεταξύ Μαρτίου 2013 και Ιουνίου 2017 στο Santa Lucia Foundation IRCCS.	Διερευνήθηκε η ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα ημερήσιας παρεγκεφαλιδικής διαλείπουσας διέγερσης theta-έκρηξης (CRB-iTBS), διάρκειας 3 εβδομάδων, σε συνδυασμό με PT στην ανάκτηση της κινητικής λειτουργίας, σε μια τυχαιοποιημένη, διπλά τυφλή, εικονικά ελεγχόμενη μελέτη φάσης Ια. Οι ασθενείς χωρίστηκαν τυχαία σε 2 ομάδες που ταιριάζουν με την ηλικία που έλαβαν θεραπεία είτε με	Η κλινική αποτελεσματικότητα αξιολογήθηκε με την κλίμακα ισορροπίας Berg (BBS), την αξιολόγηση Fugl-Meyer (FMA) και τον δείκτη Barthel (BI). Η αξιολόγηση της κίνησης πραγματοποιήθηκε με ανάλυση βάδισης. Συνδυάστηκε το TMS και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) για να προσδιοριστούν τα πρότυπα αναδιοργάνωσης του φλοιού	Η μελέτη δείχνει ότι το CRB-iTBS σε συνδυασμό με PT βελτιώνει τις λειτουργίες βάδισης και ισορροπίας σε ασθενείς με ημιπάρεση λόγω εγκεφαλικού επεισοδίου, όπως αποδεικνύεται από την αύξηση της βαθμολογίας BBS και από τη μείωση του πλάτους βήματος, η οποία παρέχεται από την ανάλυση βάδισης.

			<p>θεραπεία CRB-iTBS (18 ασθενείς, 6 γυναίκες [33,3%], μέση [SD] ηλικία: 63 [11] έτη) είτε ψευδή iTBS (18 ασθενείς, 7 γυναίκες [ 38,9%]: μέση [SD] ηλικία: 65 [12] έτη) σε συνδυασμό με PT.</p>	<p>στον οπίσθιο βρεγματικό φλοιό (PPC) και στον πρωτογενή κινητικό φλοιό (M1) τόσο του προσβεβλημένου όσο και του μη προσβεβλημένου ημισφαιρίου.</p>	<p>Είναι σημαντικό ότι αυτές οι αλλαγές παραλληλίστηκαν με μια ενίσχυση της νευρικής δραστηριότητας στην PPC του προσβεβλημένου ημισφαιρίου, όπως μετρήθηκε με το TMS-EEG.</p>
--	--	--	---	--	--

**Πίνακας 7. Μελέτες που αναφέρονται σε τεχνικές άσκησης**



Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
<b>11. Tesio et al., 2017</b>	12 υγιείς ενήλικες και επτά ημιπληγικούς ασθενείς (1-127 μήνες μετά το εγκεφαλικό, διάμεσος: 1,6).	Ανάλυση βάρδισης σε διάδρομο δύναμης.	Υγιείς ενήλικες εγγράφηκαν ως μάρτυρες για ανάλυση βάρδισης. Προέρχονταν κυρίως από το προσωπικό του νοσοκομείου, καθώς και από φοιτητές και τους κατοίκους που παρακολουθούσαν το εργαστήριο. Επιλέχθηκαν μόνο ασθενείς με ήπια ημιπάρεση. Είχαν νοσηλευτεί ή νοσηλεύονταν επί του παρόντος στο τμήμα αποκατάστασης που διενεργούσε τα πειράματα.	Η συμμετρία φόρτισης στα δύο κάτω άκρα δοκιμάστηκε πριν από την ανάλυση βάρδισης (βλ. παρακάτω), μέσω στατικής σταθερομετρίας (πλατφόρμα Balance Master; Neurocom Inc., Clackamas, Όρεγκον, ΗΠΑ). Το βάδισμα αναλύθηκε σε διάδρομο με ζώνη τύπου “split-belt”, διαδρόμου ισχύος (ανάλυση διασκελισμού GAFT), τοποθετημένο σε ειδικό δωμάτιο μήκους 3,40 μ. x πλάτους 5,20 μ. x ύψους	Η CG φαίνεται ότι είναι μια αποτελεσματική μορφή άσκησης που εφαρμόζεται με συγκεκριμένες οδηγίες και προκαλεί περισσότερη ισχύ και έργο από τους παρετικούς μύες των κάτω άκρων, που υποστηρίζονται από μεγαλύτερη νευρική ώθηση. Φαίνεται επίσης αποτελεσματική στο να παραχθεί εξαναγκασμένα μια πιο συμμετρική ισχύς και έργο, από τους

