

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΙΑΣ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗΣ
ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΟΡΘΟΠΕΔΙΚΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ
ΚΙΝΗΣΙΟΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ»**

ΥΠΟΨΗΦΙΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ Ν. ΤΖΑΓΚΑΡΑΚΗΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δρ. ΠΑΥΛΟΣ ΚΑΤΩΝΗΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής Ορθοπαιδικής, επιβλέπων

Δρ. ΝΙΚΟΣ ΚΑΜΠΑΝΗΣ, Ερευνητής Β' ΙΤΕ-ΙΕΜ, συνεπιβλέπων

Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΝΤΑΚΗΣ, Αναπλ. Καθηγητής Ορθοπαιδικής, συνεπιβλέπων

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	2
i. Εισαγωγή.....	2
ii. Σκοπός.....	3
1. Σύνταξη πρωτοκόλλου μέτρησης.....	3
2. Σύγκριση εντροπιμέτρου και αναλυτή βάδισης.....	4
3. Μεθοδολογία διεξαγωγής των μετρήσεων.....	4
4. Μετρήσεις ομάδας ασθενών προεγχειρητικού σταδίου.....	6
5. Μετρήσεις ομάδας ελέγχου.....	7
6. Στατιστική ανάλυση μετρήσεων προεγχειρητικού σταδίου.....	7
7. Μετρήσεις μετεγχειρητικής εκτίμησης.....	9
8. Στατιστική ανάλυση μετρήσεων μετεγχειρητικής εκτίμησης.....	9
9. Συμπεράσματα.....	10

i. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία, τα υπολογιστικά συστήματα μέτρησης, έχουν μειώσει σημαντικά τον χρόνο συλλογής δεδομένων, ενώ έχουν αυξήσει την ποιότητα λήψης δεδομένων. Η ερμηνεία τους, περιλαμβάνει συστηματική αξιολόγηση κάθε τύπου δεδομένων, για την αναγνώριση σημαντικών αποκλίσεων από την φυσιολογική βάδιση και προτού επιλεγεί η αντιμετώπιση της πάθησης. Η επιτυχία αυτής της προσέγγισης, περιορίζεται κυρίως εξαιτίας της ικανότητας αξιολόγησης του μεγάλου πλήθους των εμβιομηχανικών δεδομένων της βάδισης. Διάφορες υπολογιστικές μέθοδοι, έχουν παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια για την αντιμετώπιση περιορισμών, όπως η χειροκίνητη και υποκειμενική αξιολόγηση των δεδομένων της βάδισης. Κοινή αρχή αυτών των προσεγγίσεων, αποτελεί η εφαρμογή μαθηματικών μεθόδων για ταξινόμηση των δεδομένων προκειμένου να βοηθήσουν και να ενισχύσουν την διάγνωση παθήσεων.

Στις μέρες μας αποτελεί ανάγκης η εύρεση νέων μεθόδων που θα μελετούν με ταχύτητα, αξιοπιστία, επαναληψιμότητα, χαμηλό κόστος, μη επεμβατικά και με καλή ανοχή το μυοσκελετικό σύστημα, προσφέροντας πολύτιμα στοιχεία στην πρόγνωση και διάγνωση διαταραχών του. Οι κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις από την χρησιμοποίηση νέων τεχνολογιών που βοηθούν διάγνωση είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Οι ταχύτερες διαγνωστικές μέθοδοι διευκολύνουν και επιταχύνουν το ιατρικό έργο, ενώ ταυτόχρονα η ανάπτυξη μεθόδων που βασίζονται στην εμβιομηχανική ανάλυση και που επικουρούν στη λήψη αποφάσεων, ελαχιστοποιούν την πιθανότητα αστοχίας.

Η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης μελέτης, θα είναι άμεση καταρχήν από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς για την περαιτέρω ανάπτυξη τεχνογνωσίας στον αντίστοιχο τομέα. Επίσης άμεση θα είναι και η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων σε εφαρμογές που αφορούν την αγορά, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας παροχής υπηρεσιών προς τους ενδιαφερομένους, ενώ, η παρούσα εργασία χρηματοδοτείται απ' το έργο 03ΕΔ966/ΠΕΝΝΕΔ 2003.

ii. Σκοπός

Σκοπός της προτεινόμενης ερευνητικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας νέας, μη επεμβατικής, γρήγορης και αξιόπιστης μεθόδου διάγνωσης και πρόγνωσης διαταραχών του ανθρωπίνου μυοσκελετικού συστήματος. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης θα μετρηθεί η βάδιση με κατάλληλο μετρητικό σύστημα εστιαζόμενη σε ομάδα πληθυσμού με παθήσεις της σπονδυλικής στήλης που συνοδεύονται με νευρολογική συνδρομή.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί να αξιολογήσει αν η προτεινόμενη μέθοδος έχει την δυνατότητα να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα πρόγνωσης και διάγνωσης των παθήσεων της σπονδυλικής στήλης που συνοδεύονται με νευρολογική συνδρομή καθώς και παρακολούθησης της προεγχειρητικής και μετεγχειρητικής εξέλιξης. Ουσιαστικά το εντροπήμετρο της βάδισης δεν αποσκοπεί να υποκαταστήσει τις πληροφορίες άλλων διαγνωστικών εξετάσεων, αλλά αντιθέτως επιδιώκει την συμπλήρωσή τους.

