



**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ**  
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού  
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού  
Πανεπιστημιούπολη - 69100 Κομοτηνή



**Διϊδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Κλινική Άσκηση &**  
**Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία**



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ** | **ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**  
**ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ** | **ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
**ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ** | **& ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ**  
Ινστιτούτο Πληροφορικής  
& Τηλεπικοινωνιών  
Τ.Θ. 60037 Αγία Παρασκευή Αττικής

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**με τίτλο:**

### **ΑΣΚΗΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΣΕ ΕΠΙΖΩΝΤΕΣ ΑΓΓΕΙΑΚΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ**

Της

Καράβουλα Αικατερίνης Μαγδαληνής (ΑΜ: 12139)

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων Καθηγητής: Αγγελούσης Νικόλαος, Δ.Ε.Π. Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α., Δ.Π.Θ.

2<sup>ο</sup> Μέλος Τριμελούς Επιτροπής: Γιαννακού Ερασμία, Επίκουρη Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α. - Δ.Π.Θ.

3<sup>ο</sup> Μέλος Τριμελούς Επιτροπής: Μάλλιου Παρασκευή, Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α. - Δ.Π.Θ.

Κομοτηνή, Ιούνιος 2025

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Κλινική Άσκηση και Τεχνολογικές Εφαρμογές στην Υγεία», είχα την ευκαιρία να εμβαθύνω σε ένα αντικείμενο ιδιαίτερα ενδιαφέρον: την αποκατάσταση της ισορροπίας σε επιζώντες αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου μέσω της χρήσης τεχνολογικών μέσων.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Νικόλαο Αγγελούση, για την καθοδήγηση, την επιστημονική στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για τον χρόνο και τις παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστώ θερμά τους γονείς και την οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη, την υπομονή και την κατανόησή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, δηλώνω ότι η εργασία αυτή αποτελεί αποκλειστικά προσωπικό μου έργο και όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν έχουν καταγραφεί με τον δέοντα τρόπο στη βιβλιογραφία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καράβουλα Αικατερίνη – Μαγδαληνή: Άσκηση Αποκατάστασης της ισορροπίας με χρήση τεχνολογικών μέσων σε επιζώντες αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Νικολάου Αγγελούση)

Σκοπός: Η απώλεια ισορροπίας μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.) αποτελεί σημαντικό παράγοντα αναπηρίας, αυξημένου κινδύνου πτώσεων και μειωμένης ποιότητας ζωής. Σκοπός της παρούσας εργασίας ανασκόπησης πεδίου ήταν να εξετάσει τις διαθέσιμες τεχνολογικές παρεμβάσεις που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση της ισορροπίας σε επιζώντες Α.Ε.Ε., αξιολογώντας την αποτελεσματικότητα, τη συχνότητα χρήσης και την αποδοχή τους από τους ασθενείς.

Μεθοδολογία: Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στις βάσεις δεδομένων PubMed, Scopus, ScienceDirect, Cochrane Library και Google Scholar. Από 191 καταγραφές, ύστερα από διαδοχικά στάδια αποκλεισμού, συμπεριλήφθηκαν 20 μελέτες σύμφωνα με το πλαίσιο PRISMA-ScR.

Αποτελέσματα: Οι τεχνολογικές παρεμβάσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε: (α) ρομποτικά συστήματα, (β) εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, (γ) βιοανάδραση (biofeedback), και (δ) φορητές συσκευές και εφαρμογές. Η πλειονότητα των μελετών ανέδειξε βελτίωση της στατικής και δυναμικής ισορροπίας, καθώς και θετική επίδραση στη λειτουργική κινητικότητα και στη μείωση του κινδύνου πτώσεων. Ωστόσο, η ετερογένεια των πρωτοκόλλων, τα μικρά δείγματα και η περιορισμένη διάρκεια παρακολούθησης περιορίζουν τη δυνατότητα γενίκευσης.

Συμπεράσματα: Η χρήση τεχνολογικών μέσων στην αποκατάσταση ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε. εμφανίζεται υποσχόμενη και μπορεί να αποτελέσει συμπληρωματική στρατηγική στις παραδοσιακές μεθόδους. Απαιτούνται περαιτέρω τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές μεγάλης κλίμακας για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας και τη διευκόλυνση της κλινικής εφαρμογής.

Λέξεις κλειδιά: Stroke, Balance Rehabilitation, Exercise Therapy, Virtual Reality, Robotics, Biofeedback, Wearables, Telerehabilitation.

## **ABSTRACT**

Karavola Aikaterini - Magdalini: Balance Rehabilitation through Exercise Technology for Stroke Survivors

(Under the supervision of Professor Dr. Aggelousis Nikos)

**Purpose:** Balance loss after stroke is a major contributor to disability, falls, and reduced quality of life. The aim of this scoping review was to investigate available technology-assisted interventions for balance rehabilitation in stroke survivors, evaluating their effectiveness, frequency of use, and patient acceptance.

**Methods:** A systematic search was conducted in PubMed, Scopus, ScienceDirect, Cochrane Library, and Google Scholar. From an initial pool of 191 records, 20 studies met the inclusion criteria according to the PRISMA-ScR framework.

**Results:** Interventions were categorized into (a) robotic systems, (b) virtual and augmented reality, (c) biofeedback, and (d) wearable devices and telerehabilitation. Most studies reported improvements in static and dynamic balance, functional mobility, and fall risk reduction. Nevertheless, the heterogeneity of protocols, small sample sizes, and short follow-up periods limit the generalizability of findings.

**Conclusions:** Technology-assisted exercise interventions appear promising for balance rehabilitation after stroke and may complement traditional approaches. Further large-scale randomized controlled trials are required to confirm their efficacy and support their integration into clinical practice.

**Keywords:** Stroke, Balance Rehabilitation, Exercise Therapy, Virtual Reality, Robotics, Biofeedback, Wearables, Telerehabilitation.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πίνακας 1.** Παράγοντες κινδύνου A.E.E. (Haast et al., 2012).

**Πίνακας 2.** Σύνοψη των λειτουργιών των πιο σημαντικών τμημάτων του εγκεφάλου. (Widmaier et al., 2016).

**Πίνακας 3.** Συγκριτική παρουσίαση των μελετών.

**Πίνακας 4.** Συνέχεια συγκριτικής παρουσίασης μελετών.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 1.** Τελικός Εγκέφαλος (Johns Hopkins Medicine, n.d.)

**Εικόνα 2.** Σχηματική απεικόνιση της αριστερής πλάγιας επιφάνειας του εγκεφάλου, όπου σημειώνονται επιλεκτικά φλοικές περιοχές με κλινική σημασία. (Berkowitz, 2024).

**Εικόνα 3.** Απεικόνιση μεθοδολογίας έρευνας σύμφωνα με το PRISMA 2020 (Page et al., 2021)

**Εικόνα 4.** Balance Exercise Assist Robot (Bear) & Intensive Balance Training (Inoue et al., 2022)

**Εικόνα 5.** Άσκηση Ισορροπίας, με αντίσταση Ελαστικού ιμάντα & Λειτουργικότητας κατώτερου τμήματος κάτω άκρων (Zhang et al., 2024)

**Εικόνα 6.** Παιχνίδια Εικονικής Πραγματικότητας (Sana et al., 2023)

**Εικόνα 7.** Σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας RoboGait (Kayabinar et al., 2021)

**Εικόνα 8.** Tetrax σύστημα βίντεο-παιχνιδιού βιοανάδρασης (Hung et al., 2016)

**Εικόνα 9.** Σύστημα Τηλεαποκατάστασης (Chen et al., 2021)

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

A.E.E.	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο
K.N.Σ.	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
WSO	World Stroke Organization
TIA	Transient Ischemic Attack (Παροδικό Ισχαιμικό Επεισόδιο)
FAST	Face, Arm, Speech, Time (μνημονικό αναγνώρισης Α.Ε.Ε.)
TOAST	Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment
PCC	Population – Concept – Context
RCT	Randomized Controlled Trial (Τυχαιοποιημένη Ελεγχόμενη Μελέτη)
EG	Experimental Group (Ομάδα Παρέμβασης)
CG	Control Group (Ομάδα Ελέγχου)
IG	Intervention Group (Ομάδα Παρέμβασης)
VR	Virtual Reality (Εικονική Πραγματικότητα)
AR	Augmented Reality (Επαυξημένη Πραγματικότητα)
VRT	Vestibular Rehabilitation Therapy (Αιθουσαία αποκατάσταση)
RAGT	Robot-Assisted Gait Training (Ρομποτικά υποβοηθούμενη βάρδιση)
RBT	Reactive Balance Training (Αντιδραστική εκπαίδευση ισορροπίας)
PBBT	Perturbation-Based Balance Training (Εκπαίδευση με διαταραχές ισορροπίας)
BBS	Berg Balance Scale (Κλίμακα Ισορροπίας Berg)
TUG	Timed Up and Go (Δοκιμασία Έγερσης και Βάρδισης)
FRT	Functional Reach Test (Λειτουργική Προβολή)
DGI	Dynamic Gait Index (Δείκτης Δυναμικής Βάρδισης)
DHI	Dizziness Handicap Inventory
Mini-BESTest	Mini Balance Evaluation Systems Test
PASS	Postural Assessment Scale for Stroke
FMA-LE	Fugl-Meyer Assessment – Lower Extremity
MBI	Modified Barthel Index
SPPB	Short Physical Performance Battery
PPA	Postural Perturbation Assessment
FAC	Functional Ambulation Categories
10MWT	10-Meter Walk Test (Δοκιμασία 10 μέτρων)
6MWT	6-Minute Walk Test (Δοκιμασία 6 λεπτών)
EMG / sEMG	Electromyography / surface Electromyography (Ηλεκτρομυογραφία / Επιφανειακή ΗΜΓ)
IMU	Inertial Measurement Unit (Μονάδα αδρανειακών αισθητήρων)
fNIRS	functional Near-Infrared Spectroscopy
SMA	Supplementary Motor Area (Συμπληρωματική Κινητική Περιοχή)
LOS	Limits of Stability (Όρια Ισορροπίας)
RMT	Rapid Movement Training
BEAR	Balance Exercise Assist Robot (Ρομποτική πλατφόρμα ισορροπίας)
REX	Ρομποτικός εξωσκελετός REX

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1.	Το πρόβλημα: Απώλεια ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε. ....	9
1.2.	Η σημασία της αποκατάστασης ισορροπίας .....	9
1.3.	Η συμβολή της τεχνολογίας στην αποκατάσταση .....	11
1.4.	Στόχος και ερευνητικά ερωτήματα.....	13
1.5.	Οριοθετήσεις της έρευνας .....	14
2.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	15
2.1.	Νευρολογική βάση απώλειας ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε.....	15
2.1.1.	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο.....	15
2.1.2.	Εγκέφαλος.....	17
2.1.3.	Ισορροπία και εγκέφαλος .....	23
2.2.	Μέθοδοι αποκατάστασης με χρήση τεχνολογικών μέσων .....	24
2.2.1.	Συστήματα αξιολόγησης ισορροπίας .....	26
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	28
3.1.	Στοιχεία μεθοδολογίας .....	28
3.2.	Πλαίσιο PRISMA-ScR.....	29
3.3.	Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού .....	30
3.4.	Στρατηγική αναζήτησης .....	31
3.5.	Διαδικασία Επιλογής Μελετών .....	31
3.6.	Εξαγωγή δεδομένων.....	32
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
4.1.	Περιγραφή μελετών .....	34
4.2.	Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών .....	39
4.2.1.	Ρομποτικά συστήματα .....	39
4.2.2.	Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα.....	42
4.2.3.	Βιοανάδραση (biofeedback) .....	45
4.2.4.	Wearables και κινητές εφαρμογές.....	48
4.3.	Επιδράσεις στην αποκατάσταση της ισορροπίας .....	51
4.4.	Συχνότητα χρήσης και αποδοχή από ασθενείς .....	53
5.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	57
5.1.	Κύρια ευρήματα .....	57
5.2.	Συγκρίσεις με προηγούμενες μελέτες .....	58
5.3.	Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των τεχνολογικών λύσεων.....	61

5.4.	Κενά στη βιβλιογραφία και μελλοντικές κατευθύνσεις .....	62
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	65
6.1.	Σύνοψη βασικών ευρημάτων .....	65
6.2.	Πρακτικές εφαρμογές στην κλινική πράξη.....	66
6.3.	Σύσταση για μελλοντική έρευνα.....	68
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	70

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1. Το πρόβλημα: Απώλεια ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε.**

Το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.) αποτελεί μία από τις κυριότερες αιτίες που επιφέρουν αναπηρία στον ανθρώπινο πληθυσμό παγκοσμίως (Cho et al., 2013). Εμφανίζεται όταν οι αρτηρίες του εγκεφάλου υπόκεινται σε διακοπή της αιματικής κυκλοφορίας τους ή σε διάτρηση των τοιχωμάτων τους. Η συνθήκη αυτή προκαλεί φθορά στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Κ.Ν.Σ.) του ατόμου επηρεάζοντας αρνητικά την ικανότητα ισορροπίας, τη στάση και τον έλεγχο της, καθώς και τη βάρδιση (Esmaeili et al., 2020).

Η έλλειψη ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε. επιφέρει την αδυναμία ελέγχου του κέντρου βάρους του σώματος, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο πτώσης, την έλλειψη ανεξαρτησίας σε καθημερινές δραστηριότητες του πάσχοντος και τη επιδείνωση της ποιότητας ζωής του (Hugues et al., 2019).

Τα άτομα που πλήγονται από τη συγκεκριμένη πάθηση βιώνουν σημαντικούς περιορισμούς στις καθημερινές τους δραστηριότητες σε αισθητηριακό και κινητικό επίπεδο, στην ισορροπία, στη βάρδιση και σε γνωστικές ικανότητες. Κατ' επέκταση, η ικανότητα ανεξάρτητης βάρδισης καθίσταται δύσκολη σε βαθμό τέτοιο που σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί βασικό και πρωταρχικό στόχο του πλάνου αποκατάστασης του ασθενή (Fishbein et al., 2019).

### **1.2. Η σημασία της αποκατάστασης ισορροπίας**

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.), ως αποκατάσταση ορίζεται «το σύνολο των παρεμβάσεων με στόχο τη βελτίωση της λειτουργικότητας και τη μείωση της αναπηρίας του ασθενούς ατόμου σε σχέση με την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον του». Με πιο απλά λόγια, η διαδικασία της αποκατάστασης βοηθά ένα παιδί, έναν ενήλικα ή ένα ηλικιωμένο άτομο να είναι όσο το δυνατόν πιο ανεξάρτητο στις καθημερινές του δραστηριότητες και να συμμετέχει ενεργά στην εκπαίδευση, την εργασία, την ψυχαγωγία και σε ουσιαστικούς ρόλους ζωής, όπως η φροντίδα της οικογένειας.

Η αποκατάσταση παίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της λειτουργικότητας και της ποιότητας ζωής των επιζώντων εγκεφαλικού επεισοδίου, βοηθώντας τους να ανακτήσουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανεξαρτησία στην καθημερινή ζωή. Στόχος της είναι η υποστήριξη του ατόμου στην εκ νέου συμμετοχή του σε σημαντικούς ρόλους, όπως η

προσωπική φροντίδα, η κοινωνική αλληλεπίδραση, η εργασία, και η ένταξη στην κοινότητα.

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη συνεργασία με τον ίδιο τον ασθενή και το υποστηρικτικό του περιβάλλον, με σκοπό την αντιμετώπιση των υπολειπόμενων συμπτωμάτων του εγκεφαλικού επεισοδίου, την προσαρμογή του περιβάλλοντός του ώστε να ανταποκρίνεται στις λειτουργικές του ανάγκες, τη χρήση βοηθητικών τεχνολογικών προϊόντων (π.χ. συσκευές βιοανάδρασης, φορητά μέσα, τηλε-αποκατάσταση), καθώς και την κατάλληλη εκπαίδευση για την ενίσχυση της αυτοδιαχείρισης (Lloréns et al., 2015).

Η εξασφάλιση της ισορροπίας αποτελεί βασικό στόχο της αποκατάστασης μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, καθώς η απώλειά της σχετίζεται με σημαντικές δυσκολίες στην κινητικότητα και αυξημένο κίνδυνο πτώσεων. Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες σχετικά με την αποκατάσταση της ισορροπίας στους επιζώντες Α.Ε.Ε.. Οι παραδοσιακές μέθοδοι εκπαίδευσης ισορροπίας περιλαμβάνουν ασκήσεις όπως η μετάβαση από καθιστή σε όρθια θέση, η στήριξη στο ένα πόδι, η χρήση του πάσχοντος και μη πάσχοντος άκρου για μετακίνηση πάνω από εμπόδια διαφορετικού ύψους, η όρθια στάση πάνω σε μαλακή επιφάνεια (αφρώδες υλικό ή ισοδυναμιστή), η πλάγια βάδιση, η διατήρηση στάσης πάνω σε θεραπευτική μπάλα, το τέντωμα των χεριών προς τα εμπρός και στο πλάι, η στάση με κλειστά μάτια, η στάση και βάδιση σε γραμμή (tandem), τα πλευρικά βήματα, το βάδισμα προς τα εμπρός και πίσω, καθώς και η εκτέλεση ασκήσεων με ρίψεις και πιάσιμο αντικειμένων όπως μπάλες ή σακουλάκια με φασόλια (Junata et al., 2021).

Εναλλακτικές μορφές άσκησης, όπως το Tai Chi και η Yoga, έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα στη βελτίωση της ισορροπίας στους ασθενείς με εγκεφαλικό, με το Tai Chi ειδικά να εμφανίζει σημαντικά οφέλη στη λειτουργική ισορροπία (Zhang et al., 2023). Επίσης, η υδροθεραπεία φαίνεται να είναι αποτελεσματικότερη σε ορισμένες περιπτώσεις σε σύγκριση με την άσκηση στην ξηρά, λόγω της μειωμένης φόρτισης και της φυσικής αντίστασης του νερού (Nayak et al., 2020).

Μια νεότερη και υποσχόμενη προσέγγιση είναι η αντιδραστική εκπαίδευση ισορροπίας (Reactive Balance Training - RBT), η οποία στοχεύει στη βελτίωση των αντιδράσεων σε εξωτερικές διαταραχές της ισορροπίας και έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη μείωση των πτώσεων (Mccrum et al., 2022). Η εκπαίδευση με βάση τις διαταραχές (Perturbation-

Based Balance Training - PBBT) περιλαμβάνει ασκήσεις που προκαλούν απρόβλεπτες αλλαγές στη στάση μέσω εξωτερικών (π.χ. σπρώξιμο από θεραπευτή) ή εσωτερικών διαταραχών (π.χ. απότομες κινήσεις, βάδιση σε διάδρομο), ενισχύοντας την ικανότητα του ατόμου να αντιδρά κατάλληλα σε απώλειες ισορροπίας (McCrum et al., 2022).

Ωστόσο, μόνο λίγες μελέτες περιλαμβάνουν συγκεκριμένους δείκτες σχετικούς με την πρόληψη πτώσεων ως βασικά αποτελέσματα. Η συνολική αξιολόγηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και η επισήμανση των ερευνητικών κενών εκτιμάται ότι θα συμβάλλουν στον προσδιορισμό των κατάλληλων μεθοδολογιών για τη βελτίωση της ισορροπίας και την πρόληψη των πτώσεων στο μέλλον.

### **1.3. Η συμβολή της τεχνολογίας στην αποκατάσταση**

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα από πρωτόκολλα νευρολογικής αποκατάστασης που χρησιμοποιούνται από τις ομάδες των υπεύθυνων επαγγελματιών υγείας για την θεραπεία και επανεκπαίδευση της βάδισης και της ισορροπίας σε άτομα μετά από Α.Ε.Ε. (Song et al., 2015).

Η τεχνολογία διαδραματίζει ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην αποκατάσταση ασθενών με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.), παρέχοντας καινοτόμες προσεγγίσεις που στοχεύουν στην αποκατάσταση της κινητικής λειτουργίας και της ισορροπίας (Saraiva et al., 2023). Η εικονική πραγματικότητα και τα διαδραστικά περιβάλλοντα παιχνιδιού (Wii Fit, Kinect Xbox κ.α.) έχουν ενσωματωθεί στην αποκατάσταση για την προώθηση της κινητοποίησης, της ισορροπίας και της συμμετοχής του ασθενούς μέσω πολυαισθητηριακής διέγερσης, προσφέροντας ελκυστικές και λειτουργικές δραστηριότητες σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον (Truijten et al., 2022; Krohn et al., 2024). Οι παρεμβάσεις αυτές έχουν δείξει βελτίωση στην ευθυγράμμιση του κορμού, στην ιδιοδεκτικότητα και στη λειτουργικότητα των κάτω άκρων (Salgueiro et al., 2022).

Τα ρομποτικά συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα εντατικής και επαναλαμβανόμενης προπόνησης για αποκατάσταση της βάδισης και της ισορροπίας, υποστηρίζοντας τόσο τη νευροπλαστικότητα όσο και τη μυϊκή ενδυνάμωση (Memoona et al., 2021). Η ρομποτική τεχνολογία μπορεί να μειώσει το φυσικό φόρτο εργασίας για τον θεραπευτή, ενώ επιτρέπει την αντικειμενική και ποσοτική αξιολόγηση της αναπηρίας και της πρόοδου του ασθενούς (Morone et al., 2014). Η εκπαίδευση βάδισης μέσω ρομποτικών εργαλείων (Robot-Assisted Gait Training - RAGT) μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω

εξωσκελετικών συσκευών (exoskeleton) είτε τελικών εκτελεστών (end-effectors), με εφαρμογές σε διάφορες νευρολογικές παθήσεις (In et al., 2016).

Μολονότι αρκετές μελέτες έχουν συγκρίνει το RAGT με την παραδοσιακή θεραπεία, δεν έχει τεκμηριωθεί σαφώς η υπεροχή της μίας προσέγγισης έναντι της άλλης όσον αφορά την ασφάλεια ή την αποτελεσματικότητα της βάδισης (Hung et al., 2016). Η ατελής αποκατάσταση της βάδισης οδηγεί συχνά σε αυξημένο κίνδυνο πτώσεων, ο οποίος μειώνει την ποιότητα ζωής και την ανεξαρτησία των ασθενών (Sun et al., 2022). Επομένως, είναι απαραίτητο να σχεδιάζονται ολοκληρωμένα προγράμματα που συνδυάζουν την αποκατάσταση βάδισης με την αποκατάσταση της ισορροπίας (Aprile et al., 2022).

Η βιοανάδραση αποτελεί επίσης σημαντικό τεχνολογικό εργαλείο, καθώς ενισχύει την ιδιοδεκτικότητα και την ισορροπία μέσω ακουστικών ή οπτικών σημάτων ανατροφοδότησης για τη στάση του σώματος (Saraiva et al., 2023). Συχνά χρησιμοποιούνται πλατφόρμες ισορροπίας όπως το Tetrax, καθώς και ειδικά σχεδιασμένα λογισμικά και αισθητήρες για την ανάλυση του κέντρου πίεσης (Krohn et al., 2024). Τέτοιες τεχνολογίες φαίνεται να ενισχύουν τη στατική και δυναμική ισορροπία, βελτιώνοντας παράλληλα την αυτοπεποίθηση του ασθενούς (Salgueiro et al., 2022).

Η τηλεαποκατάσταση αποτελεί σύγχρονη εναλλακτική με χρήση smartphones, tablets και συστημάτων παρακολούθησης εξ αποστάσεως, επιτρέποντας τη συνέχιση της θεραπείας στο σπίτι με την επίβλεψη επαγγελματιών υγείας (Memoona et al., 2021). Η προσέγγιση αυτή είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε πληθυσμούς με περιορισμένη πρόσβαση σε κέντρα αποκατάστασης και έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη διατήρηση της θεραπευτικής συμμόρφωσης (Morone et al., 2014). Η χρήση φορέσιμων συσκευών (wearables) και εφαρμογών κινητών τηλεφώνων ενισχύει την αλληλεπίδραση μεταξύ θεραπευτή και ασθενούς και επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση της δραστηριότητας (In et al., 2016).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μελέτες που εξετάζουν συνδυασμένες παρεμβάσεις βάδισης και ισορροπίας, ιδίως μέσω διαδρόμων με προγραμματισμένες διαταραχές ή συστήματα προσομοίωσης πρόκλησης ισορροπίας (Hung et al., 2016). Μετά από παρεμβάσεις τέτοιου τύπου, ασθενείς παρουσίασαν βελτιώσεις στην συμμετρία βάδισης, την ώθηση, και το χρόνο αντίδρασης σε εξωτερικές διαταραχές (Sun et al., 2022). Παράλληλα, νέα ρομποτικά συστήματα για αποκατάσταση της ισορροπίας έχουν αρχίσει

να χρησιμοποιούνται ερευνητικά, υποδεικνύοντας τη δυναμική του ρομποτικού μοντέλου για αποκατάσταση ισορροπίας κατά τη διάρκεια της βάδισης (Aprile et al., 2022).

Η διαρκής τεχνολογική πρόοδος στην αποκατάσταση μετά από Α.Ε.Ε. προσφέρει ουσιαστικές δυνατότητες για την ενίσχυση της λειτουργικότητας και της αυτονομίας των ασθενών. Παρόλο που δεν υπάρχει ακόμη οριστική τεκμηρίωση για την υπεροχή κάποιας μεθόδου, η τάση συγκλίνει προς εξατομικευμένες και πολυτροπικές προσεγγίσεις, με επίκεντρο τον ασθενή και στόχο την αποκατάσταση της δυναμικής ισορροπίας και της ασφαλούς βάδισης (Saraiva et al., 2023; Krohn et al., 2024; In et al., 2016).

#### **1.4. Στόχος και ερευνητικά ερωτήματα**

Η ανάγκη για την παρούσα μελέτη προκύπτει από την αυξανόμενη επιβάρυνση των συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης παγκοσμίως λόγω της υψηλής συχνότητας των αγγειακών εγκεφαλικών επεισοδίων (Α.Ε.Ε.), τα οποία αποτελούν μια από τις κύριες αιτίες θνησιμότητας και αναπηρίας. Παρά την πρόοδο στην ιατρική και την αποκατάσταση, τα άτομα που επιβιώνουν από Α.Ε.Ε. συχνά αντιμετωπίζουν μακροχρόνια νευρολογικά ελλείμματα, ιδίως όσον αφορά την ισορροπία και την κινητικότητα.

Η μελέτη αποσκοπεί στην αξιολόγηση της επίδρασης της άσκησης με την υποβοήθηση των διαθέσιμων τεχνολογικών μέσων, με στόχο την αποκατάσταση της ισορροπίας και της κινητικότητας ασθενών που έχουν υποστεί αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.).