				3,70 μέτρων. Εδώ εξετάζεται μόνο το οβελιαίο επίπεδο κίνησης	εκτεινόμενους μύες του ισχίου, αλλά όχι από το γόνατο, ούτε τον άκρο πόδα.
<b>12. Park et al., 2021</b>	60 ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο, με ημιπληγικά συμπτώματα.	Διασταυρούμενη προπόνηση (cross training).	Είκοσι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία στην ομάδα μαρτύρων (CG), χωρίς διασταυρούμενη προπόνηση, στην ομάδα άμεσης διασταυρούμενης προπόνησης (DCG) στο κάτω άκρο στην πληγείσα πλευρά και στην ομάδα έμμεσης διασταυρούμενης προπόνησης (ICG) στο κάτω άκρο στην μη επηρεασμένη πλευρά. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω εξετάσεων των συμμετεχόντων πριν από τη συμμετοχή στις παρεμβάσεις (προ-παρέμβαση) και μετά από	Εφαρμόστηκε διασταυρούμενη προπόνηση στην πληγείσα ή μη επηρεασμένη πλευρά ασθενών με εγκεφαλικό για να εξετάσει τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου στο βάδισμα και την ισορροπία και να διερευνήσει τις διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων. Οι μετρήσεις έγιναν με δοκιμασία Timed Up and Go (TUG), συγκρίνοντας πριν και μετά την παρέμβαση, και με τεστ βάδισης 10 μέτρων.	Η βάδιση και η ισορροπία βελτιώθηκαν σε ασθενείς με ημιπληγία, που συμμετείχαν στη διασταυρούμενη προπόνηση, ανεξάρτητα από την παρέμβαση που εφαρμόστηκε στην προσβεβλημένη ή μη προσβεβλημένη πλευρά. Σε κλινικά περιβάλλοντα, για ασθενείς που

			4 εβδομάδες παρέμβασης (μετά την παρέμβαση). Η μελέτη διεξήχθη για 15 εβδομάδες μεταξύ Φεβρουαρίου και Μαΐου 2017).		αντιμετωπίζουν δυσκολίες από άμεσες παρεμβάσεις στην πληγείσα πλευρά, προτείνονται έμμεσες παρεμβάσεις για τη βελτίωση της βάδισης και της ισορροπίας.
<b>13. Hsiao et al., 2020</b>	Στη μελέτη συμμετείχαν 30 άτομα.	15 συμμετέχοντες με εγκεφαλικό επεισόδιο και δεκαπέντε αρτιμελείς μάρτυρες αντιστοιχισμένοι για την ηλικία.	Όλοι οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν την κλινική δοκιμασία βημάτων (the clinical Step Test, ST) και τη δοκιμή βημάτων τεσσάρων τετραγώνων (Four-Square Step Test, FSST)	Οι υποκλίμακες ποδιών και άκρων ποδών Chedoke McMaster Stroke Assessment Impairment Inventory (CMSA), χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της κινητικής αποκατάστασης.	Η προσέγγιση της επαγόμενης μεταφοράς βάρους εντόπισε ανωμαλίες που σχετίζονται με το εγκεφαλικό επεισόδιο, στον έλεγχο της μεταφοράς βάρους προς την πλευρά του παρետικού άκρου, σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Η μειωμένη κάμψη της άρθρωσης

					<p>του παρετικού άκρου πόδα και του γόνατος, ο αλλοιωμένος χρονισμός μεταξύ των αρθρώσεων και οι αυξημένοι χρόνοι COP σταθεροποίησης, μπορεί να αντικατοπτρίζουν δυσκολίες στον νευρομυϊκό έλεγχο κατά τη μεταφορά βάρους μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο. Ανάλογες έρευνες στο μέλλον θα πρέπει να διερευνήσουν τις δυνατότητες βελτίωσης της λειτουργικής μεταφοράς βάρους μέσω της εξάσκησης στην επαγόμενη</p>
--	--	--	--	--	--