Τα αναμενόμενα οφέλη διαφαίνονται, λοιπόν ιδιαίτερα σημαντικά μιας και για πρώτη φορά θα γίνει προσπάθεια δημιουργίας αντικειμενικών, στο μέγιστο δυνατό βαθμό, κριτηρίων έγκαιρης διάγνωσης και πρόγνωσης, παθήσεων της σπονδυλικής στήλης που αντιμετωπίστηκαν με χειρουργική θεραπεία. Οι οικονομικές ωφέλειες είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς το κόστος διάγνωσης και αντιμετώπισης τέτοιων παθήσεων είναι υψηλότατο, ενώ γίνεται ακόμη σημαντικότερη αν αναλογιστούμε την πιθανή γενικευμένη χρήση της μεθόδου ώστε να αποκτήσει διαγνωστικό, προγνωστικό και πιθανά προληπτικό ρόλο σε άλλες ειδικότητες της ιατρικής, όπως στην καρδιολογία, τη νευρολογία και την αγγειοχειρουργική.

Οι μετρήσεις της βάδισης γίνονται με συμβατικό αναλυτή βάδισης και με το εντροπήμετρο βάδισης ώστε να συγκριθούν οι μέθοδοι. Από την επεξεργασία των μετρήσεων κατά τη βάδιση, θα προκύψει η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων με συγκεκριμένες καταστάσεις των παραπάνω αναφερομένων παθήσεων της σπονδυλικής στήλης. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των μετρήσεων θα προκύψουν δείκτες που θα χαρακτηρίζουν την κατάσταση του μυοσκελετικού συστήματος.

1. Σύνταξη πρωτοκόλλου μέτρησης

Απ' την καταγραφή των ήδη ανεπτυγμένων μεθόδων και την πρώτη αξιολόγηση της ανάλυσης βάδισης και γενικότερα, της κίνησης του ανθρωπίνου σώματος, εντοπίστηκε τόσο το κενό, όσο και η δυνατότητα ανάπτυξης αξιόπιστης διαγνωστικής μεθόδου βασισμένης στην εντροπική κινησιομετρία. Η ανασκόπηση αυτή βοήθησε σημαντικά στην οριστικοποίηση των παραμέτρων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καθώς και στη σύνταξη του πρωτοκόλλου μετρήσεων όπως, για παράδειγμα, η τελική επιλογή του σημείου τοποθέτησης της διάταξης καθώς και της ελάχιστης χρονικής διάρκειας κάθε μέτρησης. Αντλήθηκαν αρκετές ιδέες για μετρήσεις που θα ήταν χρήσιμες σε δεύτερη φάση.

Μετά την ανασκόπηση, υλοποιήθηκε η πρώτη φάση της εργασίας, η οποία συνίσταται στη σύνταξη πρωτοκόλλων μέτρησης των ανθρωπομετρικών και κινησιομετρικών χαρακτηριστικών αλλά και η ανάλυση υπαρχόντων πρωτοκόλλων πόνου και λειτουργικότητας που χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι της συγκριτικής μελέτης των δύο μεθόδων μέτρησης της ανθρώπινης βάδισης (αναλυτής βάδισης και εντροπήμετρο βάδισης).

Αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο μέτρησης το οποίο περιλαμβάνει τα διεθνώς αναγνωρισμένα πρωτόκολλα Oswestry και VAS. Στο πρωτόκολλο, περιλαμβάνεται επίσης και η συνέντευξη του εξεταζόμενου καθώς και η καταγραφή ενός σύντομου ιατρικού ιστορικού.

2. Σύγκριση εντροπήμετρου και αναλυτή βάδισης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στις αρχικές δοκιμαστικές μετρήσεις αποτελούνταν απ' το εντροπήμετρο βάδισης του ΤΕΙ Κρήτης και τον αναλυτή βάδισης της Πανεπιστημιακής κλινικής.

Ο αναλυτής βάδισης IDEEA, διαθέτει πέντε αισθητήρια τα οποία οδηγούν σε μια φορητή μονάδα καταγραφής, η οποία προσαρμόζεται στη ζώνη του ασθενή. Το λογισμικό του αναλυτή βάδισης μπορεί να υπολογίσει την καμπύλη 'ενεργειακής δαπάνης' ανά λεπτό (kcal/min) ανάλογα με την δραστηριότητα, την καμπύλη ταχύτητας και να απεικονίσει την καμπύλη δραστηριότητας, με δυνατότητα αναγνώρισης διαφόρων τύπων κίνησης, όπως τρέξιμο, απλός βηματισμός κ.α.