Κύριος στόχος είναι να κατανοηθεί πώς η συστηματική χρήση αυτών των τεχνικών μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργικότητα των ασθενών, εστιάζοντας στην αποκατάσταση και τη βελτιστοποίηση της ποιότητας ζωής τους. Ειδικοί στόχοι περιλαμβάνουν:

- Την αναγνώριση των τεχνολογικών παρεμβάσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί στην αποκατάσταση ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε..
- Τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας αυτών των παρεμβάσεων.
- Την περιγραφή της τεχνολογίας που είναι περισσότερο διαδεδομένη και την αξιολόγηση και αποδοχή της από τους ασθενείς.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας μελέτης επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της αποκατάστασης ισορροπίας μέσω άσκησης για τα άτομα που έχουν επιβιώσει από Α.Ε.Ε. Τα κύρια ερωτήματα περιλαμβάνουν:

- Ποιες τεχνολογικές παρεμβάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί στην αποκατάσταση ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε.;
- Ποια είναι η αποτελεσματικότητα αυτών των παρεμβάσεων;
- Ποια τεχνολογία είναι περισσότερο διαδεδομένη, πώς αξιολογείται και αν είναι αποδεκτή από τους ασθενείς;

### **1.5. Οριοθετήσεις της έρευνας**

Η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει οριοθετήσεις που καθορίζουν το εύρος και τα όριά της. Καταρχάς, η βιβλιογραφία που εξετάστηκε για την παρούσα μελέτη περιορίζεται κυρίως στα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στις γλώσσες Αγγλικά και Ελληνικά, κάτι που ενδέχεται να αποκλείει σημαντικές μελέτες ή στοιχεία που ενδέχεται να υπάρχουν σε άλλες γλώσσες. Επίσης, οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν είναι πολλές και ποικίλες, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εστίαση σε μία μόνο πτυχή του προβλήματος. Η έρευνα αυτή, επιπλέον, εστιάζει σε περιορισμένο δείγμα μελετών, το οποίο μπορεί να μην είναι επαρκές για την πλήρη ανάλυση όλων των παραμέτρων που σχετίζονται με την αποκατάσταση ισορροπίας στους επιζώντες Α.Ε.Ε. και τους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Η μελέτη επικεντρώνεται επίσης στις υπάρχουσες μεθόδους αποκατάστασης ισορροπίας, χωρίς να εξετάζει σε βάθος τη συνδυαστική χρήση νέων τεχνολογικών μέσων ή εναλλακτικών θεραπειών που ίσως να έχουν αναδυθεί στην βιβλιογραφία. Επομένως, το εύρος των προτεινόμενων μεθόδων περιορίζεται από τις υπάρχουσες ερευνητικές εργασίες και την εφαρμογή τους στη σύγχρονη κλινική πρακτική.

Τέλος, παρά τη δυνατότητα ανάλυσης μιας σειράς μεταβλητών, η φύση των αγγειακών εγκεφαλικών επεισοδίων, με τις πολλαπλές αιτίες, συνέπειες και παράγοντες κινδύνου που τη συνοδεύουν, καθιστά την έρευνα αυτή περιορισμένη όσον αφορά την πλήρη κατανόηση των επιπτώσεων και της αποτελεσματικότητας όλων των μεθόδων αποκατάστασης ισορροπίας σε διαφορετικά υποσύνολα ασθενών.

## **2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

### **2.1. Νευρολογική βάση απώλειας ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε.**

#### **2.1.1. Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο**

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Αγγειακού Εγκεφαλικού Επεισοδίου (World Stroke Organization - WSO) το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.) αποτελεί τη δεύτερη αιτία θανάτων παγκοσμίως και αντίστοιχα την τρίτη για μακροχρόνια αναπηρία (Feigin et al., 2022). Ως Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο ορίζεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) ως η αιφνίδια εμφάνιση κλινικών σημείων και συμπτωμάτων μιας εστιακής διαταραχής της εγκεφαλικής λειτουργίας που προκαλείται από εμφανή ή μη αγγειακή αιτία, με αποτέλεσμα την απώλεια νευρολογικής λειτουργίας, και διάρκεια 24 ωρών ή μέχρι θανάτου.

Το Α.Ε.Ε. διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: το αιμορραγικό και το ισχαιμικό. Στην περίπτωση του αιμορραγικού παρατηρείται αιφνίδια αποδέσμευση μεγάλης ποσότητας αίματος εντός του κρανίου με αποτέλεσμα την αύξηση της ενδοκρανιακής πίεσης, την απώθηση της εγκεφαλικής μάζας και τελικώς τη νέκρωση του εγκεφαλικού ιστού (Dastur & Yu, 2017). Στην περίπτωση του ισχαιμικού, αντιθέτως, παρουσιάζεται μειωμένη ή πλήρως διακοπείσα ροή του αίματος, άρα και οξυγόνου, προς μια περιοχή του εγκεφάλου με αποτέλεσμα την ισχαιμία και ενδεχόμενη νέκρωση του ιστού. (Ovbiagele & Nguyen-Huyh, 2011).

Τα ισχαιμικά αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια αποτελούν το πλέον συχνό είδος Α.Ε.Ε., αντιπροσωπεύοντας περίπου το 62,4% όλων των περιστατικών σύμφωνα με τα πλέον πρόσφατα επιδημιολογικά δεδομένα της μελέτης Global Burden of Disease 2019 (Feigin et al., 2022).

Η ταξινόμησή τους δύναται να γίνει είτε με βάση την παθογένεια είτε με βάση την κλινική τους εξέλιξη (Adams et al., 1993). Παθογενετικά, τα ισχαιμικά Α.Ε.Ε. διακρίνονται σε: θρομβωτικά έμφρακτα που αφορούν 60% των ισχαιμικών Α.Ε.Ε. και οφείλονται στην αθηρωματική απόφραξη των μεγάλων αρτηριών, εμβολικά που αφορούν το 20% των ισχαιμικών Α.Ε.Ε. και οφείλονται στην εμβολή ενός θρόμβου στις αρτηρίες του εγκεφάλου, τα κενотоπιώδη που αφορούν το 20% των ισχαιμικών Α.Ε.Ε., οφείλονται στην απόφραξη των αγγείων του εξαγώνου του Willis, της βασικής αρτηρίας, της σπονδυλικής αρτηρίας

και κλάδων της μέσης εγκεφαλικής αρτηρίας που τροφοδοτούν το εγκεφαλικό σύστημα και φαίνεται να έχουν την καλύτερη πρόγνωση και έκβαση, και τα κρυψηγενή ή άλλης καθορισμένης αιτιολογίας και αγνώστου αιτιολογίας (Γιαννακού, 2009). Κλινικά, η πορεία τους διαφοροποιείται σε παροδικά ισχαιμικά επεισόδια (ΤΙΑ), εν εξελίξει Α.Ε.Ε. και εγκατεστημένα Α.Ε.Ε. (Onbiagele & Nguyen-Huynh, 2011).

Όπως σε κάθε παθολογία, αντίστοιχα και στα Α.Ε.Ε. υπάρχουν παράγοντες κινδύνου. Αυτοί διαχωρίζονται σε τροποποιήσιμους και μη τροποποιήσιμους. Στους τροποποιήσιμους εντάσσονται η αρτηριακή πίεση (υπέρταση), τα καρδιακά νοσήματα, ο σακχαρώδης διαβήτης, η υπερλιπιδαιμία, η κολπική μαρμαρυγή, το μεταβολικό σύνδρομο, το κάπνισμα, η παχυσαρκία, η καρωτιδική στένωση, η μειωμένη φυσική δραστηριότητα και η κατανάλωση αλκοόλ. Στους μη τροποποιήσιμους, κατατάσσονται η ηλικία, το φύλο, η εθνικότητα/φυλή και η κληρονομικότητα (Πίνακας 1) (Haast et al., 2012).

**Πίνακας 1.** Παράγοντες κινδύνου Α.Ε.Ε. (Haast et al., 2012).

<b>ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ</b>	<b>ΜΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ</b>
Υπέρταση	Αυξημένη Ηλικία
Καρδιακά νοσήματα	Φύλο
Σακχαρώδης Διαβήτης	Οικογενειακό ιστορικό
Υπερλιπιδαιμία	Εμμηνόπαυση
Κολπική Μαρμαρυγή	Φυλή
Μεταβολικό Σύνδρομο	
Κάπνισμα	
Παχυσαρκία	
Καρωτιδική Στένωση	
Μειωμένη Φυσική Δραστηριότητα	
Αλκοόλ	

Τα συμπτώματα ενός Α.Ε.Ε. εμφανίζονται αιφνίδια, χωρίς προειδοποίηση, και είναι άμεσα συνδεδεμένα με την προσβληθείσα εγκεφαλική περιοχή και έκταση της βλάβης. Τα πρώτα σημάδια έναρξης του περιστατικού εμφανίζονται ξαφνικά και είναι το μούδιασμα ή αδυναμία του προσώπου, του άνω ή κάτω άκρου - ειδικά στη μία πλευρά του σώματος, σύγχυση, αδυναμία ομιλίας ή κατανόησης, αδυναμία όρασης, δυσκολία στο περπάτημα,

ζάλη, απώλεια ισορροπίας και έλλειψη συντονισμού και έντονος πονοκέφαλος άγνωστης αιτιολογίας (Harbison, 2003). Το αγγλικό ακρωνύμιο που επικρατεί για την έγκαιρη αναγνώριση και αντίδραση σε περίπτωση εμφάνισης περιστατικού, είναι το FAST που σημαίνει Facial drooping (πτώση προσώπου), Arm (or leg) weakness (αδυναμία άνω ή άνω ή κάτω άκρου), Speech (δυσκολία στην ομιλία) και Time (ώρα να κληθούν τα κέντρα άμεσης βοήθειας (Aroor et al., 2017)).

Στην περίπτωση εμφάνισης ενός επεισοδίου, οι επιπλοκές που μπορεί να ακολουθήσουν διαφέρουν σε κάθε ασθενή, ανάλογα με το ιατρικό ιστορικό του, τον τύπο του επεισοδίου, τη σοβαρότητα και την περιοχή του εγκεφάλου που προσβάλλεται. Το ανθρώπινο νευρικό σύστημα, και ειδικότερα ο εγκέφαλος, είναι πολύ περίπλοκο. Κάθε περιοχή του εγκεφάλου είναι υπεύθυνη για μια συγκεκριμένη λειτουργία ή ικανότητα, και αν υποστεί βλάβη μπορεί να προκληθεί ανικανότητα ή αναπηρία αντίστοιχα (Cheng et al., 2014).

### **2.1.2. Εγκέφαλος**

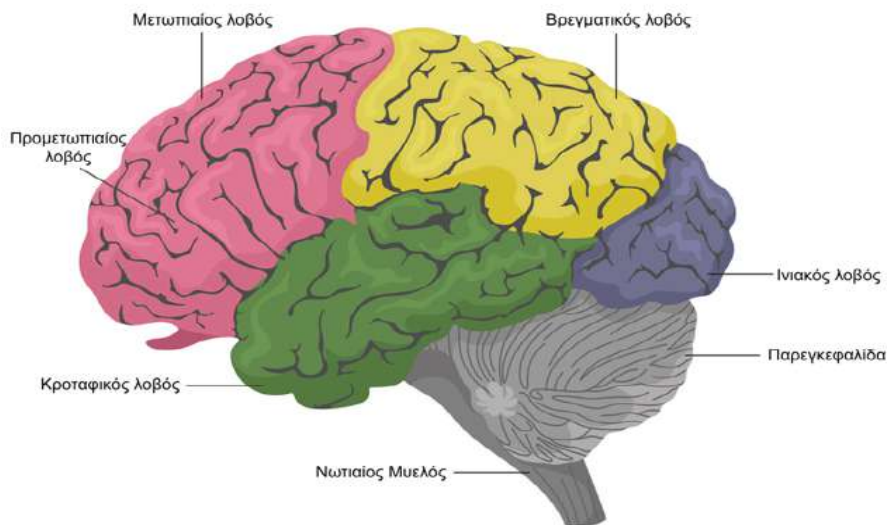
Ο εγκέφαλος αποτελεί το πιο πολύπλοκο και μεγάλο τμήμα του ανθρώπινου νευρικού συστήματος. Αποτελεί το 2% του συνολικού βάρους του σώματός μας και καταναλώνει το 20-50% του οξυγόνου και της ενέργειάς μας. Απαρτίζεται από τα νευρικά κύτταρα, τους νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα (νευρογλοία) και συντονίζει όλα τα όργανα και τα συστήματα του οργανισμού. (FitzGerald et al, 2009).

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, το κεντρικό νευρικό σύστημα σχηματίζεται από ένα μακρύ σωλήνα, από του οποίου το πρόσθιο τμήμα θα προέλθει ο εγκέφαλος. Στη συνέχεια, με τον διαρκή σχηματισμό του, αναδιπλώνεται και εμφανίζει τέσσερις διαφορετικές περιοχές. Αυτές οι περιοχές αποτελούν τις τέσσερις υποδιαιρέσεις του εγκεφάλου και χωρίζονται στα εγκεφαλικά ημισφαίρια, το διεγκέφαλο, το στέλεχος και την παρεγκεφαλίδα (Widmaier et al., 2016). Τα ημισφαίρια του εγκεφάλου μαζί με τον διεγκέφαλο αποτελούν τον πρόσθιο εγκέφαλο, ενώ το στέλεχος αποτελείται από το μεσεγκέφαλο, τη γέφυρα και τον προμήκη μυελό. Συνολικά, ο εγκέφαλος περικλείει τέσσερις κοιλότητες, τις εγκεφαλικές κοιλίες, μέσα στις οποίες κινείται το εγκεφαλονωτιαίο υγρό (Gilroy, 2019).

Το μεγαλύτερο τμήμα του προσθίου εγκεφάλου απαρτίζεται από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια (δεξί και αριστερό) και τον διεγκέφαλο. Τα ημισφαίρια αποτελούνται από τον

εγκεφαλικό φλοιό (εξωτερικό κέλυφος φαιάς ουσίας) και από τη λευκή ουσία (εσωτερικό τμήμα που αποτελείται από εμμύελες ίνες). Η λευκή ουσία καλύπτει συσσωρευμένα αθροίσματα νευρώνων, που είναι επίσης φαιά ουσία και συνολικά καλούνται υποφλοιικοί πυρήνες - ετερογενείς ομάδες φαιάς ουσίας που βρίσκονται βαθιά στα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Τα βασικά γάγγλια κατέχουν σημαντική θέση μεταξύ των πυρήνων των ημισφαιρίων και έχουν βασικό ρόλο στον έλεγχο της κίνησης, της στάσης και πιο σύνθετων συμπεριφορών (Widmaier et al., 2016).

Τα δύο ημισφαίρια είναι αμφοτερόπλευρα, χωρίζονται μεταξύ τους με την επιμήκη σχισμή του εγκεφάλου και από την παρεγκεφαλίδα με την εγκάρσια σχισμή, και καθένα είναι υπεύθυνο για διαφορετικές λειτουργίες (π.χ. έλεγχος των πνευματικών λειτουργιών, σκέψη, λόγος, συνείδηση, εκούσιες ενέργειες, συναισθήματα), ενώ κυριαρχεί ο έλεγχος του ενός. Ο φλοιός κάθε εγκεφαλικού ημισφαιρίου χωρίζεται από βαθιές αύλακες σε τέσσερις λοβούς: μετωπιαίο, βρεγματικό, κροταφικό και ινιακό (Johnson, 2012).



**Εικόνα 1.** Τελικός Εγκέφαλος (Johns Hopkins Medicine, n.d.)

Η κεντρική ή Ρολάνδειος αύλακα αποτελεί το χώρισμα μεταξύ μετωπιαίου και βρεγματικού λοβού και βρίσκεται στην άνω και έξω επιφάνεια του ημισφαιρίου. Η πλάγια σχισμή του εγκεφάλου (Sylvius) χωρίζει το μετωπιαίο και το βρεγματικό λοβό από τον κροταφικό. Η βρεγματοϊνιακή σχισμή χωρίζει τον βρεγματικό από τον ινιακό λοβό και βρίσκεται στην έσω επιφάνεια του ημισφαιρίου (Μπαλτόπουλος, 2003).

Ο μετωπιαίος λοβός βρίσκεται πρόσθια της κεντρικής αύλακας και άνω της πλάγιας σχισμής ενώ εμφανίζει τρεις επιφάνειες (έξω, έσω και κάτω). Μεταξύ άλλων, σε αυτές σχηματίζεται η περιοχή Broca, το κινητικό κέντρο λόγου, που είναι υπεύθυνη για την παραγωγή του προφορικού λόγου (Stinnett et al., 2023). Επιπλέον, ο μετωπιαίος λοβός ελέγχει σημαντικές λειτουργίες του εγκεφάλου, όπως είναι οι εκτελεστικές και κινητικές λειτουργίες, η κρίση, η επίλυση προβλημάτων, ο προγραμματισμός, η συμπεριφορά, η προσωπικότητα, η ομιλία, η γραφή, η συγκέντρωση, η συνείδηση του εαυτού και η ευφυΐα. Ελέγχει, επίσης, το πρόσωπο και τις κινήσεις των οφθαλμών (απαγωγή του αντίπλευρου και προσαγωγή του ομόπλευρου οφθαλμού (Berkowitz, 2024).

Ο βρεγματικός λοβός βρίσκεται οπίσθια της κεντρικής αύλακας και πρόσθια της βρεγματοϊνιακής αύλακας και παρουσιάζει δύο επιφάνειες (έξω και έσω). Ελέγχει κατά κύριο λόγο την κοινή αισθητικότητα και τις ανώτερες λειτουργίες του λόγου, της ευπραξίας και της γνώσης, ενώ αποτελεί το κέντρο της γεύσης (στόμα, χείλη, γλώσσα) (Μπαλτόπουλος, 2003). Είναι υπεύθυνος για την αίσθηση της αφής, της θερμοκρασίας και του πόνου στο αντίπλευρο σώμα (Bui et al., 2023) , την αντίληψη της θέσης του σώματος στον χώρο, τη γνώση του χώρου και τους μαθηματικούς υπολογισμούς. Οι νευρικές ίνες που προέρχονται από τον ινιακό λοβό, διασχίζοντας το άνω τμήμα του βρεγματικού λοβού, σχηματίζουν την οδό του «πού» («where pathway»), καθώς οι πληροφορίες αναλύονται ώστε να προσδιορίζεται η θέση αντικειμένων στον χώρο σε σχέση με το σώμα (Berkowitz, 2024). Βλάβες στον κυρίαρχο βρεγματικό λοβό (συνήθως αριστερό) προκαλούν χαρακτηριστικά συμπτώματα, όπως αγραφία, δυσαριθμησία και χωρικό αποπροσανατολισμό (σύνδρομο Gerstmann), ενώ βλάβες στο μη κυρίαρχο (συνήθως δεξί) προκαλούν χωρική παραμέληση (Altabakhi et al., 2023).

Ο κροταφικός λοβός βρίσκεται κάτω από την πλάγια σχισμή του εγκεφάλου, χωρίζεται από τον μετωπιαίο και βρεγματικό λοβό και διαμερίζεται σε άνω, κάτω και έσω επιφάνεια. Σε αυτές ενυπάρχει και η περιοχή Wernicke, υπεύθυνη για την κατανόηση του λόγου και βρίσκεται στο κυρίαρχο ημισφαίριο - που στους περισσότερους ανθρώπους είναι το αριστερό (Bui et al., 2023). Επεξεργάζεται κυρίως πληροφορίες από το αντίπλευρο αυτί (ακοή), με το πρόσθιο μέρος του να αναγνωρίζει τους μουσικούς ήχους και το οπίσθιο τις απλές λέξεις. Επιπροσθέτως, σχηματίζεται το συνειρμικό κέντρο ακοής όπου το ακουστικό ερέθισμα αναγνωρίζεται και γίνεται συσχέτιση με το άλλα (Μπαλτόπουλος, 2003). Ο



για τη λειτουργία της ομοιόστασης του οργανισμού (π.χ. θερμοκρασία) και για συμπεριφορές που αφορούν την αυτοσυντήρηση (πείνα, δίψα, αναπαραγωγή (Widmaier et al., 2016). Ο θάλαμος είναι η συνάθροιση αρκετών μεγάλων πυρήνων που λειτουργούν ως συναπτικοί σταθμοί μεταβίβασης και σημαντικά κέντρα ανάλυσης και επεξεργασίας (και ενδεχομένως) τροποποίησης των περισσότερων ληφθέντων πληροφοριών. Έχει σημαντικό ρόλο στη μη-ειδική εγρήγορση και στην προσήλωση προσοχής (Schuenke et al., 2007).

Ο επιθάλαμος, που περιλαμβάνει την επίφυση, εκκρίνει ορμόνες που διοχετεύονται σε όργανα-στόχους μέσω του εγκεφαλονωτιαίου υγρού (Johnson, 2012).

Η παρεγκεφαλίδα αποτελείται από ένα εξωτερικό χιτώνα κυττάρων, τον παρεγκεφαλιδικό φλοιό και από αρκετούς πυρήνες που βρίσκονται βαθύτερα (Widmaier et al., 2016). Ο ρόλος της περιλαμβάνει τον συντονισμό και την εξομάλυνση εκούσιων και ακούσιων κινήσεων (παρότι δεν συμμετέχει στην έναρξή τους), τη διατήρηση της ισορροπίας και της στάσης, καθώς και τη συνεργασία με το αιθουσαίο και το ιδιοδεκτικό σύστημα (Μπαλτόπουλος, 2003). Με άλλα λόγια, προκειμένου να διεκπεραιώσει αυτές τις λειτουργίες, η παρεγκεφαλίδα λαμβάνει πληροφορίες από τους μυς και τις αρθρώσεις, το δέρμα, τους οφθαλμούς, τα ώτα, τα σπλάχνα και τα μέρη του εγκεφάλου που παίζουν ρόλο στον έλεγχο της κίνησης (Widmaier et al., 2016). Επιπλέον, κατά την εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων, η παρεγκεφαλίδα βελτιώνει τις κινήσεις και διορθώνει τα σφάλματα (Μπαλτόπουλος, 2003).

Το εγκεφαλικό στέλεχος αποτελεί το μεσάζων σύστημα ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ νωτιαίου μυελού, προσθίου εγκεφάλου και παρεγκεφαλίδας (Marieb et al., 2018). Ο σχηματισμός που διέρχεται από την κεντρική περιοχή του στελέχους και αποτελείται από χαλαρά συνδεδεμένα κυτταρικά σώματα νευρώνων μαζί με δέσμες αξόνων, ονομάζεται δικτυωτός σχηματισμός (απαραίτητο τμήμα του εγκεφάλου για τη ζωή). Δέχεται και ολοκληρώνει εισερχόμενα σήματα από όλες τις περιοχές του κεντρικού νευρικού συστήματος και είναι υπεύθυνος για την επεξεργασία μεγάλου μέρους από τις νευρωνικές πληροφορίες. Συμμετέχει στις κινητικές λειτουργίες, στον έλεγχο του καρδιαγγειακού και αναπνευστικού συστήματος και στους μηχανισμούς που ρυθμίζουν τον ύπνο, το άγρυπνο στάδιο συνείδησης και την προσήλωση προσοχής (Πίνακας 2) (Widmaier et al., 2016).

**Πίνακας 2.** Σύνοψη των λειτουργιών των πιο σημαντικών τμημάτων του εγκεφάλου. (Widmaier et al., 2016).

Τμήμα	Υποενότητες	Περιεχόμενο
<b>I. Πρόσθιος εγκεφαλος</b>	Α. Εγκεφαλικά ημισφαίρια	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Περιλαμβάνουν τον εγκεφαλικό φλοιό ο οποίος συμμετέχει στην αντίληψη, τη γένεση των κινήσεων που απαιτούν επιδεξιότητα, τη λογική σκέψη, τη μάθηση και τη μνήμη.</li> <li>2. Περιλαμβάνουν τους υποφλοιικούς πυρήνες, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που συμμετέχουν στο συντονισμό της δραστηριότητας των σκελετικών μυών.</li> <li>3. Περιλαμβάνουν ίνες συνδετικών οδών.</li> </ol>
	Β. Θάλαμος	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Είναι ένας ενδιάμεσος σταθμός συναπτικής μεταβίβασης για τις αισθητικές οδούς κατά την πορεία τους προς τον εγκεφαλικό φλοιό.</li> <li>2. Συμμετέχει στον έλεγχο συντονισμού των σκελετικών μυών.</li> <li>3. Παίζει ρόλο-κλειδί στη συνειδητοποίηση.</li> </ol>
	Γ. Υποθάλαμος	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ρυθμίζει τη λειτουργία της πρόσθιας υπόφυσης</li> <li>2. Ρυθμίζει την ομοίωση των σωματικών υγρών.</li> <li>3. Συμμετέχει στη ρύθμιση του αυτόνομου νευρικού συστήματος.</li> <li>4. Ρυθμίζει τη συμπεριφορά της πρόσληψης τροφής και υγρών.</li> <li>5. Ρυθμίζει το αναπαραγωγικό σύστημα.</li> <li>6. Ενισχύει ορισμένες συμπεριφορές.</li> <li>7. Παράγει και ρυθμίζει τον περιεικοσιτετράωρο ρυθμό.</li> </ol>

Τμήμα	Υποενότητες	Περιεχόμενο
		8. Ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματος. 9. Συμμετέχει στη γένεση της συναισθηματικής συμπεριφοράς.
	Δ. Μεταιχμιακό σύστημα	1. Συμμετέχει στη γένεση των συναισθημάτων και της συναισθηματικής συμπεριφοράς. 2. Παίζει ουσιαστικό ρόλο σε όλους τους τύπους μάθησης.
II. Παρεγκεφαλίδα		A. Συντονίζει τις κινήσεις περιλαμβανομένων αυτών που αφορούν στη στάση και στην ισορροπία του σώματος. B. Συμμετέχει σε κάποιες μορφές μάθησης.
III. Στέλεχος		A. Περιέχει όλες εκείνες τις ίνες που το διαπερνούν και συνδέουν λειτουργικά το νωτιαίο μυελό, τον πρόσθιο εγκέφαλο και την παρεγκεφαλίδα. B. Περιέχει το δικτυωτό σχηματισμό και διάφορα κέντρα ολοκλήρωσης, περιλαμβανομένων και εκείνων που είναι υπεύθυνα για την καρδιαγγειακή και την αναπνευστική δραστηριότητα. Γ. Περιλαμβάνει τους πυρήνες των κраниακών νεύρων από το III έως το XII.

### 2.1.3. Ισορροπία και εγκέφαλος

Ο εγκέφαλος ρυθμίζει την ισορροπία και την κίνηση μέσω της συνεργασίας διαφόρων δομών. Σε ασθενείς με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.), η βλάβη αυτών των περιοχών προκαλεί απώλεια ισορροπίας και κινητικές δυσκολίες. Η κατανόηση της νευρολογικής βάσης αυτών των διαταραχών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών αποκατάστασης.

Η παρεγκεφαλίδα συντονίζει την κίνηση και τη στάση του σώματος, τα βασικά γάγγλια ρυθμίζουν τις εκούσιες κινήσεις και τα κινητικά μοτίβα, ενώ το αιθουσαίο σύστημα συμβάλλει στην αίσθηση της ισορροπίας. Ο βρεγματικός λοβός επεξεργάζεται αισθητηριακά ερεθίσματα σχετιζόμενα με την κίνηση και τη θέση του σώματος. Βλάβες σε αυτές τις περιοχές οδηγούν σε αστάθεια και αταξία.

Η ισορροπία βασίζεται στην αλληλεπίδραση του οπτικού, αιθουσαίου και ιδιοδεκτικού συστήματος. Μετά από Α.Ε.Ε., η διαταραχή αυτής της συνεργασίας προκαλεί δυσκολία στην επεξεργασία αισθητηριακών σημάτων και στον συντονισμό των κινήσεων.

Η αποκατάσταση απαιτεί εξατομικευμένες παρεμβάσεις. Οι τεχνολογικές λύσεις, όπως η ρομποτική και η εικονική πραγματικότητα, δείχνουν θετικά αποτελέσματα. Η διεπιστημονική συνεργασία είναι απαραίτητη για την ολιστική αποκατάσταση της λειτουργικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

## **2.2. Μέθοδοι αποκατάστασης με χρήση τεχνολογικών μέσων**

Η σύγχρονη τεχνολογία έχει αναδείξει νέες δυνατότητες στην αποκατάσταση της ισορροπίας μετά από Α.Ε.Ε., εισάγοντας παρεμβάσεις που βασίζονται στη ρομποτική, στην εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, στη βιοανάδραση και στις φορητές συσκευές. Οι τεχνολογικές εφαρμογές προσφέρουν τη δυνατότητα εξατομικευμένων, επαναλαμβανόμενων και διαδραστικών ασκήσεων, βελτιώνοντας τη συμμόρφωση και την κινητική μάθηση μέσω της προώθησης της νευροπλαστικότητας (Carrillo et al., 2023; Huang et al., 2023).