					μεταφορά βάρους.
<b>14. Kumar et al., 2019</b>	Είκοσι εννέα ημιπληγικοί συμμετέχοντες.	Επίπτωσης λειτουργικής προσαρμογής και προετοιμασίας στην ικανότητα μετατόπισης βάρους, κατά τη διάρκεια μιας άσκησης ισορροπίας σε όρθια θέση.	Σύστημα V2BaT για μία μόνο συνεδρία εκπαίδευσης ισορροπίας. Καταγράφεται η συμβολή κάθε ποδιού στη συνολική ισορροπία, ενώ οι συμμετέχοντες αλληλεπιδρούν με ασκήσεις ισορροπίας που βασίζονται σε υπολογιστή.	Στους συμμετέχοντες προσφέρθηκαν κανονικές κλινικές δοκιμές διαφόρων επιπέδων δυσκολίας (NT_Levelin), με ενδιάμεσες CT ασκήσεις (ενότητα "Task switching rationale").	Το σύστημα V2BaT βοήθησε τους συμμετέχοντες να επιτύχουν βελτιωμένη βουλητική CoP ικανότητα ελιγμών που οδηγεί σε βελτιωμένη CoP σταθερότητα αφού η εξωτερική διαταραχή απορρίφθηκε από τους συμμετέχοντες με τη βούλησή τους. Ωστόσο, πρέπει να συνδεθούν η ενισχυμένη βουλητική ικανότητα ελιγμών CoP με αλλαγές (ή «βελτίωση») στις βαθμολογίες κλινικής ισορροπίας. Αυτό θα πραγματοποιηθεί σε

					μελλοντική έρευνα.
--	--	--	--	--	--------------------

**Πίνακας 8. Μελέτη που αναφέρεται σε υδροθεραπεία**

Συγγραφείς	Δείγμα	Αντικείμενο μελέτης	Ομάδες / Παρέμβαση	Εργαλεία αξιολόγησης / Χρόνος αξιολόγησης	Αποτελέσματα
15. Lee et al., 2017	23 ασθενείς με υποξεία ημιπαρετικά εγκεφαλικά επεισόδια, με διάρκεια έναρξης που κυμαίνεται από 3 εβδομάδες έως 6 μήνες.		Η Aquatic Treadmill training (ATT) χρησιμοποιεί υποβρύχιο διάδρομο που συνδυάζει τα οφέλη της βύθισης στο νερό με τα πλεονεκτήματα της συνεχούς και ρυθμικής προπόνησης βάρδισης σε διάδρομο. Οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν 15 συνεδρίες παρέμβασης ATT σε διάστημα 3 εβδομάδων. Σ' αυτό το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η συσκευή εκπαίδευσης σε υδάτινο διάδρομο, Aquatrac-2000 (NARAMED, Gwangju, Κορέα).	Συγκρίθηκαν τα χωροχρονικά δεδομένα μέτρησης πριν και μετά την παρέμβαση σχετικά με τη βάρδιση, την ισορροπία και την εμπιστοσύνη στην ισορροπία.	Υπάρχουν βελτιώσεις στις λειτουργικές πτυχές της βάρδισης, οι οποίες περιλαμβάνουν τις βαθμολογίες CWT, BBS και ABC, και παρ' όλο που δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, η χωροχρονική συμμετρία βάρδισης βελτιώθηκε. Τα αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα για να δικαιολογήσουν περαιτέρω κλινικές μελέτες, με δείγμα μεγαλύτερου μεγέθους και αριθμού μαρτύρων,

					για να εξεταστούν τα οφέλη της ΑΤΤ ως μια νέας μεθόδου για τη θεραπεία του εγκεφαλικού, συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους.
--	--	--	--	--	---



