

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΔΥΝΑΜΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΒΑΔΙΣΜΑ ΑΤΟΜΩΝ
ΜΕ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ**

Φωτιάδου Στυλιανή

Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων για την απόκτηση του μεταπτυχιακού τίτλου του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Άσκηση και Ποιότητα Ζωής» των Τμημάτων Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Παν/μίου Θράκης και του Παν/μίου Θεσσαλίας στην κατεύθυνση «Πρόληψη – Παρέμβαση – Αποκατάσταση»

Κομοτηνή 2004

Εγκεκριμένο από το Καθηγητικό σώμα:

1^{ος} επιβλέπων: Επικ. Καθηγητής Αγγελούσης Νικόλαος

2^{ος} επιβλέπων: Επικ. Καθηγητής Γούργουλης Βασίλειος

3^η επιβλέπουσα: Επικ. Καθηγήτρια Μάλλιου Παρασκευή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 4683/1

Ημερ. Εισ.: 25-10-2005

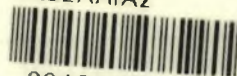
Δωρεά:

Ταξινόμησις Κωδικός: Δ

612 . 76

ΦΩΤ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000077690

© 2005

Στυλιανής Φωτιάδου

ALL RIGHTS RESERVED

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ) ορίζεται ως αιφνίδια εμφάνιση συμπτωμάτων λόγω εστιασμένης διαταραχής της εγκεφαλικής λειτουργίας, που οφείλεται σε διαταραχή της αιμάτωσης και έχει διάρκεια τουλάχιστον 24 ώρες. Καθώς η συχνότητα εμφάνισης της νόσου ανέρχεται στο 5-10 % και πρωταρχικό στόχο των προγραμμάτων αποκατάστασης των ασθενών με ΑΕΕ αποτελεί η επανεκπαίδευση της βάρδισης τους, η εξασφάλιση μιας αξιόπιστης μεθόδου αξιολόγησης της βάρδισης είναι αναγκαία. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση της επαναληπτικότητας επιλεγμένων κινηματικών παραμέτρων και των καμπυλών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στη βάρδιση ασθενών με ΑΕΕ. Τρεις ασθενείς μέσης ηλικίας $73,3 \pm 3,3$ ετών συμμετείχαν στην έρευνα. Ένα σύστημα ανάλυσης της κίνησης με δύο κάμερες που ήταν συγχρονισμένο με ένα δυναμοδάπεδο και δύο ζεύγη φωτοκυττάρων χρησιμοποιήθηκαν για καταγράψουν την κίνηση των ασθενών καθώς εκτελούσαν 10 δοκιμασίες βάρδισης στη φυσική τους ταχύτητα και στις δυο κατευθύνσεις. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι με την εξαίρεση της γωνίας του ποδιού και του πλάτους της βάσης στήριξης, όλες οι υπόλοιπες χωρο-χρονικές παράμετροι έδειξαν πολύ καλή επαναληπτικότητα. Επιπλέον, και οι τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους παρουσίασαν πολύ μεγάλη επαναληπτικότητα σε όλους τους εξεταζόμενους. Ειδικότερα, την μεγαλύτερη επαναληπτικότητα παρουσίασε η κατακόρυφη συνιστώσα, ενώ η προσθιοπίσθια συνιστώσα έδειξε μεγαλύτερη επαναληπτικότητα από την εγκάρσια συνιστώσα. Συμπερασματικά, φαίνεται πως δύο τουλάχιστον προσπάθειες είναι αρκετές για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων για την υποστήριξη κλινικών αποφάσεων, από την ανάλυση των χωρο-χρονικών παραμέτρων και των παραμέτρων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα ασθενών με ΑΕΕ.

Λέξεις κλειδιά: Ανάλυση βάρδισης, Αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, Επαναληπτικότητα, Χωροχρονικά χαρακτηριστικά, Δύναμη αντίδρασης του εδάφους

ABSTRACT

Stroke is a rapidly developed clinical sign of focal disturbance of cerebral function of presumed vascular origin and of more than 24 hours' duration. Since the prevalence of stroke is approximately 5-10 ‰ and the retraining of walking is a major goal in a rehabilitation program for patients with stroke, the reliability of a gait analysis method is an important consideration. The purpose of the current study was to determine the repeatability of selected kinematic parameters and ground reaction force (GRF) waveforms of stroke patients' gait. Three patients with an average age of 73,3 years (SD=3,3) participated in the study. A two-camera video system synchronized with a force platform and two pair of photocells were used to collect data from 10 trials of walking at natural speed, in each direction. The results revealed that most spatio-temporal characteristics showed high reproducibility, except for the foot angle and the stride width. Moreover, the waveforms of all the three components of the ground reaction force showed excellent repeatability in all patients. The vertical GRF was the most reproducible component and the repeatability of the horizontal fore-aft GRF was greater than that of the medial-lateral GRF. In conclusion, it seems to be reasonable to base clinical decisions for stroke patients on the results of a gait analysis involving spatio-temporal and ground reaction force parameters, using at least two trials in most cases.

Key words: Gait analysis, Stroke, Repeatability, Spatio-temporal characteristics, Ground reaction force



Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το πιο μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να το εκφράσω στον Καθηγητή μου κ. Αγγελούση Νίκο, για την αμέριστη συμπαράσταση και τη συνεχή καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής, όπως επίσης και στους καθηγητές κ. Γούργουλη Βασίλη και κα. Μάλλιου Βίβιαν.

Πολλά ευχαριστώ στο Διευθυντή του Νευρολογικού Τμήματος του Γενικού Νοσοκομείου Κομοτηνής κ. Σύριο Ναμπί, που αποδέχθηκε με ενθουσιασμό την πρόσκληση για την επιστημονική διαμόρφωση του δείγματος της εργασίας και κυρίως στους ιατρούς και φίλους κα. Αντωνίου Μαρίνα και κ. Ατζεμιδάκη Γιώργο, για την πολύτιμη συμβολή τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συμφοιτήριά μου κα. Γιαννακού Ερασμία, που μοιράστηκε τις αγωνίες μου και με στήριξε ουσιαστικά σε όλες τις φάσεις αυτής της προσπάθειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ.....	xii
Κεφάλαιο	
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Ορισμός του προβλήματος.....	4
Χρησιμότητα της έρευνας	7
Σκοπός της έρευνας.....	8
Υποθέσεις της έρευνας.....	8
Ερευνητικές υποθέσεις.....	8
Στατιστικές υποθέσεις	8
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	9
Χωροχρονικά χαρακτηριστικά.....	9
Επαναληπτικότητα χωροχρονικών χαρακτηριστικών σε ασθενείς με ΑΕΕ	9
Επαναληπτικότητα χωροχρονικών χαρακτηριστικών σε υγιείς ενήλικες.....	11
Άλλες μελέτες των χωροχρονικών χαρακτηριστικών βάρδισης σε άτομα με ΑΕΕ.....	14
Χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους.....	21
Επαναληπτικότητα χαρακτηριστικών δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε υγιείς ενήλικες	22
Άλλες μελέτες των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους βάρδισης σε άτομα με ΑΕΕ.....	23
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	26
Δείγμα.....	26
Περιγραφή των οργάνων μέτρησης.....	26
Διαδικασία μέτρησης	28
Προετοιμασία του χώρου των μετρήσεων	28
Προετοιμασία των ασθενών	29

Διεξαγωγή των μετρήσεων.....	29
Επεξεργασία των εικόνων	30
Επεξεργασία των δεδομένων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους	33
Σχεδιασμός της έρευνας.....	33
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
Χωρο-χρονικές παράμετροι	34
Δύναμη αντίδρασης του εδάφους.....	34
Οριζόντια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κάθετη στη διεύθυνση βάρδισης (F_x)	39
Οριζόντια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στη διεύθυνση προώθησης της βάρδισης (F_y)	43
Κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (F_z)	46
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	50
Χωροχρονικά χαρακτηριστικά.....	50
Χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους.....	52
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.....	53
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1. Μέσοι όροι (T.A.) των χρονικών παραμέτρων του βαδίσματος, για το δεξιό (Δ) και αριστερό (Α) κάτω άκρο των εξεταζομένων 35
- Πίνακας 2. Μέσοι όροι (T.A.) των παραμέτρων του χώρου και των χωρο-χρονικών παραμέτρων του βαδίσματος, για το δεξιό (Δ) και αριστερό (Α) κάτω άκρο των εξεταζομένων 36
- Πίνακας 3. Συντελεστές μεταβλητότητας (%) των παραμέτρων του βαδίσματος, για το δεξιό (Δ) και αριστερό (Α) κάτω άκρο των εξεταζομένων..... 37
- Πίνακας 4. Συντελεστές πολλαπλής συσχέτισης (CMC), μεταβλητότητας (CV%), εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC₁₀) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC₁) και ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων προσπαθειών (K), για την Fx των δύο κάτω άκρων στους τρεις εξεταζόμενους. 42
- Πίνακας 5. Συντελεστές πολλαπλής συσχέτισης (CMC), μεταβλητότητας (CV%), εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC₁₀) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC₁) και ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων προσπαθειών (K), για την Fy των δύο κάτω άκρων στους τρεις εξεταζόμενους. 46
- Πίνακας 6. Συντελεστές πολλαπλής συσχέτισης (CMC), μεταβλητότητας (CV%), εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC₁₀) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC₁) και ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων προσπαθειών (K), για την Fz των δύο κάτω άκρων στους τρεις εξεταζόμενους 49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Προσθιοπίσθια διατομή εγκεφάλου.....	1
Σχήμα 2. Αρτηρίες του εγκεφάλου.....	2
Σχήμα 3. Σχηματική αναπαράσταση των αναστομών των αγγείων του εγκεφάλου ...	2
Σχήμα 4. Εγκεφαλικές περιοχές ελέγχου λειτουργιών του σώματος.....	3
Σχήμα 5. Αισθητική και κινητική αντιπροσώπευση των διάφορων σημείων του σώματος στο φλοιό του εγκεφάλου, κατά Penfield.....	3
Διάγραμμα 1. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α.....	39
Διάγραμμα 2. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α	40
Διάγραμμα 3. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.....	40
Διάγραμμα 4. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.....	41
Διάγραμμα 5. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ	41
Διάγραμμα 6. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.....	42
Διάγραμμα 7. Μέσος όρος (Mean Fy), ανώτερο (Upper Fy) και κατώτερο (Lower Fy) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fy του δεξιού (α) και του αριστερού (β) κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α	43
Διάγραμμα 8. Μέσος όρος (Mean Fy), ανώτερο (Upper Fy) και κατώτερο (Lower Fy) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fy του δεξιού (α) και του αριστερού (β) κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β	44
Διάγραμμα 9. Μέσος όρος (Mean Fy), ανώτερο (Upper Fy) και κατώτερο (Lower Fy) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fy του δεξιού (α) και του αριστερού (β) κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.....	45

- Διάγραμμα 10.** Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α..... 46
- Διάγραμμα 11.** Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α 47
- Διάγραμμα 12.** Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β..... 47
- Διάγραμμα 13.** Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β..... 48
- Διάγραμμα 14.** Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ 48
- Διάγραμμα 15.** Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ..... 49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

- ΑΕΕ: Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο
- ICC: Intraclass Correlation Coefficient (Συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης)
- CV: Coefficient of variation (Συντελεστής διακύμανσης)
- CMC: Coefficient of multiple covariance (Συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης)

ΕΠΙΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΒΑΔΙΣΜΑ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ

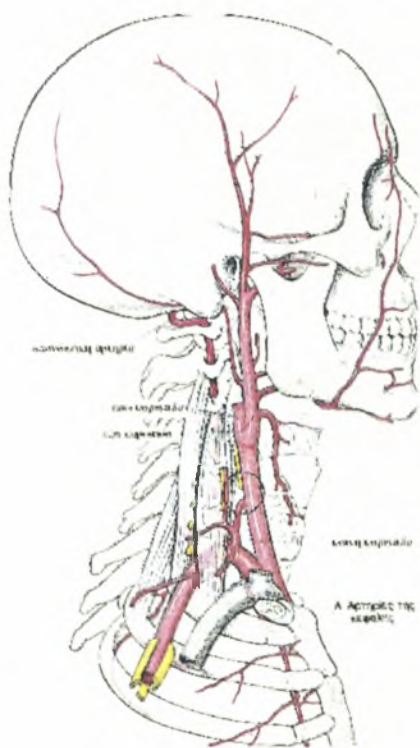
Αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ) είναι η γρήγορη ανάπτυξη συμπτωμάτων που οφείλονται στην εστιακή διαταραχή της αιμάτωσης του εγκεφάλου και έχουν διάρκεια μεγαλύτερη των 24 ωρών. Η διαταραχή της αιμάτωσης του εγκεφάλου μπορεί να οφείλεται σε απόφραξη κάποιων αγγείων (ισχαιμικού τύπου ΑΕΕ), ή σε αιμορραγία τους (αιμορραγικού τύπου ΑΕΕ). Η ισχαιμία των αγγείων του εγκεφάλου μπορεί να οφείλεται είτε σε κάποιον θρόμβο (πήγμα αίματος), που αποσπάστηκε από κάποιο άλλο σημείο του αγγειακού δικτύου του σώματος και που τελικά απόφραξε τα αγγεία του εγκεφάλου λόγω του μικρού τους μεγέθους, είτε σε δημιουργία αθηρωματικών πλακών, δηλαδή επικόλληση κυττάρων στα τοιχώματα των αγγείων με αποτέλεσμα την προοδευτική στένωσή τους. Η αιμορραγία μπορεί να πραγματοποιηθεί στα αγγεία του εγκεφάλου (ενδεγκεφαλική αιμορραγία) ή στον υπαραχνοειδή χώρο (υπαραχνοειδής αιμορραγία) (Σχήμα 1) (Elkind, 2003; Durward, Baer, Wade, 1998).



Σχήμα 1. Προσθιοπίσθια διατομή εγκεφάλου. Ο υπαραχνοειδής χώρος είναι γραμμοσκιασμένος. (Kahle W, Leonhardt H, Platzer W (1984) *Εγχειρίδιο ανατομίας του ανθρώπου*. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας)

Ο εγκέφαλος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος ακόμη και σε μικρής διάρκειας διαταραχή της αιμάτωσής του. Διαταραχή της αιμάτωσης μερικών δευτερολέπτων μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια των αισθήσεων του ατόμου, ενώ διαταραχή τριών λεπτών θα έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση μόνιμων βλαβών. Τέλος, διαταραχή μεγαλύτερη των πέντε λεπτών, υπό κανονικές συνθήκες, θα έχει ως αποτέλεσμα τον θάνατο. Υπάρχουν, ωστόσο, προστατευτικοί μηχανισμοί για την αποτροπή των δυσάρεστων αυτών συνεπειών (Durward et al, 1998). Ένας από αυτούς τους μηχανισμούς οφείλεται στην ανατομία των αγγείων της περιοχής, που συνδέονται μεταξύ τους με αναστομώσεις, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η δημιουργία εναλλακτικής οδού αιμάτωσης στην περίπτωση που η κύρια οδός έχει προσβληθεί (Σχήμα 2 και 3) (Durward et al, 1998).

Ανεξάρτητα από τη φύση της διαταραχής της αιμάτωσης, τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι τα ίδια και εξαρτώνται από το σημείο του εγκεφάλου που υφίσταται την διαταραχή. Καθώς τα διάφορα σημεία του εγκεφάλου ελέγχουν και διαφορετικές



Σχήμα 2. Αρτηρίες του εγκεφάλου (τροποποιημένη εικόνα από: Kahle W, Leonhardt H, Platzer W (1984) *Εγχειρίδιο ανατομίας του ανθρώπου*. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας)



Σχήμα 3. Σχηματική αναπαράσταση των αναστομώσεων των αγγείων του εγκεφάλου (τροποποιημένη εικόνα από: Kahle W, Leonhardt H, Platzer W (1984) *Εγχειρίδιο ανατομίας του ανθρώπου*. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας)

σοβαρής διαταραχής στις πιο αναπτυγμένες χώρες. Το 75–80% των επεισοδίων οφείλονται σε ισχαιμία και το 15–20% σε αιμορραγία (Elkind, 2003). Μέση ηλικία έναρξης της νόσου είναι τα 69.8 έτη στους άνδρες και τα 74.8 έτη στις γυναίκες. Σε ηλικία κάτω των 45 ετών η συχνότητα εμφάνισης είναι μόλις 0.1–0.3%, ενώ στις ηλικίες μεταξύ 75 και 84 ετών φτάνει στο 12–20%. Γενικά, από την ηλικία των 55 ετών και άνω, η συχνότητα εμφάνισης ΑΕΕ κυμαίνεται ανάμεσα στο 4.2 και 6.5% στις διάφορες μελέτες (Feigin, Lawes, Bennett, Anderson, 2003).

Στην Ελλάδα η συχνότητα εμφάνισης της νόσου στους άνδρες ανάλογα με την ηλικία τους είναι 0.05% στα 18–32 έτη, 0.31% στα 35–44 έτη, 1.13% στα 45–54 έτη, 2.4% στα 55–64 έτη, 6.62% στα 65–74 έτη, 12.75% στα 75–84 έτη και 32.18% στα άτομα που είναι μεγαλύτερα των 85 ετών. Στις αντίστοιχες ηλικίες τα ποσοστά εμφάνισης στις γυναίκες είναι 0.11%, 0.18%, 0.48%, 1.96%, 4.78%, 11.66% και 21.37% αντίστοιχα. Στους άνδρες η ισχαιμία εμφανίζεται στο 81% των περιπτώσεων, η ενδεγκεφαλική αιμορραγία στο 16% και η υπαραχνοειδής αιμορραγία στο 2% των περιπτώσεων, ενώ στις γυναίκες τα ποσοστά είναι 85%, 12% και 3% αντίστοιχα (Vemmos et al, 1999).

Ορισμός του προβλήματος

Τα συμπτώματα της νόσου έχουν επιπτώσεις στη λειτουργικότητα των ασθενών, με την διαταραχή της βάδισης να αποτελεί μια από τις αντιπροσωπευτικότερες εκδηλώσεις της μειωμένης λειτουργικής τους ικανότητας. Μόνο το 23–37% των ατόμων που υπέστησαν ΑΕΕ μπορούν να βαδίσουν ανεξάρτητα την πρώτη εβδομάδα μετά το επεισόδιο και το 50–80% των ασθενών μπορούν να βαδίσουν αβοήθητοι στις τρεις εβδομάδες. Στους έξι μήνες, όμως, το 85% των ασθενών μπορούν να βαδίσουν. Το πρότυπο της βάδισης, ωστόσο, παρεκκλίνει από αυτό των υγιών ατόμων αντίστοιχης ηλικίας (Olney & Richards, 1996).

Κατά συνέπεια, ένας από τους βασικούς στόχους της αποκατάστασης των ασθενών με ΑΕΕ είναι η βελτίωση της βάδισης (Kim & Eng, 2003; Macko et al; 2002, Olney, Calborne, Martinl, 1989). Για το σκοπό εφαρμόζονται διάφορα προγράμματα φυσικοθεραπείας και άσκησης με στόχο τη συνολική βελτίωση των βασικών παραμέτρων του βαδίσματος μετά από ΑΕΕ, οι οποίες απεικονίζουν και την ολική λειτουργική ικανότητα του ατόμου (von Schroeder, Coutts, Lyden, Billing, Nickel, 1995).

Προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα ενός παρεμβατικού προγράμματος αποκατάστασης σε ασθενείς με ΑΕΕ, είναι αναγκαία η αξιολόγηση της βάρδισης πριν και μετά την εφαρμογή του προγράμματος.

Στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι βασισμένες σε ερωτηματολόγια και στην παρατήρηση (McGinley, Goldie, Greenwood, Olney, 2003; Eng, Chu, Pawson, Kim, Herbum, 2002; Lord, Halligan, Wade, 1998; Hughes & Bell, 1994), που όμως δεν είναι ευαίσθητες σε μικρές αλλαγές του προτύπου βάρδισης. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων απαιτείται η εφαρμογή ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης της κίνησης που είναι πιο ευαίσθητες σε αλλαγές του βαδίσματος (von Schroeder et al, 1995).

Με την ποσοτική ανάλυση της κίνησης αξιολογούνται οι κινηματικές, οι κινητικές, οι ηλεκτρομυογραφικές και άλλες παράμετροι της βάρδισης (Elliot, Charles, Kenneth, Sheila, Warren, 1997). Στα κινηματικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται οι χρονικές διάρκειες των φάσεων του βαδίσματος, τα μήκη των διασκελισμών και των βημάτων, η ταχύτητα και η συχνότητα βάρδισης (ονομάζονται και χωροχρονικά χαρακτηριστικά) καθώς και οι γραμμικές και γωνιακές μετατοπίσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις των μελών του σώματος. Κινητικά χαρακτηριστικά είναι οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους, οι ροπές και οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στα μέλη του σώματος, καθώς και η ενέργεια που καταναλώνεται και το έργο που παράγεται από την κίνηση των μελών. Τα ηλεκτρομυογραφικά χαρακτηριστικά, τέλος, περιγράφουν την μυϊκή δραστηριότητα κατά την κίνηση. Η μέτρηση των παραπάνω παραμέτρων μπορεί να γίνει με διάφορα όργανα, όπως είναι τα ηλεκτρογωνιόμετρα, τα επιταχυνσιόμετρα, οι διακόπτες πίεσης, τα συστήματα ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες, τα δυναμοδάπεδα, οι ηλεκτρομυογράφοι, κ.α.

Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τα παραπάνω συστήματα μέτρησης σε ασθενείς με ΑΕΕ προκειμένου να εξάγουν συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της βάρδισης, αλλά και να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων μεθόδων αποκατάστασης. Έτσι, οι Yavuzer & Ergi (2002), οι Kerrigan, Frates, Rogan, Riley (2000), οι Kerrigan, Frates, Rogan, Riley (1999) και οι Riley & Kerrigan (1999) μελέτησαν τα χαρακτηριστικά της βάρδισης, ενώ οι Mulroy, Gronley, Weiss, Newsam, Perry (2003) και οι Olney, Colborne, Martin (1989) χρησιμοποίησαν μερικά από τα παραπάνω συστήματα μέτρησης για να ελέγξουν την αποτελεσματικότητα των παρεμβατικών τους προγραμμάτων.

Πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή κάποιου συστήματος μέτρησης όμως είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η αξιοπιστία του και κυρίως η επαναληπτικότητα

(reproducibility) των μετρούμενων παραμέτρων (Maynard, Bakheit, Oldham, Freman, 2003). Ως επαναληπτικότητα ορίζεται ο βαθμός στον οποίο επαναλαμβάνονται οι τιμές μιας παραμέτρου σε διαδοχικές μετρήσεις της συγκεκριμένης παραμέτρου.

Η επαναληπτικότητα της κάθε παραμέτρου έχει άμεση σχέση με την αξιοπιστία της χρήσης της συγκεκριμένης παραμέτρου για την αξιολόγηση του βαδίσματος. Κατά συνέπεια όσες παράμετροι παρουσιάζουν μικρή επαναληπτικότητα δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του βαδίσματος. Επιπλέον, η επαναληπτικότητα της κάθε παραμέτρου του βαδίσματος θα πρέπει να προσδιορίζεται για τον πληθυσμό στον οποίο θα εφαρμοστεί η ανάλυση του βαδίσματος. Αυτό διότι η ίδια παράμετρος μπορεί να παρουσιάζει διαφορετική επαναληπτικότητα σε άτομα με διαφορετικές παθήσεις (Maynard, Bakheit, Oldham, Freman, 2003).

Η αξιοπιστία των επιταχυνσιόμετρων και των διακοπών πίεσης, σε άτομα με ΑΕΕ έχει ήδη εκτιμηθεί (Macko et al, 2002, Elliot et al, 1997, Hill, Goldie, Baker, Greenwood, 1994). Παράλληλα, έρευνες έχουν γίνει για την αξιοπιστία διαφόρων άλλων συστημάτων ανάλυσης του βαδίσματος και για την επαναληπτικότητα των μετρούμενων παραμέτρων, αλλά διεξήχθησαν για υγιή άτομα ή για παιδιά με εγκεφαλική παράλυση (Besier, Sturnieks, Alderson, Lloyd, 2003; Maynard et al, 2003; Steiwender et al, 2000; Frigo & Rabuffetti, 1998; White, Agouris, Selbie, Kirkpatrick, 1998; Growney, Meglan, Johnson, Cahalan, 1997; Miller et al, 1996; Kadaba et al, 1989).

Αντίθετα για ασθενείς με ΑΕΕ οι αντίστοιχες μελέτες είναι πολύ λίγες. Ειδικότερα, οι Hill et al (1994) αξιολόγησαν την επαναληπτικότητα των χωροχρονικών παραμέτρων χρησιμοποιώντας ένα σύστημα εσωτερικών πάτων εφοδιασμένων με διακόπτες πίεσης που αντιστοιχούσαν σε συγκεκριμένα ανατομικά σημεία του πέλματος των ασθενών. Επίσης οι Macko et al (2002) μελέτησαν συγκριτικά την επαναληπτικότητα των χωροχρονικών παραμέτρων, όταν αυτά μετρήθηκαν με ένα μηχανικό ποδόμετρο και ένα επιταχυνσιόμετρο. Παρά την εκτεταμένη αναζήτηση της διεθνούς βιβλιογραφίας δεν κατέστη δυνατός ο εντοπισμός ερευνών της επαναληπτικότητας των χωροχρονικών παραμέτρων του βαδίσματος με τη χρήση συστημάτων ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες, τα οποία αποτελούν τον πλέον συνηθισμένο εξοπλισμό των εργαστηρίων ανάλυσης του βαδίσματος. Επιπλέον, δεν εντοπίστηκε κάποια μελέτη της επαναληπτικότητας των τιμών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα, στην συγκεκριμένη πληθυσμιακή ομάδα.

Χρησιμότητα της έρευνας

Ο προσδιορισμός της επαναληπτικότητας των βασικών κινηματικών ή αλλιώς των χωροχρονικών παραμέτρων του βαδίσματος καθώς και των παραμέτρων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα ασθενών με ΑΕΕ, θα έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των παραμέτρων που θα πρέπει να αξιολογούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το βάδισμα των παραπάνω ασθενών, με την απαλοιφή των παραμέτρων που παρουσιάζουν μικρή επαναληπτικότητα. Το γεγονός αυτό θα περιορίσει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την ανάλυση του βαδίσματος και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το είδος και το περιεχόμενο του προγράμματος αποκατάστασης που θα πρέπει να εφαρμοστεί στους ασθενείς. Η μείωση του απαιτούμενου χρόνου αποτελεί κρίσιμο σημείο για την επιτυχία του προγράμματος αποκατάστασης, καθώς έχει βρεθεί ότι η ταχύτερη εφαρμογή του μεγιστοποιεί τα οφέλη στην κατεύθυνση της βελτίωσης του βαδίσματος των ασθενών (Durward et al, 1998).

Επίσης, ο προσδιορισμός της επαναληπτικότητας των παραπάνω παραμέτρων θα επιτρέψει την ορθότερη εκτίμηση της μεταβλητότητας των τιμών της κάθε παραμέτρου μεταξύ των διαφορετικών προσπαθειών βάδισης, τόσο κατά την ίδια μέρα μέτρησης όσο και μεταξύ διαφορετικών ημερών χωρίς να μεσολαβεί κάποιο είδος παρέμβασης, η οποία συνιστά τα φυσική μεταβλητότητα του βαδίσματος στα άτομα με ΑΕΕ. Ο προσδιορισμός του μεγέθους της φυσικής μεταβλητότητας μιας παραμέτρου είναι σημαντικός, καθώς για να θεωρηθεί με ασφάλεια ότι το παρεμβατικό πρόγραμμα συνετέλεσε στη μεταβολή της παραμέτρου του βαδίσματος, θα πρέπει οι τιμές της να διαφοροποιηθούν μετά την εφαρμογή του προγράμματος σε μεγαλύτερο βαθμό από αυτόν που θεωρείται ως φυσική μεταβλητότητα της συγκεκριμένης παραμέτρου.

Επιπλέον, μετά τον προσδιορισμό της επαναληπτικότητας των χωροχρονικών παραμέτρων και των παραμέτρων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, μπορεί να καταστεί εφικτή η πρόβλεψη του ελάχιστου αριθμού προσπαθειών που πρέπει να εκτελέσουν οι εξεταζόμενοι κατά την ανάλυση του βαδίσματος, προκειμένου να συλλεχθούν αξιόπιστα δεδομένα. Η γνώση του αριθμού των προσπαθειών που πρέπει να εκτελεστούν κατά τη διάρκεια της μέτρησης θα περιορίσει τη μέτρηση περιττών προσπαθειών και θα εξασφαλίσει τη μικρότερη δυνατή ταλαιπωρία για τους εξεταζόμενους κατά τη μέτρηση του βαδίσματος. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς το βάδισμα αποτελεί μια ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία για τους ασθενείς με ΑΕΕ.

Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί η επαναληπτικότητα επιλεγμένων κινηματικών χαρακτηριστικών του βαδίσματος και ειδικότερα των χωροχρονικών χαρακτηριστικών καθώς και των παραμέτρων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε ασθενείς με ΑΕΕ

Υποθέσεις της έρευνας

Ερευνητικές υποθέσεις

Οι ερευνητικές υποθέσεις της παρούσας έρευνας είναι οι εξής:

1. Τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά βάδισης θα παρουσιάζουν μεγάλη επαναληπτικότητα στα άτομα με ΑΕΕ
2. Τα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα θα παρουσιάζουν μεγάλη επαναληπτικότητα στα άτομα με ΑΕΕ.

Στατιστικές υποθέσεις

Για τον έλεγχο της ορθότητας των παραπάνω ερευνητικών υποθέσεων θα διατυπωθούν οι παρακάτω στατιστικές υποθέσεις:

1. Μηδενική υπόθεση: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των χωροχρονικών χαρακτηριστικών του βαδίσματος των ασθενών με ΑΕΕ μεταξύ των διαφορετικών προσπαθειών μέτρησης.
Εναλλακτική υπόθεση: Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων των ατόμων με ΑΕΕ στα χωροχρονικά χαρακτηριστικά της βάδισης.
2. Μηδενική υπόθεση: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα των ασθενών με ΑΕΕ μεταξύ των διαφορετικών προσπαθειών μέτρησης.
Εναλλακτική υπόθεση: Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων στα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα των ατόμων με ΑΕΕ.

Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί η επαναληπτικότητα επιλεγμένων κινηματικών χαρακτηριστικών του βαδίσματος και ειδικότερα των χωροχρονικών χαρακτηριστικών καθώς και των παραμέτρων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε ασθενείς με ΑΕΕ

Υποθέσεις της έρευνας

Ερευνητικές υποθέσεις

Οι ερευνητικές υποθέσεις της παρούσας έρευνας είναι οι εξής:

1. Τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά βάδισης θα παρουσιάζουν μεγάλη επαναληπτικότητα στα άτομα με ΑΕΕ
2. Τα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα θα παρουσιάζουν μεγάλη επαναληπτικότητα στα άτομα με ΑΕΕ.

Στατιστικές υποθέσεις

Για τον έλεγχο της ορθότητας των παραπάνω ερευνητικών υποθέσεων θα διατυπωθούν οι παρακάτω στατιστικές υποθέσεις:

1. Μηδενική υπόθεση: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των χωροχρονικών χαρακτηριστικών του βαδίσματος των ασθενών με ΑΕΕ μεταξύ των διαφορετικών προσπαθειών μέτρησης.

Εναλλακτική υπόθεση: Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων των ατόμων με ΑΕΕ στα χωροχρονικά χαρακτηριστικά της βάδισης.

2. Μηδενική υπόθεση: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα των ασθενών με ΑΕΕ μεταξύ των διαφορετικών προσπαθειών μέτρησης.

Εναλλακτική υπόθεση: Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων στα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα των ατόμων με ΑΕΕ.

Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Χωροχρονικά χαρακτηριστικά

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, η επαναληπτικότητα της μέτρησης των χωροχρονικών χαρακτηριστικών βάδισης δεν μελετήθηκε επαρκώς στους ασθενείς με ΑΕΕ. Για το λόγο αυτό, αφού παρατεθούν πληροφορίες από τις λίγες έρευνες που μελέτησαν την επαναληπτικότητα των χωροχρονικών παραμέτρων σε ασθενείς με ΑΕΕ, θα αναφερθούν επίσης μελέτες της επαναληπτικότητας σε υγιείς ενήλικες, ώστε να διασαφηνιστούν οι γενικές αρχές που θα πρέπει να διέπουν οποιαδήποτε μελέτη της επαναληπτικότητας των χωροχρονικών χαρακτηριστικών του βαδίσματος. Τέλος, θα αναφερθούν πληροφορίες για τις τιμές των χωροχρονικών χαρακτηριστικών σε ασθενείς με ΑΕΕ.

Επαναληπτικότητα χωροχρονικών χαρακτηριστικών σε ασθενείς με ΑΕΕ

Οι Hill et al (1994) προσδιόρισαν την επαναληπτικότητα των χωροχρονικών χαρακτηριστικών της βάδισης, καθώς και τον βαθμό συμμετρίας ασθενών με ΑΕΕ, με τη χρήση διακοπών πίεσης. Στην έρευνα συμμετείχαν 22 ασθενείς (10 άνδρες και 12 γυναίκες) με ΑΕΕ ηλικίας $73,3 \pm 9,5$ ετών. Από αυτούς, οι 11 είχαν δεξιά ημιπληγία και οι άλλοι 11 αριστερή. Το 12% των ασθενών είχαν υποστεί αιμορραγικό επεισόδιο και το 88% ισχαιμικό. Η μέση διάρκεια από την έναρξη της νόσου ήταν οι $11,1 \pm 6,5$ εβδομάδες. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή των ασθενών ήταν να μην είχε προηγηθεί άλλο επεισόδιο, η κινητική ή/και αισθητική διαταραχή να ήταν μονόπλευρη και να είχαν την ικανότητα να κατανοούν απλές παρατηρήσεις και επιπλέον να μπορούν να βαδίζουν για 10 μέτρα δύο φορές, χωρίς βοηθητικές ή ορθωτικές συσκευές, αλλά μόνο με επίβλεψη από τον φυσικοθεραπευτή. Από τους ασθενείς ζητήθηκε να βαδίσουν στην πλέον φυσική τους ταχύτητα κατά μήκος ενός διαδρόμου 10 μέτρων, δύο φορές, με διάλειμμα 5 λεπτών. Η αξιολόγηση της βάδισης τους έγινε στα ενδιάμεσα έξι μέτρα του διαδρόμου, με της βοήθεια ενός συστήματος εσωτερικών πάτων με διακόπτες πίεσης στην πτέρνα, στο πρώτο και πέμπτο μετατόρσιο και στο μεγάλο δάκτυλο, που

αποθήκευαν τις πληροφορίες σε μία συσκευή τοποθετημένη στη μέση των ασθενών (Clinical Stride Analyzer). Μεταξύ των δύο προσπαθειών οι ασθενείς ξεκουράζονταν, χωρίς να απομακρύνονται οι πάτοι. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν η ταχύτητα, ο ρυθμός βάδισης, το μήκος του διασκελισμού, η διάρκεια του κύκλου βάδισης, η διάρκεια της μονής στήριξης, της αρχικής διπλής στήριξης, της συνολικής διπλής στήριξης και της συνολικής στήριξης στο υγιές και στο ημίπληκτο πόδι. Επίσης υπολογίστηκαν δύο συντελεστές συμμετρίας, ο ένας από την διαφορά και ο άλλος από τον λόγο της μονής στήριξης στο υγιές και στο ημίπληκτο πόδι. Κατά τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson και ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης (intraclass correlation coefficient - ICC). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι υπήρχε υψηλή επαναληπτικότητα μεταξύ των δύο μετρήσεων σε όλες τις χωροχρονικές παραμέτρους. Όσον αφορά στην συμμετρία, ο δείκτης της διαφοράς είχε μεγαλύτερη επαναληπτικότητα από τον δείκτη του λόγου.

Οι Macko et al (2002) μελέτησαν συγκριτικά τη χρήση δύο συσκευών μέτρησης, ενός μηχανικού ποδόμετρου και ενός επιταχυνσιόμετρου. Στην έρευνα πήραν μέρος 16 ασθενείς με ΑΕΕ μέσης ηλικίας 67 ± 7 ετών, εκ των οποίων οι οκτώ είχαν έμφρακτο στο αριστερό ημισφαίριο του εγκεφάλου, οι έξι στο δεξί και οι δύο και στα δύο ημισφαίρια. Η μέση διάρκεια από την εμφάνιση της νόσου ήταν οι 68.2 μήνες. Οι πέντε ασθενείς είχαν μικρούς περιορισμούς και μπορούσαν να επιτελούν τις καθημερινές μετακινήσεις τους χωρίς βοήθεια, ενώ οι οκτώ χρησιμοποιούσαν απλή βακτηρία, ο ένας τετράποδη βακτηρία και οι δύο περπατούρα. Οι έξι από τους ασθενείς φορούσαν ορθωτική συσκευή ποδοκνημικής κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Οι ασθενείς είχαν μέση ταχύτητα βάδισης 0.74 ± 0.29 m/sec, με εύρος $0.11 - 0.97$ m/sec. Έτσι εξασφαλίστηκε ένα δείγμα αρκετά ανομοιογενές, ως προς την λειτουργική ικανότητα των ασθενών, η οποία ήταν από πολύ περιορισμένη έως και φυσιολογική για την ηλικία. Από το δείγμα αποκλείστηκαν άτομα με συγγενή καρδιακή ανεπάρκεια, με ασταθή στηθάγχη, με νοητική διαταραχή, με ολική ή μεγάλη αισθητική αφασία, με περιφερική αγγειοπάθεια και με άλλες μεγάλες παθήσεις που περιόριζαν την λειτουργικότητα. Από τους ασθενείς ζητήθηκε να βαδίσουν δύο φορές από έξι λεπτά σε διαφορετικές μέρες και με ταχύτητα της επιλογής τους, χρησιμοποιώντας τις ορθωτικές και βοηθητικές συσκευές της καθημερινότητάς τους, ενώ ακολούθησε και επανάληψη της διαδικασίας με δύο μονόλεπτες δοκιμασίες βάδισης, μία σε ταχύτητα της επιλογής των ασθενών και μία σε πιο γρήγορη ταχύτητα. Το ποδόμετρο τοποθετήθηκε στο ισχίο της υγιούς πλευράς, στη μέση γραμμή του μηρού, ενώ το επιταχυνσιόμετρο στην ποδοκνημική, πάνω από το

σφυρό της υγιούς πλευράς. Αν η υγιής πλευρά ήταν η αριστερή τότε επιλεγόταν το έσω σφυρό, ενώ αν ήταν η δεξιά επιλεγόταν το έξω σφυρό για την τοποθέτηση του επιταχυνσιομέτρου. Στους ασθενείς με αμφοτερόπλευρη προσβολή, ως υγιές θεωρούνταν το άκρο με την μικρότερη προσβολή. Η ακρίβεια των δύο συστημάτων υπολογίστηκε σε ποσοστό % επί των πραγματικών τιμών. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι το επιταχυνσιόμετρο ήταν πιο ακριβές από το ποδόμετρο, όσον αφορά στη μέτρηση του ρυθμού βάδισης, τόσο στην ταχύτητα επιλογής των ασθενών ($98.7 \pm 1.2\%$ αντί $87.2 \pm 11.3\%$, $p < 0.01$), όσο και στην γρήγορη εκτέλεση ($97.8 \pm 2.3\%$ αντί $84.8 \pm 14.8\%$, $p < 0.01$). Όμοια και στη μέτρηση του αριθμού των διασκελισμών το επιταχυνσιόμετρο ήταν πιο ακριβές στα έξι λεπτά βάδισης ($98.7 \pm 1.2\%$ αντί $89.0 \pm 11.93\%$, $p < 0.01$). Κατά τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων υπολογίστηκαν και οι συντελεστές εσωτερικής συσχέτισης μεταξύ των διαφόρων προσπαθειών. Από αυτούς προέκυψε ότι η επαναληπτικότητα τόσο του ρυθμού, όσο και του αριθμού των βημάτων ήταν για μεν το επιταχυνσιόμετρο υψηλή ($r = 0.975$, $p < 0.001$ και $r = 0.977$, $p < 0.001$ αντίστοιχα), για δε το ποδόμετρο φτωχή ($r = 0.65$, $p < 0.05$). Κατά συνέπεια, το επιταχυνσιόμετρο αποδείχθηκε καταλληλότερη φορητή συσκευή αξιολόγησης της βάδισης ασθενών με ΑΕΕ σε σχέση με το ποδόμετρο.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η επαναληπτικότητα των χωροχρονικών παραμέτρων βάδισης των ασθενών με ΑΕΕ εξαρτάται από την μεθοδολογία μέτρησης, αλλά και από τις παραμέτρους που εξετάζονται.

Επαναληπτικότητα χωροχρονικών χαρακτηριστικών σε υγιείς ενήλικες

Οι Kadaba et al (1989) έλεγξαν την επαναληπτικότητα των χωροχρονικών χαρακτηριστικών βάδισης σε 40 άτομα ηλικίας 18–40 ετών, χρησιμοποιώντας μικροσκοπικούς διακόπτες πίεσης, που ήταν τοποθετημένοι στις πτέρνες, στα πρώτα και πέμπτα μετατόρσια και στα μεγάλα δάκτυλα των ποδιών. Κάθε εξεταζόμενος εκτέλεσε τρεις προσπάθειες βάδισης κατά μήκος ενός διαδρόμου μήκους έξι μέτρων σε φυσική ταχύτητα και επανέλαβε την διαδικασία δύο ακόμη μέρες με την μεσολάβηση μιας τουλάχιστον εβδομάδας κάθε φορά. Η μέση ταχύτητα των εξεταζομένων ήταν $1.306 \pm 0.17\text{m/sec}$, η μέση συχνότητα βάδισης ήταν 111.6 ± 8.3 βήματα/λεπτό, το μέσο μήκος βήματος ήταν $1.361 \pm 0.12\text{m}$ και η μέση αναλογία αιώρησης προς στήριξη ήταν 0.64 ± 0.05 . Από την ανάλυση των συντελεστών διακύμανσης (coefficient of variation, CV) των τιμών των μεταβλητών στις διαφορετικές μετρήσεις προέκυψε ότι η διακύμανση ήταν

μεγαλύτερη στο ρυθμό βάδισης και στο μήκος βήματος σε σχέση με την ταχύτητα και την αναλογία της φάσης αιώρησης προς την φάση στήριξης. Υψηλότερη ήταν και η διακύμανση των τιμών των μεταβλητών μεταξύ των προσπαθειών στις διαφορετικές ημέρες.

Η επαναληπτικότητα των χωροχρονικών χαρακτηριστικών βάδισης αποτέλεσε επίσης αντικείμενο μελέτης των Growney et al (1997). Οι παραπάνω ερευνητές Growney κατέγραψαν την κίνηση πέντε υγιών ενηλίκων (3 ανδρών, 2 γυναικών) που βάδιζαν με ταχύτητα της επιλογής τους, με ένα σύστημα καταγραφής και ανάλυσης της κίνησης (Expert Vision) που περιελάμβανε τέσσερις κάμερες, με συχνότητα λήψης 60 Hz, τοποθετημένες και από τις δύο πλευρές διαδρόμου, στον οποίο υπήρχαν τοποθετημένα δύο δυναμοδάπεδα (ένα τύπου Bertec 4060A και ένα τύπου Kistler 9281B). Για κάθε εξεταζόμενο καταγράφηκαν τρεις κύκλοι βάδισης επί τρεις ξεχωριστές ημέρες (εννέα κύκλοι βάδισης συνολικά), προκειμένου να μελετηθεί η ταχύτητα βάδισης, το μήκος βήματος κάθε ποδιού, το μήκος διασκελισμού, το πλάτος βήματος και ο συνολικός χρόνος στήριξης σε κάθε πόδι. Από την στατιστική ανάλυση, κατά την οποία υπολογίστηκαν οι συντελεστές διακύμανσης των τιμών των διαφόρων παραμέτρων στις διαφορετικές προσπάθειες, προέκυψε καλύτερη επαναληπτικότητα μεταξύ των προσπαθειών της ίδιας ημέρας, παρά μεταξύ των προσπαθειών των διαφορετικών ημερών, σε όλες τις παραμέτρους, με το πλάτος βήματος να παρουσιάζει την μικρότερη επαναληπτικότητα.