Η χρήση ρομποτικών συστημάτων στην αποκατάσταση μετά από Α.Ε.Ε. ενισχύει την επαναληψιμότητα, την ακρίβεια και την ένταση της κινητικής εξάσκησης. Ο εξοπλισμός παρέχει δομημένη και εξατομικευμένη υποστήριξη στην κίνηση, διευκολύνοντας τη νευροπλαστικότητα και την αποκατάσταση της λειτουργικής ισορροπίας. Επιπλέον, προσφέρεται ασφαλές πλαίσιο για την άσκηση με δυνατότητα αντικειμενικής καταγραφής επιδόσεων, ενώ η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να βελτιώσει την εξατομίκευση των θεραπευτικών προγραμμάτων (Tang et al., 2023; Huang et al., 2023).

Η ετερογένεια των τεχνολογικών λύσεων, το υψηλό κόστος και η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό μπορούν να επηρεάσουν τη γενίκευση των αποτελεσμάτων και την ενσωμάτωσή τους στην καθημερινή κλινική πρακτική. Ωστόσο, η εξέλιξη των ρομποτικών τεχνολογιών ενισχύει τον ρόλο τους ως συμπληρώματα των παραδοσιακών

προσεγγίσεων, με προοπτικές μείωσης του κόστους και ευρύτερης προσβασιμότητας (Carrillo et al., 2023).

Η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR) δημιουργούν διαδραστικά περιβάλλοντα προσομοίωσης, στα οποία οι ασθενείς μπορούν να εξασκούν λειτουργικές κινήσεις με αυξημένη αίσθηση ελέγχου και κίνητρο. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την παροχή άμεσης ανατροφοδότησης και μπορούν να ενισχύσουν τη γνωστικοκινητική εμπλοκή, ιδιαίτερα μέσω εξατομικευμένων σεναρίων και παιχνιδοποίησης (Soleimani et al., 2024; Aderinto et al., 2023).

Σύμφωνα με πρόσφατα δεδομένα, οι παρεμβάσεις VR και AR παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα στη βελτίωση της ισορροπίας, της στάσης και της βάδισης. Η εφαρμογή τους απαιτεί κατάλληλη προσαρμογή στις ικανότητες του ασθενούς και τεχνολογική υποστήριξη, ωστόσο ενισχύουν τη δυνατότητα συμμετοχής και την ενεργό εμπλοκή στη θεραπεία. Η συνδυαστική χρήση με φορητές συσκευές διευρύνει το πεδίο παρέμβασης και αυξάνει την αποτελεσματικότητα (Choy et al., 2023).

Η τεχνολογία βιοανάδρασης βασίζεται στην καταγραφή και οπτικοποίηση βιολογικών σημάτων, όπως η μυϊκή δραστηριότητα ή η μετατόπιση του κέντρου βάρους, και επιτρέπει στον ασθενή να προσαρμόζει τη στάση ή την κίνησή του σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της συνεχούς ανατροφοδότησης, διευκολύνεται η αυτορρύθμιση και η κινητική επανεκπαίδευση, ενώ ο θεραπευτής μπορεί να ενισχύσει την ακρίβεια και την εξατομίκευση της παρέμβασης (Santucci et al., 2023; Donnelly et al., 2023).

Τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα υποδεικνύουν βελτίωση της στατικής και δυναμικής ισορροπίας, ιδίως όταν η ανατροφοδότηση παρέχεται οπτικά ή ακουστικά. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών μηχανικής μάθησης συμβάλλει στην παραμετροποίηση των προγραμμάτων και την εξατομίκευση της παρέμβασης (Skvortsov et al., 2024).

Οι φορητές συσκευές (wearables), όπως επιταχυνσιόμετρα, αισθητήρες πίεσης και «έξυπνα» παπούτσια, προσφέρουν τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων για την κίνηση και την ισορροπία κατά τις καθημερινές δραστηριότητες. Σε συνδυασμό με κινητές εφαρμογές, προσφέρουν ολοκληρωμένες λύσεις για απομακρυσμένη παρακολούθηση και καθοδήγηση της αποκατάστασης (Yang et al., 2023; Guo et al., 2023).

Η ενσωμάτωσή τους σε συστήματα τηλε-αποκατάστασης ενισχύει τη συνεχή εμπλοκή των ασθενών, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές. Η χρήση τους συνδέεται με καλύτερη λειτουργική απόδοση και μεγαλύτερη συμμόρφωση στη θεραπεία. Ζητήματα όπως η ασφάλεια δεδομένων και η τεχνολογική επάρκεια παραμένουν ενεργά πεδία έρευνας (Langerak et al., 2023; Guo et al., 2023).

### **2.2.1. Συστήματα αξιολόγησης ισορροπίας**

Η αξιολόγηση της ισορροπίας αποτελεί βασικό συστατικό της αποκατάστασης μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (Α.Ε.Ε.), καθώς παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού των ελλειμμάτων, καθορισμού των θεραπευτικών στόχων και παρακολούθησης της προόδου (Van Criekeing et al., 2024). Για τον σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μεθοδολογίες, που περιλαμβάνουν τόσο κλινικές δοκιμασίες όσο και τεχνολογικά προηγμένα συστήματα.

Οι κλινικές δοκιμασίες βασίζονται σε τυποποιημένα εργαλεία παρατήρησης και βαθμολογικές κλίμακες, όπως η Berg Balance Scale (BBS), το Timed Up and Go (TUG) και το Functional Reach Test (FRT). Τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της ευκολίας εφαρμογής τους, της ταχύτητας αξιολόγησης και της χαμηλής απαίτησης σε εξοπλισμό. Ωστόσο, παρουσιάζουν περιορισμένη ευαισθησία στην ανίχνευση μικρών διαφορών στην ισορροπία, ιδίως σε προχωρημένα στάδια αποκατάστασης (Meng et al., 2023).

Αντιθέτως, τα εργαστηριακά και τεχνολογικά συστήματα αξιολόγησης ισορροπίας προσφέρουν αντικειμενικές και ποσοτικές μετρήσεις παραμέτρων, όπως η μετατόπιση του κέντρου πίεσης (COP), η διακύμανση του βάρους, η σταθερότητα του κορμού και ο χρόνος αντίδρασης. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων περιλαμβάνουν δυναμοπλατφόρμες, αισθητηριακές πλατφόρμες ισορροπίας και φορητά όργανα μέτρησης, όπως επιταχυνσιόμετρα και αισθητήρες κίνησης (Arienti et al., 2019).

Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική μάθηση (ML) χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για την ανάλυση δεδομένων κινητικότητας και ισορροπίας, επιτρέποντας την πιο ακριβή ανίχνευση προτύπων αστάθειας καθώς και τον υπολογισμό εξατομικευμένων προβλέψεων κινδύνου πτώσης (Van Criekeing et al., 2024). Η δυνατότητα ενσωμάτωσης τέτοιων μεθόδων σε εφαρμογές τηλε-αξιολόγησης και

φορητές συσκευές ενισχύει την προσβασιμότητα και την παρακολούθηση της πορείας αποκατάστασης σε πραγματικό χρόνο.

Παρόλο που τα συστήματα υψηλής τεχνολογίας προσφέρουν αυξημένη ακρίβεια και πολυπλοκότητα μετρήσεων, απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό και κατάλληλη κατάρτιση του προσωπικού για την ορθή εφαρμογή και ερμηνεία. Έτσι, η επιλογή του κατάλληλου μέσου αξιολόγησης εξαρτάται από τις ανάγκες του ασθενούς, τους στόχους της θεραπείας και το εκάστοτε κλινικό περιβάλλον.

### **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

#### **3.1. Στοιχεία μεθοδολογίας**

Η στρατηγική της παρούσας εργασίας ανασκόπησης πεδίου διαμορφώθηκε σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες που έχουν παρουσιαστεί από το PRISMA-ScR. Οι ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι το PubMed, Scopus, ScienceDirect (Elsevier), Google scholar και Cochrane Library. Η μελέτη ακολουθεί το μοντέλο PCC (Population, Concept, Context) για τη διαμόρφωση του ερευνητικού ερωτήματος. Ο πληθυσμός υπό εξέταση αφορά τους επιζώντες αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου (ισχαιμικό, αιμορραγικό, παροδικό ισχαιμικό) που έχουν παρουσιάσει κινητικά ελλείματα που αφορούν κατά βάση την ικανότητα ισορροπίας. Κατ' επέκταση, η έννοια της μελέτης επικεντρώνεται στις παρεμβάσεις άσκησης που στοχεύουν στη βελτίωση της ισορροπίας των ατόμων που έχουν επιβιώσει από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ισχαιμικό, αιμορραγικό, παροδικό ισχαιμικό) μέσω διαφόρων μεθόδων άσκησης με χρήση τεχνολογικών μέσων. Η ανασκόπηση επικεντρώνεται σε προγράμματα άσκησης και αντίστοιχες φυσιοθεραπευτικές παρεμβάσεις με χρήση τεχνολογικών μέσων που στοχεύουν στη βελτίωση της ισορροπίας σε επιζώντες εγκεφαλικού επεισοδίου, ανεξαρτήτως του περιβάλλοντος όπου εφαρμόζονται (κλινική, κοινότητα ή κατ' οίκον αποκατάσταση), του τύπου της άσκησης (εποπτευόμενη ή μη) και του σταδίου αποκατάστασης (οξεία ή χρόνια φάση).

Η αναζήτηση των μελετών πραγματοποιήθηκε μέσω των ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων PubMed, Scopus, ScienceDirect (Elsevier), Google Scholar και Cochrane Library. Οι όροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι "Stroke/Rehabilitation", "Postural Balance", "Exercise Therapy", "Balance Training", "Gait Training", "Motor Activity", "Physical Therapy Modalities", "Robot-assisted balance rehabilitation", "Virtual & Augmented Reality balance rehabilitation", "Biofeedback", "Telerehabilitation", "Mobile Applications".

Με βάση τα παραπάνω, το ερευνητικό ερώτημα της παρούσας ανασκόπησης διατυπώνεται ως εξής: «Ποιες μορφές άσκησης που υλοποιούνται μέσω τεχνολογικών παρεμβάσεων συμβάλλουν στη βελτίωση της ισορροπίας σε επιζώντες αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου και σε ποιο βαθμό είναι αποτελεσματικές;»

### **3.2. Πλαίσιο PRISMA-ScR**

Η παρούσα ανασκοπική εργασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σύμφωνα με τις επικαιροποιημένες κατευθυντήριες οδηγίες PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), οι οποίες στοχεύουν στη βελτίωση της διαφάνειας και της πληρότητας της αναφοράς συστηματικών ερευνών, μετα-αναλύσεων και ανασκοπήσεων τύπου scoring. Η εφαρμογή του PRISMA 2020 επιτρέπει την αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας επιλογής μελετών και την τυποποιημένη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, συμβάλλοντας στην αναπαραγωγικότητα και αξιολόγηση της έρευνας.

Στο πλαίσιο αυτής της ανασκόπησης, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω στάδια:

1. Καθορισμός ερευνητικού ερωτήματος και στόχων με βάση το μοντέλο PCC (Population - Concept - Context), σύμφωνα με τις οδηγίες του Joanna Briggs Institute (JBI).
2. Ανάπτυξη πρωτοκόλλου και στρατηγικής αναζήτησης με χρήση λέξεων-κλειδιών και όρων MeSH, προσαρμοσμένων για κάθε ηλεκτρονική βάση δεδομένων.
3. Συστηματική αναζήτηση βιβλιογραφίας σε τρεις επιστημονικές βάσεις (PubMed, Scopus, ScienceDirect (Elsevier), Google Scholar και Cochrane Library), για τον εντοπισμό σχετικών μελετών.
4. Εξαγωγή αποτελεσμάτων και διαχείριση βιβλιογραφικών δεδομένων με χρήση του εργαλείου Zotero, όπου αφαιρέθηκαν τα διπλότυπα.
5. Προκαταρκτικός έλεγχος των τίτλων και περιλήψεων για αξιολόγηση επιλεξιμότητας, σύμφωνα με προκαθορισμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού.
6. Πλήρης ανάγνωση των επιλέξιμων άρθρων και τελική επιλογή των μελετών που περιλαμβάνονται στην ανασκόπηση.

Καταγραφή της διαδικασίας επιλογής μελετών μέσω του PRISMA 2020 flow diagram, στο οποίο αποτυπώνονται με ακρίβεια τα στάδια:

- Εντοπισμός (Identification)
- Προκαταρκτική αξιολόγηση (Screening)
- Αξιολόγηση πληρότητας (Eligibility)
- Τελική ένταξη (Included)

Το αντίστοιχο διάγραμμα ροής PRISMA παρουσιάζεται στον Εικόνα 3, ενώ ο πλήρης πίνακας ελέγχου PRISMA 2020 (PRISMA Checklist) χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για την

αναφορά των ευρημάτων της ανασκόπησης, επισημαίνοντας τα σημεία που καλύπτονται στο κείμενο.

Η αυστηρή συμμόρφωση με το πλαίσιο PRISMA 2020 ενίσχυσε τη μεθοδολογική εγκυρότητα της παρούσας εργασίας, προσφέροντας σαφήνεια στα στάδια αναζήτησης και επιλογής της βιβλιογραφίας.

### **3.3. Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού**

Για τη διεξαγωγή της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης, ορίστηκαν συγκεκριμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού, προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα και συνάφεια των μελετών που συμπεριλήφθηκαν. Τα κριτήρια ένταξης με βάση τα οποία επιλέχθηκαν οι μελέτες πληρούσαν προϋποθέσεις που αφορούσαν τον πληθυσμό, τον τρόπο παρέμβασης, το σχεδιασμό της μελέτης, τη γλώσσα και την περίοδο δημοσίευσης.

Οι συμμετέχοντες έπρεπε να είναι επιζώντες αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου (οξείας, υποξείας ή χρόνιας φάσης) και οι μελέτες να εξετάζουν οποιαδήποτε μορφή άσκησης ή φυσικοθεραπευτικής παρέμβασης μέσω τεχνολογικών μέσων που στοχεύει στη βελτίωση της ισορροπίας. Επιπλέον, συμπεριλήφθηκαν πρωτότυπες μελέτες με ποσοτικό, ποιοτικό ή μικτό σχεδιασμό, όπως κλινικές δοκιμές, μελέτες παρατήρησης και πιλοτικές μελέτες, ενώ λήφθηκαν υπόψη άρθρα που είχαν δημοσιευθεί στην αγγλική γλώσσα από τον Ιανουάριο του 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2024, ώστε να διασφαλιστεί η επικαιρότητα των δεδομένων.

Παράλληλα, κατά την αναζήτηση της βιβλιογραφίας, χρησιμοποιήθηκαν MeSH (Medical Subject Headings) terms, όπως “Stroke/Rehabilitation”, “Postural Balance”, “Exercise Therapy”, “Balance Training”, “Gait Training”, “Motor Activity”, “Physical Therapy Modalities”.

Αντίστοιχα, τα κριτήρια αποκλεισμού αφορούσαν μελέτες που δεν εξέταζαν την άσκηση ή φυσικοθεραπεία ως παρέμβαση, έρευνες που επικεντρώνονταν αποκλειστικά σε άλλες νευρολογικές παθήσεις (π.χ. νόσος του Πάρκινσον, κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις) και μελέτες χωρίς σαφή μεθοδολογία.

Η εφαρμογή αυτών των κριτηρίων συνέβαλε στη διαμόρφωση ενός αξιόπιστου συνόλου μελετών για ανάλυση.

### **3.4. Στρατηγική αναζήτησης**

Η αναζήτηση των μελετών πραγματοποιήθηκε μέσω των ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων PubMed, Scopus, ScienceDirect (Elsevier), Google Scholar και Cochrane Library, για την περίοδο Ιανουάριος 2015 - Δεκέμβριος 2024 (τελευταία αναζήτηση: Ιούλιος 2025).

Χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί λέξεων-κλειδιών και όρων MeSH, προσαρμοσμένοι ανά βάση. Οι όροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι “Stroke/Rehabilitation”, “Postural Balance”, “exercise therapy”, “balance training”, “gait training”, “motor activity”, “robot-assisted”, “virtual reality”, “augmented reality”, “telerehabilitation” κ.α..

### **3.5. Διαδικασία Επιλογής Μελετών**

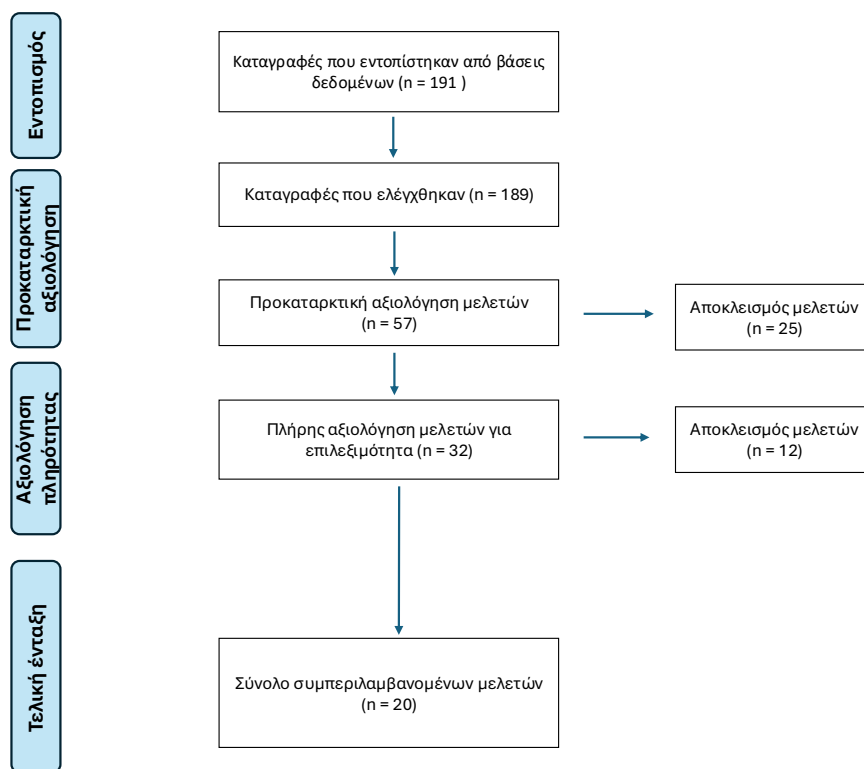
Η επιλογή των μελετών πραγματοποιήθηκε σε τρία διαδοχικά στάδια, με σκοπό τη διασφάλιση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων. Για τον αρχικό εντοπισμό των μελετών πραγματοποιήθηκε αναζήτηση σε διεθνείς επιστημονικές βάσεις δεδομένων, όπως το PubMed, Scopus, ScienceDirect (Elsevier), Google Scholar και Cochrane Library, χρησιμοποιώντας προκαθορισμένες λέξεις-κλειδιά και MeSH terms. Τα άρθρα που εντοπίστηκαν καταγράφηκαν και αφαιρέθηκαν τα διπλότυπα. Κατόπιν αυτού, έγινε διαλογή με βάση τον τίτλο και την περίληψή τους προκειμένου να αποκλειστούν όσα δεν πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης.

Κατά την αξιολόγηση του πλήρους κειμένου, επιβεβαιώθηκε η συνάφεια και καταλληλότητα των άρθρων που επιλέχθηκαν ενώ καταγράφηκαν οι λόγοι αποκλεισμού όσων άρθρων δεν πληρούσαν τις τελικές προϋποθέσεις.

Η διαδικασία επιλογής των μελετών τεκμηριώθηκε με τη χρήση του διαγράμματος PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews), το οποίο απεικονίζει τη ροή των μελετών που εντοπίστηκαν, αξιολογήθηκαν και τελικά συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση. Επιπλέον, η επιλογή καθοδηγήθηκε από το πλαίσιο PCC (Population, Concept, Context), ώστε να διασφαλιστεί η μεθοδικότητα και η σαφήνεια της διαδικασίας.

Για την οργάνωση και διαχείριση των βιβλιογραφικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Zotero.

Το παρακάτω διάγραμμα PRISMA (Εικόνα 3) παρέχει μια σαφή εικόνα των σταδίων διαλογής, επιτρέποντας την αναπαραγωγή της διαδικασίας και την εξασφάλιση διαφάνειας στη μελέτη.



**Εικόνα 3.** Απεικόνιση μεθοδολογίας έρευνας σύμφωνα με το PRISMA 2020 (Page et al., 2021)

### 3.6. Εξαγωγή δεδομένων

Η διαδικασία εξαγωγής δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία πίνακα που περιλάμβαναν τις βασικές πληροφορίες των άρθρων που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση (Εικόνα 3). Η καταγραφή των δεδομένων έγινε με στόχο τη συστηματική οργάνωση και σύγκριση των ευρημάτων των μελετών, διασφαλίζοντας την εγκυρότητα και διαφάνεια της ανάλυσης.

Τα δεδομένα που εξήχθησαν περιλάμβαναν βασικά στοιχεία των μελετών (συγγραφείς, έτος δημοσίευσης, χώρα διεξαγωγής, σχεδιασμό και στόχο), τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού (άτομα που επιβίωσαν εγκεφαλικό επεισόδιο), τον τύπο παρέμβασης (μορφή άσκησης ή φυσικοθεραπευτικής προσέγγισης, είδος άσκησης, είδος τεχνολογικού μέσου, στόχοι παρέμβασης), τις μεθόδους αξιολόγησης της ισορροπίας (π.χ., Berg Balance Scale, Timed Up and Go, Mini-BESTest) και τα βασικά αποτελέσματα των μελετών.

Παράλληλα, η εξαγωγή και οργάνωση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογισμικού διαχείρισης βιβλιογραφίας και δεδομένων, όπως Microsoft Excel και Zotero για την επιλογή και κατηγοριοποίηση των άρθρων.

Τέλος, η διαδικασία καταγραφής των δεδομένων τεκμηριώθηκε με σαφήνεια, ώστε να διασφαλιστεί η αναπαραγωγή της μελέτης και η διαφάνεια των ευρημάτων.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1. Περιγραφή μελετών

Στην παρούσα ανασκόπηση συμπεριλήφθηκαν συνολικά είκοσι (20) πρωτότυπες μελέτες, οι οποίες δημοσιεύθηκαν σε ένα χρονικό εύρος σχεδόν δέκα ετών, από το 2015 έως και το 2024. Η παλαιότερη μελέτη που εντοπίστηκε ήταν αυτή των Lloréns et al. (2015) από την Ισπανία, η οποία διερεύνησε την αποτελεσματικότητα της τηλε-αποκατάστασης με χρήση εικονικής πραγματικότητας στο σπίτι σε ασθενείς με χρόνια αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Η πιο πρόσφατη μελέτη ήταν αυτή των Huo et al. (2024) από την Κίνα, όπου αξιολογήθηκε η επίδραση ενός μονοπλευρικού εξωσκελετού κάτω άκρου στην ισορροπία, τη βάρδια και τη νευροπλαστικότητα ασθενών με υποξεία φάση εγκεφαλικού. Το εύρος αυτό αντικατοπτρίζει τη διαρκώς αυξανόμενη ερευνητική δραστηριότητα γύρω από τη χρήση νέων τεχνολογιών στην αποκατάσταση της ισορροπίας σε πληθυσμούς με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο.

Ο συνολικός αριθμός των συμμετεχόντων που περιλαμβάνονται στις μελέτες υπερέβη τους επτακόσιους ασθενείς (704), με επιμέρους δείγματα που κυμάνθηκαν από 11 άτομα (Pellegrino et al., 2017) έως και 68 άτομα (Lee et al., 2022). Η κατανομή του μεγέθους δειγμάτων παρουσιάζει σημαντική ποικιλομορφία, καθώς σε αρκετές περιπτώσεις επρόκειτο για πιλοτικές δοκιμές με μικρά δείγματα (20 - 30 συμμετέχοντες), ενώ άλλες μελέτες υλοποιήθηκαν ως κλασικές τυχαίοποιημένες δοκιμές μεσαίου μεγέθους (40 - 60 συμμετέχοντες).

Το εύρος ηλικιών των ασθενών κάλυπτε ενήλικες από 40 έως 80 ετών, με τις περισσότερες μελέτες να αφορούν μεσήλικες και ηλικιωμένους, γεγονός αναμενόμενο λόγω της αυξημένης επίπτωσης του αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου σε αυτές τις ηλικιακές κατηγορίες. Σε μία μόνο περίπτωση (Akinici et al., 2023, Τουρκία) το δείγμα περιορίστηκε σε άνδρες ασθενείς, ενώ στις περισσότερες μελέτες το φύλο είτε δεν αναφέρθηκε λεπτομερώς είτε περιλάμβανε μικτά δείγματα.

Όσον αφορά το στάδιο αποκατάστασης, παρατηρήθηκε διασπορά τόσο σε χρόνιους ασθενείς (π.χ. Hung et al., 2016; Pellegrino et al., 2017; Karasu et al., 2018), όσο και σε ασθενείς που βρίσκονταν στην υποξεία φάση μετά το επεισόδιο (π.χ. Inoue et al., 2022;

Zhang et al, 2024; Lee et al., 2022; Salgueiro et al., 2022). Ελάχιστες μελέτες εστίασαν σε πρώιμα στάδια, με την πλειονότητα να εξετάζει είτε την υποξεία είτε τη χρόνια φάση.

Η γεωγραφική κατανομή των μελετών ήταν επίσης εκτεταμένη, αντικατοπτρίζοντας το διεθνές ενδιαφέρον για το συγκεκριμένο πεδίο. Από την ανατολική Ασία προήλθαν αρκετές μελέτες: Ιαπωνία (Mihara et al., 2021; Inoue et al., 2022), Κίνα (Zhang et al., 2024; Huo et al., 2024), Νότια Κορέα (Lee et al., 2022; Kwak et al., 2024), και Ταϊβάν (Hung et al., 2016; Tsaih et al., 2018; Chen et al., 2021). Από την Ευρώπη καταγράφηκαν μελέτες στην Ιταλία (Pellegrino et al., 2017; Lupo et al., 2018; Castelli et al., 2023), την Ισπανία (Lloréns et al., 2015; Salgueiro et al., 2022), και την Τουρκία (Kayabınar et al., 2021; Karasu et al., 2018; Akinci et al., 2023). Από άλλες περιοχές, αναφέρονται μελέτες στο Πακιστάν (Sana et al., 2023) και στο Χονγκ Κονγκ (Junata et al., 2021). Συνολικά, η κατανομή δείχνει ότι η έρευνα γύρω από τεχνολογικά υποβοηθούμενη αποκατάσταση ισορροπίας μετά από εγκεφαλικό έχει διεθνή χαρακτήρα, με ισχυρή εκπροσώπηση από την Ασία και την Ευρώπη.

Οι τεχνολογίες που αξιολογήθηκαν μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες. Πρώτον, τα ρομποτικά συστήματα (Inoue et al. 2022; Akinci et al., 2023; Zhang et al., 2024; Huo et al., 2024; Castelli et al., 2023), που περιλάμβαναν ρομποτικές πλατφόρμες ισορροπίας όπως το BEAR και το Hunova, εξωσκελετούς όπως ο REX και ο μονοπλευρικός εξωσκελετός κάτω άκρου, καθώς και τον Lokomat σε συνδυασμό με εικονική πραγματικότητα. Δεύτερον, οι παρεμβάσεις εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (Sana et al., 2023; Kayabınar et al., 2021; Llorens et al., 2015; Kwak et al., 2024), οι οποίες χρησιμοποίησαν είτε πλήρως εμβυθιστικές συσκευές (Oculus Quest 2) είτε μη-εμβυθιστικές πλατφόρμες (Wii Fit, Kinect), καθώς και εφαρμογές AR για κατ' οίκον χρήση. Τρίτον, τα συστήματα βιοανάδρασης (Mihara et al., 2021; Hung et al., 2016; Pellegrino et al., 2017; Lupo et al., 2018; Tsaih et al., 2018) τα οποία περιλάμβαναν βιοανάδραση (neurofeedback) με fNIRS, οπτική ανατροφοδότηση κέντρου πίεσης, ηλεκτρομυογραφική ανατροφοδότηση και exergaming με αισθητήρες αδρανειακής μέτρησης (IMUs). Τέλος, οι φορητές συσκευές και κινητές εφαρμογές (Lee et al., 2022; Salgueiro et al., 2022, Chen et al., 2021; Junata et al., 2021; Salgueiro et al., 2022) με έμφαση σε τηλε-αποκατάσταση μέσω εφαρμογών κινητών, διαδραστική άσκηση με Kinect

και προγράμματα σταθεροποίησης κορμού (core-stability) με καθοδήγηση από εφαρμογές.