Το εντροπήμετρο της βάδισης, αποτελείται από επιταχυνσιομέτρων τριών αξόνων, μικροελεγκτή, μπαταρία, τη ζώνη προσαρμογής, το καλώδιο μεταφοράς των δεδομένων καθώς και το λογισμικό λήψης και επεξεργασίας των δεδομένων. Το εντροπήμετρο βάδισης τοποθετείται στο ύψος του σπονδύλου Ο5.

Κατά τη σύγκριση των δύο διατάξεων διαπιστώθηκε ότι ο αναλυτής βάδισης προσφέρει **απλή καταγραφή δεδομένων** της βάδισης χωρίς δυνατότητα εξαγωγής αντικειμενικών και συγκεκριμένων συμπερασμάτων.

Η αδυναμία του αναλυτή βάδισης στην παρούσα εργασία γίνεται εντονότερη αν ληφθεί υπόψη ότι οι ασθενείς εξεταζόμενοι πρέπει να καταβάλλουν σημαντική προσπάθεια να περπατήσουν. Ο αναλυτής χρειάζεται βαθμονόμηση (calibration) για κάθε μέτρηση, καθυστερεί περίπου 30 δευτερόλεπτα για να ενεργοποιηθεί μετά την πραγματοποίηση της βαθμονόμησης (calibration), ενώ τα αισθητήρια που τοποθετούνται στα πέλματα δεν επιτρέπουν φυσιολογική βάδιση. Απαιτεί επίσης, πιο δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία τοποθέτησης μιας και είναι αναγκαία η προσκόλληση πέντε (5) αισθητήρων αντί ενός που περιλαμβάνει το εντροπήμετρο, ενώ σε περιοχές με τριχοφυΐα (στους άντρες) οδηγεί σε ακόμα πιο χρονοβόρες διαδικασίες. Επιπλέον, ο προτεινόμενος τρόπος κόλλησης των αισθητήρων αποδεικνύεται ανεπαρκής, ιδιαίτερα στο πέλμα.

Αν και ο αναλυτής βάδισης παρέχει τη δυνατότητα να γνωρίζουμε αρκετά στοιχεία για τη βάδιση του ασθενούς, εντούτοις απ' αυτά δεν προκύπτουν άμεσα συμπεράσματα ενώ επίσης η πιθανότητα χρήσης του και εκτός ιατρείου περιπλέκει οποιαδήποτε προσπάθεια για επανάληψη των μετρήσεων σε ελεγχόμενο περιβάλλον.

Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης, αποδείχτηκε μέσω μετρήσεων, η αδυναμία να καταγράψει ευκρινώς τη βάδιση ασθενών με παθήσεις σπονδυλικής στήλης με νευρολογική συνδρομή. Μετά από δοκιμαστικές μετρήσεις σε ασθενείς με έντονους πόνους και κατά συνέπεια, με μεγάλη δυσκολία στη βάδιση, οι μετρήσεις με τον αναλυτή βάδισης δεν μπορούσαν να προσφέρουν οποιοδήποτε συμπέρασμα.

3. Μεθοδολογία διεξαγωγής των μετρήσεων

Βάσει των πειραματικών μετρήσεων διαμορφώθηκαν τα βασικά κριτήρια διαμόρφωσης δείγματος εξεταζόμενων:

- η πάθησή τους οφειλόταν αποκλειστικά σε νευρολογικά αίτια
- υπήρχε απόφαση για αντιμετώπιση της πάθησής τους με χειρουργική επέμβαση
- ήταν δυνατή η βάδιση τους για τουλάχιστον 40 δευτερόλεπτα χωρίς τη χρήση υποβοήθησης

Καθορίστηκε η διαδικασία μέτρησης όπου ο ασθενής κλήθηκε να περπατήσει με λεπτά υποδήματα σε επίπεδο διάδρομο της Ορθοπαιδικής Κλινικής του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Κρήτης, μήκους 40 μέτρων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την περίοδο

που ο ασθενής νοσηλεύονταν στην κλινική προκειμένου να υποβληθεί σε χειρουργική επέμβαση.

Οι παράμετροι των μετρήσεων ήταν:

- Οι μετρήσεις έγιναν πρωινές ώρες (9:00-12:00)
- Κατά τη μέτρηση προτιμήθηκε η χρήση παπουτσιών με σκληρή σόλα και χωρίς τακούνι. Έχει διαπιστωθεί ότι τα παπούτσια με λεπτές, σκληρές σόλες παρέχουν καλύτερη σταθερότητα, συγκρινόμενα με παπούτσια που έχουν παχιές και μαλακές σόλες [1, 2, 3, 4]. Επίσης, η αστάθεια στη βάδιση, αυξάνεται με την αύξηση του ύψους του τακουνιού [5, 6, 7, 8].
- Έχει διαπιστωθεί ότι με την χρήση παπουτσιών, οι εξεταζόμενοι χωρίς παπούτσια παρουσίασαν 19% υψηλότερη συχνότητα απώλειας ισορροπίας απ' ό,τι αν φορούσαν ακατάλληλα παπούτσια και 171% υψηλότερη συχνότητα απώλειας ισορροπίας απ' ό,τι αν φορούσαν τα ιδανικά παπούτσια [1, 2, 3]. Κατά την επανάληψη της βάδισης, προεγχειρητικά και μετεγχειρητικά, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια παπούτσια [4].
- Τα παπούτσια φορέθηκαν με κάλτσες και εφαρμόζαν πολύ καλά στους εξεταζόμενους. Οι εξεταζόμενοι είχαν χρησιμοποιήσει τα παραπάνω παπούτσια, τουλάχιστον 10 φορές και είχαν συνηθίσει την βάδιση μ' αυτά
- Οι εξεταζόμενοι φόρεσαν τα παπούτσια 10 min πριν την διαδικασία μέτρησης [9].
- Οι εξεταζόμενοι έφεραν ελαφριά ένδυση, η οποία δεν εμποδίζει τη βάδιση (π.χ. αποφυγή στενών παντελονιών).
- Ελάχιστη προϋπόθεση για κάθε μέτρηση ήταν η πραγματοποίηση δεκατεσσάρων (14), τουλάχιστον, κύκλων βάδισης [10].
- Ο γιατρός που ήταν υπεύθυνος για την μέτρηση επέτρεπε την πραγματοποίησή της, μόνο σε περίπτωση που διαπίστωνε ότι οι εξεταζόμενοι βρισκόταν σε ήρεμη ψυχολογική κατάσταση.
- Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, δεν επιτρεπόταν να αποσπάται η προσοχή του εξεταζομένου από οποιοδήποτε ερέθισμα, ενώ ο υπεύθυνος της μέτρησης βρισκόταν πίσω απ' τους εξεταζόμενους. Οι εξεταζόμενοι δεν μιλούσαν, δεν πραγματοποιούσαν απότομες κινήσεις και κοίταζαν ευθεία. Σε περίπτωση που σημειώθηκε οποιαδήποτε απότομη κίνηση ή έντονη ομιλία των εξεταζομένων, η μέτρηση επαναλαμβανόταν.
- Η κλίση του τάπητα ήταν μηδενική, ενώ είχαν απομακρυνθεί όλα τα εμπόδια που μπορεί να εμποδίζουν την ομαλή, συνεχή και ευθύγραμμη κίνηση των εξεταζομένων.
- Απεφεύχθη η χρήση μηχανοκίνητου ταινιόδρομου κυρίως λόγω έλλειψης απαιτούμενου χώρου και εξοπλισμού. Έχει επίσης διαπιστωθεί, ότι η έλλειψη εξοικείωσης με τον ταινιόδρομο, μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία των μετρήσεων σε αντίθεση με μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε τάπητα [11]. Μελέτες έχουν δείξει ότι για την αποφυγή οποιασδήποτε διαφοροποίησης μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέρχονται από μετρήσεις σε ταινιόδρομο και από μετρήσεις σε τάπητα, απαιτείται εξοικείωση με τον ταινιόδρομο, διάρκειας 30-75 [12, 13, 14] λεπτών. Κάτι τέτοιο αποτέλεσε απαγορευτική παράμετρο στην περίπτωση των ασθενών που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη.
- Οι εξεταζόμενοι κοίταζαν ευθεία [15] και σε ύψος 140 cm [16].

4. Μετρήσεις ομάδας ασθενών προεγχειρητικού σταδίου

Μετά τη βελτίωση της διάταξης και αφού ολοκληρώθηκε το πρωτόκολλο μέτρησης, πραγματοποιήθηκαν οι προεγχειρητικές μετρήσεις. Μετρήθηκαν σαράντα πέντε (45) εκ των οποίων οι έντεκα (11) δεν υποβλήθηκαν σε χειρουργική επέμβαση.

Με τη βοήθεια του ιατρικού προσωπικού, οι ασθενείς συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο που αποτελεί το βασικό τμήμα του πρωτοκόλλου μέτρησης ενώ είχαν ήδη πραγματοποιηθεί και οι κλινικές εξετάσεις καθώς και MRI. Αν οι ασθενείς κάλυπταν τα κριτήρια εισόδου, καταγράφονταν τα στοιχεία τους σε μια βάση δεδομένων.

