Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση κινητικών προβλημάτων με ανάλυση της πελματιαίας πίεσης"

Γεωργίου Ευτυχία

Εξεταστική Επιτροπή
Καθηγητής Ζερβάκης Μιχάλης (επιβλέπων)
Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος
Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα εικόνων

Περιεχόμενα πινάκων

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση των κινητικών προβλημάτων με ανάλυση της πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της βάδισης. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε για δυο ομάδες ασθενών. Η πρώτη ομάδα έπασχε από τη νόσο Parkinson και η δεύτερη έπασχε από οσφυαλγία λόγω δισκοκήλης. Τα πελματιαία δεδομένα συγκεντρώθηκαν με τον πελματογράφο Pedar Insole System της εταιρείας Novel. Πέρα από τις ομάδες των ασθενών προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι συγκρίσεις ανάμεσα στις ομάδες ήταν απαραίτητη η ύπαρξη μιας ομάδας ελέγχου, στην οποία συμμετείχαν οκτώ υγιείς μέσης ηλικίας 27 ετών. Η καταγραφή της πελματιαίας πίεσης των ασθενών πραγματοποιήθηκε στο νοσοκομείο Χανίων υπό την καθοδήγηση του ιατρού νευρολόγου κ. Γεωργακάκη.

Στα κεφάλαια 1, 2 και 3 που ακολουθούν, γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της ήδη υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τον κύκλο βάδισης κατά τη φυσιολογική βάδιση, τις παθολογίες για τις οποίες είναι χρήσιμη η μελέτη της πελματιαίας πίεσης και των μεθόδων που εφαρμόζονται κατά την ανάλυση των πελματιαίων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2, περιγράφονται οι μέθοδοι μέτρησης της πελματιαίας πίεσης με βάση τον εξοπλισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αναφέρονται οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την πελματιαία πίεση και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε ομάδες με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως το βάρος. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε δυο βασικές παθολογίες, τον διαβήτη και την νόσο Parkinson με σκοπό να συγκεντρωθούν οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο επεξεργασίας των πελματιαίων δεδομένων. Οι παραπάνω πληροφορίες σχετίζονται με τον τρόπο που υποδιαιρείται το πέλμα σε μικρότερες περιοχές και με τις παραμέτρους που μελετώνται όταν γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε υγιείς και σε ασθενείς προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει διαφορετικό πρότυπο βάδισης. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία και πιο συγκεκριμένα αναφέρονται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων σε περιβάλλον Matlab, που προέκυψαν από τον πελματογράφο, οι παράμετροι που μελετήθηκαν, οι περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα και οι κανονικοποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να γίνουν οι συγκρίσεις ανάμεσα στις ομάδες των υγιών και των ασθενών συμμετεχόντων. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από στατιστική

ανάλυση της στιγμιαίας πελματιαίας πίεσης, υπολογίζοντας τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης του κάθε βήματος και του συνολικού αριθμού των βημάτων στις περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε το πέλμα και μεμονωμένα στους κεντρικούς αισθητήρες. Από τους παραπάνω υπολογισμούς προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις του κεφαλαίου, για κάθε άτομο και κάθε ομάδα κατά τη διάρκεια της συνολικής βάδισης και κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης της βάδισης. Τέλος στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα και η περαιτέρω εργασία.

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ζερβάκη για τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγηση του προκειμένου να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεωργακάκη, ιατρό νευρολόγο στο νοσοκομείο Χανίων, για την προθυμία του να συνεργαστούμε προκειμένου να συγκεντρωθούν οι πειραματικές μετρήσεις και για τις πολύτιμες πληροφορίες που αφορούν τις παθολογίες που μελετήθηκαν. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γρηγόρη Τσαγκατάκη για τη βοήθεια του σε θέματα υλοποίησης. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την παρουσία τους και την ενασχόλησή τους με το κείμενο της εργασίας.