Αντίστοιχη έρευνα πραγματοποίησαν οι Maynard et al (2003) στην οποία ελέγχθηκε η επαναληπτικότητα των μετρήσεων όταν εφαρμόζονται από το ίδιο εξεταστή και από διαφορετικούς εξεταστές. Για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των μετρήσεων από διαφορετικούς εξεταστές χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις άνδρες και 15 γυναίκες ηλικίας 34.4 ετών, ενώ για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των μετρήσεων από τον ίδιο εξεταστή χρησιμοποιήθηκαν πέντε άνδρες και πέντε γυναίκες ηλικίας 39.2 ετών. Οι χωροχρονικοί παράγοντες που υπολογίστηκαν ήταν η ταχύτητα βάδισης και η διάρκεια των φάσεων στήριξης και αιώρησης. Για την καταγραφή του βαδίσματος χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα ανάλυσης της κίνησης με 6 κάμερες (CODAmprx30) και δύο δυναμοδάπεδα (AMT1, τύπος BP 2416-1000). Για τις ανάγκες της καταγραφής τοποθετήθηκαν ανακλαστήρες στη λεκάνη, στο γόνατο, στο έξω σφυρό, στην πτέρνα και στο πέμπτο μετατόρσιο, καθώς και στα άκρα δύο ράβδων που τοποθετήθηκαν κάθετα η μία στη μέση του μηρού και η άλλη στο μέσο της κνήμης. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ζητήθηκε από τους εξεταζόμενους να βαδίσουν ξυπόλητοι με φυσική

ταχύτητα. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τρεις μετρήσεις που έγιναν η μία το πρωί, η άλλη το απόγευμα της ίδιας ημέρας και η τρίτη μετά από μία εβδομάδα. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων περιελάμβανε τον υπολογισμό του συντελεστή εσωτερικής συσχέτισης (ICC) και το τεστ των Bland και Altman. Από τα αποτελέσματα προέκυψε καλή συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων του ίδιου εκτιμητή για όλες τις παραμέτρους. Ακόμη καλύτερη συσχέτιση προέκυψε μεταξύ των τριών εκτιμητών σε όλες τις παραμέτρους.

Oι Cutlip, Mancinelli, Huber, DiPasquale (2000) σε μία προσπάθεια να βρουν έναν οικονομικό και πρακτικό τρόπο ανάλυσης της βάδισης σύγκριναν τις χωροχρονικές παραμέτρους βάδισης, όπως εκτιμήθηκαν από έναν φορητό τάπητα με αισθητήρες πίεσης (GAITRite) με τις χωροχρονικές παραμέτρους που αξιολογήθηκαν από ένα σύστημα ανάλυσης της κίνησης με τρεις κάμερες (PEAK Motus 3.1). Στην έρευνα πήραν μέρος 10 υγιείς εθελοντές ηλικίας 21-26 ετών, από τους οποίους οι έξι ήταν γυναίκες. Ο ηλεκτρονικός διάδρομος είχε ενεργή επιφάνεια 2.88x0.48m, εφοδιασμένη με 13824 αισθητήρες που βρίσκονταν σε απόσταση 1.27cm μεταξύ τους και είχαν συχνότητα λήψης δεδομένων 30 Hz. Το σύστημα ανάλυσης της κίνησης με κάμερες κατέγραφε την κίνηση του βαδίσματος με συχνότητα λήψης 60Hz και οι κάμερες ήταν τοποθετημένες στα 5m από τον διάδρομο. Εξεταζόμενοι βάδιζαν στον φυσιολογικό τους ρυθμό, καθώς επίσης και σε πιο αργό και πιο γρήγορο ρυθμό, που οριζόταν με την αφαίρεση και πρόσθεση 20% της ταχύτητας του φυσιολογικού ρυθμού βάδισης, αντίστοιχα. Οι παράμετροι που εκτιμήθηκαν ήταν το μήκος βήματος, η διάρκεια του διασκελισμού, η ταχύτητα και η διάρκεια των φάσεων στήριξης και αιώρησης. Από τα αποτελέσματα προέκυψε για μεν το σύστημα ανάλυσης με τις κάμερες ότι ήταν αξιόπιστο, για δε την σύγκριση των δύο συστημάτων ότι έδωσαν πολύ καλή συσχέτιση στις παραμέτρους του χρόνου (διάρκεια βήματος, φάση στήριξης και αιώρησης) σε όλες τις ταχύτητες των εξεταζομένων, ενώ στις άλλες δύο παραμέτρους (ταχύτητα και μήκος βήματος) στις μεν χαμηλές ταχύτητες είχαν πολύ καλή συσχέτιση, στις δε φυσιολογικές και γρήγορες ταχύτητες, το GAITRite κατέγραψε υψηλότερες τιμές, χωρίς όμως οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές.

Σε ανάλογη έρευνα οι Bilney et al το 2003 σύγκριναν το GAITRite με ένα άλλο σύστημα μέτρησης των χωροχρονικών παραμέτρων το Clinical Stride Analyzer®, το οποίο περιλαμβάνει πάτους που εφαρμόζονται μέσα από το παπούτσι και είναι εφοδιασμένοι με τέσσερις διακόπτες πίεσης· έναν στην πτέρνα, έναν στο πρώτο και στο πέμπτο μετατόρσιο και ένα στο πρώτο δάκτυλο. Το GAITRite που χρησιμοποιήθηκε

στην παρούσα μελέτη είχε ενεργή επιφάνεια 7.32x0.61m και συχνότητα λήψης 80 Hz. Στην έρευνα πήραν μέρος 25 υγιή άτομα (13 άνδρες) ηλικίας 21-71 έτη, από τα οποία ζητήθηκε να βαδίσουν τρεις φορές στο φυσιολογικό τους ρυθμό και από τρεις φορές σε πιο γρήγορη και πιο αργή ταχύτητα. Κατά τη διάρκεια όλων των προσπαθειών υπολογίστηκαν η ταχύτητα και η συχνότητα βάδισης, το μήκος βήματος, ο χρόνος της μονής στήριξης και το ποσοστό της διπλής στήριξης. Η σύγκριση των δύο μεθόδων έγινε με τον ICC, το T-test και το Sharipo-Wilks test, ενώ ο ICC χρησιμοποιήθηκε και για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του συστήματος GAITRite. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι τα δύο συστήματα είχαν καλή συσχέτιση σε όλες τις ταχύτητες βάδισης, στις παραμέτρους ταχύτητα και συχνότητα βάδισης, καθώς και στο μήκος βήματος. Αντίθετα για το χρόνο μονής στήριξης διαπιστώθηκε μέτρια συσχέτιση με το GAITRite να δίνει μεγαλύτερες τιμές, ενώ μικρή συσχέτιση παρουσίασε το ποσοστό της διπλής στήριξης, με το CSA να σημειώνει μεγαλύτερες τιμές. Τέλος, το GAITRite παρουσίασε πολύ μεγάλη αξιοπιστία στις χωροχρονικές παραμέτρους, κυρίως σε γρήγορες και φυσιολογικές ταχύτητες βάδισης.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι στις μελέτες της επαναληπτικότητας των χωροχρονικών παραμέτρων του βαδίσματος σε υγιείς ενήλικες διαπιστώθηκε μεγαλύτερη επαναληπτικότητα μεταξύ των προσπαθειών που πραγματοποιήθηκαν στην ίδια ημέρα μέτρησης παρά σε διαφορετικές ημέρες. Επίσης, από τις χωροχρονικές παραμέτρους η ταχύτητα βάδισης παρουσίασε την μεγαλύτερη επαναληπτικότητα και το πλάτος βήματος την μικρότερη. Τέλος, απλές συσκευές αξιολόγησης της βάδισης, όπως οι διακόπτες πίεσης, ήταν εξίσου αξιόπιστες με την ανάλυση με βιντεοκάμερες.

Άλλες μελέτες των χωροχρονικών χαρακτηριστικών βάδισης σε άτομα με ΑΕΕ

Οι Olney et al (1998) μελέτησαν τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά της βάδισης 20 ανδρών και 11 γυναικών με ΑΕΕ ηλικίας 60.5 ± 11.8 ετών και μέσης διάρκειας νόσου 11.4 ± 15.4 χρόνια. Από τους εξεταζόμενους οι πέντε φορούσαν τακτικά ορθωτική συσκευή ποδοκνημικής, οι 20 χρησιμοποιούσαν βακτηρία και ο ένας βακτηρία με τέσσερα πόδια. Στους εξεταζόμενους τοποθετήθηκαν ανακλαστικές διαμέτρου 0.5cm στην πέμπτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση, στον έξω σφυρό, στον έξω κόνδυλο του μηρού, στον μεγάλο τροχαντήρα και στην ακρωμιοκλειδική άρθρωση και ακολούθησε καταγραφή τριών διασκελισμών βάδισης από κάθε πλευρά του σώματος με μια κάμερα με συχνότητα λήψης 50Hz, που κινούνταν παράλληλα με τα υποκείμενα. Οι εξεταζόμενοι

βάδιζαν με φυσική ταχύτητα φορώντας χαμηλά παπούτσια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ταχύτητα βάδισης των ασθενών ήταν μικρότερη από αυτή υγιών ατόμων, ενώ η διπλή στήριξη ήταν αφύσικα αυξημένη σε σχέση με την μονή και η στήριξη στο υγιές πόδι είχε μεγαλύτερη διάρκεια σε σχέση με αυτή στο ημίπληκτο.

Οι von Schroeder et al (1995) σύγκριναν τα χρονικά χαρακτηριστικά της βάδισης 49 ασθενών με ΑΕΕ με μέση ηλικία τα 64.2 έτη και μέση διάρκεια από την εμφάνιση του επεισοδίου τους 43.4 μήνες, με 24 υγιή άτομα. Οι 38 από τους ασθενείς ήταν ημίπληκτοι. Η μελέτη της κίνησης έγινε με την βοήθεια ενός φορητού αναλυτή διασκελισμών, που αποτελούνταν από εσωτερικούς πάτους με τέσσερις διακόπτες πίεσης· έναν στην πτέρνα, έναν στο πρώτο και στο πέμπτο μετατόρσιο και έναν στο μεγάλο δάκτυλο του ποδιού. Κάθε εξεταζόμενος βάδισε σε διάδρομο 18 μέτρων, από τα ενδιάμεσα έξι μέτρα του οποίου γινόταν συλλογή των δεδομένων με την βοήθεια φωτοηλεκτρικών κυττάρων. Οι ασθενείς ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με τον χρόνο εισόδου της νόσου σε τέσσερα γκρουπ: σε αυτούς που νοσούσαν για λιγότερο από τρεις μήνες, σε αυτούς που είχαν διάρκεια νόσου τρεις με 12 μήνες, σε αυτούς με 12 ως 36 μήνες από το επεισόδιο και τέλος σε αυτούς με περισσότερο από 36 μήνες διάρκεια νόσου. Σε δύο υγιή άτομα και σε πέντε ασθενείς έγινε και δεύτερη μέτρηση προκειμένου να εξεταστεί η επαναληπτικότητα των μετρήσεων. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι οι ασθενείς με ημιπληγία βάδιζαν πιο αργά από τους υγιείς, έχοντας μειωμένη συχνότητα και αυξημένο χρόνο κύκλου βάδισης, ενώ οι ασθενείς χωρίς ημιπληγία ή με διπληγία είχαν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους υγιείς. Οι ασθενείς σπαταλούσαν περισσότερο χρόνο στην διπλή στήριξη, όχι όμως και μεγαλύτερο ποσοστό, περισσότερο χρόνο στην φάση αιώρησης του ημίπληκτου ποδιού, σημαντικά περισσότερο χρόνο στη φάση στήριξης και περίπου τον ίδιο χρόνο στην μονή στήριξη του υγιούς. Ωστόσο, επειδή ο κύκλος βάδισης ήταν μεγαλύτερος στους ασθενείς, τα ποσοστά αιώρησης και στήριξης ήταν παρόμοια στις δύο ομάδες υποκειμένων, ενώ και ο χρόνος μονή στήριξης στο ημίπληκτο πόδι ήταν μικρότερος σε σχέση με την μονή στήριξη στους υγιείς. Οι ασθενείς, τέλος, αφιέρωναν λιγότερο χρόνο στην μονή στήριξη και στην στάση και περισσότερο χρόνο στην αιώρηση του ημίπληκτου ποδιού, με εξαίρεση τρία άτομα, στα οποία η στήριξη στο ημίπληκτο πόδι ήταν μεγαλύτερη. Στα άτομα αυτά, όμως, είχαν παρέλθει τρία με τέσσερα χρόνια από την είσοδο της νόσου.

Οι Kerrigan et al (2000) μελέτησαν τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά της βάδισης 23 ασθενών με ΑΕΕ και 23 υγιών ατόμων, με την χρήση του οπτοηλεκτρονικού συστήματος ELITE (100Hz). Οι ασθενείς (17 άνδρες, 6 γυναίκες) είχαν μέση ηλικία

53.3±11.9 έτη και χαρακτηρίζονταν από μονόπλευρη εμφάνιση της νόσου, η οποία είχε διάρκεια τουλάχιστον έξι μήνες. Οι ασθενείς είχαν την ικανότητα να βαδίζουν χωρίς βοηθητική συσκευή ή νάρθηκα, ενώ παρουσίαζαν και μειωμένη κάμψη γόνατος. Κανένας από αυτούς δεν παρουσίαζε άλλες νευρολογικές ή ορθοπεδικές παθήσεις. Την ομάδα ελέγχου την αποτέλεσαν 17 άνδρες και έξι γυναίκες ηλικίας 51.1±21.4 ετών που δεν παρουσίαζαν μυοσκελετικές, νευρολογικές, καρδιακές ή αναπνευστικές διαταραχές. Όλα τα άτομα βάδισαν τρεις φορές προς τις δύο κατευθύνσεις ενός διαδρόμου 10 μέτρων, φορώντας υπέρυθρους ανακλαστήρες στην λεκάνη και στους μηρούς. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι οι ασθενείς είχαν σημαντικά μειωμένη ταχύτητα βάδισης σε σχέση με του υγείς (0.44±0.16 και 1.22±0.13m/sec αντίστοιχα). Επιπλέον, το μέσο ποσοστό της φάσης στήριξης του κύκλου βάδισης ήταν 62% στο επηρεασμένο πόδι και 76% στο υγιές σε αντίθεση με τους υγείς στους οποίους το ποσοστό αυτό ήταν στο 62% και στα δύο πόδια.

Οι Teixeira-Salmela et al το 2001 προκειμένου να μελετήσουν την επίδραση ενός προγράμματος άσκησης στις χωροχρονικές παραμέτρους βάδισης ασθενών με ΑΕΕ κατέγραψε τις τιμές των παραμέτρων αυτών πριν την εφαρμογή της άσκησης. Στην έρευνά τους πήραν μέρος 13 ασθενείς (έξι γυναίκες και επτά άνδρες) ηλικίας 67.7 ± 9.2 ετών και μέσης διάρκειας από την είσοδο της νόσου 7.7 ± 9.4 έτη. Επτά από τους ασθενείς είχαν αριστερή ημιπληγία, ενώ οι υπόλοιποι δεξιά. Πέντε από τους ασθενείς χρησιμοποιούσαν κλασική ή τετράποδη βακτηρία κατά το βάδισμα και πέντε βάδιζαν με την χρήση ορθωτικής συσκευής ποδοκνημικής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή των ασθενών ήταν η νόσος να είχε διάρκεια τουλάχιστον εννιά μήνες επιπλέον οι ασθενείς έπρεπε να είχαν την ικανότητα να βαδίζουν με ή χωρίς βοηθητική συσκευή για τουλάχιστον 15 λεπτά, να είχαν αντοχή σε δραστηριότητα τουλάχιστον 45 λεπτών συμπεριλαμβανομένων των διαλειμμάτων και να μην είχαν προβλήματα κατανόησης. Στην έρευνα συμμετείχαν και 20 υγιή άτομα αντίστοιχης ηλικίας προκειμένου να αποτελέσουν την ομάδα ελέγχου. Η ανάλυση της βάδισης έγινε με το δισδιάστατο σύστημα ανάλυσης της κίνησης Peak Motus, που ανίχνευε σήματα από ανακλαστήρες στην πλάγια πλευρά του λαιμού στο επίπεδο του A7, στον μεγάλο τροχαντήρα, στον έξω κόνδυλο του μηρού, στο κέντρο της ποδοκνημικής και στο πέμπτο μετατάρσιο. Δύο επιπλέον ανακλαστήρες τοποθετήθηκαν στο μέσο του διαδρόμου για να αποτελέσουν σημείο αναφοράς. Η κάμερα του συστήματος είχε συχνότητα 60Hz και ήταν τοποθετημένη 480cm από τον διάδρομο. Οι εξεταζόμενοι βάδιζαν με χαμηλά παπούτσια κατά μήκος ενός διαδρόμου οκτώ μέτρων. Κάθε εξεταζόμενος εκτέλεσε τρεις

προσπάθειες για κάθε πλευρά του σώματος, σε ταχύτητα της επιλογής του, ενώ οι ασθενείς είχαν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν κλασική βακτηρία ή να κρατιούνται από βοηθό. Τα υγιή άτομα βάδισαν επίσης σε ταχύτητα της επιλογής τους και επιπλέον και σε αργό και πολύ αργό ρυθμό. Η μέση ταχύτητα βάδισης των ασθενών ήταν $0.6\pm 0.39\text{m/sec}$. Από την ανάλυση της κίνησης προέκυψε ότι η στήριξη στο υγιές πόδι ήταν μεγαλύτερη από την στήριξη στο ημίπληκτο ($71.0\pm 8.6\%$ αντί $64.6\pm 7.6\%$ του κύκλου) και το μήκος βήματος του υγιούς ποδιού ήταν μεγαλύτερο από ότι του ημίπληκτου (0.8 ± 0.33 αντί $0.81\pm 0.36\text{m}$).

Καθώς η ταχύτητα βάδισης φαίνεται να είναι ο παράγοντας που επηρεάζεται περισσότερο στους ασθενείς αυτούς, οι Elliot et al (1997) μελέτησαν τη σχέση διάφορων χωροχρονικών παραμέτρων με την ταχύτητα βάδισης 25 ατόμων με ημιπληγία λόγω ΑΕΕ. Από τους ασθενείς αυτούς (16 άνδρες, 9 γυναίκες), που είχαν ηλικία 56.2 ± 15.7 έτη, οι 18 είχαν δεξιά ημιπληγία. Μέση διάρκεια της ημιπληγίας ήταν οι 9.4 ± 12.8 μήνες, ενώ προϋπόθεση για την συμμετοχή στη μελέτη ήταν η ικανότητα για βάδιση με ή χωρίς βοηθητικές συσκευές και η απουσία άλλων νευρομυοσκελετικών νόσων. Η ανάλυση της βάδισης έγινε με μια συσκευή με διακόπτες ευαίσθητους στο βάρος που τοποθετήθηκαν στα πόδια των ασθενών και είχαν συχνότητα καταγραφής 1/100 του δευτερολέπτου (Timer – Logger – Communicator). Οι διακόπτες βρίσκονταν στην πτέρνα, στις κεφαλές των μεταταρσίων και στο μεγάλο δάκτυλο. Στους ασθενείς δόθηκε η οδηγία να βαδίζουν για 25 μέτρα με ταχύτητα της επιλογής τους, ενώ η καταγραφή έγινε για τα ενδιάμεσα 15 μέτρα. Η στατιστική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να καθοριστεί η σχέση της ταχύτητας με 18 άλλες χρονικές παραμέτρους ήταν η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression analysis). Από αυτήν προέκυψε ότι η ταχύτητα είχε καλύτερη συσχέτιση με τις παραμέτρους του υγιούς ποδιού σε σχέση με αυτές του ημίπληκτου. Επιπλέον, φανερό ήταν ότι η βάδιση ήταν ασύμμετρη και διακοπτόμενη, καθώς οι ασθενείς προτιμούν να φορτίζουν το υγιές πόδι, λόγω αδυναμίας του ημίπληκτου. Η ταχύτητα είχε καλή συσχέτιση με τη συχνότητα βάδισης, τη μέση διάρκεια του κύκλου, το μήκος διασκελισμού, την διάρκεια στάσης τόσο στο ημίπληκτο, όσο και στο υγιές πόδι και το ποσοστό στάσης στο υγιές πόδι, το ποσοστό αιώρησης στο υγιές, τη διάρκεια και το ποσοστό της διπλή στήριξης, την αναλογία αιώρησης προς στάση και στα δύο πόδια και την αναλογία της συμμετρίας αιώρησης. Αντίθετα δεν είχε σημαντική συσχέτιση με το ποσοστό στάσης στο ημίπληκτο, την διάρκεια και το ποσοστό αιώρησης στο ημίπληκτο, την διάρκεια αιώρησης στο υγιές, την αναλογία συμμετρίας στη στάση και την ολική αναλογία συμμετρίας.

Στην ταχύτητα βάδισης εστιάστηκε και το ενδιαφέρον των Goldie et al (2001), οι οποίοι μελέτησαν 42 ασθενείς με ΑΕΕ προκειμένου να ανιχνεύσουν τις φάσεις της βάδισης που ευθύνονται για την μειωμένη ταχύτητα. Οι 23 από τους ασθενείς είχαν δεξιά ημιπληγία και οι 19 αριστερή, οι 20 ήταν άνδρες και οι 22 γυναίκες και συνολικά είχαν μέσο όρο ηλικίας τα 66 χρόνια. Κριτήρια για την ένταξη των ασθενών στο δείγμα ήταν το ΑΕΕ να ήταν μονόπλευρο και να οφειλόταν σε φλοιϊκή (cortical) ή υποφλοιϊκή βλάβη, οι ασθενείς να είχαν την ικανότητα συγκατάθεσης για την έρευνα και να βαδίζουν δέκα μέτρα χωρίς φυσική βοήθεια, ακόμη και αν χρειάζεται αυστηρή επίβλεψη και η έναρξη της αποκατάστασης να μην είχε πραγματοποιηθεί νωρίτερα από τις δύο εβδομάδες πριν την έρευνα. Κριτήρια αποκλεισμού ήταν το ιστορικό άλλων νευρολογικών ή ορθοπεδικών παθήσεων που επηρεάζουν την βάδιση, το προηγούμενο ΑΕΕ και τα ελλείμματα στο εγκεφαλικό στέλεχος, την παρεγκεφαλίδα και στην υπαραχνοειδή περιοχή του εγκεφάλου. Η καταγραφή της βάδισης έγινε με ένα σύστημα διακοπών πίεσης, που βρίσκονταν στα ενδιάμεσα έξι μέτρα ενός διαδρόμου 10 μέτρων. Στους ασθενείς τοποθετήθηκε ζώνη με λαβές προκειμένου να υποστηριχθεί από φυσικοθεραπευτή σε περίπτωση κινδύνου και ακολούθησε δοκιμή εξοικείωσης με το πείραμα. Η χρήση ορθωτικών ή βοηθητικών συσκευών απαγορευόταν. Η οδηγία που δόθηκε στα υποκείμενα ήταν να βαδίζουν σε άνετο ρυθμό, ενώ έγινε επανάληψη της διαδικασίας δύο μήνες αργότερα. Τα αποτελέσματα των χωροχρονικών παραμέτρων των ασθενών αξιολογήθηκαν συγκρινόμενα με αυτά 42 υγιών ατόμων ανάλογης ηλικίας και φύλου με την χρήση μη παραμετρικών στατιστικών μεθόδων. Από αυτές προέκυψε ότι μόνο η διπλή στήριξη και η μονή στήριξη στο υγιές πόδι ήταν διαταραγμένες στους ασθενείς, ενώ η μονή στήριξη στο ημιπληκτο πόδι ήταν στα ίδια επίπεδα στα δύο γκρουπ. Η δεύτερη μέτρηση έδειξε βελτίωση στις διαταραγμένες φάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι αν ο στόχος της αποκατάστασης είναι η αύξηση της ταχύτητας βάδισης, αυτό θα επιτευχθεί με εκπαίδευση των φάσεων αυτών.