Ως προς τον ερευνητικό σχεδιασμό, οι περισσότερες μελέτες υλοποιήθηκαν ως τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (RCTs), αρκετές από τις οποίες ήταν μονά ή διπλά τυφλές (π.χ. Mihara et al., 2021; Inoue et al., 2022; Huo et al., 2024). Ορισμένες μελέτες χαρακτηρίστηκαν ως πιλοτικές τυχαιοποιημένες δοκιμές (π.χ. Zhang et al., 2024; Lupo et al., 2018; Kwak et al., 2024), ενώ άλλες ακολούθησαν προ-μετα σχέδιο χωρίς ομάδα ελέγχου (π.χ. Pellegrino et al., 2017). Σπάνια παρατηρήθηκαν διατομεακά (cross-sectional) ή καθαρά παρατηρητικά (observational) σχέδια, καθώς το επίκεντρο της έρευνας ήταν η αξιολόγηση συγκεκριμένων παρεμβάσεων σε συγκριτικά πλαίσια.

Η ποικιλία αυτή ως προς το χρονικό πλαίσιο δημοσίευσης, τον πληθυσμό, τη γεωγραφική διασπορά, τον τύπο τεχνολογίας και τον ερευνητικό σχεδιασμό προσφέρει μία ολοκληρωμένη εικόνα του πεδίου. Από τα δεδομένα αναδεικνύεται ότι οι περισσότερες μελέτες επικεντρώθηκαν στη χρόνια φάση αποκατάστασης (~11), με έμφαση σε παρεμβάσεις βασισμένες σε εικονική πραγματικότητα και βιοανάδραση, ενώ τα τελευταία χρόνια αυξήθηκαν οι μελέτες που αξιολόγησαν ρομποτικά συστήματα και φορετές τεχνολογίες.

Συνοψίζοντας, οι μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση κάλυψαν το διάστημα 2015 - 2024, περιέλαβαν περισσότερους από 700 ασθενείς με εύρος ηλικιών από νεαρούς ενήλικες έως ηλικιωμένους, και πραγματοποιήθηκαν κυρίως στην Ασία και την Ευρώπη. Οι περισσότερες παρεμβάσεις εφαρμόστηκαν σε χρόνια ή υποξεία φάση, με κυρίαρχα ερευνητικά σχέδια τα RCTs. Οι τεχνολογίες κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις μεγάλες ομάδες: ρομποτικά συστήματα, εικονική/επαυξημένη πραγματικότητα, βιοανάδραση, και φορετές συσκευές με κινητές εφαρμογές. Τα δεδομένα αυτά θέτουν τη βάση για την επόμενη ενότητα, όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών και η συμβολή τους στην αποκατάσταση της ισορροπίας.

**Πίνακας 3. Συγκριτική παρουσίαση των μελετών.**

Συγγραφέας, Έτος	Χώρα	Σχεδιασμός	Δείγμα & Πληθυσμός	Τεχνολογία / Παρέμβαση	Σύγκριση	Διάρκεια / Συχνότητα	Ειδικές Ισορροπίες	Κύρια Ευρήματα	Σημειώσεις (Δυνατό/Περιορισμοί)
Akinci et al., 2023	Τουρκία	Τυχαίοσημένη ελεγχόμενη μελέτη (4 ομάδων)	N=56, χρόνια AEE	Lokomat + VR εφαρμογές	Συμβατική ΦΘ	6 εβδομ., 3x/εβδ.	BBS, σταθερότητα στάσης, LOS, SWMT, 10MWT	Βελτιώσεις σε όλες, υπερωλή συγκριμένων VR σε BBS & βάρωση	Δυνατό: σύγκριση VR εφαρμογών. Περιορισμός: μόνο άνδρες
Castelli et al., 2023	Ιταλία	Τυχαίοσημένη ελεγχόμενη μονόφυλη	N=24, ηλικιωμένοι με AEE	Ημιονία + συμβατική	Συμβατική αποκατάσταση	12 συνεδρίες (4 εβδομ.)	BBS, SPPB, TUG, FAC, mBI, EQ-5D + γνωστικά + εργαλειοτεχνική ισορροπία	↑ BBS, ↓ TUG, ↑ SPPB, ↑ mBI, ↑ EQ-5D, ↑ γνωστικά, ↓ COP/τμηκ sway	Δυνατό: γνωστικά και κωπική αποτελέσματα. Περιορισμός: ηλικιωμένοι μόνο
Chen et al., 2021	Ταϊβάν	Προσοπική πιλοτική μελέτη τύπου ελέγχου περιπτώσης	N=30, χρόνια φάση	Διαδραστική τηλεαποκατάσταση με κάμερα Kinect (προσωπικό ομοίωμα περιβάλλον)	Συμβατική αποκατάσταση	4 εβδομάδες, 3 φορές/εβδομάδα	BBS (κύρια έκβαση), TUG, MFES, MI, FAC	↑ BBS (p=0.01), ↓ TUG (p=0.005) ισοδύναμα ομάδων στα τελικά αποτελέσματα	Δυνατό: εφικτότητα και αποτελεσματικότητα. Περιορισμός: πιλοτική μελέτη
Hung et al., 2015	Ταϊβάν	Μελέτη εκπαίδευσης με τυχαίοσημένη παρέμβαση / ομάδα ελέγχου	N=27, χρόνια ημιπληγία (≥6 μηνες)	Tetrah biofeedback video games (co-controlled) + συμβατική αποκατάσταση	Συμβατική αποκατάσταση	20, 3x/εβδ., 6 εβδομάδες	TUG, FRT, FPA (χρόνος αντίδρασης/ιδιοκινητικότητα), συμμετρική φόρτιση, posturography	↓ TUG (p<0.001), ↑ FRT (p=0.010), ↑ ιδιοκινητικότητα (p<0.001), ↑ χρόνος αντίδρασης (p<0.002), ↑ συμμετρική φόρτιση (p=0.027), ↔ postural sway, συμμόρφωση 89.5%	Ισχυρό: τεκμηρίωση ακριβή/αξιόπιστα. Περιορισμός: μικρό δείγμα, χωρίς μακροχρόνια παρακολούθηση
Huo et al., 2024	Κίνα	Τυχαίοσημένη μονόφυλη	N=40 (αναλόγησαν 30) υπεξία	Μονοπλευρό εξοπλισμός + συμβατική + FNIRS	Συμβατική αποκατάσταση	4 εβδομ., 5x/εβδ.	BBS (κύρια), FMA-LE, mBI, FAC, ανάλυση βάρωσης, FNIRS	RT>CT σε BBS/FMA-LE/FAC/mBI, ↑ βάρωση RT, ↑ φθλοκίνη ενεργοποίηση	Δυνατό: νεορολογιστική. Περιορισμός: απώλειες δείγματος
Inoue et al., 2022	Ιαπωνία	Τυχαίοσημένη ελεγχόμενη μελέτη (τυφλό αξιολογητή) (3 ομάδες)	N=60, υποξία	BEAR + συμβατική	IBT + συμβατική ή μόνο συμβατική	2 εβδομ., 6x/εβδ.	Mini-BESTest (κύρια), TUG, FAC, SIAS, FIM	BEAR & IBT > CR στο Mini-BESTest, ↑ TUG	Δυνατό: 3 ομάδες. Περιορισμός: σύντομη περίοδος/ταρακωδιστική
Junata et al., 2021	Χονγκ Κονγκ	Τυχαίοσημένη ελεγχόμενη δοκιμή με τυφλό αξιολογητή	N=30, χρόνια φάση	Kinet-based Rapid Movement Training (RMT)	Συμβατική εκπαίδευση ισορροπίας (CBT)	20 συνεδρίες x 60 λεπτά	BBS, TUG, FMA, EMG, δοκιμασία lean-and-release	↑ BBS (p=0.001), ↓ TUG (p=0.011), ↑ FMA (p=0.015)	Δυνατό: καταγραφή EMG και ανάλυση διαταραχών ισορροπίας. Περιορισμός: μικρό δείγμα
Karasu et al., 2018	Τουρκία	Τυχαίοσημένη ελεγχόμενη μελέτη (τυφλό αξιολογητή)	N=23, υποξία-πρώιμη χρόνια φάση	Wii Fit + συμβατική αποκατάσταση	Συμβατική αποκατάσταση	4 εβδομ., 5x/εβδ.	BBS, FRT, PASS, TUG, δεικτές στατικής ισορροπίας (sway), FIM	↑ BBS (p=0.02), ↑ FRT (p=0.03), ↓ postural sway (p=0.05), ↔ TUG/PASS/FIM-Information, ↑ FIM-transfer (p=0.002)	Δυνατό: χαμηλού κόστους τεχνολογία. Περιορισμός: μικρό δείγμα
Kayabinar et al., 2021	Τουρκία	Τυχαίοσημένη μονόφυλη μελέτη	N=30, χρόνια φάση	RAGT + VR + NDT	RAGT + NDT	6 εβδομ., 12 συνεδρίες	BBS, FGA, RMI, FES, FIM, 10MWT (και dual-task)	↑ 10MWT και κλίμακες κλίμακες εντός ομάδων, ↔ ανώτερη συνολικά βελτίωση φόβου πτώσης κυρίως στην ομάδα ελέγχου	Δυνατό: αξιολόγηση dual-task. Περιορισμός: απώλειες υπερωλή με ταξύ ομάδων
Kwak et al., 2024	Κορέα	Πιλοτική τυχαίοσημένη ελεγχόμενη μελέτη	N=36, χρόνια AEE	FIVR + Φ/Θ	Φ/Θ	5 εβδομ., 3x/εβδ. (FIVR 30')	BBS, TUG, ανάλυση βάρωσης	↔ BBS (p=0.109), ↓ TUG (p=0.000), ↑ ταχύτητα βάρωσης (p=0.007), ↑ μήκος διασκελαμού (p=0.007-0.002), ↔ μονόφλη στρίβη ↔ πάχος (p=0.069)	Δυνατό: εφικτότητα FIVR. Περιορισμός: πιλοτική μελέτη

**Πίνακας 4. Συνέχεια συγκριτικής παρουσίασης μελετών.**

Συγγραφέας Έτος	Χώρα	Σχεδιασμός	Δείγμα & Πληθυσμός	Τεχνολογία / Παρέμβαση	Σύγκριση	Διάρκεια / Συχνότητα	Εμφάνιση Ισορροπίας	Κύρια Ευρήματα	Σημειώσεις (Δυνατά/Περιοριστά)
Lee et al., 2022	Κορέα	Τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη με τυφλό αξιολογητή	N=68, AEE (υποξεία φάση)	Κατ' οίκον πρόγραμμα άσκησης με σύστημα επαγγελματικής παραμετροποίησης ("smart-rehab")	Γραπτό/εικονογραφημένες οδηγίες κατ' οίκον	4 εβδομάδες	Ισορροπία/πόσοις (Κλίμακες ισορροπίας), FES4, EQ5D, GDS-SF	↓TUG (p<0.001), ↑BBS (p=0.002-0.009), ↓FES4 μόνο στην ομάδα AR, ↑EQ5D στην ομάδα AR, ↔GDS-SF	Δυνατό: κατ' οίκον RCT. Περιορισμός: αναφορά ανεπιθύμητου συμβάντος (ισοστατικό ισχυρικό επεισόδιο)
Lloréns et al., 2014/2015	Ισπανία	Τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη	N=30, χρόνια AEE	VR τηλεαποκατάσταση κατ' οίκον	VR σε κλινικό περιβάλλον	8 εβδομ., 3x/εβδ.	BBS, POIMA-b, POIMA-b, BBA + χρησιμότητα/κόστος	↑BBS, ↑POIMA-b, ↑POIMA-g, BBA (p=0.001-0.006), υψηλή χρησιμότητα (SUS=85-87) και κίνητρο (IMI=4.9), χαμηλότερο κόστος κατ' οίκον (~655\$/ασθενή)	Δυνατό: ανάλυση χρησιμότητας & κόστους. Περιορισμός: μικρό δείγμα
Lupo et al., 2018	Ιταλία	Πilotική τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή	N=15, υποξεία φάση	Βιοανάδραση με IMU + exergaming (RIA BLO)	Συμβατική επεξεργασία ισορροπίας	10 συνεδρίες, 3x/εβδ., 20' (3-4 εβδομάδες)	BBS, σταθερομετρία (COP), RMI, BI, NIHSS	↑BBS (p=0.008), ↓NIHSS (p=0.03), ↓COP path (OE p=0.01, CE p=0.04), ↑αυτομετοχή (p=0.02)	Ισχυρό: συνδυασμός κλινικών & σταθερομετρικών δεικτών. Περιορισμός: πολύ μικρό δείγμα
Milhara et al., 2021	Ισπανία	Διπλά-τυφλή, πολυκεντρική τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή (προγραμματική άσκηση εικονικής πραγματικότητας)	N=54, >12 εβδομάδες από AEE (υποξεία & ήπια-μέτρια διαταραχή βάδισης/ισορροπίας)	(NIRS-mediated) neurofeedback (ενεργοποίηση SMA) κατά motor imagery βάρδιας/ισορροπίας	Sham neurofeedback	6 συνεδρίες, 2 εβδομάδες	TUG (κλίμα), BBS, FIM, FMA-LE, INIBS	↓TUG (p=0.028), ↑BBS (σημαντική αλλαγή επίδραση χρονοσυστάσεως), ↔FIM/FMA-LE (χωρίς μεταβιβάσιμους διαφορές)	Ισχυρό: διπλά-τυφλή RCT + νευροεπικοινωνιακά δεδομένα. Περιορισμός: κύρια έμφαση το TUG
Pellegrino et al., 2017	Ιταλία	Πειραματική μελέτη προ-μετά βελτίως ομάδα ελέγχου	N=11, χρόνια φάση	Συνεχής οπτική ανατροφοδότηση COP σε καθιστή θέση (ηλεκτροφόρα δονητής + βάρδια)	Δεν υπήρχε	Μία συνεδρία (~1 ώρα)	Δείκτες απόδοσης COP (διάκρουα, movement extent, ομαλότητα, κατευθύνση)	↑Διάκρουα (p<0.001), ↑movement extent (p=0.01), ↑ομαλότητα (p=0.01), ↔κατευθύνση (p=0.12), προσωρινή μεταφορά χωρίς feedback	Ισχυρό: αξιολόγηση μεταφοράς μαθησης. Περιορισμός: μικρό δείγμα, χωρίς RCT
Saigueliro et al., 2022 (App - χρόνια)	Ισπανία	Προκαταρκτική τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή	N=30, χρόνια φάση AEE	Εφαρμογή Farmalarm για ασκήσεις σταθεροποίησης κορμού στο σπίτι + συμβατική φυσικοθεραπεία	Συμβατική φυσικοθεραπεία	12 εβδομάδες (ελεύθερη χρήση εφαρμογής)	S-TIS 2.0, S-FIST, BBS, S-PASS	↑S-TIS 2.0 (τάση EG>CG, p<0.05), μικρές μη σημαντικές αλλαγές σε BBS/S-PASS, χειρ/λή πρόσληψη (~30.B%)	Δυνατό: έμφαση στον κορμό/καθιστή ισορροπία. Περιορισμός: χειρ/λή συμμόρφωση
Saigueliro et al., 2022 (μετά το δείγματο- υποξεία)	Ισπανία	Πilotική ελεγχόμενη μελέτη (επέκταση προηγούμενης Τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή)	N=49, υποξεία φάση (μετά το δείγματο)	Εφαρμογή Farmalarm (κατ' οίκον τηλεαποκατάσταση για ασκήσεις κορμού)	Συνήθης φροντίδα	3 μήνες	S-TIS 2.0, S-FIST, BBS, S-PASS, BBA, βάδιση	↑Ισορροπία και βάδιση στην ομάδα εφαρμογής (μη στατιστικά σημαντικές), ύπνο υπερβολής. Alpha group	Δυνατό: εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες μετά το δείγματο. Περιορισμός: μη στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων
Sana et al., 2023	Πακιστάν	Τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη	N=34, υποξεία φάση	VR	VRT	8 εβδομ., 3x/εβδ. (24 συνεδρίες)	TUG, DGI, DHI	↓TUG (κατ' οίκον 2 ομάδες), ↓DHI (κατ' οίκον 2), ↑DGI (VR > VRT)	Δυνατό: άμεση σύγκριση παρεμβάσεων. Περιορισμός: μέτρια γενικευσιμότητα
Tsahli et al., 2018	Ταϊβάν	Τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή (3 ομάδες)	N=33, χρόνια φάση	Task-oriented EMG-biofeedback στον πρόποδο κνημιαίο (constant vs variable practice)	Άσκηση όλο άκρου χωρίς EMG-BFB	18 συνεδρίες, 6 εβδομάδες ~ 40'	LOS (anteroposterior EPE), TUG, 6MWT, μιλική δύναμη	↑δύναμη TA (μόνο EMGBFB ομάδα), ↑anteroposterior EPE (μόνο variable), ↓TUG & "6MWT" σε όλες (χωρίς μεταβιβάσιμους διαφορές), 100% συμμετοχή	Ισχυρό: ευνομημωτική αρχών motor learning (practice variability). Περιορισμός: επιδράσεις βάρδιας, μη ειδική πιλοτ/μικρό N
Zhang et al., 2024	Κίνα	Πilotική τυχασιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη	N=24, υποξεία (3 εβδομ.-3 μήνες)	REX εβουκαλετά + συμβατική αποκατάσταση	Ορθια αποκατάσταση + συμβατική	4 εβδομ., 5x/εβδ., 60'	BBS (κλίμα), PASS, FMA-LE, MBI, TBT, sEMG	↑BBS, ↑PASS, ↔FMA-LE/MBI, ↑TBT/sEMG	Δυνατό: πρώτα δεδομένα για REX. Περιορισμός: πιλοτ/μικρό N

## **4.2. Κατηγοριοποίηση τεχνολογιών**

### **4.2.1. Ρομποτικά συστήματα**

Η χρήση ρομποτικών συστημάτων στην αποκατάσταση της ισορροπίας μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο έχει αποτελέσει αντικείμενο των πέντε παρακάτω τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών, οι οποίες συνολικά περιλαμβάνουν 204 ασθενείς σε υποξεία και χρόνια φάση μετά από Α.Ε.Ε.

Οι Inoue et al. (2022) διεξήγαγαν στην Ιαπωνία τυχαιοποιημένη μελέτη με τυφλό αξιολογητή σε 60 ασθενείς με υποξύ Α.Ε.Ε. και ημιπληγία. Οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία σε τρεις ομάδες: ομάδα παρέμβασης με ρομποτική εκπαίδευση ισορροπίας με το σύστημα Balance Exercise Assist Robot (BEAR) σε συνδυασμό με συμβατική θεραπεία, ομάδα εντατικής μη ρομποτικής εκπαίδευσης ισορροπίας (IBT) και ομάδα ελέγχου με συμβατική θεραπεία. Η παρέμβαση διήρκεσε δύο εβδομάδες (18', 6 φορές/εβδομάδα) και οι αξιολογήσεις πραγματοποιήθηκαν πριν, μετά και δύο εβδομάδες μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης. Η αξιολόγηση περιλάμβανε το Mini-BESTest, το Timed Up and Go (TUG) και αντικειμενικές μετρήσεις ισορροπίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο η ομάδα BEAR όσο και η ομάδα εντατικής εκπαίδευσης παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερες βελτιώσεις στο Mini-BESTest σε σχέση με την ομάδα ελέγχου ( $p < 0.05$ ). Για το TUG, σημαντική μεταξύ ομάδων βελτίωση σε σχέση με την ομάδα ελέγχου παρατηρήθηκε μόνο στην ομάδα BEAR μετά την παρέμβαση ( $p = 0.023$ ). Επιπλέον, η ομάδα BEAR εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση στον υποτομέα του αντιδραστικού ελέγχου στάσης στο follow-up, γεγονός που αναδεικνύει τη συμβολή της ρομποτικής πλατφόρμας στην ενίσχυση της πρώιμης νευροαποκατάστασης.

Οι Akinci et al. (2023) πραγματοποίησαν στην Τουρκία τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή με 56 άνδρες ασθενείς σε χρόνια φάση μετά από Α.Ε.Ε. (μέση ηλικία  $60.02 \pm 6.83$  έτη, μέσο διάστημα από το επεισόδιο  $238.88 \pm 40.88$  ημέρες). Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες: συμβατική φυσικοθεραπεία (ομάδα ελέγχου) και τρεις ομάδες που έλαβαν ρομποτική εκπαίδευση βάδισης με το Lokomat, συνδυασμένη με διαφορετικά εικονικά περιβάλλοντα (αντοχής, προσοχής/παρακίνησης και χρονισμού). Το πρόγραμμα διήρκεσε έξι εβδομάδες, με πέντε συνεδρίες φυσικοθεραπείας εβδομαδιαίως και τρεις συνεδρίες Lokomat. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με ανάλυση βάδισης, 6-Minute Walk Test, 10-Meter Walk Test, Berg Balance Scale (BBS), καθώς και με δείκτες

σταθερότητας στάσης και ορίων σταθερότητας. Όλες οι ομάδες παρουσίασαν σημαντικές βελτιώσεις σε δείκτες βάδισης και ισορροπίας. Η ομάδα αντοχής (Lokomat–Endurance) ήταν ανώτερη στη βελτίωση της ταχύτητας και της απόστασης βάδισης ( $p < 0.001$ ), ενώ για την ισορροπία η ομάδα χρονισμού (Lokomat–Activity Timing) παρουσίασε τη μεγαλύτερη υπεροχή στα limits of stability και σε επιμέρους δείκτες postural stability ( $p < 0.001$ ). Επιπλέον, όλες οι ομάδες Lokomat ήταν ανώτερες από την ομάδα ελέγχου στη BBS, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο συνδυασμός ρομποτικής εκπαίδευσης βάδισης και στοχευμένων εικονικών ερεθισμάτων μπορεί να ενισχύσει την αποκατάσταση της ισορροπίας σε επιζώντες Α.Ε.Ε. σε χρόνια φάση.

Οι Zhang et al. (2024) διεξήγαγαν στην Κίνα πιλοτική τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη με 24 ασθενείς σε υποξεία φάση (3 εβδομάδες έως 3 μήνες μετά το Α.Ε.Ε.). Η πειραματική ομάδα ( $n = 12$ ) ακολούθησε πρόγραμμα εκπαίδευσης με τον ρομποτικό εξωσκελετό REX (60 λεπτά/ημέρα, 5 φορές/εβδομάδα για 4 εβδομάδες), ενώ η ομάδα ελέγχου ( $n = 12$ ) συμμετείχε σε εκπαίδευση ορθοστάτησης σε upright bed standing training. Η αξιολόγηση περιλάμβανε την Berg Balance Scale (BBS), τη Fugl-Meyer Assessment για τα κάτω άκρα (FMA-LE), το Postural Assessment Scale for Stroke (PASS), το Modified Barthel Index (MBI), το TecnoBody Balance Tester και ηλεκτρομυογραφικές καταγραφές των κάτω άκρων (sEMG). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές βελτιώσεις στην ομάδα REX σε BBS ( $p = 0.032$ ), PASS ( $p = 0.005$ ) και δείκτες TecnoBody (area με ανοικτά μάτια  $p = 0.011$  και stability limit  $p = 0.03$ ). Για το FMA-LE και το MBI παρατηρήθηκαν βελτιώσεις εντός ομάδων, χωρίς όμως στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων ( $p > 0.05$ ). Στο sEMG υπήρξαν επίσης βελτιώσεις εντός ομάδων, κυρίως στους rectus femoris και biceps femoris, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων. Οι συγγραφείς τόνισαν τη δυνατότητα του REX να ενισχύει την κινητική λειτουργία και την ισορροπία μέσω πολυδιάστατης προπόνησης.

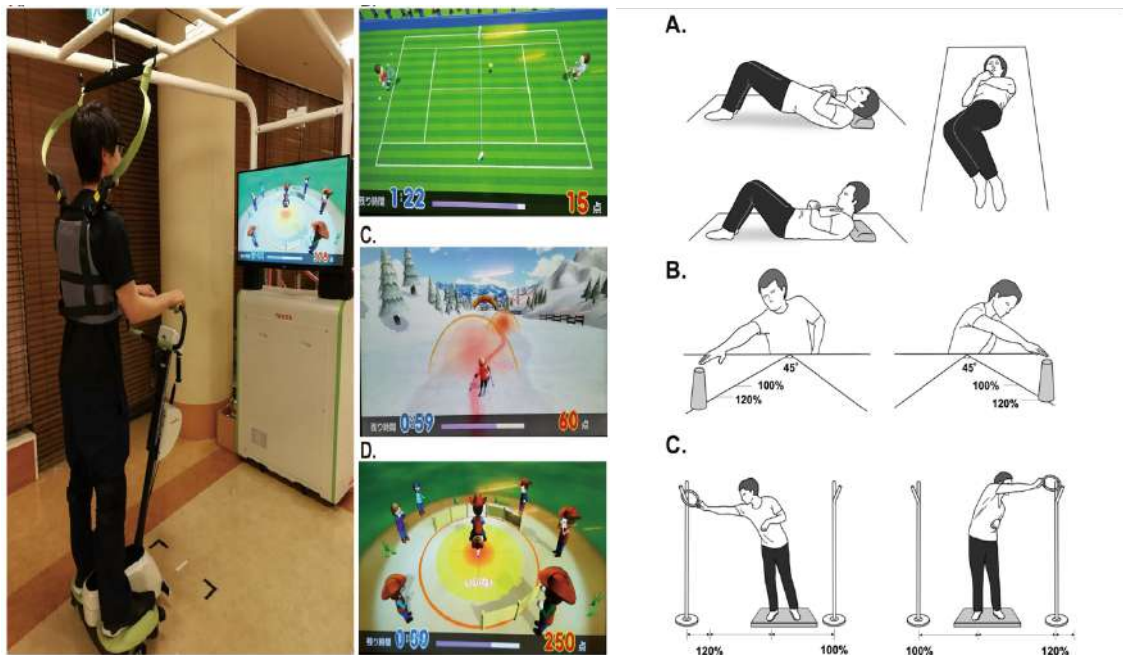
Οι Huo et al. (2024) αξιολόγησαν σε 40 ασθενείς υποξείας φάσης (<6 μήνες από το Α.Ε.Ε.) την αποτελεσματικότητα ενός μονοπλευρικού εξωσκελετού κάτω άκρου σε σύγκριση με συμβατική αποκατάσταση. Από τους 40 αρχικά τυχαιοποιημένους ασθενείς, 30 συμπεριλήφθηκαν στην τελική ανάλυση. Το πρόγραμμα διήρκεσε τέσσερις εβδομάδες, με αξιολόγηση στην έναρξη, στις δύο και στις τέσσερις εβδομάδες. Η κύρια μέτρηση ήταν η Berg Balance Scale (BBS), ενώ δευτερεύοντα εργαλεία αποτέλεσαν η Fugl-Meyer

Assessment για τα κάτω άκρα (FMA-LE), ο Modified Barthel Index (mBI), η Functional Ambulation Category (FAC) και η ανάλυση βάδισης. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικά μεγαλύτερες βελτιώσεις στην ομάδα ρομποτικής παρέμβασης στις BBS ( $F = 6.341$ ,  $p = 0.018$ ), FMA-LE ( $p = 0.021$ ), FAC ( $p = 0.010$ ) και mBI ( $p = 0.042$ ). Επιπλέον, μόνο η ρομποτική ομάδα παρουσίασε βελτίωση σε κινηματικούς δείκτες, όπως το μήκος διασκελισμού, η φάση στήριξης και η γωνία άρσης δαχτύλων της πάσχουσας πλευράς. Η ανάλυση με functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) πραγματοποιήθηκε μόνο στην ομάδα ρομποτικής παρέμβασης και έδειξε αυξημένη ενεργοποίηση κινητικών περιοχών, στοιχείο που υποδηλώνει ενίσχυση της νευροπλαστικότητας.