## Συζήτηση

Η εκπαίδευση ιδιοδεκτικότητας στα κάτω άκρα μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της αποκατάστασης. Γνωρίζουμε πως η μυϊκή αδυναμία, η έκπτωση αισθητικότητας καθώς και η σπαστικότητα, σε ορισμένες περιπτώσεις, περιορίζουν τη ταχύτητα καθώς και τη συμμετρία της βάδισης. Τα αισθητηριακά ελλείμματα, καθώς και τα κινητικά, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την κίνηση και τη στάση του σώματος. Ενώ το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο είναι η τρίτη αιτία θανάτου παγκοσμίως, παρατηρήθηκε πως οι θάνατοι έχουν μειωθεί σε χώρες με υψηλό εισόδημα, αλλά και σε πολλές με μεσαίο και χαμηλό, λόγω της βελτιωμένης ποιοτικά και χρονικά διαχείρισης. Η ιδιοδεκτικότητα σύμφωνα με τον Sherrington, ορίζεται ως η αίσθηση των ερεθισμάτων που ανιχνεύονται στις ενέργειες του ίδιου του οργανισμού και διακρίνεται στην εξωδοκτική αντίληψη καθώς και στην ενδοδοκτική. Η σταθερότητα, η προστασία και η κίνηση αποτελούν τη πιο στοιχειώδη λειτουργία της ιδιοδεκτικής ανάδρασης, η οποία ρυθμίζεται με βάση την ακολουθία διαφόρων κινήσεων, ενώ η εκτίμηση της κατάστασης για σχεδιασμό κινήσεων με αυξημένη λεπτομέρεια, διαμορφώνονται από τα ιδιοδεκτικά σήματα. Μετά από το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, η ιδιοδεκτικότητα στα κάτω άκρα επηρεάζεται μέσω της σωματοαισθητικής δυσλειτουργίας, η οποία επιδρά αρνητικά στις καθημερινές δραστηριότητες, καθώς και στις κοινωνικές (Carey et al., 2018), ενώ η διαταραχή της βάδισης και της ισορροπίας αυξάνουν το χρόνο νοσηλείας (Chia et al., 2019). Οι μορφές της αποκατάστασης που αναλύθηκαν αποτελούνται από τη φυσικοθεραπεία, την υδροθεραπεία, τη ρομποτική αποκατάσταση, την εικονική πραγματικότητα σε συνδυασμό με την ιδιοδεκτική νευρομυϊκή διευκόλυνση (PNF) και τα τελευταία χρόνια από τη διακρανιακή διέγερση. Στις μελέτες που επιλέχθηκαν αναλύθηκαν αποτελέσματα που προήλθαν από τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, ρομποτικών συσκευών, καθώς και μηχανισμών που συμβάλλουν στην εκτέλεση ασκήσεων σύμφωνα με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Συμπεραίνεται πως για τις θεραπείες που εφαρμόζονται, κυρίως με τεχνολογικά μέσα, ήταν δύσκολο να αποδοθούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, διότι καταλάμβαναν χώρο και απαιτούνταν αρκετοί εξειδικευμένοι θεραπευτές, είτε για να επιβλέπουν τη προσπάθεια του ασθενούς, είτε για τον χειρισμό των συσκευών, καθώς έπρεπε να επιλεγούν και οι πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης. Τα αποτελέσματα στη βελτίωση της ιδιοδεκτικότητας του παρετικού κάτω άκρου ήταν εμφανή, ωστόσο οφείλουμε να

αναφέρουμε πως είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση σε μεγαλύτερο πλήθος ασθενών και σε μεγαλύτερη χρονικά παρακολούθηση, καθώς η εξέλιξη της αποκατάστασης, ιδιαίτερα στη ρομποτική και στα συστήματα εμφύθισης, είναι ανοδική και απαιτεί την εκπαίδευση και τον συγχρονισμό πολλών θεραπειών.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ο κυριότερος περιορισμός που προκύπτει από το σύνολο της βιβλιογραφικής αναζήτησης. Ενώ είναι εμφανές το έντονο ενδιαφέρον που υπάρχει από ερευνητές σε όλο τον κόσμο, για τη βελτίωση των μεθόδων ανάκτησης της ιδιοδεκτικότητας στα κάτω άκρα, ξεκινούν τις προσπάθειές τους από πολύ διαφορετικές αφετηρίες. Τα δείγματα των συμμετεχόντων στις μελέτες προέρχονται συνήθως από κέντρα αποκατάστασης, που εντάσσονται πολλές φορές σε πανεπιστημιακά ιδρύματα και νοσοκομεία, επομένως μπορεί το επίπεδο των υπηρεσιών να είναι το καλύτερο δυνατό, αλλά ο αριθμός των συμμετεχόντων, η πρόβλεψη ή μη για ομάδα μαρτύρων, το γενικότερο κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον και η υποδομή που χρησιμοποιείται, ακόμη και η υποστήριξη των ασθενών από ασφαλιστικούς οργανισμούς, ποικίλουν σε μεγάλο εύρος. Το αποτέλεσμα είναι ότι υπάρχει ετερογένεια και, ενώ τα αποτελέσματα των ερευνών είναι κατά κανόνα ελπιδοφόρα, δε μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι οι μέθοδοι που περιγράφονται θα εξαπλωθούν βαθμιαία και θα υιοθετηθούν διεθνώς.