Οι Hsu et al (2003) μελέτησαν τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά 26 ασθενών με ΑΕΕ μέσης ηλικίας 54.2 ετών και μέσης διάρκειας νόσου 10.3 μήνες, εστιάζοντας κυρίως στην συμμετρία. Στο δείγμα συμπεριλήφθηκαν ασθενείς που είχαν υποστεί ένα μόνο επεισόδιο και είχαν την ικανότητα να επικοινωνούν και να βαδίζουν για τουλάχιστον 10 μέτρα χωρίς βοήθεια ή βοηθητική συσκευή. Κριτήρια αποκλεισμού από την έρευνα ήταν ο περιορισμός του εύρους κίνησης των αρθρώσεων, ο πόνος στα κάτω άκρα, η ασταθής κατάσταση της υγείας τους και η συνύπαρξη και άλλων νευρολογικών ή μυοσκελετικών διαταραχών. Από τους ασθενείς, οι 14 είχαν δεξιά ημιπάρεση και οι υπόλοιποι αριστερή,

οι μισοί είχαν υποστεί ισχαιμικό επεισόδιο και οι υπόλοιποι αιμορραγικό. Όλοι οι ασθενείς είχαν ήπια προς μέτρια διαταραχή στην κινητικότητά τους και οι περισσότεροι είχαν ήπια προς μέτρια διαταραχή της αισθητικότητας. Από τους ασθενείς, αφού προηγήθηκαν μερικές δοκιμές εξοικείωσης, ζητήθηκε να βαδίσουν κατά μήκος ενός διαδρόμου έξι μέτρων επί έξι φορές χωρίς ορθωτικές ή βοηθητικές συσκευές σε ταχύτητα της επιλογής τους και μετά την μεσολάβηση τρίλεπτου διαλείμματος επαναλήφθηκαν οι προσπάθειες σε γρήγορη ταχύτητα. Τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά των ασθενών μετρήθηκαν μέσω ενός δαπέδου βάδισης, διαστάσεων 3.8x0.6m, εφοδιασμένου με αισθητήρες (GaitMat II). Η συμμετρία υπολογίστηκε ως η διαφορά από τη μονάδα του πηλίκου της χωροχρονικής παραμέτρου του ημίπληκτου άκρου προς αυτήν του υγιούς άκρου. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η γρήγορη βάδιση ήταν κατά πολύ ταχύτερη από την βάδιση επιλογής (0.95 ± 0.35 αντί 0.62 ± 0.21 m/sec), πράγμα που σημαίνει ότι οι ασθενείς μπορούσαν να βαδίζουν γρηγορότερα, σύμφωνα με τις οδηγίες που τους δίνονταν. Επίσης υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο κάτω άκρων στο μήκος βήματος και στο χρόνο μονής στήριξης που φανερώνει την ασυμμετρία στην βάδισή τους. Ειδικότερα, κατά την βάδιση με ταχύτητα της επιλογής των εξεταζόμενων το μήκος βήματος του υγιούς άκρου ήταν 0.41 ± 0.12 m και του ημίπληκτου 0.45 ± 0.1 m, η διάρκεια της μονής στήριξης του υγιούς άκρου ήταν 1.05 ± 0.31 sec και του ημίπληκτου 0.94 ± 0.23 sec, ενώ για κατά τη γρήγορη βάδιση οι τιμές ήταν 0.52 ± 0.16 m, 0.55 ± 0.12 m, 0.84 ± 0.28 sec και 0.74 ± 0.21 sec, αντίστοιχα.

Σε μελέτη του βαθμού συμμετρίας των χωροχρονικών χαρακτηριστικών βάδισης ασθενών με ΑΕΕ προέβησαν και οι Kim και Eng (2003). Στην έρευνα συμμετείχαν 28 ασθενείς (20 άνδρες, 8 γυναίκες) με ΑΕΕ ηλικίας 62.5 ± 8.2 ετών. Σε δέκα από τους ασθενείς το ΑΕΕ οφειλόταν σε αιμορραγία, σε 15 σε ισχαιμία και σε πέντε ήταν ακαθόριστη η αιτιολογία του, ενώ μέση διάρκεια από την εισβολή της νόσου ήταν τα 4.4 ± 2.8 έτη. Η συνύπαρξη άλλων νευρολογικών ή ορθοπεδικών διαταραχών, η μη μεσολάβηση έξι μηνών από το εγκεφαλικό επεισόδιο, η ανικανότητα βάδισης χωρίς βοηθητικές συσκευές και η μη συμπλήρωση του πεντηκοστού έτους της ηλικίας των ασθενών, αποτέλεσαν αίτια αποκλεισμού από το πείραμα. Πέντε από τους ασθενείς χρησιμοποιούσαν ορθωτική συσκευή ποδοκνημικής. Η καταμέτρηση της ταχύτητας βάδισης, του μήκους διασκελισμού και του χρόνου στήριξης και αιώρησης έγινε με ένα τρισδιάστατο οπτοηλεκτρονικό σύστημα, με συχνότητα λήψης 200Hz, σε συνδυασμό με τρία δυναμοδάπεδα με συχνότητα λήψης 600Hz. Από τους ασθενείς ζητήθηκε να βαδίσουν κατά μήκος διαδρόμου οκτώ μέτρων, με την φυσική τους ταχύτητα, φορώντας

παπούτσια, μέχρι να εξασφαλιστούν πέντε έγκυρες προσπάθειες στα δυναμοδάπεδα. Η εκτίμηση της ασυμμετρίας γινόταν από το πηλίκο της διαφοράς των διακυμάνσεων της κάθε παραμέτρου στο ημίπληκτο και στο υγιές άκρο προς το μισό του αθροίσματος των παραπάνω διακυμάνσεων. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι μόνο ο δείκτης συμμετρίας του μήκους βήματος δεν συσχετιζόταν με την ταχύτητα βάδισης. Επίσης, οι δείκτες φανέρωσαν μεγάλη ασυμμετρία στη βάδιση, με τον δείκτη του μήκους βήματος να παρουσιάζει την μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ των ασθενών. Έτσι οι μισοί έκαναν μεγαλύτερο βήμα με το ημίπληκτο πόδι, ενώ οι άλλοι μισοί με το υγιές. Σταθερό, ωστόσο, ήταν το γεγονός ότι αφιέρωναν μεγαλύτερο χρόνο αιώρησης στο ημίπληκτο πόδι και στήριξης στο υγιές.

Αντίθετα από τους προηγούμενους ερευνητές, ο Chen et al (2001) μελέτησε τους ασθενείς που χρησιμοποιούσαν βακτηρία. Στην έρευνα πήραν μέρος 20 ασθενείς με ΑΕΕ (14 άνδρες και 6 γυναίκες) μέσης ηλικίας 58 ± 7 ετών και μέσης διάρκειας από την εμφάνιση της νόσου 5.8 ± 4.9 μήνες. Στους επτά ασθενείς το ΑΕΕ οφειλόταν σε ισχαιμία και στους υπόλοιπους σε αιμορραγία. Από την έρευνα αποκλείστηκαν ασθενείς που δεν είχαν μονόπλευρη ημιπληγία, που είχαν ηλικία έξω από τα όρια των 40 – 65 ετών, που δεν είχαν την ικανότητα βάδισης με βακτηρία για περισσότερα από 20 μέτρα, που είχαν άλλες περιφερικού ή κεντρικού τύπου διαταραχές του νευρικού συστήματος, που είχαν ενεργή φλεγμονή ή παθολογικές αλλαγές στις αρθρώσεις των άνω άκρων κατά τους τελευταίους έξι μήνες και που είχαν ενεργά προβλήματα υγείας. Από τους ασθενείς ζητήθηκε να βαδίσουν κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής με τέτοιο τρόπο ώστε το κάθε πόδι να μην περνάει από την απέναντι πλευρά της γραμμής, επιλέγοντας την πλέον άνετη ταχύτητα γι' αυτούς και κρατώντας βακτηρία στο δυνατό τους χέρι. Η κίνηση των ασθενών καταγράφονταν από το σύστημα Vicon 370, το οποίο περιλαμβάνει έξι υπέρυθρες κάμερες, που λειτουργούσαν με συχνότητα 60 Hz. Για την πραγματοποίηση της καταγραφής εφαρμόστηκαν τέσσερις ανακλαστήρες στη βακτηρία και τέσσερις στον ασθενή (δύο στα μεγάλα δάκτυλα των ποδιών και δύο στα έξω σφυρά). Κάθε ασθενής βάδισε και προς τις δύο κατευθύνσεις της γραμμής. Από την εργασία προέκυψε ότι οι ασθενείς βάδισαν σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες (4.2 έως 35.8cm/sec), με μικρό διασκελισμό (22.4 – 52.4cm) και με μεγάλο χρόνο κύκλου βάδισης (1.3 – 6.1 sec). Η διπλή και τριποδική στήριξη κατέλαβαν το 90% του κύκλου βάδισης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της μονής στήριξης καταλήφθηκε από το υγιές πόδι. Το πόδι αυτό εξάλλου βρισκόταν κατά 18% περισσότερο σε επαφή με το έδαφος σε σχέση με το ημίπληκτο πόδι και με τη βακτηρία.

Οι Turnbull και Wall, τέλος, το 1995 μελέτησαν τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις του ΑΕΕ στο πρότυπο βάρδισης των ασθενών και συγκεκριμένα στην ταχύτητα, στον χρόνο διασκελισμού και στην διάρκεια διάφορων φάσεων του κύκλου βάρδισης. Έξι άνδρες και δύο γυναίκες ηλικίας 56 – 69 ετών και διάρκειας νόσου 11 – 21 έτη πήραν μέρος στην έρευνα. Από αυτούς οι τέσσερις είχαν δεξιά ημιπληγία και οι άλλοι τέσσερις αριστερή. Στους εξεταζόμενους έγινε καταγραφή των παραμέτρων βάρδισης δέκα χρόνια μετά από μία αρχική μέτρηση, ενώ στο διάστημα που μεσολάβησε τα άτομα δεν υπέστησαν δεύτερο επεισόδιο ή κάποια άλλη σοβαρή διαταραχή που θα μπορούσε να αλλοιώσει περαιτέρω το πρότυπο βάρδισης. Η μέτρηση των παραμέτρων έγινε με την χρήση διαδρόμου – πλέγματος, που μετρούσε τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά βάρδισης των εξεταζομένων, ενώ η αρχική μέτρηση, που έγινε δέκα χρόνια νωρίτερα, έγινε με έναν πρόδρομο διάδρομο του τελικού, ο οποίος εκτιμούσε μόνο τα χρονικά χαρακτηριστικά. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι το ποσοστό της ολικής στήριξης καθώς και η πρώτη διπλή στήριξη στο ημίπληκτο πόδι μειώθηκε με το πέρασμα του χρόνου. Επίσης, ο χρόνος μονής στήριξης στο υγιές πόδι αυξήθηκε σημαντικά. Τέλος, ο χρόνος διασκελισμού ελαττώθηκε και ο δείκτης ασυμμετρίας της ολικής στήριξης κάθε ποδιού αυξήθηκε σημαντικά.

Συμπερασματικά, η ταχύτητα βάρδισης και η συμμετρία της κίνησης είναι τα χαρακτηριστικά που επηρεάζονται περισσότερο στους ασθενείς με ΑΕΕ, είτε βαδίζουν ανεξάρτητοι, είτε με βοηθητικές συσκευές. Η ασυμμετρία, ωστόσο, φαίνεται να βελτιώνεται με το πέρασμα του χρόνου.

Χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους

Σε αντιστοιχία με τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά, ακολουθούν τα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Καθώς δεν υπάρχουν έρευνες στην επαναληπτικότητα των χαρακτηριστικών αυτών σε άτομα με ΑΕΕ, θα γίνει αναφορά στην επαναληπτικότητα των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε υγιείς ενήλικες και σε άλλες έρευνες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε άτομα με ΑΕΕ.

Επαναληπτικότητα χαρακτηριστικών δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε υγιείς ενήλικες

Οι Kadaba et al (1989) προκειμένου να μελετήσουν την επαναληπτικότητα των κινητικών παραμέτρων βάρδισης μεταξύ τριών προσπαθειών βάρδισης 40 ατόμων ηλικίας 18 με 40 ετών, τόσο την ίδια ημέρα, όσο και σε τρεις διαφορετικές ημέρες χρησιμοποίησαν δύο δυναμοδάπεδα (AMTI). Οι εξεταζόμενοι εκτέλεσαν μερικές δοκιμαστικές προσπάθειες εξοικείωσης κατά μήκος ενός διαδρόμου μήκους έξι μέτρων και στη συνέχεια βάρδισαν με την φυσική τους ταχύτητα και προς τις δύο κατευθύνσεις του διαδρόμου, μέχρι να καταγραφούν τρεις έγκυρες προσπάθειες για το κάθε πόδι. Ως έγκυρες νοούνταν οι προσπάθειες όπου το εξεταζόμενο πόδι πατούσε εξολοκλήρου πάνω στο δυναμοδάπεδο, ενώ το άλλο πόδι δεν ερχόταν σε επαφή με το δυναμοδάπεδο. Η διαδικασία επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές με την μεσολάβηση τουλάχιστον μιας εβδομάδας. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τον συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού (coefficient of multiple determination- CMD). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε πολύ καλή επαναληπτικότητα των τιμών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους τόσο για τις μετρήσεις που έγιναν στην ίδια ημέρα όσο και για τις μετρήσεις των διαφορετικών ημερών. Η διακύμανση ήταν μικρότερη στην κατακόρυφη και προσθιοπίσθια συνιστώσα, σε σχέση με την μετωπιαία συνιστώσα και την ροπή γύρω από το κέντρο πίεσης. Στο γόνατο οι ροπές των δυνάμεων παρουσίαζαν μικρότερη επαναληπτικότητα από ότι στο ισχίο και στην ποδοκνημική.

Οι Growney et al (1997), μελέτησαν τις τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βήδισμα πέντε υγιών ενηλίκων (3 ανδρών, 2 γυναικών). Από τη μελέτη των συντελεστών πολλαπλής συσχέτισης διαπιστώθηκε ότι μεγαλύτερη επαναληπτικότητα παρουσίασαν η κατακόρυφη και η προσθιοπίσθια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, ανεξάρτητα από το αν η μέτρηση έγινε την ίδια ημέρα ή σε διαφορετικές ημέρες.

Οι Maynard et al (2003), τέλος, μελέτησαν τα κινητικά χαρακτηριστικά βάρδισης πέντε υγιών ατόμων για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των μετρήσεων μεταξύ διαφορετικών εξεταστών και μεταξύ διαφορετικών μετρήσεων του ίδιου εξεταστή. Για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των μετρήσεων από διαφορετικούς εξεταστές χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις άνδρες και 15 γυναίκες ηλικίας 34.4 ετών, ενώ για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των μετρήσεων από τον ίδιο εξεταστή χρησιμοποιήθηκαν πέντε άνδρες και πέντε γυναίκες ηλικίας 39.2 ετών. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ζητήθηκε

από τους εξεταζόμενους να βαδίσουν ξυπόλητοι με φυσική ταχύτητα. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τρεις μετρήσεις που έγιναν η μία το πρωί, η άλλη το απόγευμα της ίδιας ημέρας και η τρίτη μετά από μία εβδομάδα. Τα όργανα αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο AMTI δυναμοδάπεδα (μοντέλο BP 2416-1000). Οι κινητικοί παράγοντες που υπολογίστηκαν ήταν οι ροπές και οι δυνάμεις στην αρχική επαφή και στο μέσο της φάσης στήριξης. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε καλή συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων του ίδιου εξεταστή για όλες τις παραμέτρους πλην των ροπών του γόνατος στο μέσο της φάσης στήριξης και στη διάρκεια της φάσης αιώρησης. Ακόμη καλύτερη συσχέτιση προέκυψε μεταξύ των τριών εξεταστών σε όλες τις παραμέτρους.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι η επαναληπτικότητα των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά τη βάδιση δεν επηρεαζόταν από την ημέρα της καταγραφής, ή από τον εκτιμητή και ήταν υψηλότερη στο κατακόρυφο και στο προσθιοπίσθιο επίπεδο σε σχέση με το εγκάρσιο.

Άλλες μελέτες των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους βάδισης σε άτομα με ΑΕΕ

Οι Kim και Eng (2003) μελέτησαν τον βαθμό συμμετρίας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε 28 ασθενείς με ΑΕΕ προκειμένου να την συσχετίσουν με τον βαθμό συμμετρίας των χωροχρονικών μεταβλητών και της ταχύτητας βάδισης των ασθενών. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε αναλύθηκε εκτενέστερα προηγούμενα. Από την έρευνα προέκυψε πολύ καλή συσχέτιση της συμμετρίας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους με την ταχύτητα αλλά και με την ασυμμετρία του χρόνου στήριξης και αιώρησης των ασθενών. Η δύναμη αντίδρασης του εδάφους στο υγιές πόδι ήταν μεγαλύτερη από το ημίπληκτο με όχι, όμως, πολύ μεγάλη διαφορά.

Οι Olney et al (1998) μελέτησαν 31 ασθενείς με ΑΕΕ ως προς τα κινητικά χαρακτηριστικά βάδισής του. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ένα δυναμοδάπεδο συχνότητας 500Hz, ενώ οι τιμές σχετικοποιήθηκαν ως προς το βάρος των υποκειμένων. Τα υποκείμενα και η διαδικασία περιγράφηκαν προηγούμενα.. Όσον αφορά στις δυνάμεις, αυτές ήταν μειωμένες στην ποδοκνημική, όμως στους πιο γρήγορους βαδιστές ήταν αυξημένες στο ισχίο, αντισταθμίζοντας το έλλειμμα της ποδοκνημικής. Μικρότερη, τέλος, ήταν η υποστήριξη των πελματιαίων καμπτήρων στην φάση στήριξης, με την εμφάνιση αντισταθμιστικής υποστήριξης των εκτεινόντων του γόνατος στο τέλος της φάσης, πράγμα που δεν προβλέπεται σε υγιή άτομα, ενώ πέραν

του δέοντος υποστήριξη παρείχαν και οι εκτεινόντες ισχίου στο πρώτο μισό της φάσης στήριξης, στους αργούς βαδιστές.

Σκοπός των Morita et al (1995) ήταν να ελέγξουν κατά πόσο η αξιολόγηση της βάδισης με την χρήση δυναμοδαπέδου, μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη ένδειξη του βαθμού αποκατάστασης ατόμων με ΑΕΕ. Κριτήρια επιλογής του δείγματος ήταν η ικανότητα βάδισης των ασθενών χωρίς βοηθητικές συσκευές, ανεξάρτητα από την εμφάνιση ή μη αστάθειας, ενώ άτομα με ανώτερη φλοιώδη δυσλειτουργία, αταξία ή άλλη συγκεκριμένη επιπλοκή που να επηρεάζει την βάδιση αποκλείστηκαν από το δείγμα. Πενήντα οκτώ ασθενείς που υπέστησαν ΑΕΕ έξι τουλάχιστον μήνες πριν την έναρξη της έρευνας και είχαν μέση ηλικία 55.2 έτη, βάδισαν με ταχύτητα της επιλογής τους δύο φορές κατά μήκος διαδρόμου μήκους 10 μέτρων φορώντας παπούτσια, χωρίς τη χρήση βοηθητικών συσκευών. Στο διάδρομο είχαν τοποθετηθεί τέσσερα δυναμοδάπεδα διαστάσεων 0.4x2m σχηματίζοντας έτσι πλατφόρμα διαστάσεων 0.8x4m. Η αξιολόγηση του επιπέδου αποκατάστασης των ασθενών έγινε με την κλίμακα Brunnstrom, ενώ οι παράμετροι που εκτιμήθηκαν από τις καμπύλες των τριών συνιστωσών της δύναμης με τον χρόνο ήταν η αναλογία της ώθησης της κατακόρυφης συνιστώσας του ημίπληκτου ποδιού προς της ώθησης του υγιούς (Α), η μέση ώθηση της κατακόρυφης συνιστώσας σε κάθε πόδι (Β), η αναλογία της ώθησης επιτάχυνσης προς το άθροισμα επιτάχυνσης και επιβράδυνσης σε απόλυτες τιμές για κάθε πόδι (Γ) και η αναλογία μέσων ωθήσεων του ημίπληκτου προς το υγιές πόδι στο εγκάρσιο επίπεδο (Δ). Ο έλεγχος της συσχέτισης αυτών των παραμέτρων με το επίπεδο αποκατάστασης της κινητικότητας των ασθενών έγινε με τον συντελεστή Pearson (r) και έδειξε ότι το δυναμοδάπεδο αποτελεί αντικειμενικό και ποσοτικό μέσο εκτίμησης του επιπέδου αποκατάστασης των ασθενών, με τον συντελεστή (Δ) να εξασφαλίζει την φτωχότερη αλλά παρ' όλα αυτά σημαντική συσχέτιση. Έτσι, οι παραπάνω συντελεστές είναι πολύ χρήσιμοι στην αξιολόγηση της βάδισης, καθώς μεγέθη όπως η μέγιστη τιμή της δύναμης δεν δίνει ακριβή συμπεράσματα, λόγω της ανώμαλης εκτέλεσης της βάδισης από τους ασθενείς με ΑΕΕ. Περαιτέρω μελέτη των αποτελεσμάτων φανέρωσε μεγάλη κατακόρυφη φόρτιση στο υγιές πόδι, η οποία όμως αμβλυνόταν με την πρόοδο της αποκατάστασης. Στο υγιές πόδι, άλλωστε, η επιτάχυνση ήταν μεγαλύτερη από την επιβράδυνση, ενώ το αντίθετο ίσχυε στο ημίπληκτο, πιστοποιώντας την ασυμμετρία της βάδισης των ασθενών αυτών.