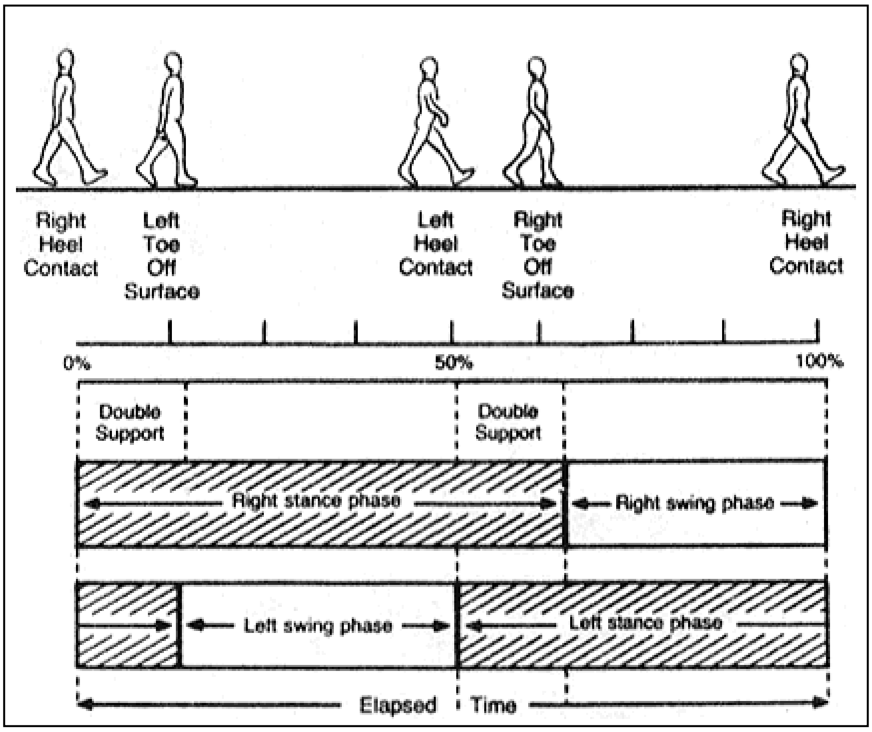
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1. Κύκλος βάδισης

Τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης βάδισης διαφοροποιούνται σημαντικά από άνθρωπο σε άνθρωπο καθώς σχετίζονται με παράγοντες όπως η ψυχολογική και η σωματική κατάσταση του ατόμου. Από μελέτες στο χώρο της κινησιολογίας προκύπτει ότι η κίνηση στο ανθρώπινο σώμα εκδηλώνεται κυρίως στα πόδια και στη λεκάνη ενώ τα υπόλοιπα μέλη του σώματος συμβάλλουν στη διατήρηση της ισορροπίας κατά τη διάρκεια της βάδισης με χαρακτηριστικό παράδειγμα την κίνηση των χεριών.

Η φυσιολογική βάδιση εμφανίζει κοινά στοιχεία σε όλους τους ανθρώπους και είναι μια δραστηριότητα η οποία σχετίζεται με τη σωστή λειτουργία διαφορετικών οργάνων και συστημάτων όπως το κεντρικό περιφερικό νευρικό σύστημα, η σπονδυλική στήλη και το ερειστικό σύστημα (οστά, μύες και αρθρώσεις). Η ανάλυση της βάδισης απαιτεί μια εξειδικευμένη διαγνωστική τακτική η οποία στηρίζεται στην πλήρη κατανόηση των φυσιολογικών μηχανισμών της κίνησης του ανθρώπινου σώματος και περιλαμβάνει τον έλεγχο: της ισορροπίας στην όρθια θέση, του μήκους των κάτω άκρων, του μήκους και της διάρκειας του βήματος, της ταχύτητας της βάδισης, του εύρους της βάσης στήριξης και της κίνησης των άνω άκρων.

Η βάδιση είναι μια περιοδική επαναληπτική κίνηση. Και τα δύο πόδια κατά την διάρκεια της βάδισης επαναλαμβάνουν τις ίδιες κινήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. *Κύκλος βάδισης* ορίζεται ως η περίοδος από την επαφή της φτέρνας του ενός ποδιού, έως την επόμενη επαφή στο έδαφος της φτέρνας του ίδιου ποδιού (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Φυσιολογική βάδιση (J. Perry 1992)

1.2. Φάσεις του κύκλου βάδισης

Ο κύκλος βάδισης, ο οποίος διαρκεί περίπου ένα δευτερόλεπτο, χωρίζεται στις παρακάτω δύο βασικές περιόδους, για κάθε πόδι (J.Perry 1992):

α) «Stance», φάση στήριξης (60% της συνολικής διάρκειας του κύκλου βάδισης):

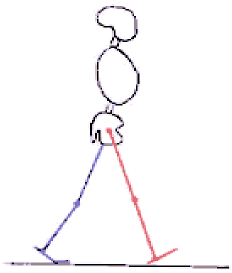
Αποτελεί το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η πατούσα βρίσκεται στο έδαφος. Αρχίζει την στιγμή που η φτέρνα του ποδιού ακουμπά στο έδαφος και τελειώνει την στιγμή που τα δάχτυλα του ίδιου σκέλους αφήνουν το έδαφος και υποδιαιρείται σε double support και single support.

Double support (DS) ονομάζεται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο και τα δύο πόδια είναι σε επαφή με το έδαφος. Συμβαίνει στην αρχή και στο τέλος της φάσης στήριξης. Single support (SS) ονομάζεται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μόνο το ένα πόδι είναι σε επαφή με το έδαφος ενώ το άλλο είναι στη φάση της αιώρησης.