Οι Castelli et al. (2023) εφάρμοσαν στην Ιταλία τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή με 24 ηλικιωμένους ασθενείς, οι οποίοι χωρίστηκαν σε ομάδα παρέμβασης με το ρομποτικό σύστημα Hunova ( $n = 12$ ) και σε ομάδα ελέγχου με συμβατική αποκατάσταση ( $n = 12$ ). Το πρωτόκολλο περιλάμβανε 12 συνεδρίες σε διάστημα τεσσάρων εβδομάδων. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με την Berg Balance Scale (BBS), το Timed Up and Go (TUG), τη Short Physical Performance Battery (SPPB), το Motricity Index και γνωστικά τεστ, ενώ καταγράφηκαν και δείκτες ποιότητας ζωής μέσω του ερωτηματολογίου EQ-5D. Η ομάδα Hunova παρουσίασε σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση στην BBS ( $p < 0.001$ ), στο TUG ( $p = 0.004$ ) και στο SPPB (υποκλίμακα ισορροπίας  $p = 0.008$ , συνολικό σκορ  $p = 0.033$ ), καθώς και σε παραμέτρους γνωστικής λειτουργίας και ποιότητας ζωής σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Συνοψίζοντας, οι πέντε μελέτες αναδεικνύουν τη ρομποτικά υποβοηθούμενη αποκατάσταση ισορροπίας και βάδισης ως σημαντική συμβολή στη βελτίωση της ισορροπίας, της κινητικής λειτουργίας και της λειτουργικής ανεξαρτησίας σε άτομα μετά από Α.Ε.Ε. Κεντρικά εργαλεία αξιολόγησης αποτέλεσαν η Berg Balance Scale (BBS), η Fugl-Meyer Assessment για τα κάτω άκρα (FMA-LE) και το Timed Up and Go (TUG), ενώ συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκαν δείκτες βάδισης, η SPPB, ο mBI, η FAC και εργαλειακές μετρήσεις όπως η μετατόπιση του κέντρου πίεσης, η ταλάντωση του κορμού και η fNIRS. Οι παρεμβάσεις με εξωσκελετικούς μηχανισμούς (REX, μονοπλευρός εξωσκελετός) και ρομποτικές πλατφόρμες ισορροπίας (BEAR, Hunova) έδειξαν υπεροχή έναντι της αποκλειστικά συμβατικής θεραπείας, με ορισμένες μελέτες να τεκμηριώνουν και νευροφυσιολογικές μεταβολές συμβατές με ενίσχυση της νευροπλαστικότητας. Παρά

τα θετικά ευρήματα, τα μικρά δείγματα, ο πιλοτικός σχεδιασμός ορισμένων μελετών και η απουσία μακροχρόνιας παρακολούθησης περιορίζουν τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων και υπογραμμίζουν την ανάγκη για μεγαλύτερες, καλά σχεδιασμένες τυχαιοποιημένες μελέτες.



**Εικόνα 4.** Balance Exercise Assist Robot (Bear) & Intensive Balance Training (Inoue et al., 2022)



**Εικόνα 5.** Άσκηση Ισορροπίας, με αντίσταση Ελαστικού μιάνα & Λειτουργικότητας κατώτερου τμήματος κάτω άκρων (Zhang et al., 2024)

#### 4.2.2. Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα

Η κατηγορία αυτή περιλάμβανε πέντε τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες που διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα της εικονικής πραγματικότητας (VR) σε ασθενείς κυρίως στη χρόνια, αλλά και στην υποξεία-πρώιμη χρόνια φάση μετά από αγγειακό

εγκεφαλικό επεισόδιο. Τα δείγματα κυμάνθηκαν από 23 έως 36 συμμετέχοντες, ενώ η διάρκεια των παρεμβάσεων κυμαινόταν από 4 έως 8 εβδομάδες.

Οι Sana et al. (2023) συμπεριέλαβαν 34 ασθενείς σε υποξεία φάση (1 - 6 μήνες από το επεισόδιο), κατανεμημένους σε ομάδα VR (n=17) και ομάδα αιθουσαίας αποκατάστασης (n=17). Το πρόγραμμα διήρκεσε 8 εβδομάδες με 3 συνεδρίες/εβδομάδα. Η αξιολόγηση έγινε με Timed Up and Go (TUG), Dynamic Gait Index (DGI) και Dizziness Handicap Inventory (DHI). Η ομάδα VR παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση στο DGI ( $13.3 \pm 2.28$  σε  $19.2 \pm 2.11$ ,  $p=0.001$ ) και στον χρόνο TUG ( $22.0 [6.0]$  σε  $15.0 [6.0]$ ,  $p<0.01$ ), ενώ η VRT υπερέιχε στη μείωση της ζάλης (DHI,  $p<0.001$ ). Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η VR είναι πιο αποτελεσματική για κινητική αποκατάσταση, ενώ η VRT παραμένει καταλληλότερη για συμπτώματα ιλίγγου.

Οι Kayabınar et al. (2021) στην Τουρκία εξέτασαν 30 χρόνιους ασθενείς (>6 μήνες), κατανεμημένους σε ομάδα ρομποτικής βάδισης με προσθήκη VR (n=15) και σε ομάδα μόνο ρομποτικής βάδισης (n=15). Η παρέμβαση διήρκεσε 6 εβδομάδες με 2 συνεδρίες/εβδομάδα. Η αξιολόγηση έγινε με Berg Balance Scale (BBS), 10-Meter Walk Test (10MWT) και Functional Gait Assessment (FGA), Rivermead Mobility Index (RMI), Fall Efficacy Scale International (FES-I) και Functional Independence Measure (FIM). Και οι δύο ομάδες βελτιώθηκαν σημαντικά ( $p<0.05$ ), αλλά δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων μετά τη θεραπεία ( $p>0.05$ ). Οι ερευνητές κατέληξαν ότι η προσθήκη VR στη ρομποτική βάδιση βελτιώνει την απόδοση σε dual-task στη VR-RAGT ομάδα, αλλά δεν είναι ανώτερη από τη μόνο-RAGT ως προς τα λειτουργικά μέτρα σε χρόνιους ασθενείς.

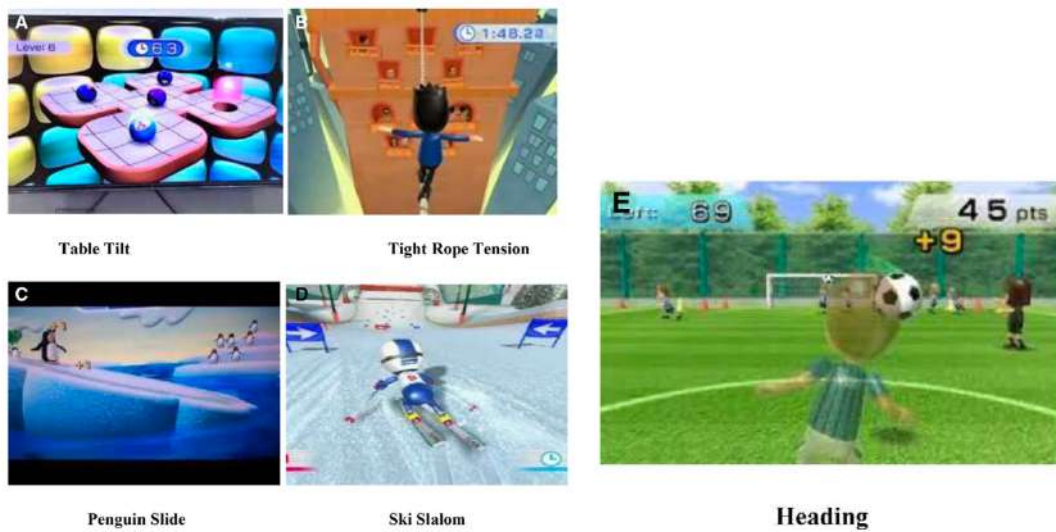
Οι Lloréns et al. (2015) διεξήγαγαν στην Ισπανία μελέτη με 30 χρόνιους ασθενείς, κατανεμημένους σε VR-τηλεαποκατάσταση με Kinect (n=15) και σε ομάδα VR in-clinic (n=15). Το πρόγραμμα είχε διάρκεια ~7 εβδομάδων με 3 συνεδρίες/εβδομάδα (20 συνεδρίες, 45'). Η αξιολόγηση περιλάμβανε BBS, POMA (balance & gait subscales: POMA<sub>b</sub>, POMA<sub>g</sub>) και Brunel Balance Assessment (BBA). Η VR ομάδα παρουσίασε σημαντική βελτίωση και στις δύο ομάδες (time effect) στη BBS ( $p=0.001$ ), στις υποκλίμακες POMA<sub>b</sub> ( $p=0.006$ ) και POMA<sub>g</sub> ( $p=0.001$ ) και στη BBA ( $p=0.002$  /  $p=0.001$ ), χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων. Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η VR-τηλεαποκατάσταση είναι εξίσου αποτελεσματική με την in-clinic εφαρμογή, με παρόμοια

usability/motivation και μικρότερο κόστος (διαφορά 654.72 \$ υπέρ της τηλεαποκατάστασης).

Οι Kwak et al. (2024) πραγματοποίησαν στην Κορέα πιλοτική μελέτη με 36 χρόνιους ασθενείς (>6 μήνες), τυχαιοποιημένους σε ομάδα εμπυθιστικής πραγματικότητας με Oculus Quest 2 (n=18) και σε ομάδα ελέγχου (n=18). Το πρόγραμμα διήρκεσε 5 εβδομάδες με 3 συνεδρίες/εβδομάδα (επιπλέον της συμβατικής φυσικοθεραπείας 5x/εβδ.). Η αξιολόγηση έγινε με BBS και TUG. Η VR ομάδα εμφάνισε σημαντική βελτίωση στην BBS (+1.39 μονάδες,  $p<0.01$ , χωρίς σημαντική διαφορά μεταξύ ομάδων,  $p=0.109$ ) και μείωση στον χρόνο TUG (-1.73 δευτ.,  $p<0.01$ ), με στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ομάδων ( $p=0.000$ ). Οι ερευνητές κατέληξαν ότι η πλήρως εμπυθιστική εικονική πραγματικότητα είναι εφικτή και αποτελεσματική για βελτίωση της ισορροπίας και της βάδισης σε ασθενείς με ΑΕΕ.

Τέλος, οι Karasu et al. (2018) στην Τουρκία μελέτησαν 23 ασθενείς σε υποξεία/πρώιμη φάση (<12 μήνες), κατανομημένους σε ομάδα Wii-based VR (n=12) και σε ομάδα συμβατικής αποκατάστασης (n=11). Η παρέμβαση διήρκεσε 4 εβδομάδες με 5 συνεδρίες/εβδομάδα (20' /ημέρα επιπλέον της συμβατικής αποκατάστασης). Η αξιολόγηση περιλάμβανε BBS, Functional Reach Test (FRT), PASS, TUG, Static Balance Index (SBI) και παραμέτρους σταθερομετρίας. Η VR ομάδα σημείωσε μεγαλύτερη βελτίωση στην BBS ( $p<0.001$ ), στο FRT ( $p<0.001$ ) και σε παραμέτρους μετατόπισης κέντρου πίεσης (group-time interaction  $p=0.002 - 0.034$ ) έναντι του ελέγχου, με τα αποτελέσματα να διατηρούνται στην επανεκτίμηση 4 εβδομάδων. Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η Wii-based VR προσφέρει ένα αποτελεσματικό επικουρικό μέσο αποκατάστασης για βελτίωση στατικής και δυναμικής ισορροπίας σε ασθενείς με ΑΕΕ

Συνοψίζοντας, όλες οι μελέτες VR κατέγραψαν θετικά αποτελέσματα στην ισορροπία και/ή τη βάδιση, με κύριους δείκτες βελτίωσης τις κλίμακες BBS, TUG, DGI και FRT. Παρότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι βελτιώσεις ήταν συγκρίσιμες με εκείνες της συμβατικής θεραπείας, καμία μελέτη δεν ανέδειξε υστέρηση της VR παρέμβασης. Οι συγγραφείς συμφωνούν ότι η VR, είτε μέσω πλήρως εμπυθιστικών συστημάτων είτε μέσω πλατφορμών όπως το Wii ή το Kinect, αποτελεί ασφαλή, αποδεκτή και αποτελεσματική στρατηγική για την αποκατάσταση μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο.



Εικόνα 6. Παιχνίδια Εικονικής Πραγματικότητας (Sana et al., 2023)



Εικόνα 7. Σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας RoboGait (Kayabinar et al., 2021)

#### 4.2.3. Βιοανάδραση (biofeedback)

Η κατηγορία της βιοανάδρασης περιλάμβανε πέντε μελέτες, με δείγματα που κυμάνθηκαν από 11 έως 54 ασθενείς. Οι περισσότερες αφορούσαν πληθυσμούς με χρόνια φάση αποκατάστασης, ενώ μία μελέτη αφορούσε αποκλειστικά υποξεία φάση και μία περιλάμβανε τόσο υποξεία όσο και χρόνια φάση.

Οι Mihara et al. (2021) πραγματοποίησαν τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή διπλά-τυφλή, σε 2 κέντρα στην Ιαπωνία με 54 ασθενείς με υποφλοιώδες εγκεφαλικό επεισόδιο (IG=28, sham=26), εξετάζοντας την επίδραση της νευροανάδρασης μέσω fNIRS για την ενεργοποίηση της συμπληρωματικής κινητικής περιοχής (SMA). Η παρέμβαση διήρκεσε δύο εβδομάδες και περιλάμβανε έξι συνεδρίες. Η ομάδα πραγματικής ανάδρασης κατέγραψε σημαντική βελτίωση στο 3-meter Timed Up and Go (διαφορά 7,33 δευτ.,  $p=0.028$ ) και στη Berg Balance Scale, καθώς και ενίσχυση της λειτουργικής συνδεσιμότητας της SMA με την ανεπηρέαστη κάτω μετωπιαία έλικα (inferior frontal gyrus) και την έλικα του προσαγωγίου. Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η ανατροφοδότηση μέσω fNIRS (fNIRS-mediated neurofeedback) μπορεί να ενισχύσει την ισορροπία και τη βάδιση μέσω νευροπλαστικών προσαρμογών.

Οι Hung et al. (2016) διεξήγαγαν μελέτη σκοπιμότητας στην Ταϊβάν με 27 ασθενείς με χρόνια ημipληγία ( $\geq 6$  μήνες μετά το ΑΕΕ), αξιολογώντας το Tetrax biofeedback, το οποίο χρησιμοποιεί τέσσερις πλατφόρμες δύναμης για την καταγραφή μετατοπίσεων του κέντρου πίεσης. Οι ασθενείς συμμετείχαν σε βιντεοπαιχνίδια ελεγχόμενα από το CoP, τρεις φορές την εβδομάδα για έξι εβδομάδες, επιπλέον της συμβατικής θεραπείας. Καταγράφηκε υψηλή συμμόρφωση (89,5%) και θετική αξιολόγηση ( $>4/5$  Likert), χωρίς σοβαρές ανεπιθύμητες ενέργειες. Η ομάδα παρέμβασης εμφάνισε σημαντικές βελτιώσεις στον χρόνο αντίδρασης ( $p=0.002$ ), στην ιδιοδεκτικότητα ( $p<0.001$ ), στη συμμετρική φόρτιση ( $p=0.027$ ), καθώς και στο TUG ( $p<0.001$ ) και στη δοκιμασία πρόσθιας κλίσης (Forward Reach) ( $p=0.01$ ). Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι το Tetrax αποτελεί ασφαλή και αποτελεσματική συμπληρωματική παρέμβαση.

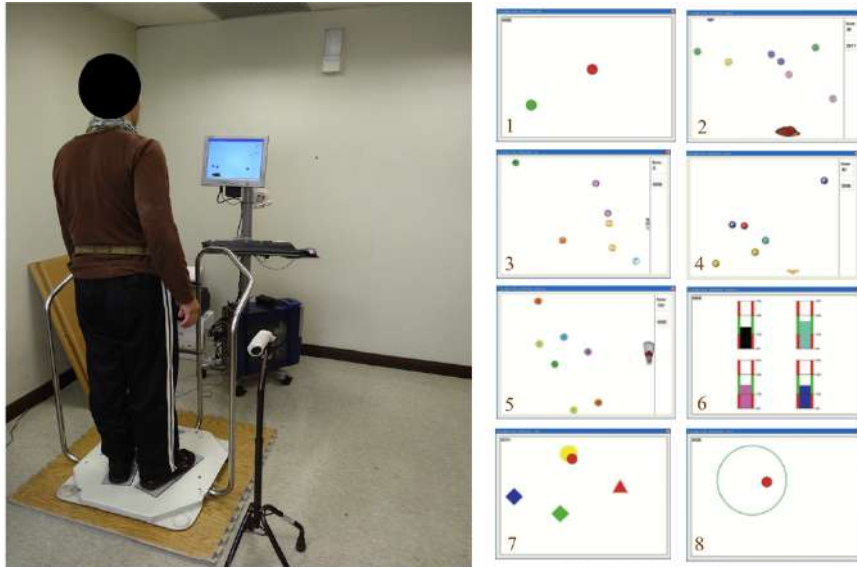
Οι Pellegrino et al. (2017) διερεύνησαν στην Ιταλία την επίδραση της συνεχούς οπτικής ανάδρασης στον έλεγχο ισορροπίας σε 11 ασθενείς με χρόνια φάση. Οι συμμετέχοντες εκπαιδεύτηκαν σε καθιστή θέση χρησιμοποιώντας πλατφόρμα δύναμης για να ελέγξουν την κατεύθυνση ενός δρομέα-avatar μέσω μεταβολών του κέντρου πίεσης της πλατφόρμας. Οι 10 δοκιμαζόμενοι που ολοκλήρωσαν το πρόγραμμα, παρουσίασαν βελτιώσεις στη διάρκεια ( $p<0.001$ ), στην ομαλότητα ( $p=0.01$ ) και στην έκταση της κίνησης (movement extent,  $p=0.01$ ), αλλά χωρίς να υπάρχει βελτίωση στον έλεγχο της κατεύθυνσης ( $p=0.12$ ). Ωστόσο, χωρίς την ανατροφοδότηση οι δεξιότητες δεν μεταφέρθηκαν επαρκώς στη λειτουργικότητά τους. Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η

συνεχής οπτική ανάδραση προσφέρει περιορισμένα λειτουργικά οφέλη ως αυτόνομη στρατηγική, αλλά μπορεί να ενισχύσει εξατομικευμένα θεραπευτικά προγράμματα.

Οι Lupo et al. (2018) πραγματοποίησαν πιλοτική τυχαίοποιημένη μελέτη στην Ιταλία με 15 ασθενείς σε υποξεία φάση (IG=9, CG=6), εξετάζοντας το σύστημα RIABLO™, το οποίο συνδυάζει αδρανειακούς αισθητήρες και πλατφόρμα δύναμης σε περιβάλλον exergaming. Η παρέμβαση διήρκεσε 3–4 εβδομάδες (10 συνεδρίες × 20 λεπτά) και συγκρίθηκε με ομάδα ελέγχου χωρίς τεχνολογία. Η ομάδα RIABLO παρουσίασε σημαντική βελτίωση στη BBS ( $p=0.008$ ), στη σταθερομετρία (CoP path:  $p=0.01$  με ανοιχτά μάτια,  $p=0.04$  με κλειστά), καθώς και μείωση της βαρύτητας συμπτωμάτων στη NIHSS ( $p=0.03$ ). Επίσης, σημειώθηκε μεγαλύτερη συμμόρφωση ( $p=0.02$ ). Οι συγγραφείς υπογράμμισαν την αποτελεσματικότητα του συστήματος, με περιορισμό το μικρό δείγμα.

Οι Tsaih et al. (2018) διεξήγαγαν τυχαίοποιημένη μελέτη στην Ταϊβάν με 33 ασθενείς σε χρόνια φάση, χωρισμένους σε τρεις ομάδες: σταθερής έντασης ηλεκτρομυογραφικής ανατροφοδότησης (EMG-biofeedback) ( $n=13$ ), μεταβαλλόμενης έντασης ( $n=11$ ) και ομάδα ελέγχου ( $n=9$ ). Το πρόγραμμα διήρκεσε έξι εβδομάδες (18 συνεδρίες, 40 λεπτά) και στόχευε στον πρόσθιο κνημιαίο. Οι δύο ομάδες βιοανάδρασης εμφάνισαν σημαντική αύξηση στη μυϊκή δύναμη ( $p<0.05$ ), η οποία διατηρήθηκε στην παρακολούθηση έξι εβδομάδων. Μόνο η ομάδα μεταβαλλόμενης έντασης σημείωσε βελτίωση στην ισορροπία (anteroposterior endpoint excursion στο LOS). Παράλληλα, όλες οι ομάδες έδειξαν βελτιώσεις στο TUG και στο 6MWT, πιθανώς λόγω παράλληλης θεραπείας βάδισης. Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι το EMG-biofeedback ενισχύει τη μυϊκή δύναμη, με την ποικιλία στην ένταση να παρέχει πρόσθετα οφέλη στην ισορροπία.

Συνοψίζοντας, οι μελέτες βιοανάδρασης δείχνουν ότι η παροχή οπτικής, κινητικής ή μυϊκής ανατροφοδότησης μπορεί να βελτιώσει επιμέρους δείκτες ισορροπίας και μυϊκής δύναμης, σε ασθενείς μετά από εγκεφαλικό, τόσο σε υποξεία όσο και σε χρόνια φάση. Οι επιδράσεις στη βάδιση δεν ήταν σταθερά ανώτερες έναντι των ομάδων ελέγχου. Οι παρεμβάσεις ήταν ασφαλείς, με υψηλή συμμόρφωση και θετική αποδοχή, γεγονός που ενισχύει τη χρησιμότητά τους ως συμπληρωματικά εργαλεία αποκατάστασης. Ωστόσο, το μικρό μέγεθος δειγμάτων και η περιορισμένη παρακολούθηση απαιτούν μεγαλύτερες μελέτες για επιβεβαίωση και μακροπρόθεσμη αξιολόγηση.



**Εικόνα 8.** Tetrax σύστημα βίντεο-παιχνιδιού βιοανάδρασης (Hung et al., 2016)

#### **4.2.4. Wearables και κινητές εφαρμογές**

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει πέντε μελέτες που αξιολόγησαν τεχνολογικές εφαρμογές τηλεαποκατάστασης, με δείγματα 30 έως 68 ασθενών. Οι περισσότερες αφορούσαν πληθυσμούς σε χρόνια φάση, ενώ δύο μελέτες επικεντρώθηκαν σε υποξεία φάση αποκατάστασης. Οι παρεμβάσεις αξιοποίησαν τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας, εφαρμογές τηλεαποκατάστασης και πλατφόρμες Kinect, με στόχο τη βελτίωση της ισορροπίας, του ελέγχου κορμού και της βάρδισης μέσω κατ' οίκον ή ημι-ανεξάρτητης εκπαίδευσης.

Οι Lee et al. (2022) πραγματοποίησαν τυχαίοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη στη Νότια Κορέα με 68 ασθενείς σε υποξεία φάση (εντός 6 μηνών από το εγκεφαλικό επεισόδιο). Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε ομάδα «smart-rehab» με κατ' οίκον πρόγραμμα άσκησης βασισμένο σε σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας (UINCARE HomeVR) και σε ομάδα ελέγχου με γραπτές και εικονογραφημένες οδηγίες. Το πρωτόκολλο περιλάμβανε 4 εβδομάδες εκπαίδευσης, 5 φορές/εβδομάδα για 30 λεπτά. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε τρεις χρονικές στιγμές (T0, T1, T2). Η ομάδα AR κατέγραψε σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση στην ισορροπία (στην TUG από T0 σε T1,  $p < 0.017$ ) και στη μείωση του φόβου πτώσης (T0 - T1 και T0 - T2,  $p < 0.017$ ). Καμία πτώση δεν αναφέρθηκε, ενώ μία διακοπή λόγω παροδικού ισχαιμικού επεισοδίου καταγράφηκε. Οι

συγγραφείς κατέληξαν ότι η AR μπορεί να βελτιώσει την ισορροπία, αν και απαιτούνται προφυλάξεις ασφαλείας.

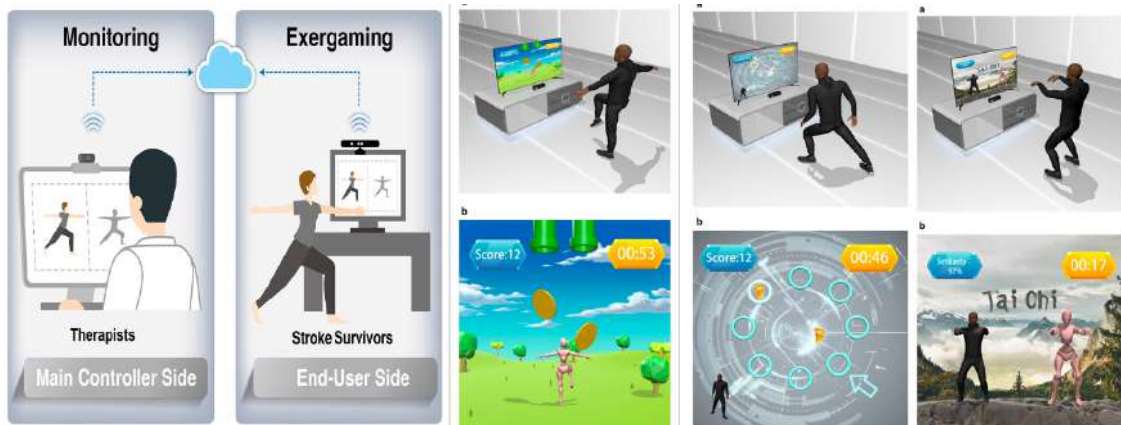
Οι Salgueiro et al. (2022) διεξήγαγαν προκαταρκτική RCT στην Ισπανία με 30 χρόνια περιστατικά (EG=15, CG=15). Όλοι έλαβαν συμβατική φυσικοθεραπεία, ενώ η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε την εφαρμογή Farmalarm για κατ' οίκον ασκήσεις σταθερότητας κορμού επί 12 εβδομάδες. Η ομάδα EG σημείωσε βελτίωση 2.76 μονάδων στην S-TIS 2.0 ( $p=0.001$ ), αλλά η προσήλωση στην εφαρμογή ήταν χαμηλή (μέση χρήση 13.66%). Στις κλίμακες ισορροπίας και βάδισης παρατηρήθηκαν μικρές αλλαγές, χωρίς σημαντικότητα. Οι συγγραφείς τόνισαν τη βελτίωση του κορμού και την ανάγκη για αυξημένη συμμετοχή και μελλοντικές μελέτες.

Οι Chen et al. (2021) πραγματοποίησαν πιλοτική μελέτη στην Ταϊβάν με 30 χρόνια περιστατικά, κατανεμημένα σε πειραματική ομάδα με σύστημα διαδραστικής τηλεαποκατάστασης (Kinect, exergaming) και σε ομάδα ελέγχου με κλασική φυσικοθεραπεία. Το πρόγραμμα διήρκεσε 4 εβδομάδες (3x/εβδομάδα, 40' στο νοσοκομείο). Και οι δύο ομάδες βελτιώθηκαν στη BBS ( $p=0.01$ ), ενώ μόνο η πειραματική ομάδα εμφάνισε σημαντική μείωση στον χρόνο TUG ( $p=0.005$ ). Δεν αναφέρθηκαν σοβαρές ανεπιθύμητες ενέργειες. Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η τηλεαποκατάσταση μέσω Kinect είναι ισοδύναμη ή ανώτερη από τη συμβατική θεραπεία.