Οι Olney et al (1994), στην έρευνά τους για την συσχέτιση της ταχύτητας με άλλες παραμέτρους βάδισης ασθενών με ΑΕΕ, έλεγξαν και τις κινητικές παραμέτρους. Το δείγμα και η διαδικασία περιγράφηκε προηγουμένα ενώ το όργανο καταγραφής που

χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα δυναμοδάπεδο συχνότητας 500 Hz. Τα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, που σχετικοποιήθηκαν ως προς το βάρος των ασθενών, έδειξαν ότι η μέγιστη ισχύς ποδοκνημικής και ισχίου του ημίπληκτου ποδιού συσχετίζεται καλύτερα με την ταχύτητα βάρδισης.

Τέλος, οι Teixeira-Salmela et al (2001) μελέτησαν τις κινητικές παραμέτρους ασθενών με ΑΕΕ. Η ανάλυση της βάρδισης έγινε με ένα δυναμοδάπεδο AMT1 συχνότητας 1200Hz. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι το προφίλ των ροπών και των δυνάμεων των ασθενών ήταν παρόμοιο με αυτό των υγιών, με την διαφορά ότι τα γεγονότα έτειναν να συμβαίνουν καθυστερημένα στην ημίπληκτη πλευρά και νωρίτερα στην υγιή. Επιπλέον το μέγεθος τους ήταν μικρότερο. Πιο συγκεκριμένα, οι αρθρικές δυνάμεις ήταν μικρότερες σε μέγεθος στους ασθενείς, κυρίως δε στην ποδοκνημική άρθρωση. Αντίθετα στο ισχίο οι αρθρικές δυνάμεις ήταν κοντά στα φυσιολογικά επίπεδα, όπως και στα γόνατα.

Μεθοδολογία

Δείγμα

Στην έρευνα πήραν μέρος τρεις ασθενείς με ΑΕΕ (δύο άνδρες, μία γυναίκα) ηλικίας 69 έως 77 ετών (Μ.Ο.=73,3, Τ.Α.= 3,3 έτη), με μέσο βάρος $84,39 \pm 8$ kgr και μέσο ύψος 161.3 ± 3.4 cm. Δύο από αυτούς παρουσίαζαν αριστερή ημιπληγία, ενώ ο τρίτος εμφάνιζε δεξιά ημιπληγία. Ένας από τους ασθενείς είχε υποστεί δύο ΑΕΕ στο παρελθόν. Η επιλογή των ασθενών έγινε από το εξωτερικό νευρολογικό ιατρείο του Γενικού Νοσοκομείου Κομοτηνής. Κριτήρια για την επιλογή ήταν η απουσία άλλων νευρολογικών ή μυοσκελετικών διαταραχών, η ικανότητα τους να βαδίζουν χωρίς εξωτερική βοήθεια, παρά μόνο με βοηθητική συσκευή της καθημερινότητάς τους, για τουλάχιστον 20 μέτρα και η ικανότητα επικοινωνίας. Οι ασθενείς ενημερώθηκαν για τον σκοπό και το πρωτόκολλο της έρευνας και συμπλήρωσαν υπεύθυνα δήλωση εκούσιας συμμετοχής στο πείραμα. Επιπλέον αποκτήθηκε ιατρική γνωμάτευση σχετικά με την πλήρη δυνατότητα της συμμετοχής τους στην ερευνητική διαδικασία.

Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα ήταν τα παρακάτω:

1. Ζυγαριά, για τη μέτρηση της σωματικής μάζας με ακρίβεια 0.5kgr.
2. Μετροταινία, για τη μέτρηση του σωματικού ύψους με ακρίβεια 0.5cm.
3. Σύστημα ηλεκτρονικής χρονομέτρησης, που περιελάμβανε δύο ζεύγη φωτοκυττάρων-ανακλαστήρων και ηλεκτρονικό χρονόμετρο, το οποίο είχε τη δυνατότητα μέτρησης τόσο ενδιάμεσων χρόνων όσο και του συνολικού χρόνου της κίνησης. Για την τοποθέτηση των φωτοκυττάρων και των ανακλαστήρων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τρίποδες μεταβλητού ύψους, με διαθέταν κεφαλές που ρυθμιζόντουσαν σε τρία επίπεδα.

4. Σύστημα ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες, για την καταγραφή και ανάλυση των κινηματικών παραμέτρων του βαδίσματος (Ariel Performance Analysis System-APAS). Το σύστημα περιελάμβανε:

- δύο ψηφιακές κάμερες (RedLake Imaging Co., τύπος 1000S). Κάθε κάμερα είχε ταχύτητα λήψης 60 έως 1000 εικόνες το δευτερόλεπτο, μεταβλητή ταχύτητα φωτοφράκτη μεταξύ 1/60sec έως 1/5000sec, φακό μεταβλητής εστίασης, με μεταβλητό διάφραγμα και ψηφιακό μέσο αποθήκευσης χωρητικότητας 1024 διαφορετικών εικόνων. Επιπλέον, κάθε κάμερα διέθετε δυνατότητα συγχρονισμού μέσω διάταξης ηλεκτρονικού κλειδώματος (genlock), είσοδο εξωτερικού σήματος ενεργοποίησης (trigger) και έξοδο S-video. Οι κάμερες τοποθετούνταν σε τρίποδες μεταβλητού ύψους με κεφαλές πολλαπλών ρυθμίσεων.
- δύο προβολείς ισχύος 300W
- διαβαθμιστή σχήματος κύβου με διαστάσεις 180x180x90cm
- δύο βίντεο (Panasonic) για την εγγραφή των εικόνων από το ψηφιακό μέσο αποθήκευσης της κάμερας
- Η/Υ εφοδιασμένο με κάρτα βίντεο για τη μεταφορά των εικόνων από τις βιντεοταινίες στον σκληρό δίσκο του Η/Υ σε ψηφιακή μορφή, δύο μόνιτρο (με ανάλυση 1024x768) και έγχρωμο εκτυπωτή.
- Ειδικό λογισμικό (software) για την ψηφιοποίηση των εικόνων, την επεξεργασία και ανάλυση των κινηματικών δεδομένων

5. Σύστημα καταγραφής και ανάλυσης των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους. Το σύστημα περιελάμβανε:

- ένα πιεζοηλεκτρικό δυναμοδάπεδο (Kistler, τύπος 9281B11), διαστάσεων 40x60cm. Το δυναμοδάπεδο περιείχε τέσσερις ενσωματωμένους πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς, για την καταγραφή των τριών συνιστωσών (κατακόρυφη-Fz, προσθιοπίσθια-Fy και εγκάρσια-Fx) της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, των τριών συνιστωσών της αντίστοιχης ροπής και των συντεταγμένων του κέντρου πίεσης. Το δυναμοδάπεδο ήταν πακτωμένο στο έδαφος μέσω ενός ειδικού πλαισίου ανάρτησης (Kistler, τύπος 9423).
- Ενισχυτή φορτίου (Kistler, τύπος 9865C1Y28) για την ενίσχυση του ηλεκτρικού φορτίου των πιεζοηλεκτρικών μετατροπέων του δυναμοδαπέδου και τη μετατροπή τους σε αναλογικό σήμα.

- Αναлого-ψηφιακό μετατροπέα (ARIEL) 16 καναλιών, για τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και την καταγραφή του σε H/Y.
 - Λογισμικό καταγραφής, επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους.
6. *Σύστημα συγχρονισμού των δύο μηχανών λήψης και του δυναμοδαπέδου, που αποτελούνταν από ηλεκτρικό κύκλωμα με είσοδο το σήμα εξόδου ενός μετατροπέα του δυναμοδαπέδου και έξοδο αναλογικό σήμα τάσεως 10V. Η έξοδος του αναλογικού σήματος συνδεόταν με την είσοδο συγχρονισμού της μιας ψηφιακής κάμερας (master). Η έξοδος συγχρονισμού της ίδιας κάμερας συνδεόταν στη συνέχεια με την είσοδο συγχρονισμού της δεύτερης κάμερας (slave). Με τον τρόπο αυτό οι δύο κάμερες ενεργοποιούνταν ταυτόχρονα με την επαφή του πέλματος του βαδιστή στο δυναμοδάπεδο.*

Όλα τα παραπάνω όργανα ελέγχθηκαν για την σωστή και αξιόπιστη λειτουργία τους πριν από την έναρξη των μετρήσεων.

Διαδικασία μέτρησης

Οι μετρήσεις και η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εμβιομηχανικής του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Δ.Π.Θ. το 2004. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κάθε άτομο ξεχωριστά προκειμένου να αποφευχθεί η καταπόνησή τους. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες για να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση του περιβάλλοντος στα δεδομένα των μετρήσεων.

Προετοιμασία του χώρου των μετρήσεων

Ο χώρος μέτρησης αποτελούνταν από έναν διαδρόμο βάδισης μήκους 15m, στο μέσο του οποίου βρισκόταν το δυναμοδάπεδο. Κάθε ένα από τα δύο ζεύγη φωτοκυττάρων-ανακλαστήρων τοποθετήθηκε κάθετα στο διάδρομο βάδισης, 2m από τη μέση γραμμή του δυναμοδαπέδου, έτσι ώστε να απέχουν μεταξύ τους 4m. Οι κάμερες τοποθετήθηκαν από τη μια πλευρά του διαδρόμου βάδισης, σε απόσταση 5m από αυτόν, με τους οπτικούς τους άξονες να σχηματίζουν γωνία 80°. Καθένας από τους δύο προβολείς τοποθετήθηκε στο ίδιο ύψος με την αντίστοιχη κάμερα, εξασφαλίζοντας διεύθυνση φωτεινής δέσμης παράλληλη προς τον οπτικό άξονα της κάμερας.

Για τη διαβάθμιση του χώρου λήψης, τοποθετήθηκαν σε διάφορα σημεία πάνω στις ακμές του διαβαθμιστή 12 αυτοκόλλητοι σφαιρικοί ανακλαστήρες, διαμέτρου 1.5cm.

Ο διαβαθμιστής τοποθετήθηκε στο μέσο της απόστασης μεταξύ των φωτοκυττάρων, παράλληλα προς τον διάδρομο βάδισης, ενώ το σταθερό σημείο τοποθετήθηκε σε απόσταση 50cm από τη διεύθυνση βαδίσματος, κάθετα σε αυτή.

Προετοιμασία των ασθενών

Οι ασθενείς προσέρχονταν στο χώρο των μετρήσεων, 3 τουλάχιστον ώρες μετά τη λήψη του τελευταίου γεύματος και χωρίς να έχουν προηγουμένως συμμετάσχει σε κάποια έντονη δραστηριότητα. Αρχικά, έβγαζαν τα παπούτσια και τις κάλτσες τους, καθώς και κάθε ρούχο που πιθανόν να παρεμπόδιζε την ελεύθερη κίνηση των κάτω άκρων κατά τη βάδιση. Στη συνέχεια καταγραφόταν το ύψος και το βάρος των εξεταζομένων καθώς και το μήκος των κάτω άκρων τους. Το μήκος του κάθε κάτω άκρου μετρήθηκε σε εκατοστά, από την πρόσθια άνω λαγόνια άκανθα μέχρι τον έσω σφυρό του άκρου, με τη χρήση μιας μετροταινίας. Τέλος, μετρήθηκε το πλάτος της λεκάνης τους, ως η απόσταση μεταξύ των δύο πρόσθιων άνω λαγόνιων ακάνθων, σε εκατοστά, με τη χρήση ενός ανθρωπομετρικού παχύμετρου.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν πάνω σε συγκεκριμένα ανατομικά σημεία του σώματος των εξεταζομένων, σφαιρικοί αυτοκόλλητοι ανακλαστήρες διαμέτρου 1cm. Οι ανακλαστήρες τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε το κάθε κάτω άκρο να μοντελοποιηθεί ως ένα σύστημα δύο άκαμπτων μελών: α) της κνήμης, που οριζόταν ως το ευθύγραμμο τμήμα με κοντινό (proximal) σημείο έναν ανακλαστήρα στον έξω μηριαίο κόνδυλο και μακρινό (distal) σημείο έναν ανακλαστήρα στο έξω σφυρό και β) του άκρου ποδός, που οριζόταν ως το ευθύγραμμο τμήμα με κοντινό σημείο έναν ανακλαστήρα στο οπίσθιο άκρο της πτέρνας και μακρινό σημείο έναν ανακλαστήρα στην κεφαλή του 2^{ου} μεταταρσίου. Επισημαίνεται ότι ο ανακλαστήρας της πτέρνας τοποθετούνταν ακριβώς στο ίδιο ύψος από το έδαφος με τον ανακλαστήρα της κεφαλής του 2^{ου} μεταταρσίου, ώστε το μεταξύ τους ευθύγραμμο τμήμα (που αντιστοιχούσε στο άκρο πόδι) να είναι οριζόντιο με το έδαφος κατά την πλήρη επαφή του πέλματος.

Διεξαγωγή των μετρήσεων

Από τους ασθενείς ζητήθηκε να βαδίσουν με την φυσική τους ταχύτητα, δηλαδή την ταχύτητα που επέλεγαν να έχουν όταν εκτελούν έναν περίπατο αναψυχής. Η βάδιση πραγματοποιούνταν και προς τις δύο κατευθύνσεις του διαδρόμου έτσι, ώστε να συλλεχθούν δεδομένα και από τις δύο πλευρές του σώματος, μιας και οι κάμερες ήταν τοποθετημένες στην ίδια πλευρά του διαδρόμου. Αφού επιτράπηκε στους ασθενείς να

εκτελέσουν 10 προσπάθειες εξοικείωσης με τον χώρο και τον εξοπλισμό, ακολούθησαν τόσες προσπάθειες ώστε να εξασφαλιστούν 10 έγκυρες προσπάθειες κατά τις οποίες το προς εξέταση πόδι πατούσε ολόκληρο μέσα στο δυναμοδάπεδο, χωρίς ταυτόχρονα να πατήσει σε αυτό και τμήμα του άλλου ποδιού. Σε κάθε προσπάθεια καταγράφηκαν οι εικόνες της κίνησης του αντίστοιχου κάτω άκρου και οι τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Ο χρόνος διαλείμματος μεταξύ των διαδοχικών προσπαθειών ήταν τρία λεπτά. Κατά τη διάρκεια του διαλείμματος αντιγράφονταν οι εικόνες της κίνησης από το ψηφιακό μέσο της κάμερας σε S-VHS βιντεοταινίες και μηδενιζόντουσαν οι ενδείξεις του δυναμοδαπέδου.

Οι εικόνες της κίνησης του κάθε κάτω άκρου κατά το βάδισμα καταγράφηκαν με ταχύτητα λήψης 125 εικόνες/sec και με ταχύτητα φωτοφράκτη 1/500sec. Το κάδρο λήψης της κάθε κάμερας ρυθμίστηκε ώστε να καταγράφεται ένας πλήρης κύκλος βαδίσματος. Τέλος, τα δεδομένα των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους καταγράφηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz.

Επεξεργασία των εικόνων

Μετά το τέλος των μετρήσεων, οι εικόνες της κάθε προσπάθειας του κάθε εξεταζομένου μεταφέρθηκαν, σε ψηφιακή μορφή, στον σκληρό δίσκο του H/Y του συστήματος ανάλυσης της κίνησης (APAS). Με τη βοήθεια του λογισμικού του APAS πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση των εικόνων και προσδιορίστηκαν οι διαστάσεις συντεταγμένες της θέσης του κάθε ανακλαστήρα στο επίπεδο της λήψης της κάθε κάμερας. Ακολούθησε ο μετασχηματισμός των διαστάσεων συντεταγμένων των ανακλαστήρων σε πραγματικές τρισδιάστατες συντεταγμένες με τη μέθοδο του άμεσου γραμμικού μετασχηματισμού (DLT) (Abdel-Aziz & Karara, 1971).

Οι αρχικές τρισδιάστατες τιμές των συντεταγμένων της θέσης των ανακλαστήρων εξομαλύνθηκαν με ψηφιακά κατω-διαπερατά φίλτρα Butterworth 2^{ης} τάξης. Για τον προσδιορισμό των συχνοτήτων κοπής των ψηφιακών φίλτρων πραγματοποιήθηκε ανάλυση των υπολοίπων της εξομάλυνσης, δηλαδή των διαφορών μεταξύ των φιλτραρισμένων και των αρχικών δεδομένων για ευρύ φάσμα συχνοτήτων κοπής, από 2 ως 12Hz, αυξανόμενο κατά 1Hz κάθε φορά. Ο υπολογισμός των υπολοίπων ($R_{(fc)}$) της εξομάλυνσης για κάθε συχνότητα κοπής και για ένα σύνολο N τιμών (δειγμάτων), έγινε σύμφωνα με την εξίσωση (Winter, 1990):

$$R_{(f_c)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_j)^2}$$

όπου, x_i = η αρχική τιμή του i δείγματος και x_j = η φιλτραρισμένη τιμή του, με συχνότητα κοπής f_c . Απ' το διάγραμμα των υπολοίπων της εξομάλυνσης προς τις συχνότητες κοπής, επιλέχθηκε στη συνέχεια η κατάλληλη συχνότητα κοπής για κάθε άτομο, με τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 5 και 6Hz.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι παρακάτω χωρο-χρονικές παράμετροι του βαδίσματος:

- Διάρκεια κύκλου βάδισης (διασκελισμού): ο χρόνος ανάμεσα στην αρχική επαφή της φτέρνας του εξεταζόμενου ποδιού και στην δεύτερη επαφή της φτέρνας του ίδιου ποδιού. Η διάρκεια του διασκελισμού μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα.
- Διάρκεια βήματος: ο χρόνος ανάμεσα στην αρχική επαφή της φτέρνας του αντίθετου ποδιού και στην επόμενη επαφή της φτέρνας του εξεταζόμενου ποδιού. Η διάρκεια του βήματος μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα και στη συνέχεια υπολογίστηκε ως ποσοστό % της διάρκειας του κύκλου βάδισης
- Διάρκεια στήριξης: ο χρόνος ανάμεσα στην αρχική επαφή της φτέρνας του εξεταζόμενου ποδιού και στην απογείωση των δακτύλων του ίδιου ποδιού από το έδαφος. Η διάρκεια της στήριξης μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα και στη συνέχεια υπολογίστηκε ως ποσοστό % του κύκλου βάδισης
- Διάρκεια αιώρησης: ο χρόνος ανάμεσα στην απογείωση των δακτύλων του εξεταζόμενου ποδιού και στην δεύτερη επαφή της φτέρνας του ίδιου ποδιού με το έδαφος. Η διάρκεια της αιώρησης μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα και στη συνέχεια υπολογίστηκε ως ποσοστό % του κύκλου βάδισης
- Διάρκεια μονής στήριξης: ο χρόνος ανάμεσα στην απογείωση των δακτύλων του αντίθετου ποδιού και στην προσγείωση της φτέρνας του αντίθετου ποδιού. Η διάρκεια μονής στήριξης μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα και στη συνέχεια υπολογίστηκε ως ποσοστό % του κύκλου βάδισης
- Διάρκεια διπλής στήριξης: το άθροισμα του χρόνου ανάμεσα στην αρχική επαφή της φτέρνας του εξεταζόμενου ποδιού και στην απογείωση των δακτύλων του αντίθετου ποδιού και του χρόνου ανάμεσα στην προσγείωση των δακτύλων του αντίθετου ποδιού και στην απογείωση των δακτύλων του εξεταζόμενου ποδιού. Η διάρκεια της διπλής στήριξης μετρήθηκε σε δευτερόλεπτα και στη συνέχεια υπολογίστηκε ως ποσοστό % του κύκλου βάδισης

- Λόγος αιώρησης/στήριξης: το πηλίκo της διάρκειας της αιώρησης προς την διάρκεια της στήριξης.
- Συχνότητα βάδισης: ο αριθμός των βημάτων στη διάρκεια ενός λεπτού. Υπολογίστηκε από το πηλίκo της διάρκειας βήματος προς τη διάρκεια του κύκλου βάδισης. Η συχνότητα βάδισης υπολογίστηκε σε βήματα ανά λεπτό (steps/min)
- Μήκος διασκελισμού: η οριζόντια απόσταση στη διεύθυνση του βαδίσματος μεταξύ της φτέρνας του εξεταζόμενου ποδιού κατά την πρώτη πλήρη επαφή του πέλματος και της φτέρνας του ίδιου ποδιού στην επόμενη πλήρη επαφή του πέλματος. Το μήκος διασκελισμού υπολογίστηκε σε εκατοστά και στη συνέχεια εκφράστηκε ως ποσοστό % του μήκους του αντίστοιχου κάτω άκρου
- Μήκος βήματος: η οριζόντια απόσταση στη διεύθυνση του βαδίσματος μεταξύ της φτέρνας του αντίθετου ποδιού κατά την πλήρη επαφή του πέλματος του και τη φτέρνας του εξεταζόμενου ποδιού κατά την επόμενη πλήρη επαφή του πέλματος του εξεταζόμενου ποδιού. Το μήκος του βήματος υπολογίστηκε σε εκατοστά και στη συνέχεια εκφράστηκε σε ποσοστό % του μήκους του αντίστοιχου κάτω άκρου.
- Πλάτος βάσης στήριξης: η κάθετη στη διεύθυνση του βαδίσματος απόσταση ανάμεσα στη φτέρνα του εξεταζόμενου ποδιού κατά την πλήρη επαφή του πέλματος του και στη φτέρνα του αντίθετου ποδιού κατά την επόμενη πλήρη επαφή του πέλματος του αντίθετου ποδιού. Το πλάτος της βάσης στήριξης υπολογίστηκε σε εκατοστά και στη συνέχεια εκφράστηκε ως ποσοστό % του πλάτους της λεκάνης του εξεταζόμενου.
- Γωνία ποδιού: η γωνία ανάμεσα στον επιμήκη άξονα του πέλματος του εξεταζόμενου ποδιού και στην διεύθυνση του βαδίσματος. Η γωνία ποδιού υπολογίστηκε σε μοίρες
- Ταχύτητα βαδίσματος: το γινόμενο του μήκους του διασκελισμού επί την διάρκεια του διασκελισμού του εξεταζόμενου κάτω άκρου. Η ταχύτητα βαδίσματος υπολογίστηκε σε εκατοστά ανά δευτερόλεπτο.
- Λόγος βαδίσματος (walking ratio): το πηλίκo της συχνότητας (μετρημένη σε βήματα ανά λεπτό) προς το μήκος του βήματος.