Η διαδικασία μέτρησης της βάδισης, αποτελούνταν από τις παρακάτω φάσεις:

- Την ενημέρωση του εξεταζόμενου για μέθοδο του εντροπημέτρου της βάδισης
- Την συμπλήρωση του ιστορικού του εξεταζόμενου και των πρωτοκόλλων πόνου και λειτουργικότητας
- Αντικειμενική και εργαστηριακή εξέταση απ' τους ιατρούς
- Ενημέρωση του εξεταζόμενου για τις παραμέτρους που θα ακολουθεί κατά τη διάρκεια της μέτρησης
- Τοποθέτηση της επιταχυνσιομετρικής διάταξης στο ύψος του πέμπτου οσφυϊκού σπονδύλου
- Βάδιση σε επίπεδο και στεγνό διάδρομο, μήκους 40 μέτρων. Η διάρκεια μέτρησης ήταν 30 δευτερόλεπτα.
- Λήψη και την αποθήκευση μέτρησης
- Εξεργασία της μέτρησης

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρωτόκολλο. Ο χώρος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο διάδρομος της Ορθοπαιδικής Κλινικής του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Ηρακλείου και ήταν σημαντική η βοήθεια της ιατρικής ομάδας. Οι κυριότερες δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν ήταν η επιλογή ασθενών που να καλύπτουν τα κριτήρια εισόδου, η αδυναμία κάποιων εκ των εξεταζόμενων να βαδίσουν χωρίς οποιαδήποτε υποβοήθηση καθώς και ο προγραμματισμός των χειρουργικών επεμβάσεων. Δεν ήταν εύκολη η εύρεση ασθενών με προβλήματα **αποκλειστικά** νευρολογικής φύσεως, των οποίων η σοβαρότητα της κατάστασής τους να απαιτεί χειρουργική επέμβαση.

Σε κάποιες περιπτώσεις οι ασθενείς αντιμετώπιζαν σοβαρό πρόβλημα ευστάθειας με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η βάδισή τους έστω και για λίγα μέτρα, χωρίς τη χρήση υποβοήθησης είτε κατάλληλων διατάξεων είτε νοσηλευτικού προσωπικού. Κατά συνέπεια και αυτές οι περιπτώσεις αποκλείστηκαν. Υπήρξαν και ελάχιστες περιπτώσεις που οι ασθενείς αδυνατούσαν να επαναλάβουν την μέτρηση, λόγω έντονου πόνου οπότε και αυτές οι περιπτώσεις αποκλείστηκαν. Αποφασίστηκε επίσης να αποκλειστούν εξεταζόμενοι ηλικίας άνω των 70 ετών, μιας και θεωρήθηκε ιδιαίτερα δύσκολο να επιλεγθούν ηλικιωμένοι υγιείς χωρίς οποιοδήποτε πρόβλημα που μπορεί να επηρεάζει τη βάδισή τους. Επιλέχθηκαν τελικά, οι μετρήσεις 35 ενηλίκων, εκ των οποίων οι 17 ήταν γυναίκες.

5. Μετρήσεις ομάδας ελέγχου

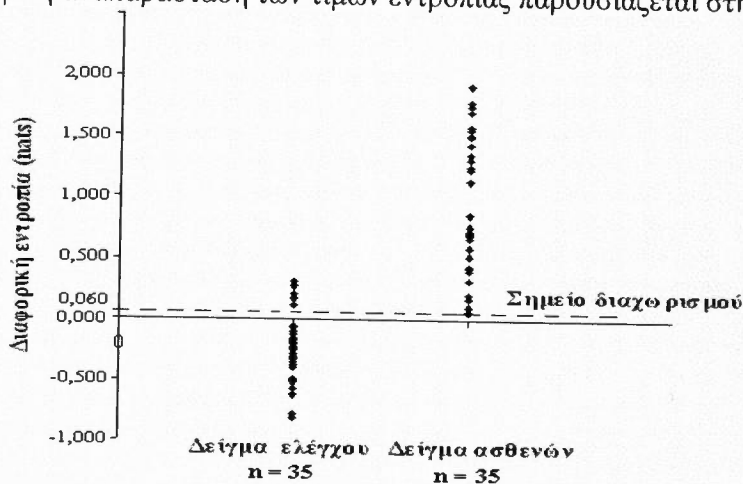
Μετά την πραγματοποίηση των μετρήσεων σε ασθενείς, αποφασίστηκαν τα κριτήρια με τα οποία θα επιλέγονταν οι υγιείς εξεταζόμενοι (ομάδα ελέγχου). Βασική προϋπόθεση ήταν η κατάσταση του μυοσκελετικού των εξεταζομένων. Δηλαδή οι εξεταζόμενοι θα έπρεπε να μην χαρακτηρίζονται από καμία νευρομυϊκή ή μυοσκελετική πάθηση ή τραυματισμό, ούτε και από καρδιαγγειακές ή αναπνευστικές παθήσεις. Επίσης η επιλογή τους έπρεπε να γίνει ώστε να έχουν την στατιστικά όμοια κατανομή ως προς το ύψος, το βάρος, την ηλικία και το φύλλο με την αντίστοιχη κατανομή της ομάδας των ασθενών. Επιλέχθηκαν, 35 άτομα εκ των οποίων οι 19 ήταν γυναίκες.

Οι μετρήσεις των εξεταζομένων που αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου, έγιναν ακολουθώντας το ίδιο πρωτόκολλο και λαμβάνοντας υπόψη τις ίδιες παραμέτρους που ελήφθησαν κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων του δείγματος ασθενών.