Οι Junata et al. (2021) διεξήγαγαν τυχαίοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή με 30 ασθενείς σε χρόνια φάση (RMT=16, CBT=14). Η πειραματική ομάδα εκπαιδεύτηκε με το Kinect-based Rapid Movement Training (RMT), που παρείχε ανατροφοδότηση για ταχείες κινήσεις άκρων και βηματισμούς σε 22 κατευθύνσεις, προσομοιώνοντας στρατηγικές αποκατάστασης ισορροπίας. Το πρωτόκολλο περιλάμβανε 20 συνεδρίες διάρκειας 60 λεπτών. Η ομάδα RMT σημείωσε σημαντική βελτίωση στη Berg Balance Scale (από 49.13 σε 52.75,  $p=0.001$ ), στον Timed Up and Go (από 14.66s σε 12.62s,  $p=0.011$ ) και στη Fugl-Meyer Assessment (από 60.63 σε 65.19,  $p=0.015$ ). Επιπλέον, οι δύο ομάδες εμφάνισαν ταχύτερη μυϊκή αντίδραση του ορθού μηριαίου μετά την εκπαίδευση ( $p=0.036$ ). Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι το RMT είναι εξίσου αποτελεσματικό με τη συμβατική εκπαίδευση ισορροπίας, βελτιώνοντας την κινητική απόκριση και την ανάκτηση ισορροπίας.

Οι Salgueiro et al. (2022) πραγματοποίησαν πιλοτική ελεγχόμενη μελέτη με 49 ασθενείς σε υποξεία φάση. Μετά από πέντε εβδομάδες νοσοκομειακής αποκατάστασης, οι 20 ασθενείς του πειραματικού σκέλους (AppG) έλαβαν πρόσβαση στην εφαρμογή Farmalarm για κατ' οίκον ασκήσεις σταθερότητας κορμού επί τρεις μήνες, ενώ οι υπόλοιποι συνέχισαν με συνήθη φροντίδα (CG n=29). Το πρόγραμμα περιλάμβανε οδηγίες μέσω βίντεο και ανατροφοδότηση, με τακτική παρακολούθηση από ερευνητή. Η ομάδα εφαρμογής κατέγραψε μεγαλύτερες βελτιώσεις στην ισορροπία (καθιστή και όρθια) και στη βάδιση, χωρίς στατιστική σημαντικότητα. Δεν αναφέρθηκαν ανεπιθύμητες ενέργειες. Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι οι ασκήσεις κορμού με τηλεαποκατάσταση μπορούν να υποστηρίξουν την αποκατάσταση μετά από νοσοκομειακή θεραπεία, αν και απαιτούνται μελλοντικές μελέτες για επιβεβαίωση και ενίσχυση της συμμόρφωσης.

Συνοψίζοντας, οι μελέτες τηλεαποκατάστασης και διαδραστικών συστημάτων δείχνουν ότι η χρήση επαυξημένης πραγματικότητας, εφαρμογών και πλατφορμών Kinect μπορεί να βελτιώσει την ισορροπία, τον έλεγχο κορμού και τη βάδιση σε ασθενείς μετά από εγκεφαλικό, τόσο σε χρόνια όσο και σε υποξεία φάση. Οι παρεμβάσεις χαρακτηρίστηκαν ασφαλείς, με μεμονωμένα ή μηδενικά ανεπιθύμητα συμβάντα όπου αναφέρθηκαν, και σε αρκετές περιπτώσεις κατέγραψαν υψηλή αποδοχή. Ωστόσο, το μικρό μέγεθος δειγμάτων, η περιορισμένη παρακολούθηση και η διαφοροποιημένη συμμόρφωση περιορίζουν τη γενίκευση των αποτελεσμάτων. Συνολικά, τα συστήματα αυτά αναδεικνύονται ως χρήσιμα συμπληρωματικά εργαλεία αποκατάστασης, με την ανάγκη για μελέτες μεγαλύτερης κλίμακας και μακροπρόθεσμη αξιολόγηση για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητάς τους.



**Εικόνα 9.** Σύστημα Τηλεαποκατάστασης (Chen et al., 2021)

### **4.3. Επιδράσεις στην αποκατάσταση της ισορροπίας**

Οι μελέτες που αξιολόγησαν τη χρήση ρομποτικών συστημάτων στην αποκατάσταση της ισορροπίας κατέγραψαν θετικές επιδράσεις σε όλους τους δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν. Ο Inoue et al. (2022) ανέφεραν σημαντική βελτίωση στο Mini-BESTest και στο Timed Up and Go (TUG) μετά από δύο εβδομάδες προπόνησης με το Balance Exercise Assist Robot σε ασθενείς με υποξεία φάση. Σε διαφορετικό πλαίσιο, ο Akinçi et al. (2023) κατέγραψαν βελτίωση στην Berg Balance Scale (BBS) και σε δείκτες σταθερότητας έπειτα από έξι εβδομάδες προγράμματος που συνδύαζε ρομποτική προπόνηση βάρδισης με το Lokomat και εικονική πραγματικότητα, σε δείγμα ασθενών με χρόνια φάση. Η θετική αυτή τάση επιβεβαιώθηκε και στη μελέτη του Zhang et al. (2024), όπου η χρήση του εξωσκελετού REX σε 24 ασθενείς υποξείας φάσης οδήγησε σε βελτίωση της BBS και της Fugl-Meyer Lower Extremity (FMA-LE). Παρόμοια ευρήματα καταγράφηκαν από τον Huo et al. (2024), οι οποίοι ανέφεραν βελτίωση στη BBS και τη FMA-LE, καθώς και αλλαγές σε δείκτες νευροπλαστικότητας μέσω fNIRS, μετά από πρόγραμμα τεσσάρων εβδομάδων με μονοπλευρικό εξωσκελετό κάτω άκρου. Τέλος, ο Castelli et al. (2023) με τη χρήση του Hupona σε ηλικιωμένους ασθενείς χρόνιας φάσης ανέφεραν βελτίωση στην BBS, στο TUG και σε γνωστικές παραμέτρους, μετά από τέσσερις εβδομάδες προπόνησης. Παρά τις διαφορές στα πρωτόκολλα, όλες οι μελέτες παρουσίασαν θετικά αποτελέσματα χωρίς ουδέτερα ή αρνητικά ευρήματα, αν και ορισμένες επισήμαναν περιορισμούς που σχετίζονταν με μικρό μέγεθος δείγματος ή με σύντομη περίοδο παρακολούθησης.

Οι παρεμβάσεις με εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα επίσης κατέγραψαν θετικές επιδράσεις στην ισορροπία σε όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν. Οι Sana et al. (2023) σε ασθενείς υποξείας φάσης διαπίστωσαν βελτίωση στο TUG και το Dynamic Gait Index (DGI) μετά από οκτώ εβδομάδες παρέμβασης με VR, σε σύγκριση με ομάδα αισουσαίας θεραπείας. Σε διαφορετική μελέτη, οι Kayabinar et al. (2021) ανέφεραν βελτίωση στην BBS μετά από έξι εβδομάδες προγράμματος με VR σε συνδυασμό με ρομποτική προπόνηση βάρδισης σε ασθενείς χρόνιας φάσης. Αντίστοιχα, οι Lloréns et al. (2015) αξιολόγησαν κατ' οίκον τηλε-αποκατάσταση με Kinect σε 30 ασθενείς με χρόνια φάση και ανέφεραν βελτιώσεις στην BBS και την Performance Oriented Mobility Assessment (POMA). Οι Kwak et al. (2024) κατέγραψαν βελτίωση στη BBS και το TUG μετά από πέντε εβδομάδες προγράμματος με Oculus Quest 2 σε ασθενείς χρόνιας φάσης, ενώ

οι Karasu et al. (2018) παρατήρησαν βελτίωση στην BBS και το Postural Assessment Scale for Stroke (PASS) μετά από τέσσερις εβδομάδες Wii Fit. Οι Lee et al. (2022) με την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας UINCARE HomeVR σε 68 ασθενείς υποξείας φάσης κατέγραψαν θετικά αποτελέσματα στην ισορροπία και μείωση του φόβου πτώσης. Σε όλες τις μελέτες αυτής της κατηγορίας, τα αποτελέσματα ήταν θετικά, χωρίς ουδέτερα ή αρνητικά ευρήματα, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις καταγράφηκαν περιορισμοί λόγω μικρού δείγματος ή σύντομης διάρκειας παρέμβασης.

Η κατηγορία της βιοανάδρασης περιλάμβανε πέντε μελέτες που εφάρμοσαν διαφορετικά είδη ανατροφοδότησης, όλες με θετικά αποτελέσματα. Οι Mihara et al. (2021) ανέφεραν σημαντική βελτίωση στο TUG και τη BBS μετά από έξι συνεδρίες neurofeedback με fNIRS σε ασθενείς με υποξεία φάση και υποφλοιώδες εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι Hung et al. (2016) διαπίστωσαν βελτίωση στο TUG και την δοκιμασία πρόσθιας κλίσης (Forward Reach) μετά από έξι εβδομάδες Tetrax biofeedback video games. Σε μικρότερο δείγμα, οι Pellegrino et al. (2017) ανέφεραν βελτίωση σε δείκτες μετατόπισης του κέντρου πίεσης μετά από εκπαίδευση σε καθιστή θέση με οπτική ανατροφοδότηση. Παράλληλα, οι Luro et al. (2018) ανέφεραν βελτίωση στην BBS μετά από δέκα συνεδρίες με το RIABLO™ και παιχνίδια εξάσκησης ισορροπίας σε ασθενείς υποξείας φάσης, ενώ οι Tsaih et al. (2018) κατέγραψαν βελτίωση στη σταθερότητα, με μείωση sway και βελτίωση στο Limits of Stability (LOS), μετά από 18 συνεδρίες ηλεκτρομυογραφικής ανατροφοδότησης σε 33 ασθενείς χρόνιας φάσης. Σε όλες τις περιπτώσεις καταγράφηκαν θετικές αλλαγές, με περιορισμούς να σχετίζονται κυρίως με το μικρό μέγεθος δείγματος ή τη διάρκεια της παρέμβασης.

Οι φορητές συσκευές και οι κινητές εφαρμογές αξιολογήθηκαν σε πέντε μελέτες και κατέγραψαν επίσης θετικά αποτελέσματα. Οι Salgueiro et al. (2022) διερεύνησαν δύο δείγματα: σε 30 ασθενείς χρόνιας φάσης ανέφεραν βελτίωση στον έλεγχο του κορμού μετά από 12 εβδομάδες χρήσης της εφαρμογής Farmalarm σε πρόγραμμα core-stability, ενώ σε 49 ασθενείς υποξείας φάσης κατέγραψαν βελτίωση στη ισορροπία (καθιστή και όρθια) και στη βάδιση, χωρίς στατιστική σημαντικότητα μετά από τρίμηνο κατ' οίκον πρόγραμμα. Σε διαφορετικό πλαίσιο, οι Chen et al. (2021) ανέφεραν βελτίωση στη BBS και το TUG μετά από τέσσερις εβδομάδες τηλε-αποκατάστασης με Kinect σε 30 ασθενείς χρόνιας φάσης. Παρόμοια, οι Junata et al. (2021) σε 30 ασθενείς με χρόνια φάση (>6

μήνες) παρατήρησαν βελτίωση στη BBS και το TUG μετά από 20 συνεδρίες Rapid Movement Training με Kinect σε διάστημα μη προσδιοριζόμενο χρονικά. Και σε αυτήν την κατηγορία δεν καταγράφηκαν ουδέτερα ή αρνητικά ευρήματα, ενώ οι περιορισμοί σχετίζονταν κυρίως με μικρό δείγμα και βραχεία διάρκεια παρακολούθησης.

Συνοψίζοντας, σε όλες τις κατηγορίες τεχνολογικών παρεμβάσεων καταγράφηκαν θετικά αποτελέσματα στην αποκατάσταση της ισορροπίας, με τη BBS και το TUG να αποτελούν τα συχνότερα εργαλεία μέτρησης, ενώ σε αρκετές μελέτες χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά τεστ όπως το Mini-BESTest, το PASS, η FMA-LE και το DGI. Δεν αναφέρθηκαν αρνητικά ευρήματα, αν και αρκετές μελέτες επισήμαναν περιορισμούς που σχετίζονταν με το μέγεθος δείγματος και τη διάρκεια παρακολούθησης.

Συνολικά, τα ποσοτικά δεδομένα δείχνουν συγκρίσιμες τάσεις βελτίωσης. Οι βελτιώσεις στη BBS κυμάνθηκαν κατά μέσο όρο από +2 έως +6 μονάδες μετά από παρεμβάσεις διάρκειας 2 - 12 εβδομάδων, ενώ ο χρόνος στο TUG μειώθηκε κατά περίπου 1 - 3 δευτερόλεπτα. Σε άλλες κλίμακες, όπως η FMA-LE και η S-TIS, καταγράφηκαν βελτιώσεις 3 - 6 μονάδων σε συγκεκριμένες υποομάδες. Τα προγράμματα με ρομποτικά ή Kinect-based συστήματα συνήθως περιλάμβαναν 10 - 20 συνεδρίες διάρκειας 40 - 60 λεπτών, ενώ οι εφαρμογές τηλεαποκατάστασης και AR εφαρμόστηκαν για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (έως 12 εβδομάδες) με κατ' οίκον εξάσκηση. Η εικόνα αυτή ενισχύει την παρατήρηση ότι, παρά τις διαφοροποιήσεις στα πρωτόκολλα, τα τεχνολογικά μέσα συμβάλλουν με μετρήσιμα και επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα στη βελτίωση της ισορροπίας.

#### **4.4. Συχνότητα χρήσης και αποδοχή από ασθενείς**

Οι μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση εφαρμόστηκαν σε ποικίλα περιβάλλοντα, αντανακλώντας την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα των τεχνολογιών αποκατάστασης. Ένα σημαντικό ποσοστό των παρεμβάσεων πραγματοποιήθηκε σε κλινικά περιβάλλοντα, κυρίως σε νοσοκομεία ή εξειδικευμένα κέντρα αποκατάστασης, όπου υπήρχε δυνατότητα χρήσης εξειδικευμένων ρομποτικών συστημάτων και βιοανάδρασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως στις μελέτες των Inoue et al. (2022), Castelli et al. (2023), Zhang et al. (2024) και Huo et al. (2024), οι παρεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον με αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες και παρουσία θεραπευτών, γεγονός που εξασφάλιζε υψηλά επίπεδα συμμόρφωσης και

παρακολούθησης. Παράλληλα, μελέτες όπως των Lloréns et al. (2015), Lee et al. (2022), Chen et al. (2021) και Salgueiro et al. (2022) εφάρμοσαν κατ' οίκον ή εξ αποστάσεως τηλε-αποκατάσταση, επιτρέποντας στους ασθενείς να ολοκληρώσουν τα προγράμματα στο δικό τους περιβάλλον, με χαμηλότερες απαιτήσεις σε φυσική παρουσία επαγγελματιών υγείας. Αυτό κατέστησε τις παρεμβάσεις περισσότερο προσβάσιμες, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτήθηκε υποστήριξη από οικογένεια ή φροντιστές για την ορθή χρήση των συστημάτων.

Ως προς τη συχνότητα εφαρμογής, παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση. Σε αρκετές μελέτες τα πρωτόκολλα ήταν εντατικά, με καθημερινές ή σχεδόν καθημερινές συνεδρίες. Χαρακτηριστικά, ο Inoue et al. (2022) εφάρμοσαν πρόγραμμα διάρκειας δύο εβδομάδων με έξι συνεδρίες εβδομαδιαίως, ενώ οι Karasu et al. (2018) περιέλαβαν πέντε συνεδρίες την εβδομάδα για τέσσερις εβδομάδες. Ομοίως, ο Huo et al. (2024) και ο Zhang et al. (2024) σχεδίασαν προγράμματα με πέντε συνεδρίες εβδομαδιαίως διάρκειας 60 λεπτών. Αντιθέτως, άλλες μελέτες είχαν χαμηλότερη συχνότητα, όπως οι Hung et al. (2016) με τρεις συνεδρίες την εβδομάδα για έξι εβδομάδες, ή οι Luro et al. (2018) με δέκα συνολικές συνεδρίες των 20 λεπτών. Η ποικιλία αυτή δείχνει ότι οι παρεμβάσεις προσαρμόζονταν στις δυνατότητες των ασθενών και στις απαιτήσεις της τεχνολογίας, διατηρώντας ωστόσο ένα επίπεδο έντασης που επιτρέπει την αξιολόγηση κλινικών αλλαγών.

Η αποδοχή των παρεμβάσεων από τους ασθενείς αναφέρθηκε σε αρκετές μελέτες και ήταν γενικά θετική. Οι Lloréns et al. (2015) κατέγραψαν υψηλά ποσοστά συμμόρφωσης στο κατ' οίκον πρόγραμμα με Kinect, με τους ασθενείς να ολοκληρώνουν τις προγραμματισμένες συνεδρίες χωρίς σημαντικές εγκαταλείψεις. Αντίστοιχα, οι Lee et al. (2022) ανέφεραν καλή αποδοχή του προγράμματος επαυξημένης πραγματικότητας UINCARE HomeVR, με τους περισσότερους συμμετέχοντες να δηλώνουν ικανοποίηση από την κατ' οίκον εφαρμογή. Στη μελέτη των Salgueiro et al. (2022) με την εφαρμογή Farmalarm, τόσο οι ασθενείς σε χρόνια όσο και οι ασθενείς σε υποξεία φάση έδειξαν χαμηλή προσήλωση (μέση χρήση 13.66%), με θετικά σχόλια για την ευκολία χρήσης και την ενσωμάτωση της παρέμβασης στην καθημερινότητά τους.

Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε κλινικό περιβάλλον, όπως αυτές των Inoue et al. (2022), Akinci et al. (2023) και Castelli et al. (2023), η συμμόρφωση ήταν επίσης υψηλή,

καθώς οι ασθενείς συμμετείχαν σε οργανωμένα προγράμματα με επίβλεψη από θεραπευτές. Ωστόσο, αναφέρθηκαν ορισμένοι περιορισμοί: για παράδειγμα, οι Castelli et al. (2023) επισήμαναν ότι η χρήση του Hunova σε ηλικιωμένους ασθενείς απαιτούσε μεγαλύτερη καθοδήγηση, ενώ ορισμένοι συμμετέχοντες δυσκολεύτηκαν να κατανοήσουν πλήρως τη λειτουργία του συστήματος. Παρόμοια, στις παρεμβάσεις με εξωσκελετούς (Zhang et al., 2024; Huo et al., 2024) καταγράφηκε ανάγκη για συνεχή υποστήριξη λόγω πολυπλοκότητας του εξοπλισμού.

Οι μελέτες που χρησιμοποίησαν πιο απλά τεχνολογικά μέσα, όπως το Wii Fit (Karasu et al., 2018) ή το Kinect (Junata et al., 2021; Chen et al., 2021), ανέφεραν υψηλή αποδοχή από τους ασθενείς, με χαμηλά ποσοστά εγκατάλειψης. Οι συμμετέχοντες εκτίμησαν την παιχνιδιοποιημένη διάσταση των παρεμβάσεων, γεγονός που ενίσχυσε την εμπλοκή τους στο πρόγραμμα. Ωστόσο, επισημάνθηκε ότι σε ορισμένους ηλικιωμένους ασθενείς υπήρχαν αρχικές τεχνικές δυσκολίες στη χρήση του εξοπλισμού, οι οποίες ξεπεράστηκαν με την κατάλληλη καθοδήγηση.

Γενικά, τα δεδομένα από όλες τις κατηγορίες μελετών δείχνουν ότι η συμμόρφωση των ασθενών ήταν υψηλή, με χαμηλά ποσοστά εγκατάλειψης. Τα επίπεδα ικανοποίησης ήταν επίσης αυξημένα, καθώς οι περισσότεροι συμμετέχοντες δήλωσαν ότι οι παρεμβάσεις ήταν ελκυστικές και εύχρηστες. Οι λίγες δυσκολίες που αναφέρθηκαν σχετίζονταν κυρίως με την πολυπλοκότητα ορισμένων ρομποτικών συστημάτων ή με τεχνικά ζητήματα που συνδέονταν με την ηλικία και την εξοικείωση των ασθενών με την τεχνολογία.

Συνοψίζοντας, οι τεχνολογικές παρεμβάσεις εφαρμόστηκαν με ποικίλη συχνότητα και διάρκεια, αντανakλώντας την προσαρμοστικότητά τους στις ανάγκες των ασθενών. Η συχνότητα κυμάνθηκε από 2 - 3 συνεδρίες την εβδομάδα (π.χ. Hung et al., 2016; Lupo et al., 2018) έως 5 - 6 συνεδρίες την εβδομάδα (π.χ. Inoue et al., 2022; Huo et al., 2024), με συνολική διάρκεια από 10 συνεδρίες έως και 12 εβδομάδες κατ' οίκον εφαρμογής. Η συμμόρφωση καταγράφηκε γενικά υψηλή, με ποσοστά συμμετοχής που σε αρκετές μελέτες ξεπέρασαν το 85 - 90%, ενώ οι εγκαταλείψεις περιορίστηκαν σε μεμονωμένα περιστατικά. Η αποδοχή από τους ασθενείς ήταν θετική, με αναφορές για υψηλή ικανοποίηση και ευχρηστία, ιδίως σε προγράμματα με παιχνιδιοποιημένα στοιχεία (π.χ. Wii Fit, Kinect). Σε πιο σύνθετα συστήματα, όπως οι εξωσκελετοί ή το Hunova, αναφέρθηκε ανάγκη για ενισχυμένη καθοδήγηση, χωρίς όμως να επηρεάζεται σημαντικά η

ολοκλήρωση των προγραμμάτων. Συνεπώς, οι παρεμβάσεις κρίνονται ελκυστικές και πρακτικά εφαρμόσιμες, στοιχείο που ενισχύει την προοπτική αξιοποίησής τους σε κλινικό και κατ' οίκον πλαίσιο.

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1. *Κύρια ευρήματα*

Η παρούσα ανασκόπηση συμπεριέλαβε είκοσι τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες μελέτες που διερεύνησαν την επίδραση τεχνολογικών παρεμβάσεων στην αποκατάσταση της ισορροπίας μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Συνολικά, όλες οι μελέτες ανέφεραν θετικές επιδράσεις, με διαφορετικό όμως εύρος αποτελεσματικότητας ανάλογα με την τεχνολογία και το στάδιο αποκατάστασης.

Οι παρεμβάσεις με ρομποτικά συστήματα και εξωσκελετούς κατέγραψαν τις πιο σταθερές βελτιώσεις, κυρίως σε ασθενείς υποξείας φάσης. Στη μελέτη με το Balance Exercise Assist Robot (BEAR), 60 ασθενείς συμμετείχαν σε πρόγραμμα διάρκειας δύο εβδομάδων (6 συνεδρίες/εβδομάδα), η ομάδα BEAR βελτίωσε σημαντικά το Mini-BESTest ( $p < 0.05$ ), υπερέχοντας έναντι της συμβατικής θεραπείας. Σημαντική βελτίωση στον TUG παρατηρήθηκε μόνο στην ομάδα BEAR ( $p = 0.023$ ). Η παρέμβαση με τον REX εξωσκελετό σε 24 ασθενείς υποξείας φάσης εμφάνισε σημαντική αύξηση στην Berg Balance Scale (BBS) ( $p = 0.032$ ), και στον έλεγχο στάσης (PASS) ( $p = 0.005$ ), χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές στη λειτουργική ανεξαρτησία. Η χρήση μονοπλευρού εξωσκελετού σε 40 ασθενείς οδήγησε σε βελτίωση της ισορροπίας (BBS,  $p = 0.018$ ), της κινητικότητας (FAC,  $p = 0.010$ ) και της λειτουργικής ανεξαρτησίας (mBI,  $p = 0.042$ ), ενώ συνοδεύτηκε από ενδείξεις αυξημένης φλοιϊκής ενεργοποίησης μέσω fNIRS. Τέλος, η πλατφόρμα Hunona σε 24 χρόνιους ασθενείς ανέδειξε μεγαλύτερη βελτίωση όχι μόνο στην ισορροπία αλλά και στις εκτελεστικές λειτουργίες και στην ταχύτητα επεξεργασίας πληροφοριών, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Οι παρεμβάσεις με VR και exergaming έδειξαν θετικά αποτελέσματα σε ασθενείς τόσο υποξείας όσο και χρόνιας φάσης. Στη μελέτη των Sana και συν., 34 ασθενείς υποξείας φάσης υποβλήθηκαν σε VR ή σε αιθουσαία αποκατάσταση, και οι δύο ομάδες βελτιώθηκαν, όμως η ομάδα VR εμφάνισε μεγαλύτερη βελτίωση στην Dynamic Gait Index (DGI,  $p < 0.05$ ) και στο TUG ( $p < 0.01$ ) ενώ η ομάδα αιθουσαίας αποκατάστασης υπερείχε στη μείωση των συμπτωμάτων ζάλης (DHI,  $p < 0.001$ ). Στη μελέτη του Karasu, η παρέμβαση με Wii σε 23 χρόνιους ασθενείς υποξείας έως πρώιμης χρόνιας φάσης (<12 μήνες) οδήγησε σε αύξηση της BBS ( $p < 0.05$ ) και στη βελτίωση της συμμετρίας φόρτισης (FRT,  $p < 0.05$ ), με

διατήρηση των αποτελεσμάτων στο follow-up τεσσάρων εβδομάδων. Παράλληλα, η χρήση πλήρους εμβυθιστικής VR με χειριστήρια αφής σε 36 χρόνιους ασθενείς βελτίωσε σημαντικά τον TUG ( $p=0.000$ ), και παραμέτρους βάδισης, ενώ η BBS βελτιώθηκε χωρίς διαφορά μεταξύ των ομάδων ( $p=0.109$ ).

Οι τεχνικές biofeedback/neurofeedback ανέδειξαν στοχευμένα οφέλη. Στη μελέτη με fNIRS neurofeedback, 54 ασθενείς με υποφλοιώδες εγκεφαλικό επεισόδιο Α.Ε.Ε. που εκπαιδεύτηκαν σε κινητική απεικόνιση με ενεργοποίηση του συμπληρωματικού κινητικού φλοιού βελτίωσαν σημαντικά στο TUG ( $p = 0.028$ ) και το BBS ( $p < 0.001$ ), ενώ η ομάδα sham δεν παρουσίασε αντίστοιχη βελτίωση. Η χρήση biofeedback με αισθητήρες αδράνειας και exergaming (RIABLO) σε 15 ασθενείς υποξείας φάσης οδήγησε σε βελτίωση της BBS ( $p<0.05$ ) και μεγαλύτερη συμμόρφωση στην άσκηση σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Στη μελέτη του Tsaih, 33 χρόνιοι ασθενείς με EMG biofeedback και task-oriented ασκήσεις παρουσίασαν σημαντική αύξηση της δύναμης του πρόσθιου κνημιαίου ( $p<0.05$ ) και βελτίωση της ισορροπίας μόνο όταν εφαρμόστηκε practice variability, επιβεβαιώνοντας τη σημασία της ποικιλίας στην εξάσκηση.

Οι λύσεις τηλε-αποκατάστασης έδειξαν ενθαρρυντικά αλλά πιο μέτρια αποτελέσματα. Στη μελέτη του Lee και συν., 68 ασθενείς συμμετείχαν σε πρόγραμμα 4 εβδομάδων κατ' οίκον. Η ομάδα AR παρουσίασε σημαντική βελτίωση στον TUG ( $p < 0.05$ ) και μείωση του φόβου πτώσης, ενώ η BBS βελτιώθηκε και στις δύο ομάδες χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Στην έρευνα του Salgueiro σε 30 χρόνιους ασθενείς, οι ασθενείς που χρησιμοποίησαν εφαρμογή για core-stability ασκήσεις έδειξαν βελτίωση στο Trunk Impairment Scale ( $p = 0.001$ ), αν και οι αλλαγές στην BBS και στην βάδιση ήταν μικρές και μη σημαντικές. Σε υποξεία φάση, άλλη μελέτη του ίδιου ερευνητή με 49 ασθενείς έδειξε τάση βελτίωσης στην ισορροπία και στη βάδιση μέσω τηλε-αποκατάστασης, χωρίς όμως στατιστική σημαντικότητα. Τέλος, το Kinect-based Rapid Movement Training σε 30 χρόνιους ασθενείς βελτίωσε το BBS ( $p = 0.001$ ) και το TUG ( $p = 0.011$ ), παρουσιάζοντας αποτελέσματα συγκρίσιμα με τη συμβατική εκπαίδευση ισορροπίας.