Επεξεργασία των δεδομένων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω οι τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους [κατακόρυφη (F_z), οριζόντια στη διεύθυνση βαδίσματος (F_y) και οριζόντια κάθετη στη διεύθυνση βαδίσματος (F_x)] καταγράφηκαν αρχικά με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz. Στη συνέχεια οι τιμές της κάθε συνιστώσας υπολογίστηκαν για κάθε 1% της διάρκειας της στήριξης με τη μέθοδο της παρεμβολής (interpolation) με τμηματικά πολώνυμα τρίτου βαθμού (cubic splines), μέσω κατάλληλου αλγόριθμου που δημιουργήθηκε στο λογισμικό μαθηματικής επεξεργασίας δεδομένων MatLab v.13.1. Τέλος, οι τιμές της κάθε συνιστώσας σχετικοποιήθηκαν ως προς το βάρος του εξεταζόμενου και εκφράστηκαν ως ποσοστό % του βάρους του.

Σχεδιασμός της έρευνας

Οι εξαρτημένες μεταβλητές της έρευνας ήταν όλες οι εξεταζόμενες χωρο-χρονικές παράμετροι του βαδίσματος (διάρκεια κύκλου βάδισης, διάρκεια βήματος, διάρκεια στήριξης, διάρκεια αιώρησης, διάρκεια μονής στήριξης, διάρκεια διπλής στήριξης, λόγος αιώρησης/στήριξης, συχνότητα βαδίσματος, μήκος διασκελισμού, μήκος βήματος, πλάτος βάσης στήριξης, γωνία ποδιού, ταχύτητα βαδίσματος και λόγος βαδίσματος) καθώς και οι τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους.

Κατά τη στατιστική επεξεργασία των παραπάνω μεταβλητών, αρχικά ελέγχθηκε η κανονικότητα της κατανομής όλων των κινηματικών μεταβλητών με το μη-παραμετρικό τεστ Kolmogorov-Smirnov για ένα δείγμα. Στη συνέχεια για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των κινηματικών μεταβλητών υπολογίστηκε για το κάθε κάτω άκρο ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation – CV) των 10 προσπαθειών. Τέλος, για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των δεδομένων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, υπολογίστηκαν για το κάθε κάτω άκρο και για την κάθε συνιστώσα ο συντελεστής μεταβλητότητας των 10 προσπαθειών, ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης (intra-class correlation coefficient - ICC) τόσο για το σύνολο των 10 προσπαθειών όσο και για μια μεμονωμένη προσπάθεια, καθώς και ο συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης (coefficient of multiple correlation – CMC) για το σύνολο των προσπαθειών. Ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας στην παρούσα έρευνα ορίστηκε το $p < .05$.

Αποτελέσματα

Όλες οι μεταβλητές ελέγχθηκαν αρχικά ως προς την κανονικότητά τους μέσω του τεστ Κομογορον-Sμιπρον για ένα δείγμα (Baumgartner, 1989). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι όλες οι μεταβλητές ακολουθούσαν την κανονική κατανομή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αρχικά τα αποτελέσματα για τις χωρο-χρονικές παραμέτρους και ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τις τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους.

Χωρο-χρονικές παράμετροι

Για τον προσδιορισμό της επαναληπτικότητας των χωρο-χρονικών μεταβλητών υπολογίστηκε ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation – CV) μέσω της εξίσωσης (Winter, 1991):

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}}{\bar{X}} \times 100\%$$

όπου, N : ο αριθμός των προσπαθειών, X_n : η τιμή της παραμέτρου στην κάθε προσπάθεια και \bar{X} : ο μέσος όρος των τιμών της παραμέτρων στο σύνολο των N προσπαθειών.

Στους Πίνακες 1 και 2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των βασικών χωρο-χρονικών παραμέτρων του βαδίσματος, για τα δύο κάτω άκρα των εξεταζομένων.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας των παραμέτρων του βαδίσματος, για τα δύο κάτω άκρα των εξεταζομένων.

Δύναμη αντίδρασης του εδάφους

Για τον προσδιορισμό της επαναληπτικότητας των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους υπολογίστηκε ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης (intra-

class correlation coefficient – ICC) μεταξύ των διαφορετικών δοκιμασιών βάρδισης, μέσω ενός μοντέλου ανάλυσης διακύμανσης με δύο παράγοντες (two-way ANOVA), σύμφωνα με την εξίσωση (Baumgartner, 1989):

$$ICC = \frac{MS_s - MS_t}{MS_s}$$

όπου, ICC: ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης μεταξύ ενός αριθμού N προσπαθειών, MS_s : το μέσο τετράγωνο μεταξύ των προσπαθειών, MS_t : το μέσο τετράγωνο της αλληλεπίδρασης μεταξύ προσπαθειών και χρονικών στιγμών του κύκλου του βαδίσματος.

Πίνακας 1. Μέσοι όροι (Τ.Α.) των χρονικών παραμέτρων του βαδίσματος, για το δεξιό (Δ) και αριστερό (Α) κάτω άκρο των εξεταζομένων.

Παράμετροι	Εξεταζόμενος					
	Α		Β		Γ	
	Δ	Α	Δ	Α	Δ	Α
Διάρκεια διασκελισμού (sec)	1,24 (0,05)	1,24 (0,02)	1,20 (0,03)	1,18 (0,01)	1,32 (0,04)	1,33 (0,08)
Διάρκεια βήματος (% κύκλου)	49,31 (0,96)	50,61 (1,15)	50,18 (0,97)	50,27 (0,99)	53,29 (2,36)	48,49 (2,19)
Διάρκεια στήριξης (% κύκλου)	61,92 (2,24)	60,27 (1,55)	64,55 (1,33)	63,49 (0,93)	63,19 (2,27)	64,38 (2,05)
Διάρκεια αιώρησης (% κύκλου)	38,08 (2,24)	39,75 (1,55)	35,45 (1,33)	36,50 (0,93)	36,80 (2,27)	35,61 (2,05)
Διάρκεια μονής στήριξης (% κύκλου)	39,23 (3,49)	38,01 (3,17)	34,21 (1,07)	37,31 (0,93)	34,70 (2,24)	36,38 (1,54)
Διάρκεια διπλής στήριξης (% κύκλου)	22,68 (5,06)	22,26 (4,28)	30,33 (1,46)	26,18 (0,66)	28,48 (1,57)	27,99 (2,59)
Λόγος αιώρησης/στήριξης	0,62 (0,06)	0,66 (0,04)	0,55 (0,03)	0,57 (0,02)	0,58 (0,06)	0,55 (0,05)
Συχνότητα βάρδισης (steps/min)	96,74 (4,08)	96,12 (1,73)	100,06 (2,53)	101,78 (1,44)	90,41 (2,87)	89,93 (5,28)

Πίνακας 2. Μέσοι όροι (Τ.Α.) των παραμέτρων του χώρου και των χωρο-χρονικών παραμέτρων του βαδίσματος, για το δεξιό (Δ) και αριστερό (Α) κάτω άκρο των εξεταζομένων.

Παράμετροι	Εξεταζόμενος					
	Α		Β		Γ	
	Δ	Α	Δ	Α	Δ	Α
Ταχύτητα βάδισης (m/s)	1,05 (0,1)	0,99 (0,03)	0,86 (0,02)	0,87 (0,02)	0,57 (0,03)	0,64 (0,04)
Λόγος βαδίσματος	0,006 (0,00)	0,006 (0,00)	0,004 (0,00)	0,005 (0,00)	0,005 (0,00)	0,005 (0,00)
Μήκος διασκελισμού (% μήκους σκέλους)	149,81 (5,12)	149,14 (4,59)	116,18 (2,17)	114,68 (2,28)	107,24 (4,45)	107,45 (4,16)
Μήκος βήματος (% μήκους σκέλους)	74,46 (2,75)	74,9 (3,15)	55,32 (1,46)	59,24 (1,5)	53,85 (33,37)	53,53 (3,08)
Πλάτος βάσης στήριξης (% πλάτους λεκάνης)	29,89 (6,63)	30,15 (6,74)	21,41 (4,59)	22,14 (4,76)	51,03 (9,45)	51,52 (7,83)
Γωνία ποδιού (deg)	-14,42 (2,29)	-15,07 (2,41)	-20,75 (1,47)	-18,13 (2,09)	-7,17 (2,55)	-9,81 (3,15)

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης για μια μεμονωμένη προσπάθεια βάδισης (ICC^I), επίσης μέσω ενός μοντέλου ανάλυσης διακύμανσης με δύο παράγοντες (two-way ANOVA), σύμφωνα με την εξίσωση (Baumgartner, 1989):

$$ICC^I = \frac{MS_s - MS_i}{MS_s + (N/K - 1) \cdot MS_i}$$

όπου, ICC^I : ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης για μία μεμονωμένη προσπάθεια, MS_s : το μέσο τετράγωνο μεταξύ των προσπαθειών, MS_i : το μέσο τετράγωνο της αλληλεπίδρασης μεταξύ προσπαθειών και χρονικών στιγμών του κύκλου βάδισης, N : ο αριθμός των προσπαθειών που καταγράφηκαν και K : ο αριθμός των επιθυμητών προσπαθειών για τις οποίες εκτιμάται ο συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης.

Τέλος, εκτιμήθηκε ο ελάχιστος αριθμός προσπαθειών (K) που απαιτείται, ώστε να εξασφαλιστεί συντελεστής επαναληπτικότητας (ICC) μεγαλύτερος ή ίσος με 0.95, μέσω της εξίσωσης πρόβλεψης των Spearman-Brown (Spearman-Brown prophecy formula) (Baumgartner, 1989):

$$ICC = \frac{K \cdot (ICC^1)}{1 + [(K - 1) \cdot (ICC^1)]} \Rightarrow K = \frac{ICC \cdot (1 - ICC^1)}{ICC^1 \cdot (1 - ICC)}$$

όπου, ICC^1 : ο υπολογισμένος συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης για μία μεμονωμένη δοκιμασία μέτρησης, K : ο αριθμός των επιθυμητών προσπαθειών και ICC : ο εκτιμώμενος συντελεστής εσωτερικής συσχέτισης για K προσπάθειες (0.95).

Πίνακας 3. Συντελεστές μεταβλητότητας (%) των παραμέτρων του βαδίσματος, για το δεξιό (Δ) και αριστερό (A) κάτω άκρο των εξεταζομένων

Δ : δεξιό κάτω άκρο, A : αριστερό κάτω άκρο

Παράμετροι	Εξεταζόμενος					
	A		B		Γ	
	Δ	A	Δ	A	Δ	A
Διάρκεια διασκελισμού	4,20	1,79	2,59	1,43	3,22	5,91
Διάρκεια βήματος	1,95	2,28	1,93	1,98	4,43	4,52
Διάρκεια στήριξης	3,61	2,57	2,07	1,46	3,61	3,19
Διάρκεια αιώρησης	5,88	3,91	3,76	2,55	6,19	5,77
Διάρκεια μονής στήριξης	8,90	8,34	3,14	2,50	6,45	4,25
Διάρκεια διπλής στήριξης	22,32	19,25	4,84	2,55	5,52	9,26
Λόγος αιώρησης/στήριξης	9,56	6,61	5,90	4,01	10,43	8,92
Συχνότητα βάδισης	4,22	1,81	2,53	1,42	3,18	5,87
Ταχύτητα βάδισης	9,52	3,03	2,32	2,3	5,26	6,25
Λόγος βαδίσματος	7,00	8,33	5,12	9,14	10,71	8,4
Μήκος διασκελισμού	3,28	3,08	1,87	1,99	4,16	3,87
Μήκος βήματος	3,70	4,20	2,64	2,53	6,20	5,74
Πλάτος βάσης στήριξης	22,20	22,35	21,51	21,49	18,52	15,20
Γωνία ποδιού	15,85	15,99	7,08	11,52	35,51	32,11

Προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής μεταβλητότητας όλων των τιμών των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο σύνολο των 10 δοκιμασιών βάδισης, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία (Winter, 1991):

- i) ο χρόνος στήριξης σε κάθε δοκιμασία ορίστηκε ως το 100% του χρόνου στήριξης.
- ii) υπολογίστηκαν οι τιμές της κάθε συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, σε κάθε χρονικό διάστημα ίσο με 1% του χρόνου στήριξης, μέσω interpolation με ένα τμηματικό πολυώνυμο (spline).
- iii) Σε κάθε χρονικό διάστημα του 1% υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των τιμών της κάθε συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο σύνολο των 10 δοκιμασιών βάδισης.
- iv) Υπολογίστηκε, για κάθε εξεταζόμενο, ο συντελεστής μεταβλητότητας (CV) μέσω της εξίσωσης (Winter, 1991):

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \sigma_i^2}}{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |\bar{X}_i|} \times 100\%$$

όπου, T : ο αριθμός των διαστημάτων του χρόνου στήριξης (100), \bar{X}_i : ο μέσος όρος των τιμών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε κάθε χρονικό διάστημα i και σ_i : η τυπική απόκλιση των τιμών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε κάθε χρονικό διάστημα i .

Τέλος, υπολογίστηκε ο συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης (coefficient of multiple correlation – CMC) μέσω της εξίσωσης (Gronney, et al, 1997):

$$CMC = \sqrt{1 - \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (F_{nt} - \bar{F}_t)^2}{T(N-1)}}{\frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (F_{nt} - \bar{F})^2}{NT-1}}$$

όπου, F_{nt} : η τιμή της δύναμης σε κάθε χρονικό σημείο t , για κάθε προσπάθεια n , T : ο αριθμός των χρονικών σημείων (100), N : ο αριθμός των δοκιμασιών βάδισης (10), \bar{F}_t : ο μέσος όρος της τιμής της δύναμης, για τις n δοκιμασίες βάδισης, σε κάθε χρονικό σημείο

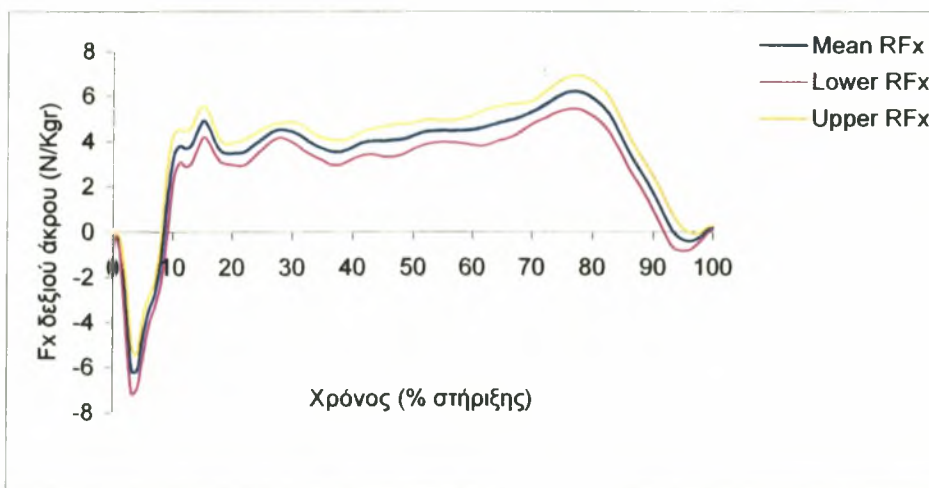
ι, και \bar{F} : ο μέσος όρος όλων των τιμών της δύναμης στο σύνολο των χρονικών σημείων και στο σύνολο των δοκιμασιών βάρδισης. Οι δύο τελευταίες ποσότητες υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

$$\bar{F}_i = \frac{\sum_{n=1}^N F_m}{N}$$

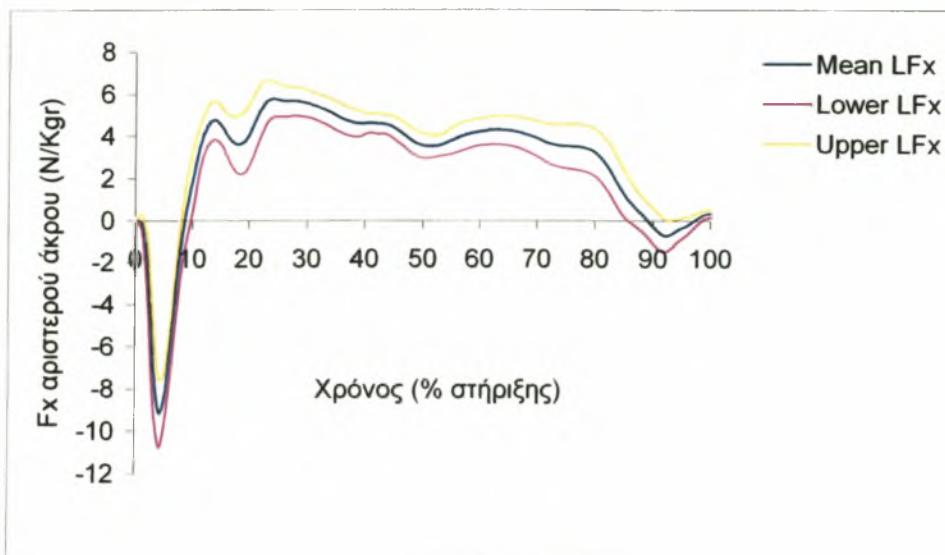
$$\text{και } \bar{F} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T F_{mt}}{NT}$$

Οριζόντια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κάθετη στη διεύθυνση βάρδισης (F_x)

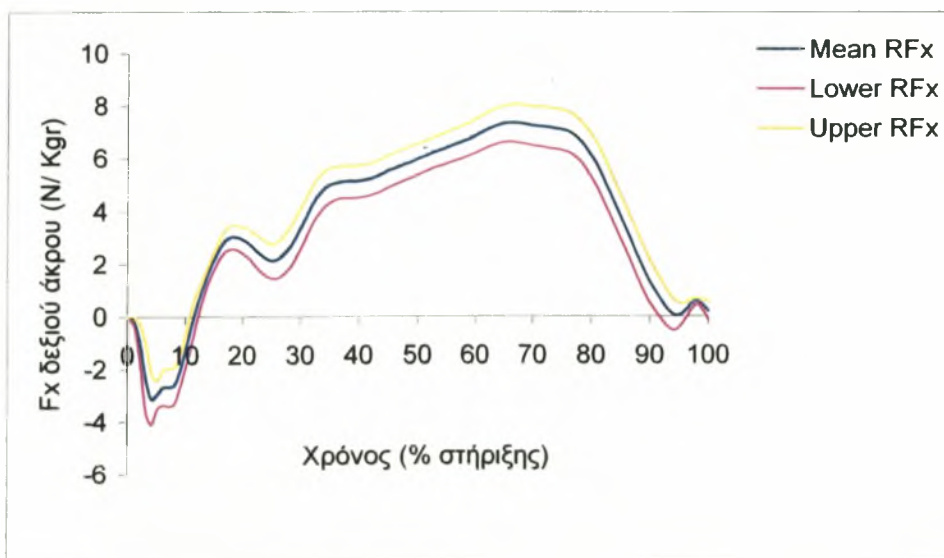
Στα διαγράμματα 1 έως 6 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της F_x των δύο κάτω άκρων, για τους τρεις εξεταζόμενους, μαζί με τα κατώτερα και ανώτερα όρια των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95%.



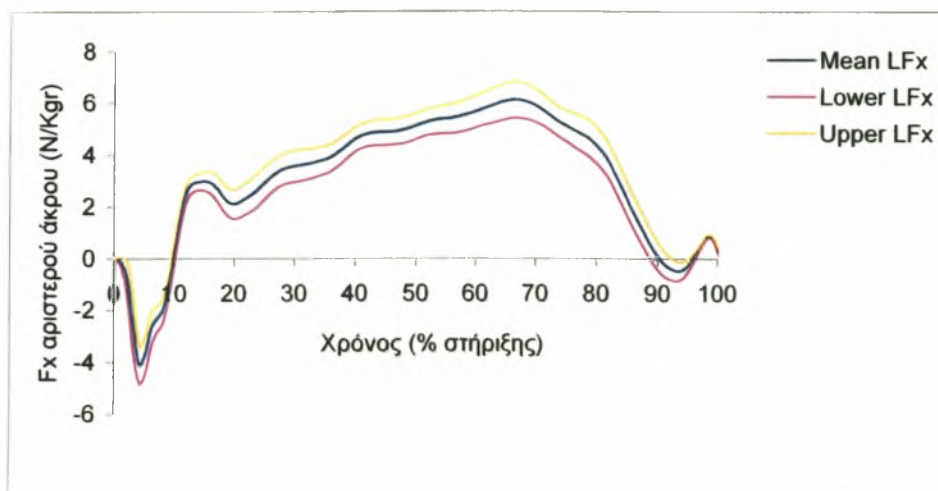
Διάγραμμα 1. Μέσος όρος (Mean F_x), ανώτερο (Upper F_x) και κατώτερο (Lower F_x) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της F_x του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α.



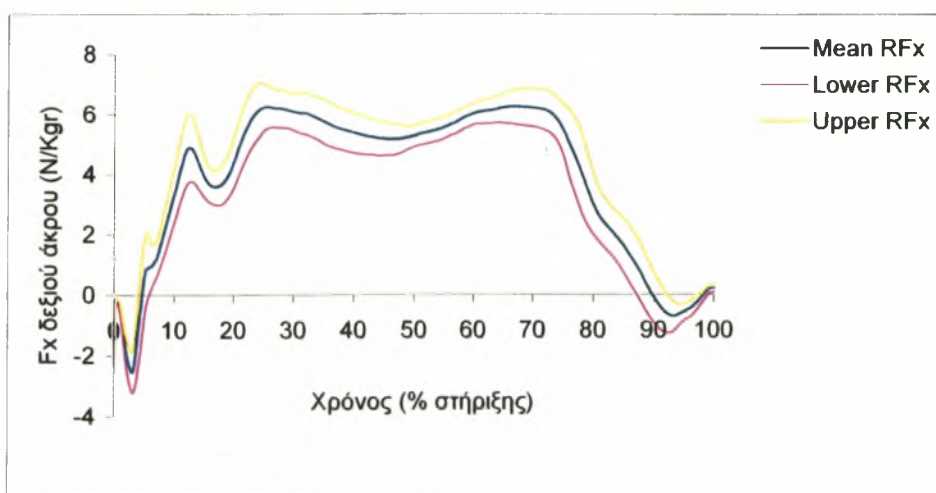
Διάγραμμα 2. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α.