Στον ίδιο προβληματισμό εντάσσεται και η δυνατότητα που έχει καθένας από τους ασθενείς, να διαθέτει υποστηρικτικό δίκτυο φίλων και συγγενών, οι οποίοι αναμένεται ότι παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενθάρρυνση και τη συμμετοχή του ασθενούς στην κάθε μια από τις μελέτες και στην τήρηση του προγράμματος για την εφαρμογή της μεθόδου που μελετάται. Ως προς αυτό το θέμα, της υποστήριξης από τον κοινωνικό περίγυρο, ή της ανάλογης υποστήριξης από το προσωπικό του κέντρου αποκατάστασης, δεν γίνονται σαφείς αναφορές. Ένα παράδειγμα καταγραφής που δεν συνηθίζεται στις έρευνες αυτές θα μπορούσε να είναι, το αν οι ασθενείς μετακινούνται από το σπίτι τους προς το κέντρο, με ποιον τρόπο γίνεται αυτό και ποιος/ποια συγγενής ή φίλος τους βοηθά, ή αν νοσηλεύονται ακόμη σ' αυτό γιατί δεν έχει ολοκληρωθεί η θεραπεία για το εγκεφαλικό επεισόδιο. Επίσης, οι ομάδες μαρτύρων που αναφέρονται, έχουν τις ίδιες δυνατότητες, ή διαφορετικές, είναι ευκολότερη η καθημερινότητά τους σε σύγκριση με τους ασθενείς, ή είναι παρόμοια;

Ακόμη, ετερογένεια καταγράφεται στις κλίμακες και γενικότερα στα μέσα που εφαρμόζονται για να γίνουν μετρήσεις και να συλλεχθούν δεδομένα. Γίνονται βέβαια αναφορές στην αξιολόγησή τους, η οποία έχει προηγηθεί, αλλά στο μέλλον θα πρέπει να συζητηθούν και να συγκλίνουν, ώστε να γίνουν τα αποτελέσματα συγκρίσιμα.

Αυτή λοιπόν είναι μια πρόταση για τη μελλοντική συνέχεια των ερευνών. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις μπορούν να ενοποιηθούν για κάθε κατηγορία ασκήσεων (όπως με χρήση τεχνολογίας, ή χειρωνακτικών), σε κάθε χώρα τουλάχιστο, και στη συνέχεια να συμβεί το ίδιο και διεθνώς. Θα χρειαστεί ίσως πολύς χρόνος, αλλά η προσπάθεια αυτή αξίζει, γιατί συνδέεται με την εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων για τις τεχνολογίες που δοκιμάζονται. Θα πρέπει και αυτές, σε κάποιο χρονικό σημείο στο μέλλον, να τυποποιηθούν για να γίνουν προσβάσιμες ευκολότερα και για να γίνει αυτό, θα πρέπει πρώτα να αξιολογούνται με τον ίδιο τρόπο από όλους τους ειδικούς, σε κάθε χώρα. Σ' αυτό το θέμα θα συμβάλλει και η ίδια η τεχνολογική πρόοδος, η οποία συμβαίνει με ταχύτατους ρυθμούς, οπότε αναμένεται και από αυτή να επιλύσει μεγάλο μέρος των επί μέρους δυσκολιών που υπάρχουν ως τώρα, λόγω της πολυπλοκότητας των συσκευών, του βάρους τους και του χώρου που καταλαμβάνουν. Εκφράζεται λοιπόν η ελπίδα ότι, οι έρευνες που θα πραγματοποιούνται, ακόμη και στο άμεσο μέλλον, θα αποδειχθεί ότι έχουν ήδη βελτιωμένα χαρακτηριστικά και θα συμβάλλουν πλέον κατά πολύ στην αποκατάσταση της ιδιοδεκτικότητας των κάτω άκρων, όλων των ασθενών που έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο.

## Βιβλιογραφία

Κέλλης, Ε. 2015. *Αρχές Κινητικής Ανάλυσης*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Κέλλης, Ε. 2015. Αθλητική εμβιομηχανική. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Κεφ 4. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4947>  
[https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4947/1/ch\\_4.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4947/1/ch_4.pdf)

Billinger, S. A., Arena, R., Bernhardt, J., Eng, J. J., Franklin, B. A., Johnson, C. M., MacKay-Lyons, M., Macko, R. F., Mead, G. E., Roth, E. J., Shaughnessy, M., Tang, A., American Heart Association Stroke Council, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health, Council on Epidemiology and Prevention, & Council on Clinical Cardiology (2014). Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 45(8), 2532–2553.