Στη μέτρηση δεν πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των τιμών απ' τους τρεις άξονες της βάδισης εξαιτίας των περιορισμών του πρωτοκόλλου μέτρησης. Πιο συγκεκριμένα, το μήκος του κύκλου βάδισης δεν ήταν σταθερό (προσθοπίσθιος άξονας - x) μιας και δεν προβλεπόταν σταθερή ταχύτητα βάδισης. Επίσης, η επιτάχυνση στον πλάγιο άξονα, y, δεν θεωρήθηκε κατάλληλη για ανάλυση, μιας και οποιαδήποτε απόκλιση από μια ευθεία γραμμή, είναι δυνατόν να προκαλέσει διαταραχή στην επιτάχυνση του αντίστοιχου άξονα. Αν και οι παραπάνω αποκλίσεις δεν οφείλονται απαραίτητα σε παθολογικές καταστάσεις, εντούτοις επηρεάζουν την μεταβλητότητα βάδισης.

6. Στατιστική ανάλυση μετρήσεων προεγχειρητικού σταδίου

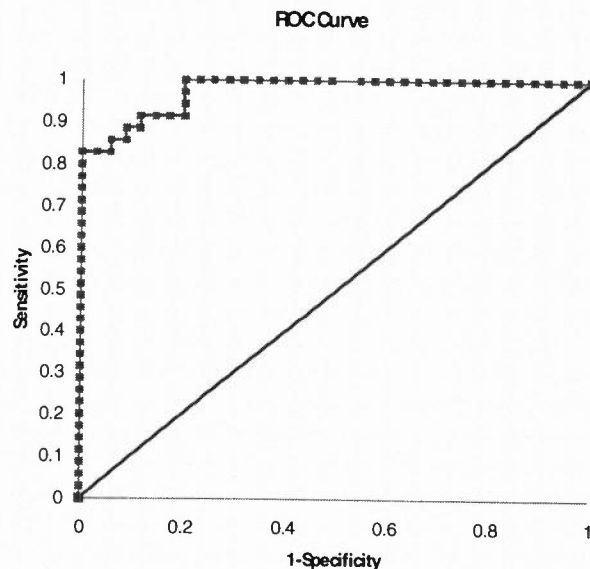
Με την βοήθεια του t-test έγινε η σύγκριση των τιμών της διαφορικής εντροπίας μεταξύ των δύο ομάδων εξεταζομένων. Η ισότητα των μέσων τιμών της διαφορικής εντροπίας, λήφθηκε ως αρχική υπόθεση. Απ' το t-test προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών εντροπίας του δείγματος ελέγχου και του δείγματος ασθενών. Η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική με επίπεδο εμπιστοσύνης $\alpha=0.001$ ($t_{68}=-10.291$, $p<0.001$). Η γραφική αναπαράσταση των τιμών εντροπίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Διάγραμμα αναπαράστασης των τιμών διαφορικής εντροπίας και του σημείου διαχωρισμού.

Στην συνέχεια ακολούθησε ROC ανάλυση και το διάγραμμα που προκύπτει, παρουσιάζεται στην Εικόνα 2. Τα σημεία που αποτελούν το διάγραμμα της Εικόνα 2, προκύπτουν απ' την απεικόνιση των τιμών ειδικότητας με τις αντίστοιχες τιμές ευαισθησίας. Μέσω της ROC ανάλυσης καθορίστηκε ως βέλτιστο σημείο διαχωρισμού, η

τιμή εντροπίας ίση με 0.06nats. Τιμές διαφορικής εντροπίας μεγαλύτερες από 0.06nats αποτελούν ένδειξη στένωσης. Στο συγκεκριμένο σημείο διαχωρισμού αντιστοιχούν 97.1% ευαισθησία και 80.0% ειδικότητα. Μέσω της ROC ανάλυσης εκτιμάται ότι η προτεινόμενη μέθοδος εμφανίζει 97.1% πιθανότητα για αληθή αναγνώριση ασθενών και 80.0% πιθανότητα για αληθή αναγνώριση υγιών. Απ' το εμβαδό της επιφάνειας που βρίσκεται κάτω απ' την επιφάνεια της καμπύλης (Εικόνα 2) προκύπτει ότι η προτεινόμενη μέθοδος έχει 97.6% πιθανότητα διαχωρισμού ασθενών με στένωση από υγιείς.



Εικόνα 2: Διάγραμμα ROC ανάλυσης.

Ο θετικός λόγος πιθανοφάνειας για την τιμή του σημείου διαχωρισμού είναι 4.86, ενώ αρνητικός λόγος πιθανοφάνειας είναι 0.21.

Το ερωτηματολόγιο Oswestry καταγράφει τη δυσλειτουργία των εξεταζομένων όταν παραμένουν όρθιοι, κάθονται, βαδίζουν, κοιμούνται, ταξιδεύουν και μεταφέρουν βάρος, στη σεξουαλική και κοινωνική συμπεριφορά τους καθώς και την ένταση του πόνου τη στιγμή που συμπληρώνουν το ερωτηματολόγιο.

Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman μεταξύ των τιμών της εντροπίας και του δείκτη δυσλειτουργίας (ODQ) για το δείγμα των ασθενών είναι .654.

Το ερωτηματολόγιο VAS καταγράφει, με τη βοήθεια κλίμακας, τα επίπεδα του μέγιστου και ελάχιστου πόνου, που έχει αισθανθεί ο εξεταζόμενος στη μέση, στον αυχένα και στα άκρα.

Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman μεταξύ των τιμών της εντροπίας και του δείκτη πόνου (VAS) για το δείγμα των ασθενών είναι .464.

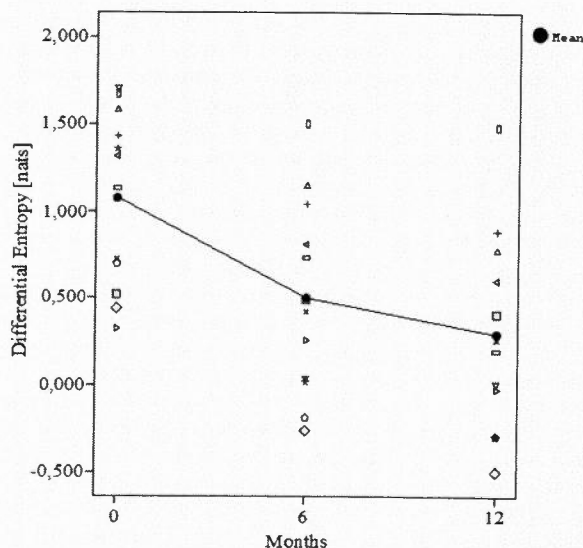
7. Μετρήσεις μετεγχειρητικής εκτίμησης

Δώδεκα (12) εξεταζόμενοι απ' το δείγμα ασθενών που πήραν μέρος στις παραπάνω μετρήσεις, μετρήθηκαν έξι (6) και δώδεκα (12) μήνες μετά την χειρουργική επέμβαση. Η μεθοδολογία των μετρήσεων ήταν η ίδια με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στις μετρήσεις του προεγχειρητικού σταδίου.

Το δείγμα ασθενών αποτελούνταν από δώδεκα (12) ενήλικες ασθενείς (5 άντρες, 7 γυναίκες, ηλικίας 50 ± 14 ετών, ύψους 165.2 ± 9 [cm], βάρους 74.3 ± 12.3 [kg], δείκτη μάζας σώματος 27.4 ± 5.7 [kg/m²]). Οι εξεταζόμενοι προέρχονταν από το δείγμα ασθενών των μετρήσεων του προεγχειρητικού σταδίου.

Και στην περίπτωση των μετεγχειρητικών μετρήσεων, όπως και κατά τις προεγχειρητικές μετρήσεις, κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων λήφθηκαν υπόψη μόνο οι τιμές της εντροπίας του κατακόρυφου άξονα της βάδισης.

Οι τιμές διαφορικής εντροπίας των ασθενών, προεγχειρητικά και μετεγχειρητικά, παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Διάγραμμα τιμών διαφορικής εντροπίας, προεγχειρητικών και μετεγχειρητικών (6 & 12 μήνες) μετρήσεων.

8. Στατιστική ανάλυση μετρήσεων μετεγχειρητικής εκτίμησης

Με την βοήθεια της ανάλυσης διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (ANOVA) έγινε σύγκριση των προεγχειρητικών και μετεγχειρητικών τιμών. Το λογισμικό SPSS 15.0 χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση. Το επίπεδο σημαντικότητας, ήταν $\alpha=0.05$ για όλους τους ελέγχους.

Η ανάλυση διακύμανσης, έδειξε στατιστικά σημαντικό μετεγχειρητικό αποτέλεσμα ($p < 0.001$). Κατά τη σύγκριση των προεγχειρητικών και μετεγχειρητικών τιμών των ασθενών, διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μείωση της τιμής της διαφορικής εντροπίας για κάθε ασθενή και κατά συνέπεια βελτίωση της μεταβλητότητας της βάδισης.

Μετά την διαπίστωση των στατιστικά σημαντικών διαφορών, με τη χρήση της ANOVA, ακολούθησε post-hoc Bonferroni ανάλυση για την επιβεβαίωση των προηγούμενων αποτελεσμάτων. Διαπιστώθηκε ότι η μέση τιμή της διαφορικής εντροπίας των πρώτων έξι μηνών μετά την επέμβαση, μειώθηκε σημαντικά από 1.075nats προεγχειρητικά σε 0.50nats μετεγχειρητικά [$p=0.07$, 95%, CI (0.17, 0.98)]. Επιπλέον η βελτίωση συνεχίστηκε ένα έτος μετά την χειρουργική επέμβαση, με

αποτέλεσμα την μείωση της μέσης τιμής της διαφορικής εντροπίας σε 0.29nats [$p=0.02$, 95% CI, (0.08-0.33)]. Σε ένα έτος, πραγματοποιήθηκε μείωση της μέσης τιμής της διαφορικής εντροπίας της βάδισης από 1.075nats προεγχειρητικά σε 0.29nats μετεγχειρητικά [$p=0.01$, 95%, CI (0.37, 1.2)].

9. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσης μελέτης ήταν η αξιολόγηση μιας νέας, μη επεμβατικής, γρήγορης και αξιόπιστης μεθόδου διάγνωσης και πρόγνωσης διαταραχών του ανθρωπίνου μυοσκελετικού συστήματος. Απ' την παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε:

- Η ανάπτυξη του πρωτοκόλλου μέτρησης για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου
- Η αξιολόγηση της ικανότητας της προτεινόμενης μεθόδου για τον διαχωρισμό ασθενών με στένωση από υγιείς και
- Η αξιολόγηση της ικανότητας της προτεινόμενης μεθόδου για την εκτίμηση της μετεγχειρητικής εξέλιξης ασθενών
- Συσχέτιση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης μεθόδου με τα αποτελέσματα που προκύπτουν απ' την συμπλήρωση του πρωτοκόλλου λειτουργικότητας (Oswestry)

Απ' τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι οι ασθενείς με σπονδυλική στένωση επιδεικνύουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα βάδισης στο φάσμα συχνοτήτων απ' την αντίστοιχη των υγιών εξεταζόμενων. Η αυξημένη μεταβλητότητα βάδισης αποδίδεται στα συμπτώματα της ΟΜΣΣ (έντονος πόνος, νευρολογική χωλότητα κ.α.). Επίσης διαπιστώθηκε ότι η μεταβλητότητα της βάδισης, ελαττώθηκε μετεγχειρητικά.

-
- ¹ Robbins SE, Gouw GJ, McClaran J. Shoe sole thickness and hardness influence balance in older men. *J Am Geriatr Soc* 1992;40:1089-94.
- ² Robbins S, Waked E, Allard P, McClaran J, Krouglicof N. Foot position awareness in younger and older men: the influence of footwear sole properties. *J Am Geriatr Soc* 1997;45(1):61-6.
- ³ Robbins S, Waked E, Krouglicof N. Improving balance. *J Am Geriatr Soc* 1998;46(11):1363-70.
- ⁴ Schwartz R., Heath A. and Misiek W. The influence of the shoe on gait: As Recorded by the Electrobasograph and Slow-Motion Moving Pictures. *J Bone Joint Surg Am.* 1935;17:406-418.
- ⁵ Schwartz R., Heath A., Misiek W. and Wright J. Kinetics of human gait. *J Bone Joint Surg Am.* 1934;16:343-350.
- ⁶ Schwartz R., Trautman O. and Heath A. Gait and muscle function recorded by the electrobasograph. *J Bone Joint Surg Am.* 1936;18:445-454.
- ⁷ Lord SR, Bashford G. Shoe characteristics and balance in older women. *J Am Geriatr Soc* 1996; 44: 429-33.
- ⁸ Hao, Z., Zhou, J., Jin, D., Wang, R., Zhou, D. How footwear affects the kinematics and dynamics of three-dimensional human gait. *Journal of Applied Biomechanics*. Volume 16, Issue 3, August 2000, Pages 309-319.
- ⁹ Bergmann G., Kniggeendorf H., Graichen F. and Rohlmann A. Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint. *J. Biomechanics*, Vol. 28, No. 7, pp. 817-827, 1995.
- ¹⁰ Kohle, M. & Merkl, D. (2000). Analysing Human Gait Patterns for Malfunction Detection. Proceedings of the 2000 ACM symposium on Applied computing. Como, Italy.
- ¹¹ Taylor NF, Evans OM, Goldie PA. Angular movements of the lumbar spine and pelvis can be reliably measured after 4 minutes of treadmill walking. *Clin Biomech* 1996;11(8):484-6.
- ¹² Murray MP, Spurr GB, Sepic SB, Gardner GM, Mollinger LA. Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram, and heart rate. *J Appl Physiol* 1985;59(1):87-91.
- ¹³ Savelberg HHCM, Vorstenbosch MATM, Kamman EH, Van de Weijer JGW, Schambardt HC. Intra-stride belt-speed variation affects treadmill locomotion. *Gait Posture* 1998;7:26-34.
- ¹⁴ Wall JC, Charteris J. A kinematic study of long-term habituation to treadmill walking. *Ergonomics* 1981;24(7):531-42.
- ¹⁵ Perry S., Radtke A. and Goodwin C. Influence of footwear midsole material hardness on dynamic balance control during unexpected gait termination. *Gait & Posture* 25 (2007) 94-98.
- ¹⁶ Alton F., Baldey L., Caplan S., Morrissey M.C. A kinematic comparison of overground and treadmill walking. *Clinical Biomechanics* 13 (1998) 434-440.