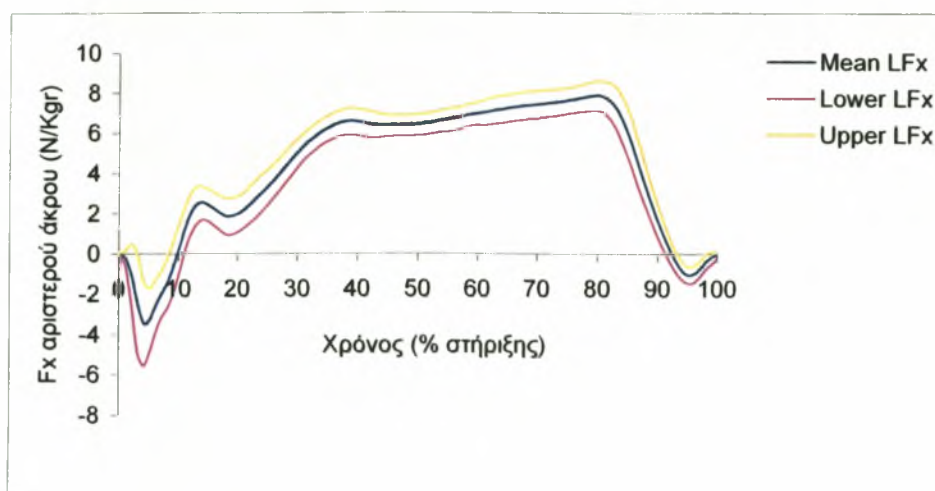
Διάγραμμα 3. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.



Διάγραμμα 4. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.



Διάγραμμα 5. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.



Διάγραμμα 6. Μέσος όρος (Mean Fx), ανώτερο (Upper Fx) και κατώτερο (Lower Fx) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fx του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.

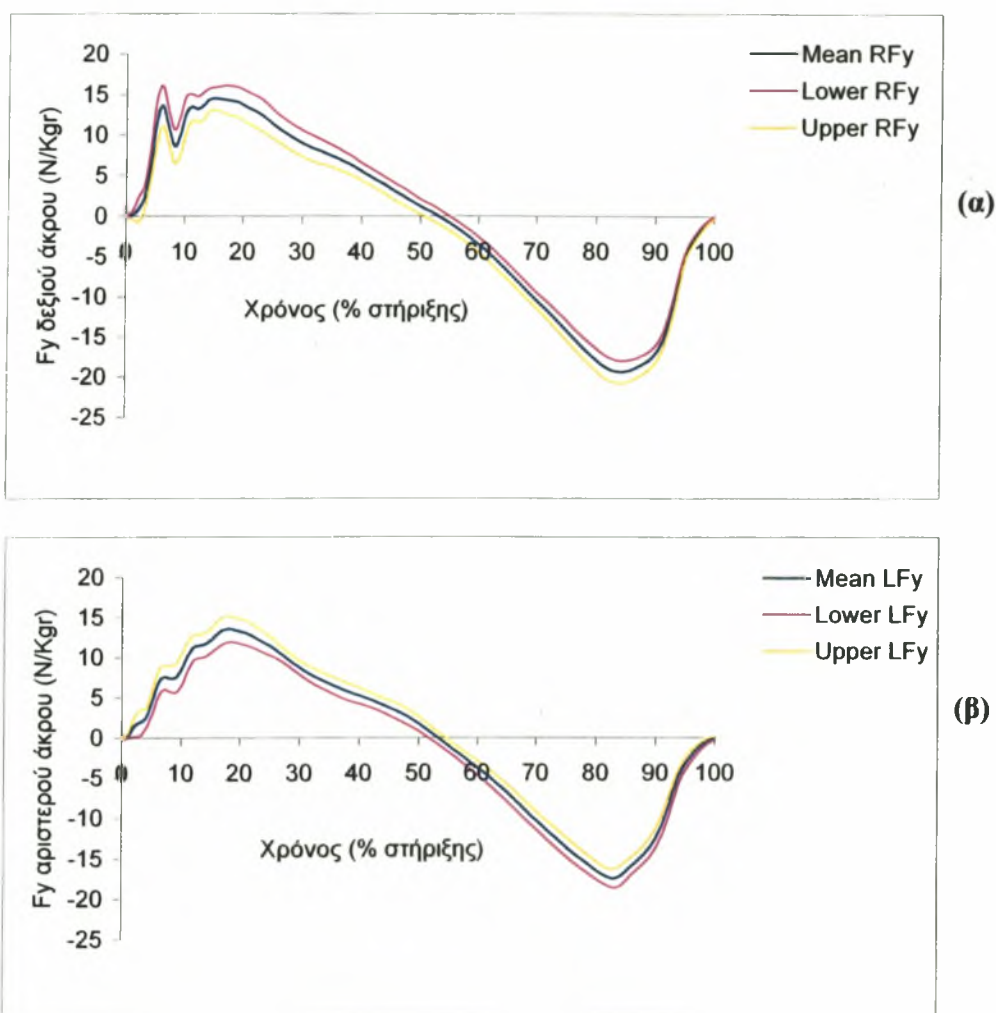
Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται για την Fx των δύο κάτω άκρων, των τριών εξεταζομένων, οι τιμές των συντελεστών πολλαπλής συσχέτισης (CMC), των συντελεστών μεταβλητότητας (CV%), των συντελεστών εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC₁₀) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC₁), καθώς και ο ελάχιστος αριθμός προσπαθειών (K) για την εξασφάλιση αποδεκτής επαναληπτικότητας.

Πίνακας 4. Συντελεστές πολλαπλής συσχέτισης (CMC), μεταβλητότητας (CV%), εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC₁₀) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC₁) και ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων προσπαθειών (K), για την Fx των δύο κάτω άκρων στους τρεις εξεταζόμενους.

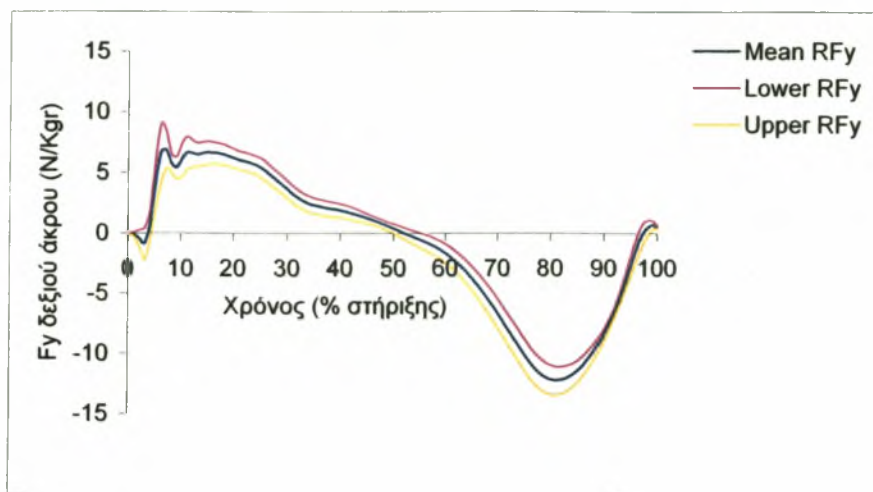
Στατιστική Παράμετρος	Εξεταζόμενος Α		Εξεταζόμενος Β		Εξεταζόμενος Γ	
	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό
CMC	0,969	0,957	0,976	0,976	0,961	0,968
CV%	16,8	24,6	16,01	15,78	17,24	17,75
ICC ₁₀	0,994*	0,991*	0,995*	0,995*	0,992*	0,993*
ICC ₁	0,941	0,917	0,953	0,953	0,925	0,938
K	2	2	1	1	2	2

Οριζόντια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στη διεύθυνση προώθησης της βάδισης (F_y)

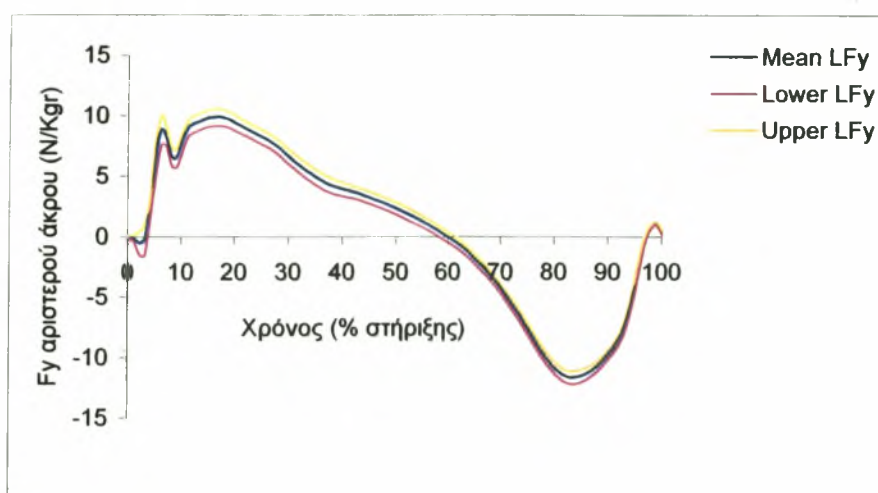
Στα διαγράμματα 7 έως 9 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της F_y των δύο κάτω άκρων, για τους τρεις εξεταζόμενους, μαζί με τα κατώτερα και ανώτερα όρια των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95%.



Διάγραμμα 7. Μέσος όρος (Mean F_y), ανώτερο (Upper F_y) και κατώτερο (Lower F_y) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της F_y του δεξιού (α) και του αριστερού (β) κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α.

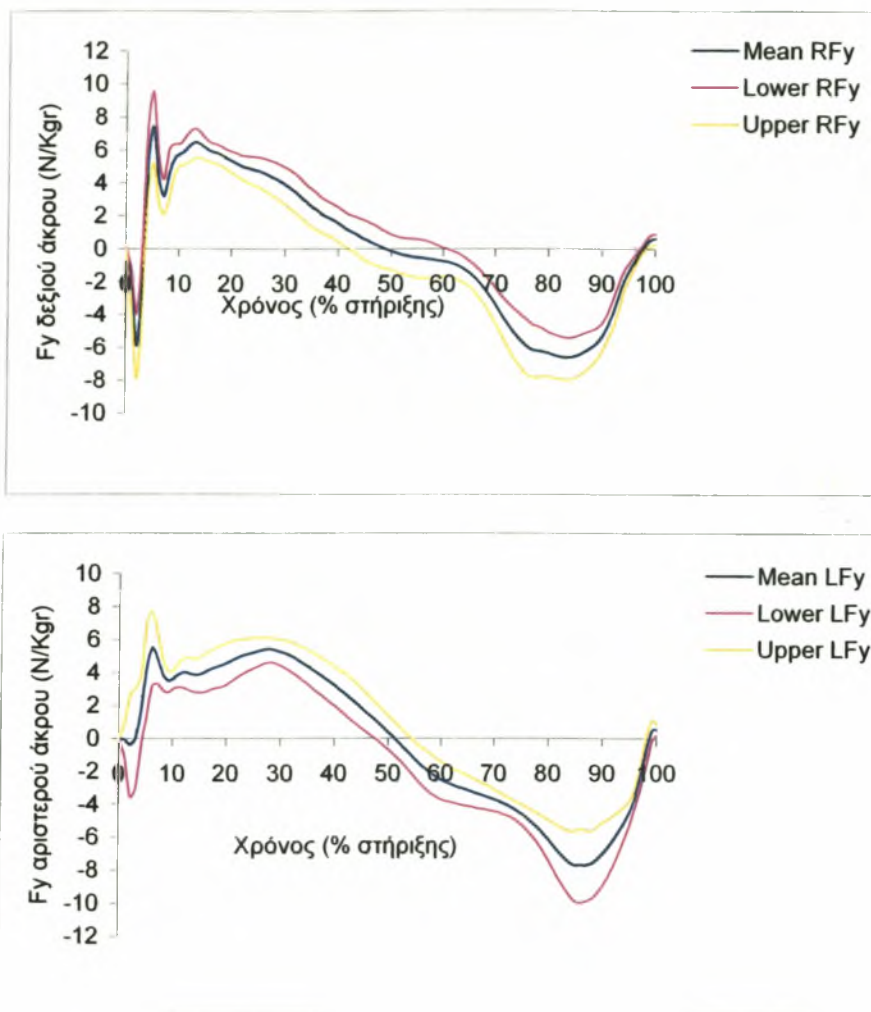


(α)



(β)

Διάγραμμα 8. Μέσος όρος (Mean Fy), ανώτερο (Upper Fy) και κατώτερο (Lower Fy) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fy του δεξιού (α) και του αριστερού (β) κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.



Διάγραμμα 9. Μέσος όρος (Mean Fy), ανώτερο (Upper Fy) και κατώτερο (Lower Fy) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fy του δεξιού (α) και του αριστερού (β) κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται για την Fy των δύο κάτω άκρων, των τριών εξεταζομένων, οι τιμές των συντελεστών πολλαπλής συσχέτισης (CMC), των συντελεστών μεταβλητότητας (CV%), των συντελεστών εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC_{10}) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC_1), καθώς και ο ελάχιστος αριθμός προσπαθειών (K) για την εξασφάλιση αποδεκτής επαναληπτικότητας.

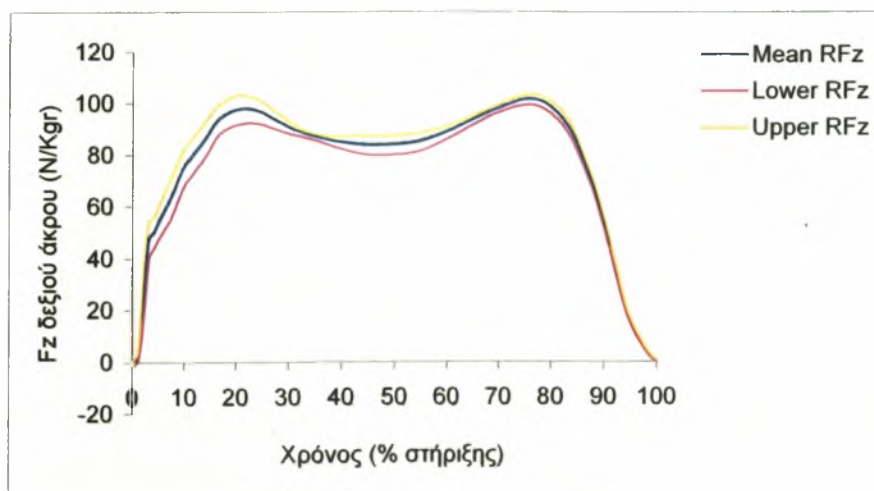
Πίνακας 5. Συντελεστές πολλαπλής συσχέτισης (CMC), μεταβλητότητας (CV%), εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC_{10}) και της μοναδικής

προσπάθειας (ICC_1) και ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων προσπαθειών (K), για την Fy των δύο κάτω άκρων στους τρεις εξεταζόμενους.

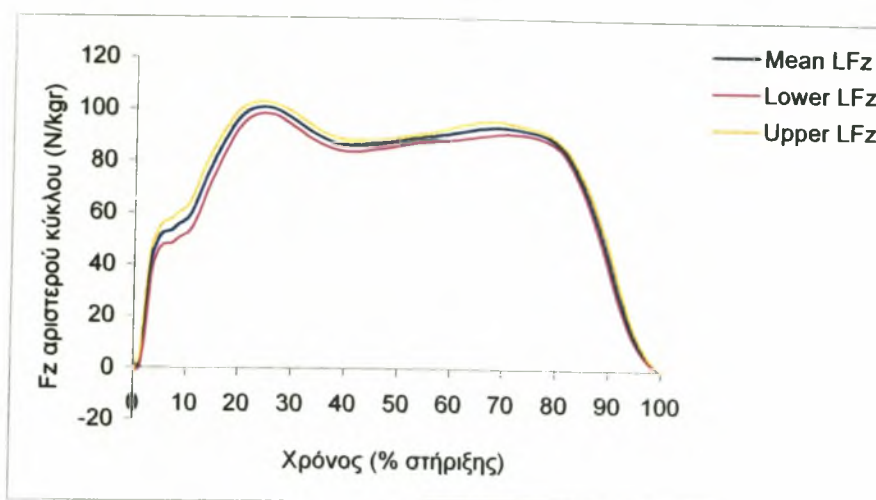
Στατιστική παράμετρος	Εξεταζόμενος Α		Εξεταζόμενος Β		Εξεταζόμενος Γ	
	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό
CMC	0,992	0,992	0,988	0,996	0,966	0,958
CV%	14,91	14,46	19,16	10,21	31,77	33,6
ICC_{10}	0,998*	0,998*	0,997*	0,999*	0,993*	0,991*
ICC_1	0,984*	0,985*	0,977*	0,992*	0,935	0,918
K	1	1	1	1	2	2

Κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (Fz)

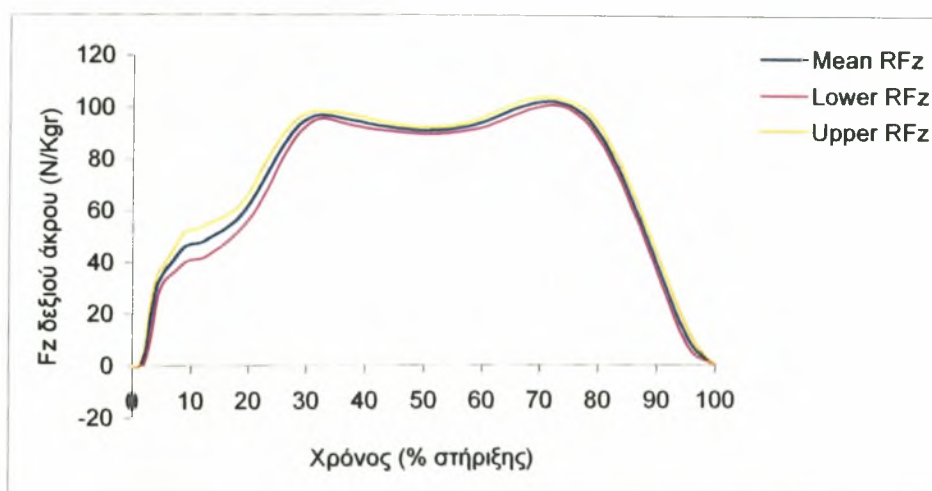
Στα διαγράμματα 10 έως 15 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της Fz των δύο κάτω άκρων, για τους τρεις εξεταζόμενους, μαζί με τα κατώτερα και ανώτερα όρια των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95%.



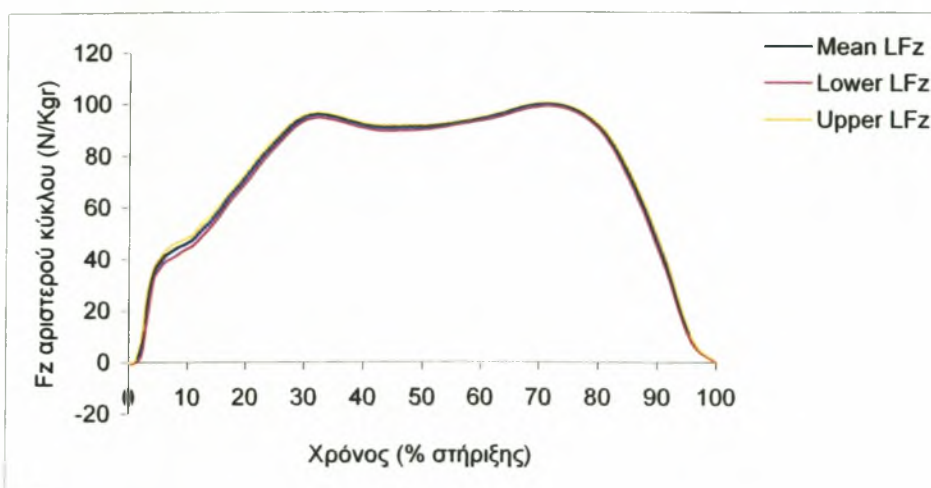
Διάγραμμα 10. Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α.



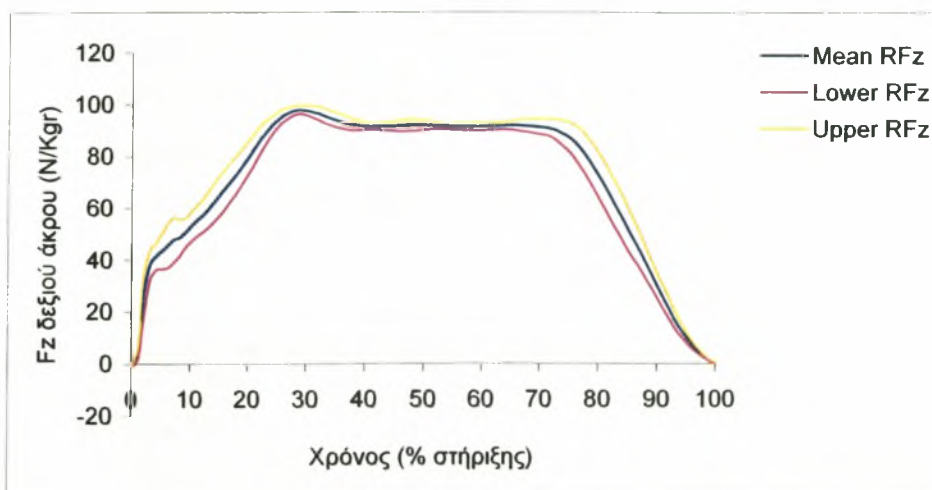
Διάγραμμα 11. Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Α.