Borstad, A., & Nichols-Larsen, D. S. (2016). The Brief Kinesthesia test is feasible and sensitive: a study in stroke. *Brazilian journal of physical therapy*, 20(1), 81–86.

De Silva, T. M., & Faraci, F. M. (2016). Microvascular Dysfunction and Cognitive Impairment. *Cellular and molecular neurobiology*, 36(2), 241–258.

De Silva, T. M., Kinzenbaw, D. A., Modrick, M. L., Reinhardt, L. D., & Faraci, F. M. (2016). Heterogeneous Impact of ROCK2 on Carotid and Cerebrovascular Function. *Hypertension (Dallas, Tex.: 1979)*, 68(3), 809–817.

Cano-Mañas, M. J., Collado-Vázquez, S., Rodríguez Hernández, J., Muñoz Villena, A. J., & Cano-de-la-Cuerda, R. (2020). Effects of Video-Game Based Therapy on Balance, Postural Control, Functionality, and Quality of Life of Patients with Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Journal of healthcare engineering*, 2020, 5480315.

Carey, L. M., Matyas, T. A., & Baum, C. (2018). Effects of Somatosensory Impairment on Participation after Stroke. *The American journal of occupational therapy*:

*official publication of the American Occupational Therapy Association*, 72(3), 7203205100p1–7203205100p10.

Chen, J. C., & Shaw, F. Z. (2014). Progress in sensorimotor rehabilitative physical therapy programs for stroke patients. *World journal of clinical cases*, 2(8), 316–326.

Chia, F. S., Kuys, S., & Low Choy, N. (2019). Sensory retraining of the leg after stroke: systematic review and meta-analysis. *Clinical rehabilitation*, 33(6), 964–979.

Dunn, W., Griffith, J. W., Morrison, M. T., Tanquary, J., Sabata, D., Victorson, D., Carey, L. M., & Gershon, R. C. (2013). Somatosensation assessment using the NIH Toolbox. *Neurology*, 80(11 Suppl 3), S41–S44.

Feigin, V. L., Roth, G. A., Naghavi, M., Parmar, P., Krishnamurthi, R., Chugh, S., Mensah, G. A., Norrving, B., Shiue, I., Ng, M., Estep, K., Cercy, K., Murray, C., Forouzanfar, M. H., & Global Burden of Diseases, Injuries and Risk Factors Study 2013 and Stroke Experts Writing Group (2016). Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet. Neurology*, 15(9), 913–924.

Geiger M, Supiot A, Zory R, Aegerter P, Pradon D, Roche N. (2017). The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on locomotion and balance in patients with chronic stroke: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*. 18(1):492.

Go, A. S., Mozaffarian, D., Roger, V. L., Benjamin, E. J., Berry, J. D., Blaha, M. J., Dai, S., Ford, E. S., Fox, C. S., Franco, S., Fullerton, H. J., Gillespie, C., Hailpern, S. M., Heit, J. A., Howard, V. J., Huffman, M. D., Judd, S. E., Kissela, B. M., Kittner, S. J., Lackland, D. T., ... American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee (2014). Heart disease and stroke statistics--2014 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 129(3), e28–e292.

Guiu-Tula, F. X., Cabanas-Valdés, R., Sitjà-Rabert, M., Urrútia, G., & Gómara-Toldrà, N. (2017). The Efficacy of the proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF)

approach in stroke rehabilitation to improve basic activities of daily living and quality of life: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ open*, 7(12), e016739.

Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. *Journal of sport and health science*, 5(1), 80–90.

Hsiao HY, Gray VL, Borrelli J, Rogers MW (2020). Biomechanical control of paretic lower limb during imposed weight transfer in individuals post-stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 17(1):140. Published 2020 Oct 27.

Hsu, C. J., Kim, J., Tang, R., Roth, E. J., Rymer, W. Z., & Wu, M. (2017). Applying a pelvic corrective force induces forced use of the paretic leg and improves paretic leg EMG activities of individuals post-stroke during treadmill walking. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 128(10), 1915–1922.

Hu, X., De Silva, T. M., Chen, J., & Faraci, F. M. (2017). Cerebral Vascular Disease and Neurovascular Injury in Ischemic Stroke. *Circulation research*, 120(3), 449–471.