## **5.2. Συγκρίσεις με προηγούμενες μελέτες**

Έχει γίνει παλαιότερα σύγκριση των μεθόδων (ίσως αναφορά συστηματικών ερευνών;) Τα αποτελέσματα της παρούσας ανασκόπησης συγκρίθηκαν με πρόσφατες μετα-αναλύσεις και συστηματικές ανασκοπήσεις, οι οποίες συνοψίζουν την

αποτελεσματικότητα διαφορετικών τεχνολογικών παρεμβάσεων στην αποκατάσταση μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο.

Η μετα-ανάλυση των Wang et al. (2024), η οποία συμπεριέλαβε 10 τυχαιοποιημένες μελέτες με 303 ασθενείς, έδειξε ότι η ηλεκτρομυογραφική βιοανάδραση (EMG biofeedback) οδηγεί σε μέτρια βελτίωση της λειτουργίας άνω και κάτω άκρων μετά από Α.Ε.Ε. (SMD = 0.44, 95% CI 0.12 - 0.77,  $p = 0.008$ ). Τα βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα ήταν σαφή, ενώ τα μακροπρόθεσμα παραμένουν αβέβια. Αντίστοιχα, η μελέτη των Tsaih et al. (2018) σε 33 χρόνιους ασθενείς έδειξε ότι η χρήση EMG biofeedback σε συνδυασμό με practice variability αύξησε σημαντικά τη δύναμη του πρόσθιου κνημιαίου (από  $19.2 \pm 4.1$  kg σε  $23.8 \pm 4.3$  kg,  $p < 0.01$ ) και βελτίωσε την ισορροπία (Berg Balance Scale, +3.4 μονάδες,  $p < 0.05$ ), σε σύγκριση με την ομάδα σταθερής πρακτικής. Παρόμοια, η μελέτη των Lupo et al. (2018) σε 15 ασθενείς υποξείας φάσης έδειξε ότι η χρήση biofeedback με αισθητήρες αδράνειας και exergaming (RIABLO) βελτίωσε σημαντικά τη BBS (από  $32.3 \pm 6.1$  σε  $38.7 \pm 5.8$ ,  $p < 0.05$ ) και μείωσε το μήκος τροχιάς του κέντρου πίεσης, σε σχέση με τη συμβατική θεραπεία.

Η μετα-ανάλυση των Chen et al. (2024), η οποία περιέλαβε 27 τυχαιοποιημένες μελέτες με 1167 ασθενείς, έδειξε ότι η ρομποτικά υποβοηθούμενη βάδιση (Robot-Assisted Gait Training, RAGT) δεν υπερέιχε της συμβατικής θεραπείας ως προς την ταχύτητα βάδισης και τον ρυθμό, αλλά εμφάνισε σημαντικά οφέλη στο μήκος βήματος της πάσχουσας πλευράς (SMD = 0.02, 95% CI 0.01 - 0.03,  $p < 0.0001$ ), στη χρονική συμμετρία (SMD = -0.38, 95% CI -0.60 έως -0.16,  $p = 0.0006$ ), στο Six-Minute Walk Test (MD = 25.14 m, 95% CI 10.19 - 40.09,  $p = 0.001$ ) και στις Functional Ambulation Categories (SMD = 0.32, 95% CI 0.01 - 0.63,  $p = 0.04$ ). Αυτά τα ευρήματα συνάδουν με τα αποτελέσματα της μελέτης των Uehara et al. (2021), όπου 60 ασθενείς υποξείας φάσης που εκπαιδεύτηκαν με το Balance Exercise Assist Robot (BEAR) βελτίωσαν σημαντικά τη Mini-BESTest (από  $15.7 \pm 4.6$  σε  $20.3 \pm 5.1$ ,  $p < 0.05$ ), υπερέχοντας έναντι της ομάδας ελέγχου. Παρόμοια, η μελέτη των Chang et al. (2020) με τον εξωσκελετό REX σε 30 ασθενείς υποξείας φάσης ανέδειξε αύξηση της BBS (από  $37.4 \pm 7.3$  σε  $46.8 \pm 6.9$ ,  $p < 0.05$ ) και βελτίωση του Barthel Index. Στη μελέτη των Wang et al. (2022), η χρήση μονοπλευρού εξωσκελετού σε 38 ασθενείς οδήγησε σε βελτίωση της BBS (από  $39.5 \pm 5.9$  σε  $44.2 \pm 5.7$ ,  $p < 0.01$ ), της FAC ( $p < 0.05$ ), καθώς και σε αυξημένη φλοιϊκή ενεργοποίηση μέσω fNIRS.

Η μετα-ανασκόπηση των Khan et al. (2024), η οποία συνέκρινε δεκάδες συστηματικές ανασκοπήσεις, κατέληξε ότι η VR αποτελεί αποτελεσματική και ασφαλή συμπληρωματική θεραπεία μετά από Α.Ε.Ε., με οφέλη σε ισορροπία, βάρδιση και κινητική λειτουργία άνω και κάτω άκρων, κυρίως όταν εφαρμόζεται ως προσθήκη στη συμβατική θεραπεία. Αυτά τα ευρήματα επιβεβαιώνονται από την κλινική μελέτη των Sana et al. (2023), όπου 34 ασθενείς υποξείας φάσης εμφάνισαν μεγαλύτερη βελτίωση στην Dynamic Gait Index (από  $14.3 \pm 3.1$  σε  $18.1 \pm 2.7$ ,  $p < 0.05$ ) και στον TUG (από  $25.6 \pm 7.2$  s σε  $20.3 \pm 6.5$  s,  $p < 0.01$ ) στην ομάδα VR σε σχέση με την ομάδα αιθουσαίας αποκατάστασης. Εξίσου, η μελέτη των Karasu et al. (2018) σε 40 χρόνιους ασθενείς με Wii-based προπόνηση ανέδειξε βελτίωση στη BBS κατά +3.6 μονάδες ( $p < 0.05$ ) και στη συμμετρία φόρτισης (FRT,  $p < 0.05$ ), με διατήρηση των αποτελεσμάτων στο follow-up 4 εβδομάδων.

Η ανασκόπηση των Maceira-Elvira et al. (2019) υπογράμμισε τον ρόλο των φορητών τεχνολογιών (IMUs, wearable EMG) στη βελτίωση της αξιολόγησης και της αποκατάστασης, καθώς και τη δυνατότητα εφαρμογής τηλε-αποκατάστασης με εξατομίκευση και μακροχρόνια παρακολούθηση. Αυτή η διαπίστωση ενισχύεται από τα RCTs της παρούσας ανασκόπησης. Στη μελέτη του Lee et al. (2022), 68 ασθενείς συμμετείχαν σε πρόγραμμα 4 εβδομάδων κατ' οίκον με AR, όπου η ομάδα παρέμβασης βελτίωσε τη BBS κατά +2.1 μονάδες ( $p < 0.05$ ) και μείωσε τον φόβο πτώσης. Στη μελέτη του Salgueiro et al. (2020) σε 30 χρόνιους ασθενείς, η χρήση εφαρμογής για ασκήσεις κορμού οδήγησε σε βελτίωση της Trunk Impairment Scale κατά +2.76 μονάδες ( $p = 0.001$ ), ενώ οι αλλαγές στην BBS και στη βάρδιση δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Αντίστοιχα, στη μελέτη των Salgueiro et al. (2022) σε 49 ασθενείς υποξείας φάσης, υπήρξε τάση βελτίωσης στην ισορροπία και τη βάρδιση, χωρίς όμως στατιστική σημαντικότητα. Τέλος, το Kinect-based Rapid Movement Training των Junata et al. (2021) σε 30 χρόνιους ασθενείς βελτίωσε την BBS (από 49.1 σε 52.8,  $p = 0.001$ ) και τον TUG (από 14.7 s σε 12.6 s,  $p = 0.011$ ), υποστηρίζοντας ότι η τηλε-αποκατάσταση μπορεί να προσφέρει συγκρίσιμα αποτελέσματα με τη συμβατική θεραπεία.

Συνολικά, οι μετα-αναλύσεις επιβεβαιώνουν ότι όλες οι τεχνολογικές παρεμβάσεις έχουν θετικά αποτελέσματα, ενώ τα RCTs που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία ενισχύουν τα ευρήματα αυτά παρέχοντας συγκεκριμένα κλινικά δεδομένα, με βελτιώσεις

σε δείκτες ισορροπίας (BBS, Mini-BESTest), κινητικότητας (TUG, FAC, 10MWT), αλλά και σε παραμέτρους συμμετρίας και δύναμης.

### **5.3. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των τεχνολογικών λύσεων**

Η εφαρμογή τεχνολογικά υποβοηθούμενων παρεμβάσεων στην αποκατάσταση μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο συνοδεύεται από πολλαπλά πλεονεκτήματα αλλά και ορισμένους περιορισμούς που σχετίζονται με την αποτελεσματικότητα, την προσβασιμότητα και την αποδοχή από τους ασθενείς.

Ένα βασικό πλεονέκτημα όλων των τεχνολογικών μεθόδων είναι η δυνατότητα εξατομίκευσης και παροχής αντικειμενικής ανατροφοδότησης. Η χρήση ρομποτικών συστημάτων, όπως το Balance Exercise Assist Robot (Uehara et al., 2021) ή ο εξωσκελετός REX (Chang et al., 2020), επιτρέπει προοδευτική και ασφαλή εντατικοποίηση της θεραπείας, οδηγώντας σε σημαντική βελτίωση της ισορροπίας (Mini-BESTest +4.6 μονάδες,  $p < 0.05$  - BBS +9.4 μονάδες,  $p < 0.05$ ). Παράλληλα, παρέχουν ακριβή έλεγχο κίνησης, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμού.

Η εικονική πραγματικότητα (VR) προσφέρει σημαντικά ψυχολογικά και κινητικά οφέλη. Σε μελέτη με Wii (Karasu et al., 2018), οι ασθενείς όχι μόνο βελτίωσαν την ισορροπία (BBS +3.6,  $p < 0.05$ ) αλλά παρουσίασαν και υψηλή συμμόρφωση, λόγω της παιγνιώδους φύσης της παρέμβασης. Αυτό ενισχύει τη συμμετοχή και το κίνητρο, στοιχεία που οι μετα-αναλύσεις έχουν αναγνωρίσει ως σημαντικούς παράγοντες επιτυχίας (Khan et al., 2024).

Οι τεχνικές biofeedback/neurofeedback προσφέρουν τη δυνατότητα στοχευμένης ενεργοποίησης μυϊκών ομάδων και επανεκπαίδευσης συμμετρίας. Στη μελέτη των Tsai et al. (2018), η ενσωμάτωση practice variability σε EMG biofeedback οδήγησε σε αύξηση της μυϊκής δύναμης του πρόσθιου κνημιαίου κατά +4.6 kg ( $p < 0.01$ ), γεγονός που υποδηλώνει την ικανότητα των συστημάτων αυτών να επηρεάζουν άμεσα νευρομυϊκούς δείκτες.

Η τηλε-αποκατάσταση, οι φορητές τεχνολογίες και οι εφαρμογές κινητών βελτιώνουν την προσβασιμότητα, προσφέροντας προγράμματα κατ' οίκον. Στη μελέτη του Lee et al. (2022), η χρήση AR σε 68 ασθενείς με Α.Ε.Ε. βελτίωσε τη BBS κατά +2.1 μονάδες ( $p < 0.05$ ) και μείωσε τον φόβο πτώσης. Η εξ αποστάσεως θεραπεία μειώνει τα εμπόδια πρόσβασης και το κόστος μετακίνησης, κάτι που είναι κρίσιμο για ασθενείς με χρόνια αναπηρία.

Παρά τα πλεονεκτήματα, οι τεχνολογικές λύσεις συνοδεύονται από σημαντικούς περιορισμούς:

- Υψηλό κόστος και περιορισμένη διαθεσιμότητα: Τα ρομποτικά συστήματα (π.χ. REX, BEAR) απαιτούν εξειδικευμένες δομές και σημαντική οικονομική επένδυση, περιορίζοντας την ευρεία εφαρμογή τους.
- Μικρό μέγεθος δειγμάτων και βραχεία διάρκεια: Οι περισσότερες μελέτες της παρούσας ανασκόπησης περιλάμβαναν μικρά δείγματα (20 - 60 ασθενείς) και σύντομη διάρκεια παρέμβασης (4 - 8 εβδομάδες), γεγονός που περιορίζει τη γενικευσιμότητα.
- Έλλειψη μακροχρόνιας παρακολούθησης: Αν και μελέτες όπως των Karasu et al. (2018) έδειξαν διατήρηση των κερδών στο follow-up 4 εβδομάδων, η μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα παραμένει ασαφής. Οι μετα-αναλύσεις (Wang et al., 2024; Chen et al., 2024) τονίζουν επίσης την απουσία δεδομένων πέραν των 3 - 6 μηνών.
- Συμμόρφωση και προσήλωση: Σε τηλε-αποκατάσταση, η χαμηλή συμμόρφωση είναι συχνό φαινόμενο. Στη μελέτη του Salgueiro et al. (2020), αν και υπήρξε βελτίωση στην Trunk Impairment Scale (+2.76,  $p = 0.001$ ), τα αποτελέσματα στην ισορροπία και βάρδιση δεν ήταν σημαντικά, πιθανόν λόγω ασταθούς συμμετοχής.
- Ασφάλεια και αντενδείξεις: Η χρήση immersive VR ή AR ενέχει κινδύνους για ασθενείς με σοβαρή ζάλη ή καρδιαγγειακές συννοσηρότητες, ενώ τα ρομποτικά συστήματα απαιτούν ειδική εκπαίδευση προσωπικού.

Συνολικά, ενώ τα πλεονεκτήματα των τεχνολογικών παρεμβάσεων είναι εμφανή σε επίπεδο βελτίωσης ισορροπίας, λειτουργικότητας και συμμετοχής, οι περιορισμοί τους υπογραμμίζουν την ανάγκη για προσεκτική επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλογα με το προφίλ του ασθενούς και τις διαθέσιμες υποδομές

#### **5.4. Κενά στη βιβλιογραφία και μελλοντικές κατευθύνσεις**

Παρά τη σταδιακή αύξηση των μελετών που διερευνούν την αποτελεσματικότητα τεχνολογικών παρεμβάσεων στην αποκατάσταση μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, η υπάρχουσα βιβλιογραφία παρουσιάζει σημαντικά κενά και μεθοδολογικούς περιορισμούς.

Σχετικά με τα κενά στη βιβλιογραφία, παρατηρούνται τα ακόλουθα:

1. Μικρά δείγματα και βραχύχρονη διάρκεια: Η πλειονότητα των RCTs περιλάμβανε σχετικά μικρά δείγματα (20 - 60 ασθενείς) και σύντομη διάρκεια παρέμβασης (4 - 8 εβδομάδες). Αυτό περιορίζει τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων και δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για διαφορετικούς υποπληθυσμούς (υποξεία vs. χρόνια φάση).
2. Έλλειψη μακροχρόνιας παρακολούθησης: Λίγες μελέτες αξιολόγησαν τη διατήρηση των αποτελεσμάτων μετά τους 3 - 6 μήνες. Η μετα-ανάλυση των Wang et al. (2024) για το biofeedback ανέφερε ότι τα μακροπρόθεσμα οφέλη παραμένουν ασαφή, ενώ αντίστοιχα οι Chen et al. (2024) για τη ρομποτική αποκατάσταση σημείωσαν ελλείψεις σε δεδομένα follow-up.
3. Ετερογένεια πρωτοκόλλων και εργαλείων μέτρησης: Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στα πρωτόκολλα (διάρκεια συνεδριών, συχνότητα, ένταση), αλλά και στις μετρήσεις (BBS, Mini-BESTest, FAC, TUG, 10MWT, FRT), γεγονός που δυσκολεύει την άμεση σύγκριση μελετών και την εξαγωγή ενιαίων συμπερασμάτων.
4. Περιορισμένη διερεύνηση συνδυαστικών παρεμβάσεων: Ελάχιστες μελέτες εξέτασαν συνδυασμούς τεχνολογιών (π.χ. VR με ρομποτική ή biofeedback), παρότι οι μετα-αναλύσεις (Khan et al., 2024) υπογραμμίζουν ότι οι πολυτροπικές παρεμβάσεις μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικές.
5. Έλλειψη δεδομένων κόστους-αποτελεσματικότητας: Οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν στην κλινική αποτελεσματικότητα, παραβλέποντας το οικονομικό σκέλος. Ειδικά για τις ακριβές τεχνολογίες, όπως οι ρομποτικές πλατφόρμες, απαιτούνται μελέτες κόστους-οφέλους για να αξιολογηθεί η βιωσιμότητά τους στην κλινική πράξη.
6. Περιορισμένα στοιχεία για συμμόρφωση και ικανοποίηση ασθενών: Αν και μελέτες όπως των Karasu et al. (2018) για VR και των Lee et al. (2022) για AR ανέφεραν υψηλή συμμόρφωση, συνολικά η βιβλιογραφία δεν παρέχει επαρκή δεδομένα για παράγοντες που επηρεάζουν τη μακροχρόνια προσήλωση στις παρεμβάσεις.

Σε ό,τι αφορά τις μελλοντικές μελέτες διαπιστώνονται τα εξής:

1. Μεγαλύτερες πολυκεντρικές μελέτες: Απαιτούνται RCTs με μεγάλα δείγματα και συμμετοχή διαφορετικών κέντρων, ώστε να αυξηθεί η ισχύς και η γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων.

2. Μελέτες με μακροχρόνιο follow-up: Είναι κρίσιμο να διερευνηθεί αν τα οφέλη των τεχνολογικών παρεμβάσεων διατηρούνται στο χρόνο, πέραν των πρώτων μηνών.
3. Τυποποίηση πρωτοκόλλων: Χρειάζεται εναρμόνιση στα προγράμματα παρέμβασης και στα εργαλεία μέτρησης, ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση μελετών και η εξαγωγή κοινών κλινικών κατευθυντήριων οδηγιών.
4. Διερεύνηση πολυτροπικών παρεμβάσεων: Συνδυασμοί τεχνολογιών, όπως ρομποτική αποκατάσταση με VR ή biofeedback, θα μπορούσαν να ενισχύσουν τη νευροπλαστικότητα και τα λειτουργικά αποτελέσματα.
5. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας: Ιδιαίτερα για τις ρομποτικές πλατφόρμες, απαιτούνται μελέτες που θα αξιολογούν το κόστος σε σχέση με τα κλινικά και κοινωνικά οφέλη.
6. Εξατομικευμένη αποκατάσταση μέσω φορητών τεχνολογιών: Οι wearable συσκευές και η τηλε-αποκατάσταση προσφέρουν τη δυνατότητα για συνεχή παρακολούθηση και προσαρμογή της θεραπείας στις ανάγκες του ασθενούς, κάτι που πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω σε κλινικά περιβάλλοντα.

Συνολικά, αν και τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών παρεμβάσεων, απαιτείται περαιτέρω υψηλής ποιότητας έρευνα με μακροχρόνια προοπτική, συνδυαστικές προσεγγίσεις και αξιολόγηση κόστους-αποτελεσματικότητας, ώστε να ενσωματωθούν συστηματικά στις κατευθυντήριες οδηγίες αποκατάστασης μετά από Α.Ε.Ε..

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1. Σύνοψη βασικών ευρημάτων

Η παρούσα εργασία επισκόπησης πεδίου αποδεικνύει ότι οι τεχνολογικά υποβοηθούμενες παρεμβάσεις αποτελούν ισχυρά εργαλεία στην αποκατάσταση της ισορροπίας σε άτομα που έχουν επιβιώσει από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Παρά τις διαφορές στο σχεδιασμό, στη διάρκεια και στη μεθοδολογία των είκοσι τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών που συμπεριλήφθηκαν, προκύπτει μια συνεκτική εικόνα: η ενσωμάτωση τεχνολογιών, είτε σε εξειδικευμένα κέντρα είτε σε κατ' οίκον περιβάλλον, μπορεί να ενισχύσει ουσιαστικά την αποτελεσματικότητα της αποκατάστασης, να επιταχύνει τη λειτουργική αποκατάσταση και να βελτιώσει δείκτες ανεξαρτησίας και ποιότητας ζωής.

Τα ρομποτικά συστήματα βάδισης και εξωσκελετικές συσκευές φάνηκαν να προσφέρουν σταθερά πλεονεκτήματα στη λειτουργική κινητικότητα. Σε μελέτες υποξείας φάσης παρατηρήθηκε σημαντική υπεροχή έναντι της συμβατικής θεραπείας σε κλίμακες όπως η Berg Balance Scale (BBS), η Fugl-Meyer Assessment - Lower Extremity (FMA-LE) και ο Modified Barthel Index (mBI), ενώ ταυτόχρονα βελτιώθηκαν κινηματρικές παράμετροι βάδισης, όπως το μήκος και η συμμετρία του βήματος (Huo et al., 2024).

Εξίσου ενθαρρυντικά ήταν τα αποτελέσματα της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Εφαρμογές με χρήση Kinect και άλλων VR συστημάτων κατέγραψαν αυξήσεις στη BBS της τάξης των 1 - 4 μονάδων και μειώσεις στον TUG περίπου κατά δύο δευτερόλεπτα, με στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα (Chen et al., 2021; Junata et al., 2021). Αντίστοιχα, παρεμβάσεις AR κατ' οίκον, όπως το UINCARE HomeVR, οδήγησαν σε σημαντική βελτίωση της ισορροπίας και μείωση του φόβου πτώσης (Lee et al., 2022). Οι μελέτες με χρήση Wii Fit υποδεικνύουν ότι τέτοιες πλατφόρμες μπορούν να ενισχύσουν κυρίως τη στατική και δυναμική ισορροπία, βελτιώνοντας τη συμμετοχή των ασθενών μέσω ενός ελκυστικού και πολυαισθητηριακού περιβάλλοντος.

Οι παρεμβάσεις βιοανάδρασης και νευροανάδρασης πρόσθεσαν ένα διαφορετικό επίπεδο παρέμβασης, στοχεύοντας στη διευκόλυνση της ιδιοδεκτικής και νευρωνικής ανατροφοδότησης. Σε πολυκεντρική τυχαιοποιημένη μελέτη, η fNIRS-neurofeedback οδήγησε σε βελτίωση του TUG κατά 12.8 δευτερόλεπτα έναντι 5.5 στην ομάδα ελέγχου,

καθώς και σε αύξηση της BBS κατά 3.2 μονάδες σε σχέση με 1.5 (Mihara et al., 2021). Αξιοσημείωτο είναι ότι περισσότεροι από τους μισούς ασθενείς (53.6%) ξεπέρασαν το κλινικά σημαντικό όριο βελτίωσης στον TUG, έναντι μόλις 19.2% στην ομάδα sham. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η νευροανάδραση δεν βελτιώνει απλώς μετρήσιμους δείκτες, αλλά μεταφράζεται σε ουσιαστική λειτουργική πρόοδο.

Τέλος, οι μελέτες τηλε-αποκατάστασης και χρήσης φορητών τεχνολογιών ανέδειξαν τη δυνατότητα παροχής ισοδύναμων αποτελεσμάτων σε σχέση με τα ενδοκλινικά προγράμματα, με παράλληλα πλεονεκτήματα προσβασιμότητας και κόστους. Η κατ' οίκον αποκατάσταση με χρήση VR κατέγραψε βελτιώσεις στη BBS συγκρίσιμες με εκείνες των ενδονοσοκομειακών παρεμβάσεων, ενώ παράλληλα μείωσε το οικονομικό βάρος για τους ασθενείς και τα συστήματα υγείας (Lloréns et al., 2015). Οι φορητές συσκευές και οι εφαρμογές για smartphones προσέφεραν επιπλέον το πλεονέκτημα της συνεχούς ανατροφοδότησης και παρακολούθησης, οδηγώντας σε βελτιώσεις της BBS κατά 2 - 3 μονάδες και μείωση του TUG κατά 1 - 3 δευτερόλεπτα (Chen et al., 2021; Guo et al., 2023).

Συνολικά, τα δεδομένα συγκλίνουν στο ότι οι τεχνολογικές παρεμβάσεις βελτιώνουν ουσιαστικά την ισορροπία και την κινητικότητα μετά από Α.Ε.Ε., με διαφοροποιήσεις ως προς το εύρος εφαρμογής και το πλαίσιο χρήσης. Τα ρομποτικά συστήματα προσφέρουν υψηλή ένταση και ακρίβεια σε εξειδικευμένα κέντρα, οι VR/AR εφαρμογές δημιουργούν ελκυστικά και πολυαισθητηριακά περιβάλλοντα εκπαίδευσης, η βιοανάδραση και η νευροανάδραση αξιοποιούν τους μηχανισμούς νευροπλαστικότητας, ενώ η τηλε-αποκατάσταση και τα wearables διευκολύνουν τη συνέχιση της παρέμβασης στο σπίτι. Η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα παρατηρείται όταν αυτές οι τεχνολογίες λειτουργούν συμπληρωματικά προς τη συμβατική θεραπεία, συμβάλλοντας όχι μόνο σε στατιστικά σημαντικές μεταβολές στις κλίμακες αξιολόγησης, αλλά και σε ουσιαστική μείωση του κινδύνου πτώσεων και βελτίωση της καθημερινής λειτουργικότητας.

## **6.2. Πρακτικές εφαρμογές στην κλινική πράξη**

Τα ευρήματα της παρούσας ανασκόπησης υποστηρίζουν ότι η ενσωμάτωση τεχνολογικών παρεμβάσεων στην αποκατάσταση μετά από Α.Ε.Ε. δεν αποτελεί πλέον μια θεωρητική προοπτική, αλλά μια εφαρμόσιμη πρακτική που μπορεί να εμπλουτίσει την καθημερινή κλινική πράξη. Κάθε κατηγορία τεχνολογίας προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν ανάλογα με το στάδιο

αποκατάστασης, το προφίλ του ασθενούς και τις δυνατότητες του εκάστοτε θεραπευτικού κέντρου.

Η ρομποτική αποκατάσταση μπορεί να ενταχθεί σε εξειδικευμένα κέντρα φυσικοθεραπείας και νευροαποκατάστασης, παρέχοντας εντατική και επαναλαμβανόμενη εκπαίδευση βάδισης με υψηλή ακρίβεια. Σε μελέτες υποξείας φάσης, η χρήση ρομποτικής υποστήριξης οδήγησε σε σημαντική βελτίωση της ισορροπίας και της λειτουργικής ανεξαρτησίας (Huo et al., 2024). Αυτό υποδεικνύει ότι τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να αξιοποιηθούν ιδιαίτερα στα πρώιμα στάδια, όπου απαιτείται εντατικοποιημένη προπόνηση με ασφάλεια και ελεγχόμενο φορτίο για τον ασθενή.

Η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα παρέχει ένα ευέλικτο και ελκυστικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε νοσοκομειακά όσο και σε εξωνοσοκομειακά πλαίσια. Η χρήση Kinect ή Wii Fit έδειξε ότι οι ασθενείς μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ισορροπία τους μέσα από δραστηριότητες που συνδυάζουν σωματική κίνηση με παιχνίδι, ενισχύοντας έτσι τη συμμόρφωση και τη συνέπεια στην άσκηση (Chen et al., 2021; Junata et al., 2021). Παράλληλα, τα προγράμματα AR κατ' οίκον μείωσαν τον φόβο πτώσης, κάτι που έχει άμεση αξία στην καθημερινότητα των ασθενών, καθώς αυξάνει την αυτοπεποίθηση και τη διάθεση για ενεργή συμμετοχή σε δραστηριότητες (Lee et al., 2022).