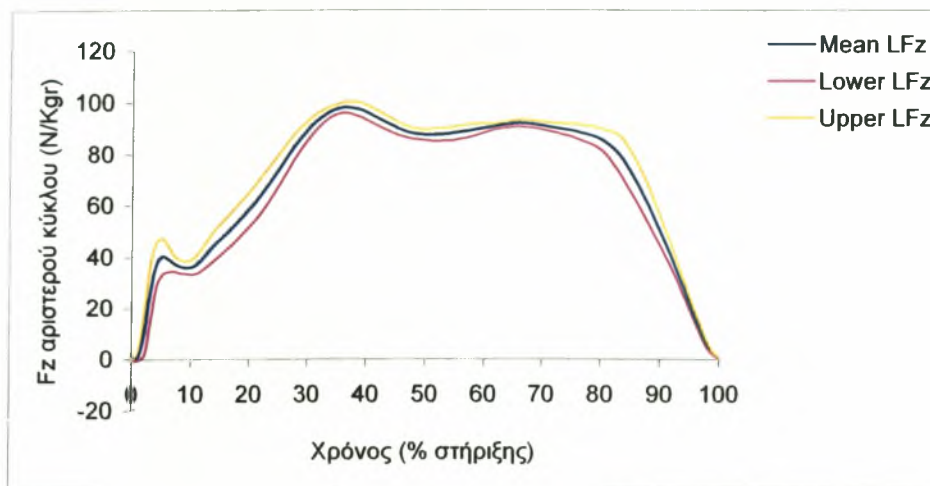
Διάγραμμα 12. Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.



Διάγραμμα 13. Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Β.



Διάγραμμα 14. Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του δεξιού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.



Διάγραμμα 15. Μέσος όρος (Mean Fz), ανώτερο (Upper Fz) και κατώτερο (Lower Fz) όριο διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% των τιμών της Fz του αριστερού κάτω άκρου, για τον εξεταζόμενο Γ.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται για την Fz των δύο κάτω άκρων, των τριών εξεταζομένων, οι τιμές των συντελεστών πολλαπλής συσχέτισης (CMC), των συντελεστών μεταβλητότητας (CV%), των συντελεστών εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC_{10}) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC_1), καθώς και ο ελάχιστος αριθμός προσπαθειών (K) για την εξασφάλιση αποδεκτής επαναληπτικότητας.

Πίνακας 6. Συντελεστές πολλαπλής συσχέτισης (CMC), μεταβλητότητας (CV%), εσωτερικής συσχέτισης για το σύνολο των δέκα προσπαθειών (ICC_{10}) και της μοναδικής προσπάθειας (ICC_1) και ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων προσπαθειών (K), για την Fz των δύο κάτω άκρων στους τρεις εξεταζόμενους.

Στατιστική παράμετρος	Εξεταζόμενος Α		Εξεταζόμενος Β		Εξεταζόμενος Γ	
	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό	Δεξί	Αριστερό
CMC	0,989	0,994	0,994	0,998	0,987	0,988
CV%	4,99	4,05	4,6	2,07	6,55	6,22
ICC_{10}	0,998*	0,998*	0,998*	0,999*	0,997*	0,997*
ICC_1	0,980*	0,988*	0,989*	0,997*	0,976*	0,977*
K	1	1	1	1	1	1

Συζήτηση

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να προσδιοριστεί η επαναληπτικότητα των χωρο-χρονικών παραμέτρων και των κυματομορφών των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα ασθενών με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ).

Χωρο-χρονικά χαρακτηριστικά

Όσον αφορά στις τιμές των χωρο-χρονικών παραμέτρων, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν με αυτά προηγούμενων μελετών (Olney et al, 1998; von Schroeder et al, 1995) στο ότι η στήριξη στο υγιές πόδι εμφανίζεται μεγαλύτερη από ότι στο πάσχον και η αιώρηση στο υγιές μικρότερη από ότι στο πάσχον, όπως επίσης ότι το μήκος βήματος στο υγιές πόδι είναι μικρότερο από ότι στο πάσχον. Αντίθετα, σε αντίθεση με άλλες μελέτες (Olney et al, 1998; von Schroeder et al, 1995) στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε ότι η διάρκεια της διπλής στήριξης (ως ποσοστό % του κύκλου βάδισης) ήταν μικρότερη από τη διάρκεια της μονής στήριξης. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι εξεταζόμενοι στις δύο παραπάνω μελέτες ήταν μικρότερης ηλικίας (~60 ετών) σε σχέση με αυτούς της παρούσας έρευνας (~70 ετών) και μεγαλύτερης διάρκειας από την εμφάνιση του επεισοδίου. Επιπροσθέτως, οι von Schroeder et al (1995) χρησιμοποίησαν φορητό αναλυτή διασκελισμών με εσωτερικούς πάτους και όχι βιντεοκάμερες, ενώ οι Olney et al (1998) χρησιμοποίησαν μια μόνο βιντεοκάμερα με αρκετά μικρή ταχύτητα λήψης (50Hz έναντι 250Hz στην παρούσα έρευνα).

Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι όλοι οι ασθενείς βάδισαν με αρκετά μικρή ταχύτητα βάδισης, στοιχείο που καταγράφηκε και σε προηγούμενες μελέτες (Olney et al, 1998; von Schroeder et al, 1995).

Σχετικά με την επαναληπτικότητα των χωροχρονικών παραμέτρων διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των χωρο-χρονικών παραμέτρων παρουσίασε συντελεστές μεταβλητότητας μικρότερους από 12%. Εξαιρέση αποτέλεσαν η διάρκεια διπλής στήριξης, το πλάτος βάσης στήριξης και η γωνία ποδιού του εξεταζόμενου Α, το πλάτος

βάσης στήριξης για τον εξεταζόμενο Β και το πλάτος βάσης στήριξης και η γωνία ποδιού για τον εξεταζόμενο Γ. Τα παραπάνω αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα ευρήματα της μελέτης των Hill et al (1994) για το σύνολο των μεταβλητών που εξέτασαν, παρόλο που η μέτρηση έγινε με τη χρήση διακοπών πίεσης και όχι με βιντεοκάμερες και φωτοκύτταρα. Η μόνη διαφορά με τα ευρήματα της εργασίας των Hill et al (1994) αφορά στην απουσία επαναληπτικότητας για τη διάρκεια της διπλής στήριξης στον εξεταζόμενο Α. Ωστόσο, από το γεγονός ότι μόνο στον ένα εξεταζόμενο προέκυψε αυτή η εικόνα, γίνεται κατανοητό ότι η αντίθεση δεν μπορεί να γενικευτεί και αποδίδεται μάλλον σε ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου εξεταζόμενου. Θα πρέπει άλλωστε να σημειωθεί πως στην προηγούμενη μελέτη των Hill et al (1994), η επαναληπτικότητα εξεταζόταν στο σύνολο των εξεταζομένων κι όχι για κάθε εξεταζόμενο χωριστά, όπως συνέβη στην παρούσα έρευνα.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας βρίσκονται γενικά σε συμφωνία με τα ευρήματα άλλων μελετών της επαναληπτικότητας σε υγιείς ενήλικες. Ειδικότερα, στη μελέτη των Growney et al (1997) διαπιστώθηκε πως το πλάτος της βάσης στήριξης ήταν η παράμετρος με την μικρότερη επαναληπτικότητα σε υγιείς ενήλικες, στοιχείο που βρέθηκε και στην παρούσα έρευνα για τους ασθενείς με ΑΕΕ. Επίσης, οι χωρο-χρονικές παράμετροι που εμφάνισαν μεγάλη επαναληπτικότητα στην παρούσα έρευνα βρέθηκαν να εμφανίζουν μεγάλη επαναληπτικότητα και στη μελέτη των Maynard et al (2003) για υγιείς ενήλικες. Επιπλέον, στους υγιείς ενήλικες βρέθηκε ότι ο λόγος αιώρησης/στήριξης είχε μεγαλύτερη επαναληπτικότητα από τη συχνότητα βάδισης και το μήκος βήματος (Kadaba et al, 1989). Αντίθετα, στους ασθενείς με ΑΕΕ της παρούσας έρευνας διαπιστώθηκε ότι ο λόγος αιώρησης/στήριξης είχε μικρότερη επαναληπτικότητα από τη συχνότητα βάδισης και το μήκος βήματος.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται μια ομάδα χωρο-χρονικών παραμέτρων με συντελεστές μεταβλητότητας μικρότερους από 6% σε όλους τους εξεταζόμενους. Οι παράμετροι αυτές ήταν: η διάρκεια διασκελισμού, η διάρκεια βήματος, η διάρκεια στήριξης, η διάρκεια αιώρησης, η συχνότητα βάδισης, το μήκος διασκελισμού και το μήκος βήματος. Κατά συνέπεια οι παραπάνω παράμετροι μπορούν αν θεωρηθούν ως οι πλέον αξιόπιστες χωρο-χρονικές παράμετροι για την ανάλυση του βαδίσματος των ασθενών με ΑΕΕ.

Χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι οι κυματομορφές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (κατακόρυφη, προσθιοπίσθια και εγκάρσια) ακολουθούν, σε γενικές γραμμές, το φυσιολογικό πρότυπο που παρατηρείται και σε άτομα της τρίτης ηλικίας χωρίς προβλήματα υγείας.

Από τα αποτελέσματα επίσης διαπιστώθηκε ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους παρουσίασε τη μεγαλύτερη επαναληπτικότητα από τις τρεις συνιστώσες σε όλους τους εξεταζόμενους. Επισημαίνεται μάλιστα ότι ακόμη και μια μόνο προσπάθεια βάρδισης βρέθηκε ικανή για την επίτευξη συντελεστή επαναληπτικότητας μεγαλύτερου από 0.95, τιμή που αποτέλεσε το ιδιαίτερα αυστηρό κριτήριο της παρούσας έρευνας.

Ελαφρώς μικρότερη επαναληπτικότητα παρουσίασε η προσθιοπίσθια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο σύνολο των εξεταζομένων. Παρόλα αυτά, στους δύο από τους τρεις εξεταζόμενους επαρκούσε μία προσπάθεια για την επίτευξη συντελεστή επαναληπτικότητας μεγαλύτερου από 0.95, ενώ ακόμη και στον τρίτο ο αριθμός των ελάχιστων απαιτούμενων προσπαθειών για την εξασφάλιση αξιόπιστων δεδομένων δεν υπερέβαινε τις δύο προσπάθειες.

Η εγκάρσια συνιστώσα παρουσίασε την μικρότερη επαναληπτικότητα από τις τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους σε όλους τους εξεταζόμενους. Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε ότι αξιόπιστα συμπεράσματα για την εν λόγω συνιστώσα μπορούν να εξαχθούν μέσα από την ανάλυση των δεδομένων που καταγράφονται σε δύο μόλις προσπάθειες, ενώ σε έναν από τους τρεις εξεταζόμενους, ακόμη και μια προσπάθεια ήταν αρκετή.

Συνοψίζοντας, τα παραπάνω ευρήματα για την επαναληπτικότητα των κυματομορφών των συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα ασθενών με ΑΕΕ, διαπιστώνεται ότι και οι τρεις συνιστώσες χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη επαναληπτικότητα, με πρώτη την κατακόρυφη και τελευταία την εγκάρσια συνιστώσα. Το στοιχείο αυτό παρατηρήθηκε επίσης σε άτομα χωρίς προβλήματα υγείας (Growney et al, 1997; Kadaba et al, 1989). Επιπλέον, δεδομένου ότι οι τρεις συνιστώσες καταγράφονται ταυτόχρονα κατά την ανάλυση του βαδίσματος, διαπιστώνεται ότι δύο τουλάχιστον προσπάθειες θα πρέπει να εκτελούνται προκειμένου να εξάγονται αξιόπιστα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο βάδισμα ασθενών με ΑΕΕ.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η επαναληπτικότητα των χωρο-χρονικών παραμέτρων και των τριών συνιστώσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το βάδισμα ασθενών με ΑΕΕ. Τα κυριότερα συμπεράσματα μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

- η πλειοψηφία των χωρο-χρονικών παραμέτρων με την εξαίρεση αυτών που αναφέρονται στο εγκάρσιο επίπεδο (πλάτος βάσης στήριξης και γωνία του ποδιού) παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη επαναληπτικότητα.
- Οι πλέον αξιόπιστες χωρο-χρονικές παράμετροι του βαδίσματος ασθενών με ΑΕΕ είναι η διάρκεια διασκελισμού, η διάρκεια βήματος, η διάρκεια στήριξης, η διάρκεια αιώρησης, η συχνότητα βάδισης, το μήκος διασκελισμού και το μήκος βήματος.
- για τις τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, διαπιστώθηκε ότι η κατακόρυφη (F_z) συνιστώσα παρουσίασε την μεγαλύτερη επαναληπτικότητα, ακολουθούμενη από την προσθιοπίσθια (F_y) και την εγκάρσια (F_x) συνιστώσα.
- δεδομένου ότι οι τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους καταγράφονται ταυτόχρονα, δύο τουλάχιστον προσπάθειες θα πρέπει να εκτελούνται προκειμένου να εξάγονται αξιόπιστα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο βάδισμα ασθενών με ΑΕΕ.

Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Κατά την εκπόνηση της παρούσας έρευνας προέκυψαν διάφορα ερευνητικά προβλήματα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικών ερευνών.

Ειδικότερα, προτείνεται να εφαρμοστεί το πρωτόκολλο της παρούσας εργασίας σε μεγαλύτερο δείγμα ασθενών με ΑΕΕ, σε διάφορα στάδια αποκατάστασης του βαδίσματος τους, που να εντάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες συμπτωμάτων. Με τον τρόπο αυτό θα επιτευχθεί η γενίκευση των συμπερασμάτων της παρούσας μελέτης σε περισσότερες κατηγορίες ασθενών με ΑΕΕ.

Προτείνεται επίσης να ελεγχθεί σε μελλοντικές έρευνες η επαναληπτικότητα περισσότερων παραμέτρων του βαδίσματος ασθενών με ΑΕΕ, όπως είναι τα γωνιακά

κινηματικά χαρακτηριστικά των περιστροφών των μελών στις αρθρώσεις, οι αρθρικές ροπές και επιβαρύνσεις, καθώς και τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των μυών που εμπλέκονται στο βάδισμα.

Βιβλιογραφία

- Abdel-Aziz, Karara HM (1971). *Proceedings of the symposium on close range photogrammetry*. Falls Church, VA: American society of photogrammetry, 1-18.
- Baumgartner, T.A. (1989). Norm-referenced measurement: reliability. In M.J. Safrit & T.M. Wood (Eds) *Measurement concepts in physical education and exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics
- Besier TF, Sturnieks DL, Alderson JA, Lloyd DG (2003). Repeatability of gait data using a functional hip joint centre and a mean helical knee axis. *Journal of Biomechanics* 36: 1159-1168
- Bilney B, Morris M, Webster K. (2003). Concurrent related validity of the GAITRite walkway system for quantification of the spatial and temporal parameters of gait. *Gait Posture* 17(1): 68-74.
- Βλάχος Γ. (1985) *Κεντρικό νευρικό σύστημα*, Εκδόσεις Παρισιάνος.
- Chen CL, Chen HC, Wong MK, Tang FT, Chen RS. (2001) Temporal stride and force analysis of cane-assisted gait in people with hemiplegic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*; 82(1): 43-8.
- Cutlip RG, Mancinelli C, Huber F, DiPasquale J (2000) Evaluation of an instrumented walkway for measurement of the kinematic parameters of gait. *Gait Posture*; 12(2): 134-8
- Diss CE (2001) The reliability of kinetic and kinematic variables used to analyse normal running gait. *Gait Posture*; 14(2): 98-103
- Durward B, Baer G, Wade J (1998). Stroke. In M.Stokes (eds.) *Neurological Physiotherapy* (p.p. 75-80) UK: Mosby International Limited
- Elkind MS. (2003). Stroke in the elderly. *Mt Sinai J Med*; 70(1): 27-37.
- Elliot R, Charles M, Kenneth M, Sheila D, Warren SW (1997) Hemiplegic Gait: Relationships between walking speed and other temporal parameters *Am J Phys Med Rehabil*; 76 (2): 128-133
- Eng JJ, Chu KS, Dawson AS, Kim CM, Hepburn KE (2002) Functional walk tests in individuals with stroke: relation to perceived exertion and myocardial exertion. *Stroke*; 33(3): 756-61.
- Feigin VL, Lawes CM, Bennett DA, Anderson CS. (2003). Stroke epidemiology: a review of population-based studies of incidence, prevalence, and case-fatality in the late 20th century. *Lancet Neurol*; 2(1): 43-53.
- Ferber R, McClay Davis I, Williams DS (2002) A comparison of within- and between-day reliability of discrete 3D lower extremity variables in runners *Journal of Orthopaedic Research*; 20(6): 1139-48

- Frigo C, Rabuffetti M (1998) Multifactorial estimation of hip and knee joint centres for clinical application of gait analysis. *Gait Posture* 1;8(2): 91-102.
- Growney E, Meglan D, Johnson M, Cahalan T. (1997). Repeated measures of adult normal walking using a video tracking system. *Gait & Posture* 6,147–162.
- Goldie PA, Matyas TA, Evans OM (2001) Gait after stroke: initial deficit and changes in temporal patterns for each gait phase. *Arch Phys Med Rehabil.*; 82(8): 1057-65.
- Guyton A (1990) Φυσιολογία του ανθρώπου. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας.
- Hill KD, Goldie PA, Baker PA, Greenwood KM (1994) Retest reliability of the temporal and distance characteristics of hemiplegic gait using a footswitch system. *Arch Phys Med Rehabil*; 75(5): 577-83
- Hsu AL, Tang PF, Jan MH. (2003) Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Arch Phys Med Rehabil*; 84(8): 1185-93
- Hughes KA, Bell F. (1994) Visual assessment of hemiplegic gait following stroke: pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*; 75(10): 1100-7.
- Kadaba MP, Ramakrishna HK, Wootten ME, Gainey J, Gorton G, Cochran GV, (1989) Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *Journal of Orthopaedic Research* 7,849–860.
- Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME (1990) Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res*; 8(3): 383-92.
- Kahle W, Leonhardt H, Platzer W (1984) *Εγχειρίδιο ανατομίας του ανθρώπου*. Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας
- Kerrigan DC, Frates EP, Rogan SBS, Riley PO (1999) Spastic paretic stiff-legged gait: Biomechanics of the unaffected limb *Arch Phys Med Rehabil*; 78(4): 354-60
- Kerrigan DC, Frates EP, Rogan SBS, Riley PO (2000) Hip hiking and circumduction: quantitative definitions limb *Arch Phys Med Rehabil*; 79(3): 247-52
- Kim CM, Eng JJ. (2003) Symmetry in vertical ground reaction force is accompanied by symmetry in temporal but not distance variables of gait in persons with stroke. *Gait Posture*. 2003 Aug;18(1):23-8.
- Lord SE, Halligan PW, Wade DT (1998) Visual gait analysis: the development of a clinical assessment and scale. *Clin Rehabil*; 12(2): 107-19.
- Macko RF, Haeuber E, Shaughnessy M, Coleman KL, Boone DA, Smith GV, Silver KH (2002) Microprocessor-based ambulatory activity monitoring in stroke patients. *Med Sci Sports Exerc*; 34(3): 394-9.

- Maynard V, Bakheit AM, Oldham J, Freman J (2003) Intra-rater and inter-rater reliability of gait measurements with CODA mpx30 motion analysis system. *Gait Posture*; 17(1):59-67.
- McGinley JL, Goldie PA, Greenwood KM, Olney SJ. (2003) Accuracy and reliability of observational gait analysis data: judgments of push-off in gait after stroke. *Phys Ther*; 83(2): 146-60.
- Miller F, Castengo P, Richards J, Lennon N, Guigley E, Niiler T (1996) Reliability of kinematics during clinical gait analysis: a comparison between normal and children with cerebral palsy *Gait and Posture* 4: 167-208 (abstracts)
- Morita S, Yamamoto H, Furuya K. (1995) Gait analysis of hemiplegic patients by measurement of ground reaction force. *Scand J Rehabil Med*. Mar; 27(1): 37-42.
- Mulroy S, Gronley J, Weiss W, Newsam C, Perry J (2003) Use of cluster analysis for gait pattern classification of patients in the early and late recovery phases following stroke. *Gait Posture*.; 18(1):114-25.
- Murray MP, Kory RC, Sepic SB (1970) Walking patterns of normal women. *Arch Phys Med Rehabil*; 51(11): 637-50.
- Olney SJ, Colborne GR, Martin CS (1989). Joint angle feedback and biomechanical gait analysis in stroke patients: a case report. *Phys Ther*; 69(10):863-70.
- Olney SJ, Griffin MP, McBride ID (1994) Temporal, kinematic, and kinetic variables related to gait speed in subjects with hemiplegia: a regression approach. *Phys Ther*; 74(9): 872-85.
- Olney SJ, Griffin MP, McBride ID (1998) Multivariate examination of data from gait analysis of persons with stroke. *Phys Ther*; 78(8):814-28.
- Riley PO, Kerrigan DC. (1999) Kinetics of stiff-legged gait: induced acceleration analysis. *IEEE Trans Rehabil Eng*.; 7(4):420-6.
- Rose & Gamble, 1994. Human walking 2nd ed. Baltimore. Williams & Wilkins
- Said CM, Goldie PA, Patla AE, Sparrow WA (2001) Effect of stroke on step characteristics of obstacle crossing. *Arch Phys Med Rehabil*; 82(12):1712-9.
- Steinwender G, Saraph V, Scheiber S, Zwick EB, Uitz C, Hackl K (2000) Intrasubject repeatability of gait analysis data in normal and spastic children *Clinical Biomechanics*; 15: 134-139
- Teixeira-Salmela Lf, Nadeau S, McBride I, Olney SJ. (2001) Effects of muscle strengthening and physical conditioning training on temporal, kinematic and kinetic variables during gait in chronic stroke survivors. *J Rehabil Med*; 33(2): 53-60.
- Turnbull GI, Wall JC (1995) Long-term changes in hemiplegic gait. *Gait and Posture*; 3: 258-61.

- Vemmos KN, Bots ML, Tsibouris PK, Zis VP, Grobbee DE, Stranjalis GS, Stamatelopoulos S. (1999). Stroke incidence and case fatality in southern Greece: the Arcadia stroke registry. *Stroke*; 30(2): 363-70.
- Von Schroeder HP, Coutts RD, Lyden PD, Billings EJ, Nickel (1995) Gait parameters following stroke: a practical assessment. *J Rehabil Res Dev*; 32(1):25-31.
- White R, Agouris I, Selbie RD, Kirkpatrick M (1999) The variability of force platform data in normal and cerebral palsy gait *Clinical Biomechanics*; 141: 85-192
- Winter DA (1991) *The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological* 2nd ed. University of Waterloo Press.
- Yavuzer G, Ergi S (2002) Effect of an arm sling on gait pattern in patients with hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil*; 83(7): 960-3.