Junior, V., Santos, M. S., Ribeiro, N., & Maldonado, I. L. (2019). Combining Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and Virtual Reality for Improving Sensorimotor Function in Stroke Survivors: A Randomized Clinical Trial. *Journal of central nervous system disease*, 11, 1179573519863826.

Junior, V., Santos, M. S., Ribeiro, N., & Maldonado, I. L. (2019). Combining Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and Virtual Reality for Improving Sensorimotor Function in Stroke Survivors: A Randomized Clinical Trial. *Journal of central nervous system disease*, 11, 1179573519863826.

Kalaria, R. N., Akinyemi, R., & Ihara, M. (2016). Stroke injury, cognitive impairment and vascular dementia. *Biochimica et biophysica acta*, 1862(5), 915–925.

Khan, A., Khan, Z., Bhati, P., & Hussain, M. E. (2020). Influence of Forward Head Posture on Cervicocephalic Kinesthesia and Electromyographic Activity of Neck Musculature in Asymptomatic Individuals. *Journal of chiropractic medicine*, 19(4), 230–240.

Koch, G., Bonni, S., Casula, E. P., Iosa, M., Paolucci, S., Pellicciari, M. C., Cinnera, A. M., Ponzo, V., Maiella, M., Picazio, S., Sallustio, F., & Caltagirone, C. (2019). Effect of Cerebellar Stimulation on Gait and Balance Recovery in Patients With Hemiparetic Stroke: A Randomized Clinical Trial. *JAMA neurology*, 76(2), 170–178.

Kumar, D., Sinha, N., Dutta, A., & Lahiri, U. (2019). Virtual reality-based balance training system augmented with operant conditioning paradigm. *Biomedical engineering online*, 18(1), 90.

Kwong PWH, Ng GYF, Chung RCK, Ng SSM (2018). Bilateral Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Improves Lower-Limb Motor Function in Subjects With Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *J Am Heart Assoc*. 7(4):e007341.

Lee, M. E., Jo, G. Y., Do, H. K., Choi, H. E., & Kim, W. J. (2017). Efficacy of Aquatic Treadmill Training on Gait Symmetry and Balance in Subacute Stroke Patients. *Annals of rehabilitation medicine*, 41(3), 376–386.

Masseti, T., da Silva, T. D., Crocetta, T. B., Guarnieri, R., de Freitas, B. L., Bianchi Lopes, P., Watson, S., Tonks, J., & de Mello Monteiro, C. B. (2018). The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review. *Journal of central nervous system disease*, 10, 1179573518813541.

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*, 527 Pt 3(Pt 3), 633–639.

Nording, H. M., Seizer, P., & Langer, H. F. (2015). Platelets in inflammation and atherogenesis. *Frontiers in immunology*, 6, 98.

Page, K. L., & Matheson, T. (2009). Functional recovery of aimed scratching movements after a graded proprioceptive manipulation. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 29(12), 3897–3907.

Palmer, J. A., Needle, A. R., Pohlig, R. T., & Binder-Macleod, S. A. (2016). Atypical cortical drive during activation of the paretic and nonparetic tibialis anterior is related to gait deficits in chronic stroke. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 127(1), 716–723.

Park, C., Son, H., & Yeo, B. (2021). The effects of lower extremity cross-training on gait and balance in stroke patients: a double-blinded randomized controlled trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 57(1), 4–12.

Priori, A., Berardelli, A., Rona, S., Accornero, N., & Manfredi, M. (1998). Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport*, 9(10), 2257–2260.

Roche, N., Lackmy, A., Achache, V., Bussel, B., & Katz, R. (2011). Effects of anodal transcranial direct current stimulation over the leg motor area on lumbar spinal network excitability in healthy subjects. *The Journal of physiology*, 589(Pt 11), 2813–2826.

Rothwell, P. M., Coull, A. J., Silver, L. E., Fairhead, J. F., Giles, M. F., Lovelock, C. E., Redgrave, J. N., Bull, L. M., Welch, S. J., Cuthbertson, F. C., Binney, L. E., Gutnikov, S. A., Anslow, P., Banning, A. P., Mant, D., Mehta, Z., & Oxford Vascular Study (2005). Population-based study of event-rate, incidence, case fatality, and mortality for all acute vascular events in all arterial territories (Oxford Vascular Study). *Lancet (London, England)*, 366(9499), 1773–1783.