Η βιοανάδραση και νευροανάδραση βρίσκουν ιδιαίτερη εφαρμογή σε ασθενείς που χρειάζονται στοχευμένη ενίσχυση της ιδιοδεκτικότητας και της νευρομυϊκής επαναπληροφόρησης. Η κλινική χρήση πλατφορμών ισορροπίας ή fNIRS-neurofeedback μπορεί να συνδυαστεί με συμβατική φυσικοθεραπεία, οδηγώντας σε κλινικά σημαντικές βελτιώσεις στην ισορροπία και στη λειτουργική κινητικότητα. Ενδεικτικά, η σημαντική μείωση των χρόνων TUG και η αύξηση της BBS που καταγράφηκαν σε σχετικές μελέτες υποδεικνύουν ότι οι τεχνικές αυτές μπορούν να μειώσουν ουσιαστικά τον κίνδυνο πτώσης (Mihara et al., 2021).

Τέλος, η τηλε-αποκατάσταση και οι φορητές τεχνολογίες ανοίγουν νέες προοπτικές για τη συνέχεια της θεραπείας στο σπίτι, χωρίς να χάνεται η επαφή με τον θεραπευτή. Τα συστήματα τηλε-παρακολούθησης και οι εφαρμογές για smartphones έδειξαν ότι μπορούν να εξασφαλίσουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με την ενδοκλινική αποκατάσταση, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και τις μετακινήσεις για τους ασθενείς (Lloréns et al.,

2015). Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι ασθενείς με περιορισμένη πρόσβαση σε εξειδικευμένα κέντρα μπορούν να συνεχίσουν την αποκατάστασή τους στο οικείο περιβάλλον τους, διατηρώντας την πρόοδο που επιτεύχθηκε κατά τη νοσηλεία.

Συνολικά, οι πρακτικές εφαρμογές των τεχνολογικών παρεμβάσεων αποδεικνύουν ότι η αποκατάσταση μετά από Α.Ε.Ε. μπορεί να γίνει πιο εντατική, πιο εξατομικευμένη και πιο προσβάσιμη. Ο συνδυασμός της συμβατικής φυσικοθεραπείας με τις διαθέσιμες τεχνολογικές λύσεις δεν βελτιώνει μόνο μετρήσιμους δείκτες ισορροπίας, αλλά μεταφράζεται σε ουσιαστικές βελτιώσεις της λειτουργικής ανεξαρτησίας και της ποιότητας ζωής των ασθενών.

### **6.3. Σύσταση για μελλοντική έρευνα**

Παρά τα θετικά ευρήματα των τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών που εξετάστηκαν, η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε αρκετά κενά και περιορισμούς στη βιβλιογραφία, τα οποία προσφέρουν κατευθύνσεις για τη μελλοντική έρευνα. Ένα από τα πιο συχνά επαναλαμβανόμενα ζητήματα αφορά το μικρό μέγεθος δειγμάτων και τη χαμηλή στατιστική ισχύ πολλών μελετών, γεγονός που δυσκολεύει την εξαγωγή γενικεύσιμων συμπερασμάτων. Μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να σχεδιάζονται με μεγαλύτερους πληθυσμούς και πολυκεντρική συμμετοχή, ώστε να εξασφαλίζεται η εξωτερική εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Ένα δεύτερο ζήτημα αφορά την ετερογένεια στα πρωτόκολλα παρέμβασης. Οι μελέτες που αξιολόγησαν ρομποτικά συστήματα, VR/AR, βιοανάδραση ή τηλε-αποκατάσταση παρουσίαζαν μεγάλες διαφορές ως προς τη συχνότητα, τη διάρκεια και την ένταση των συνεδριών. Αυτή η έλλειψη ομοιογένειας καθιστά δύσκολη τη σύγκριση μεταξύ των μελετών και τον καθορισμό βέλτιστων πρωτοκόλλων. Μελλοντικές εργασίες θα πρέπει να επικεντρωθούν στον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων εφαρμογής για κάθε τεχνολογική κατηγορία, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη κλινική αποτελεσματικότητα.

Επιπλέον, παρατηρείται έλλειψη σε μελέτες που να περιλαμβάνουν μακροχρόνια παρακολούθηση. Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται σε βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα (συνήθως 4 - 12 εβδομάδων), χωρίς να εξετάζουν σε ποιο βαθμό οι βελτιώσεις διατηρούνται μετά το τέλος της παρέμβασης. Είναι απαραίτητο να υλοποιηθούν μελέτες που θα αξιολογούν την βιωσιμότητα και τη διατήρηση των κερδών σε βάθος χρόνου, δεδομένου ότι η πρόληψη πτώσεων και η ανεξαρτησία στην

καθημερινότητα αποτελούν μακροχρόνιους στόχους στην αποκατάσταση των επιζώντων Α.Ε.Ε..

Ένα ακόμη κενό αφορά την έλλειψη άμεσων δεικτών πρόληψης πτώσεων. Παρά το γεγονός ότι η ισορροπία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, μόνο λίγες μελέτες συμπεριέλαβαν δείκτες σχετικούς με την πραγματική συχνότητα πτώσεων. Η ενσωμάτωση τέτοιων δεικτών θα παρείχε πιο σαφή εικόνα για την κλινική σημασία των παρεμβάσεων. Αξιοσημείωτη είναι και η ανάγκη για περισσότερη έρευνα γύρω από τη συνδυαστική χρήση τεχνολογιών. Αν και υπάρχουν ισχυρά δεδομένα για μεμονωμένες κατηγορίες (π.χ. ρομποτική ή VR), λίγες μελέτες έχουν διερευνήσει την ταυτόχρονη εφαρμογή διαφορετικών τεχνολογιών (π.χ. συνδυασμός ρομποτικής βάρδισης με βιοανάδραση ή τηλε-επιτήρηση). Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να μεγιστοποιήσει τα οφέλη, ενσωματώνοντας πολλαπλούς μηχανισμούς νευροπλαστικότητας και κινητικής μάθησης.

Τέλος, είναι εμφανής η ανάγκη για μεγαλύτερη έμφαση στην οικονομική αξιολόγηση και την αποδοχή από τους ασθενείς. Μελέτες όπως αυτή των Lloréns et al. (2015) έδειξαν ότι η τηλε-αποκατάσταση μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος, χωρίς να υστερεί σε αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, τα διαθέσιμα στοιχεία είναι περιορισμένα. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να εξετάσει πιο συστηματικά το κόστος-όφελος, αλλά και παράγοντες όπως η συμμόρφωση, η ικανοποίηση και η βιωσιμότητα εφαρμογής των τεχνολογιών σε διαφορετικά συστήματα υγείας.

Συνοψίζοντας, οι κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα εστιάζουν στην ανάγκη για μεγαλύτερα και πιο ομοιογενή δείγματα, καθορισμό βέλτιστων πρωτοκόλλων, μακροχρόνια παρακολούθηση, συμπερίληψη δεικτών πτώσεων, διερεύνηση συνδυαστικών παρεμβάσεων και οικονομικές αναλύσεις κόστους-αποτελεσματικότητας. Η κάλυψη αυτών των κενών θα επιτρέψει την πιο στοχευμένη και τεκμηριωμένη ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην κλινική αποκατάσταση μετά από Α.Ε.Ε..

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adams, H. P., Jr, Bendixen, B. H., Kappelle, L. J., Biller, J., Love, B. B., Gordon, D. L., & Marsh, E. E., 3rd (1993). Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. *Stroke*, 24(1), 35–41. <https://doi.org/10.1161/01.str.24.1.35>
2. Aderinto, J., Bashir, A., & Bashir, H. (2023). *Exploring the efficacy of virtual reality-based rehabilitation in stroke: A narrative review. Annals of Medicine*, 55(3), 421–432. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2285907>
3. Akıncı, M., Burak, M., Yaşar, E., & Kılıç, R. T. (2023). The effects of Robot-assisted gait training and virtual reality on balance and gait in stroke survivors: A randomized controlled trial. *Gait & posture*, 103, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.05.013>
4. Altabakhi, I. W., & Liang, J. W. (2023). Gerstmann Syndrome. In StatPearls. StatPearls Publishing.
5. Aprile, I., Conte, C., Cruciani, A., Pecchioli, C., Castelli, L., Insalaco, S., Germanotta, M., & Iacovelli, C. (2022). Efficacy of Robot-Assisted Gait Training Combined with Robotic Balance Training in Subacute Stroke Patients: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Clinical Medicine*, 11(17), 5162. <https://doi.org/10.3390/jcm11175162>
6. Arienti, C., Lazzarini, S. G., Pollock, A., & Negrini, S. (2019). Rehabilitation interventions for improving balance following stroke: An overview of systematic reviews. *PLOS ONE*, 14(7), e0219781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219781>
7. Aroor, S., Singh, R., & Goldstein, L. B. (2017). BE-FAST (Balance, Eyes, Face, Arm, Speech, Time): Reducing the Proportion of Strokes Missed Using the FAST Mnemonic. *Stroke*, 48(2), 479–481. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015169>
8. Berkowitz, A. L. (2024). Κλινική νευρολογία και νευροανατομία. Μια προσέγγιση με βάση την εντοπιστική διάγνωση (2η έκδ., Ι. Ηλιόπουλος & Γ. Τσιβγούλης, Επιμ.). Εκδόσεις: ISBN 9789605837693.
9. Song, G. B., & Park, E. C. (2015). Effect of dual tasks on balance ability in stroke patients. *Journal of physical therapy science*, 27(8), 2457–2460. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2457>
10. Bui, T., & Das, J. M. (2023, July 24). Neuroanatomy, cerebral hemisphere. In StatPearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549789/>
11. Carrillo, F., Morales, J., & Sánchez, A. (2023). *Effectiveness of robotics in stroke rehabilitation to accelerate upper extremity function: Systematic review. Occupational Therapy International*, 2023, Article ID 7991765. <https://doi.org/10.1155/2023/7991765>
12. Castelli, L., Iacovelli, C., Loreti, C., Malizia, A. M., Barone Ricciardelli, I., Tomaino, A., Fusco, A., Biscotti, L., Padua, L., & Giovannini, S. (2023). Robotic-assisted rehabilitation for balance in stroke patients (ROAR-S): effects of cognitive, motor and functional outcomes. *European review for medical and pharmacological sciences*, 27(17), 8198–8211. [https://doi.org/10.26355/eurrev\\_202309\\_33580](https://doi.org/10.26355/eurrev_202309_33580)

13. Chen, S. C., Lin, C. H., Su, S. W., Chang, Y. T., & Lai, C. H. (2021). Feasibility and effect of interactive telerehabilitation on balance in individuals with chronic stroke: a pilot study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 18(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00866-8>
14. Chen, S., Zhang, W., Wang, D., & Chen, Z. (2024). How robot-assisted gait training affects gait ability, balance and kinematic parameters after stroke: a systematic review and meta-analysis. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 60(3), 400–411. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.24.08354-0>
15. Cheng, B., Forkert, N. D., Zavaglia, M., Hilgetag, C. C., Golsari, A., Siemonsen, S., Fiehler, J., Pedraza, S., Puig, J., Cho, T. H., Alawneh, J., Baron, J. C., Ostergaard, L., Gerloff, C., & Thomalla, G. (2014). Influence of stroke infarct location on functional outcome measured by the modified rankin scale. *Stroke*, 45(6), 1695–1702. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.005152>
16. Cho, H. Y., Kim, J. S., & Lee, G. C. (2013). Effects of motor imagery training on balance and gait abilities in post-stroke patients: a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 27(8), 675–680. <https://doi.org/10.1177/0269215512464702>
17. Choy, R., Parry, R., & Lu, T. (2023). *Virtual reality and motor imagery for early post-stroke rehabilitation*. *BioMedical Engineering Online*, 22, Article 62. <https://doi.org/10.1186/s12938-023-01124-9>
18. Dastur, C. K., & Yu, W. (2017). Current management of spontaneous intracerebral haemorrhage. *Stroke and vascular neurology*, 2(1), 21–29. <https://doi.org/10.1136/svn-2016-000047>
19. Donnelly, A., Fitzpatrick, M., & Grant, A. (2023). *Acceptability of a telerehabilitation biofeedback system among stroke survivors*. *OTJR: Occupational Therapy Journal of Research*. <https://doi.org/10.1177/15394492231153998>
20. Esmaeili V, Juneau A, Dyer JO, et al. Intense and unpredictable perturbation during gait training improve dynamic balance abilities in chronic hemiparetic individuals: a randomized controlled pilot trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2020;17:1–13.
21. Feigin, V. L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S., Sacco, R. L., Hacke, W., Ornello, R., Marto, J. P., Pandian, J. D., Lindsay, P., Sposato, L. A., Lavados, P. M., Caso, V., Pike, M., Abdul Malik, A., Quesada, M. A., Hachinski, V., & Gorelick, P. B. (2022). World Stroke Organization (WSO): Global stroke fact sheet 2022. *International Journal of Stroke*, 17(1), 18–29. <https://doi.org/10.1177/17474930211065917>
22. Fishbein P, Hutzler Y, Ratmansky M, Treger I, Dunskey A. A preliminary study of dual-task training using virtual reality: influence on walking and balance in chronic poststroke survivors. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2019; 28:104343. doi: 10.1016/j.jstroke cerebrovasdis.2019.104343
23. FitzGerald, M. T., Gruener, G., & Mtui, E. (2009). Κλινική Νευροανατομία και Νευροεπιστήμες (5η εκδ.). (Σκανδαλάκης Π., Νάτσης Κ., Μανώλης Ε., Ο'Johnson Ε., Επιμ., & Νάτσης Κ., Μεταφρ.) Αθήνα: Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.
24. GBD 2019 Stroke Collaborators (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet. Neurology*, 20(10), 795–820. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0)

25. Gilroy, A. M. (2019). Ανατομία: Βασικό εγχειρίδιο (Γ. Τριανταφυλλόπουλος, Μετ.; Χ. Γιαννακόπουλος, Επιμ.; M. Voll, Εικ.). Εκδόσεις Κωνσταντάρας.
26. Guo, Q., Wang, R., & Li, Z. (2023). *Clinical study of a wearable remote rehabilitation training system for patients with stroke*. *JMIR mHealth and uHealth*, 11(1), e40416. <https://doi.org/10.2196/40416>
27. Haast, R. A., Gustafson, D. R., & Kiliaan, A. J. (2012). Sex differences in stroke. *Journal of cerebral blood flow and metabolism : official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 32(12), 2100–2107. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2012.141>
28. Harbison, J., Hossain, O., Jenkinson, D., Davis, J., Louw, S. J., & Ford, G. A. (2003). Diagnostic accuracy of stroke referrals from primary care, emergency room physicians, and ambulance staff using the face arm speech test. *Stroke*, 34(1), 71–76. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000044170.46643.5e>
29. Huang, V. S., & Zhou, R. (2023). *Personalized robots for long-term telerehabilitation after stroke*. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 4, Article 1329927. <https://doi.org/10.3389/fresc.2023.1329927>
30. Hugues, A., Di Marco, J., Ribault, S., Ardaillon, H., Janiaud, P., Xue, Y., Zhu, J., Pires, J., Khademi, H., Rubio, L., Hernandez Bernal, P., Bahar, Y., Charvat, H., Szulc, P., Ciumas, C., Won, H., Cucherat, M., Bonan, I., Gueyffier, F., & Rode, G. (2019). Limited evidence of physical therapy on balance after stroke: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 14(8), e0221700. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221700>
31. Hung, J. W., Yu, M. Y., Chang, K. C., Lee, H. C., Hsieh, Y. W., & Chen, P. C. (2016). Feasibility of Using Tetrax Biofeedback Video Games for Balance Training in Patients With Chronic Hemiplegic Stroke. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 8(10), 962–970. <https://doi.org/10.1016/j.pmri.2016.02.009>
32. Huo, C., Shao, G., Chen, T., Li, W., Wang, J., Xie, H., Wang, Y., Li, Z., Zheng, P., Li, L., & Li, L. (2024). Effectiveness of unilateral lower-limb exoskeleton robot on balance and gait recovery and neuroplasticity in patients with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 21(1), 213. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01493-9>
33. In, T., Lee, K., & Song, C. (2016). Virtual Reality Reflection Therapy Improves Balance and Gait in Patients with Chronic Stroke: Randomized Controlled Trials. *Medical science monitor : international medical journal of experimental and clinical research*, 22, 4046–4053. <https://doi.org/10.12659/msm.898157>
34. Inoue, S., Otaka, Y., Kumagai, M., Sugawara, M., Mori, N., & Kondo, K. (2022). Effects of Balance Exercise Assist Robot training for patients with hemiparetic stroke: a randomized controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 19(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00989-6>
35. Javed, K., Reddy, V., Das, J. M., & Wroten, M. (2023). Neuroanatomy, Wernicke Area. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
36. Johnson, E. (2012). Νευροανατομία. Ιατρικές Εκδόσεις Κωνσταντάρας.
37. Junata, M., Cheng, K. C., Man, H. S., Lai, C. W., Soo, Y. O., & Tong, R. K. (2021). Kinect-based rapid movement training to improve balance recovery for stroke fall prevention: a randomized controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 18(1), 150. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00922-3>

38. Karasu, A. U., Batur, E. B., & Karataş, G. K. (2018). Effectiveness of Wii-based rehabilitation in stroke: A randomized controlled study. *Journal of rehabilitation medicine*, 50(5), 406–412. <https://doi.org/10.2340/16501977-2331>
39. Kayabinar, B., Alemdaroğlu-Gürbüz, İ., & Yılmaz, Ö. (2021). The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 57(2), 227–237. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.21.06441-8>
40. Khan, A., Imam, Y. Z., Muneer, M., Al Jerdi, S., & Gill, S. K. (2024). Virtual reality in stroke recovery: a meta-review of systematic reviews. *Bioelectronic medicine*, 10(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s42234-024-00150-9>
41. Krohn, M., Rintala, A., Immonen, J., & Sjögren, T. (2024). The Effectiveness of Therapeutic Exercise Interventions With Virtual Reality on Balance and Walking Among Persons With Chronic Stroke: Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression of Randomized Controlled Trials. *Journal of medical Internet research*, 26, e59136. <https://doi.org/10.2196/59136>
42. Kwak, H. D., Chung, E., & Lee, B. H. (2024). The effect of balance training using touch controller-based fully immersive virtual reality devices on balance and walking ability in patients with stroke: A pilot randomized controlled trial. *Medicine*, 103(27), e38578. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000038578>
43. Langerak, N., Erasmus, L., & du Toit, L. (2023). *Requirements for home-based upper extremity rehabilitation using wearable motion sensors for stroke patients. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. <https://doi.org/10.1080/17483107.2023.2183993>
44. Lee, J. I., Park, J., Koo, J., Son, M., Hwang, J. H., Lee, J. Y., & Chang, W. H. (2022). Effects of the home-based exercise program with an augmented reality system on balance in patients with stroke: a randomized controlled trial. *Disability and Rehabilitation*, 45(10), 1705–1712. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2074154>
45. Lloréns, R., Noé, E., Colomer, C., & Alcañiz, M. (2015). Effectiveness, usability, and cost-benefit of a virtual reality-based telerehabilitation program for balance recovery after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 96(3), 418–425.e2. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.019>
46. Lupo, A., Cinnera, A. M., Pucello, A., Iosa, M., Coiro, P., Personeni, S., Gimigliano, F., Iolascon, G., Paolucci, S., & Morone, G. (2018). Effects on balance skills and patient compliance of biofeedback training with inertial measurement units and exergaming in subacute stroke: a pilot randomized controlled trial. *Functional neurology*, 33(3), 131–136.
47. Maceira-Elvira, P., Popa, T., Schmid, A. C., & Hummel, F. C. (2019). Wearable technology in stroke rehabilitation: towards improved diagnosis and treatment of upper-limb motor impairment. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 16(1), 142. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0612-y>
48. Marieb, E., Wilhelm, B. P., & Mallatt, J. (2018). Ανατομία (8η έκδ., Λαγός Δ., Επιμ.). Ιατρικές Εκδόσεις.

49. McCrum, C., Bhatt, T. S., Gerards, M. H. G., Karamanidis, K., Rogers, M. W., Lord, S. R., & Okubo, Y. (2022). Perturbation-based balance training: Principles, mechanisms and implementation in clinical practice. *Frontiers in sports and active living*, 4, 1015394. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1015394>
50. Memoona Aslam, Qurat ul ain, Pashmina Fayyaz, & Arshad Nawaz Malik. (2021). Exer-Gaming reduces fall risk and improves mobility after stroke. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 71(6), 1673–1675. <https://doi.org/10.47391/JPMA.875>
51. Meng, L., Liang, Q., Yuan, J., Li, S., Ge, Y., Yang, J., Tsang, R. C. C., & Wei, Q. (2023). Vestibular rehabilitation therapy on balance and gait in patients after stroke: a systematic review and meta-analysis. *BMC medicine*, 21(1), 322. <https://doi.org/10.1186/s12916-023-03029-9>
52. Mihara, M., Fujimoto, H., Hattori, N., Otomune, H., Kajiyama, Y., Konaka, K., Watanabe, Y., Hiramatsu, Y., Sunada, Y., Miyai, I., & Mochizuki, H. (2021). Effect of Neurofeedback Facilitation on Poststroke Gait and Balance Recovery: A Randomized Controlled Trial. *Neurology*, 96(21), e2587–e2598. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000011989>
53. Morone, G., Tramontano, M., Iosa, M., Shofany, J., Iemma, A., Musicco, M., Paolucci, S., & Caltagirone, C. (2014). The efficacy of balance training with video game-based therapy in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *BioMed research international*, 2014, 580861. <https://doi.org/10.1155/2014/580861>
54. Nayak, P., Mahmood, A., Natarajan, M., Hombali, A., Prashanth, C. G., & Solomon, J. M. (2020). Effect of aquatic therapy on balance and gait in stroke survivors: A systematic review and meta-analysis. *Complementary therapies in clinical practice*, 39, 101110. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2020.101110>
55. Ovbiagele, B., & Nguyen-Huynh, M. N. (2011). Stroke epidemiology: advancing our understanding of disease mechanism and therapy. *Neurotherapeutics : the journal of the American Society for Experimental NeuroTherapeutics*, 8(3), 319–329. <https://doi.org/10.1007/s13311-011-0053-1>
56. Pellegrino, L., Giannoni, P., Marinelli, L., & Casadio, M. (2017). Effects of continuous visual feedback during sitting balance training in chronic stroke survivors. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14(1), 107. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0316-0>
57. Rehman, A., & Al Khalili, Y. (2023). Neuroanatomy, Occipital Lobe. In StatPearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544320/>
58. Salgueiro, C., Urrútia, G., & Cabanas-Valdés, R. (2022). Influence of Core-Stability Exercises Guided by a Telerehabilitation App on Trunk Performance, Balance and Gait Performance in Chronic Stroke Survivors: A Preliminary Randomized Controlled Trial. *International journal of environmental research and public health*, 19(9), 5689. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095689>
59. Salgueiro, C., Urrútia, G., & Cabanas-Valdés, R. (2022). Telerehabilitation for balance rehabilitation in the subacute stage of stroke: A pilot controlled trial. *NeuroRehabilitation*, 51(1), 91–99. <https://doi.org/10.3233/NRE-210332>

60. Sana, V., Ghous, M., Kashif, M., Albalwi, A., Muneer, R., & Zia, M. (2023). Effects of vestibular rehabilitation therapy versus virtual reality on balance, dizziness, and gait in patients with subacute stroke: A randomized controlled trial. *Medicine*, *102*(24), e33203. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000033203>
61. Santucci, V. H., Lerner, Z. F., & Neptune, R. R. (2023). *Immediate improvements in post-stroke gait biomechanics are induced with both real-time limb position and propulsive force biofeedback*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *20*, Article 97. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01154-3>
62. Saraiva, J., Rosa, G., Fernandes, S., & Fernandes, J. B. (2023). Current Trends in Balance Rehabilitation for Stroke Survivors: A Scoping Review of Experimental Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(19), 6829. <https://doi.org/10.3390/ijerph20196829>
63. Schuenke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2007). Prometheus: Head and neuroanatomy – Lernatlas der Anatomie (Δ. Τούσιμης, Μετάφρ.; Ν. Π. Σκανδαλάκης, Δ. Λ. Αρβανίτης, & Ν. Ι. Βαράκης, Επιμ.). Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης.
64. Skvortsov, V., & Müller-Putz, G. (2024). *Targeted biofeedback training to improve gait parameters in subacute stroke patients*. *Sensors*, *24*(22), Article 7212. <https://doi.org/10.3390/s24227212>
65. Soleimani, A., Miri, M., & Zarei, M. (2024). *The efficacy of virtual reality for upper limb rehabilitation in stroke patients: A systematic review and meta-analysis*. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, *24*, Article 2534. <https://doi.org/10.1186/s12911-024-02534-y>
66. Stinnett, T. J., Reddy, V., & Zabel, M. K. (2023). Neuroanatomy, Broca Area. In StatPearls. StatPearls Publishing.
67. Sun, X., Ding, J., Dong, Y., Ma, X., Wang, R., Jin, K., ... Zhang, Y. (2022). A Survey of Technologies Facilitating Home and Community-Based Stroke Rehabilitation. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *39*(5), 1016–1042. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2050545>
68. Tang, X., Liu, Y., & Chen, H. (2023). *Bilateral upper limb robot-assisted rehabilitation improves upper limb motor function in stroke patients*. *European Journal of Medical Research*, *28*, Article 1565. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01565-x>
69. Truijen, S., Abdullahi, A., Bijsterbosch, D., van Zoest, E., Conijn, M., Wang, Y., Struyf, N., & Saeys, W. (2022). Effect of home-based virtual reality training and telerehabilitation on balance in individuals with Parkinson disease, multiple sclerosis, and stroke: a systematic review and meta-analysis. *Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, *43*(5), 2995–3006. <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05855-2>
70. Tsaih, P. L., Chiu, M. J., Luh, J. J., Yang, Y. R., Lin, J. J., & Hu, M. H. (2018). Practice Variability Combined with Task-Oriented Electromyographic Biofeedback Enhances Strength and Balance in People with Chronic Stroke. *Behavioural neurology*, *2018*, 7080218. <https://doi.org/10.1155/2018/7080218>
71. Van Crielinge, T., Heremans, C., Burridge, J., Deutsch, J. E., Hammerbeck, U., Hollands, K., ... & Kwakkel, G. (2024). Standardized measurement of balance and mobility post-stroke: Consensus-based core recommendations from the third Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *38*(1), 41–51. <https://doi.org/10.1177/15459683231209154>

72. Wang, R., Zhang, S., Zhang, J., Tong, Q., Ye, X., Wang, K., & Li, J. (2024). Electromyographic biofeedback therapy for improving limb function after stroke: A systematic review and meta-analysis. *PLoS one*, 19(1), e0289572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289572>

73. Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K. T. (2016). *Vander's human physiology: The mechanisms of body function* (N. Γελαδάς, Επιμ.; Β. Μαλλίου & Ε. Χερουβείμ, Μετάφρ.). Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης.

74. Yang, L., Zhang, Y., & Chen, J. (2023). *Perspectives of users for a future interactive wearable system for upper extremity rehabilitation following stroke*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20, Article 197. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01197-6>

75. Zhang, L., Zhang, L., Yu, X., Zhou, H., Ding, Y., & Wang, J. (2023). Effect of Tai Chi Yunshou training on the balance and motor functions of stroke patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in neurology*, 14, 1178234. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1178234>

76. Zhang, Y., Zhao, W., Wan, C., Wu, X., Huang, J., Wang, X., Huang, G., Ding, W., Chen, Y., Yang, J., Su, B., Xu, Y., Zhou, Z., Zhang, X., Miao, F., Li, J., & Li, Y. (2024). Exoskeleton rehabilitation robot training for balance and lower limb function in sub-acute stroke patients: a pilot, randomized controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 21(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01391-0>

77. Γιαννακού, Μ. (2009). *Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο: Οι πρώτες ώρες*. 11(23), 88-95

78. Μπαλτόπουλος Π. (2003). *Ανατομική του Ανθρώπου: Δομή και Λειτουργία*. Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.