Ritz, K., Denswil, N. P., Stam, O. C., van Lieshout, J. J., & Daemen, M. J. (2014). Cause and mechanisms of intracranial atherosclerosis. *Circulation*, 130(16), 1407–1414.

Sacco, R. L., Kasner, S. E., Broderick, J. P., Caplan, L. R., Connors, J. J., Culebras, A., Elkind, M. S., George, M. G., Hamdan, A. D., Higashida, R. T., Hoh, B. L., Janis, L. S., Kase, C. S., Kleindorfer, D. O., Lee, J. M., Moseley, M. E., Peterson, E. D., Turan, T.



N., Valderrama, A. L., Vinters, H. V., ... Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism (2013). An updated definition of stroke for the 21st century: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 44(7), 2064–2089.

Saposnik, G., Cohen, L. G., Mamdani, M., Pooyania, S., Ploughman, M., Cheung, D., Shaw, J., Hall, J., Nord, P., Dukelow, S., Nilanont, Y., De Los Rios, F., Olmos, L., Levin, M., Teasell, R., Cohen, A., Thorpe, K., Laupacis, A., Bayley, M., & Stroke Outcomes Research Canada (2016). Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *The Lancet. Neurology*, 15(10), 1019–1027.

Semrau, J. A., Herter, T. M., Scott, S. H., & Dukelow, S. P. (2013). Robotic identification of kinesthetic deficits after stroke. *Stroke*, 44(12), 3414–3421.

Sharma, V., & Kaur, J. (2017). Effect of core strengthening with pelvic proprioceptive neuromuscular facilitation on trunk, balance, gait, and function in chronic stroke. *Journal of exercise rehabilitation*, 13(2), 200–205.

Suri, M. F., Qiao, Y., Ma, X., Guallar, E., Zhou, J., Zhang, Y., Liu, L., Chu, H., Qureshi, A. I., Alonso, A., Folsom, A. R., & Wasserman, B. A. (2016). Prevalence of Intracranial Atherosclerotic Stenosis Using High-Resolution Magnetic Resonance Angiography in the General Population: The Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Stroke*, 47(5), 1187–1193.

Tesio, L., Rota, V., Malloggi, C., Brugliera, L., & Catino, L. (2017). Crouch gait can be an effective form of forced-use/no constraint exercise for the paretic lower limb in stroke. International journal of rehabilitation research. *Internationale Zeitschrift für Rehabilitationsforschung. Revue internationale de recherches de readaptation*, 40(3), 254–267.

Tuthill, J. C., & Azim, E. (2018). Proprioception. *Current biology: CB*, 28(5), R194–R203.

Wardlaw, J. M., Smith, C., & Dichgans, M. (2013). Mechanisms of sporadic cerebral small vessel disease: insights from neuroimaging. *The Lancet. Neurology*, 12(5), 483–497.

Writing Group Members, Mozaffarian, D., Benjamin, E. J., Go, A. S., Arnett, D. K., Blaha, M. J., Cushman, M., Das, S. R., de Ferranti, S., Després, J. P., Fullerton, H. J., Howard, V. J., Huffman, M. D., Isasi, C. R., Jiménez, M. C., Judd, S. E., Kissela, B. M., Lichtman, J. H., Lisabeth, L. D., Liu, S., ... Stroke Statistics Subcommittee (2016). Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 133(4), e38–e360.

Yao J, Sado T, Wang W, et al. The Kickstart Walk Assist System for improving balance and walking function in stroke survivors: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18(1):42.

Yeung, L. F., Ockenfeld, C., Pang, M. K., Wai, H. W., Soo, O. Y., Li, S. W., & Tong, K. Y. (2018). Randomized controlled trial of robot-assisted gait training with dorsiflexion assistance on chronic stroke patients wearing ankle-foot-orthosis. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15(1), 51.

Zheng, L., Vinters, H. V., Mack, W. J., Zarow, C., Ellis, W. G., & Chui, H. C. (2013). Cerebral atherosclerosis is associated with cystic infarcts and microinfarcts but not Alzheimer pathologic changes. *Stroke*, 44(10), 2835–2841.

Zhou, Z., Sun, Y., Wang, N., Gao, F., Wei, K., & Wang, Q. (2016). Robot-Assisted Rehabilitation of Ankle Plantar Flexors Spasticity: A 3-Month Study with Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. *Frontiers in neurorobotics*, 10, 16.

Xue, X., Ma, T., Li, Q., Song, Y., & Hua, Y. (2021). Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sport and health science*, 10(2), 182–191.