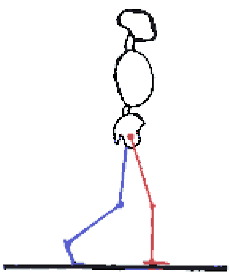
β) «Swing», φάση αιώρησης (40% της συνολικής διάρκειας του κύκλου βάδισης):

Αρχίζει την στιγμή που τα δάχτυλα του ποδιού αφήνουν το έδαφος και τελειώνει την στιγμή που η φτέρνα του ίδιου σκέλους ακουμπά στο έδαφος.

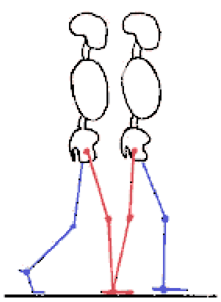
Οι φάσεις στήριξης και αιώρησης υποδιαιρούνται στις παρακάτω φάσεις:



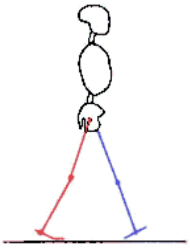
1) <u>Initial contact</u>: Αποτελεί την αρχή της φάσης στήριξης και είναι η στιγμή κατά την οποία το κόκκινο πόδι (φυσιολογικά η φτέρνα) ακουμπάει στο έδαφος.



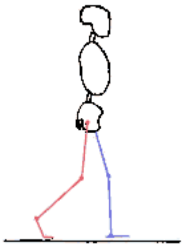
2) <u>Loading response</u>: Είναι η περίοδος που ακολουθεί την αρχική επαφή του κόκκινου ποδιού, κατά την οποία και τα δύο πόδια βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, μέχρι το μπλε πόδι να αφήσει το έδαφος .



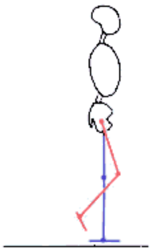
3) <u>Mid stance</u>: Είναι η περίοδος που ξεκινάει από τη στιγμή που το μπλε πόδι αφήνει το έδαφος, μέχρι όλο το βάρος του σώματος να μεταφερθεί στο κόκκινο πόδι.



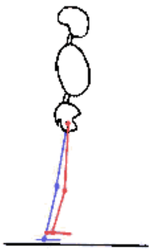
4) Terminal stance: Είναι η περίοδος που ξεκινάει όταν η φτέρνα του κόκκινου ποδιού αφήνει το έδαφος, μέχρι η φτέρνα του μπλε ποδιού να ακουμπήσει στο έδαφος.



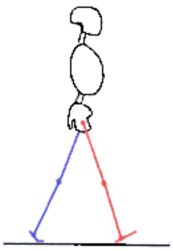
5) Pre – swing: Είναι η περίοδος που ξεκινάει από τη στιγμή που η φτέρνα του μπλε ποδιού ακουμπήσει το έδαφος (initial contact του μπλε ποδιού) και τελειώνει τη στιγμή που το κόκκινο πόδι αφήνει το έδαφος.



6) Initial swing: Είναι η περίοδος που ξεκινάει από τη στιγμή που το κόκκινο πόδι αφήνει το έδαφος μέχρι να βρεθεί απέναντι από το μπλε πόδι (το οποίο πατάει στο έδαφος).



7) Mid swing: Είναι η περίοδος η οποία ξεκινάει από το τέλος της προηγούμενης φάσης και συνεχίζει μέχρι το κόκκινο πόδι (το οποίο αιωρείται) να βρεθεί μπροστά από το σώμα και το καλάμι να είναι σε κάθετη θέση.



8) Terminal swing: Είναι η περίοδος που ξεκινάει από τη στιγμή που το καλάμι του κόκκινου ποδιού είναι σε κάθετη θέση, μέχρι η φτέρνα να ακουμπήσει στο έδαφος.

Εικόνα 2: Φάσεις του κύκλου βάδισης
(J. Perry 1992)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τεχνικές μέτρησης της πελματιαίας πίεσης

2.1.Τεχνικές μέτρησης

Η μέτρηση της πελματιαίας πίεσης αποτελεί σημαντικό ερευνητικό εργαλείο για την ανάλυση της βάδισης καθώς παρέχει πληροφορίες σχετικές με την ισορροπία του ατόμου στην όρθια στάση, το μήκος του βήματος, το εύρος της βάσης στήριξης, την ταχύτητα της βάδισης, τη μεταφορά του βάρους από το ένα άκρο στο άλλο κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων όπως η βάδιση. Η πληροφορία η οποία λαμβάνεται από τα δεδομένα της πελματιαίας πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έγκαιρη διάγνωση των αλλαγμένων προτύπων κάτω από την πελματιαία επιφάνεια τα οποία μπορεί να σχετίζονται με βλάβες του κεντρικού νευρικού συστήματος (εγκεφαλική παράλυση, ημιπληγίες) και του περιφερικού νευρικού συστήματος (νευροπαθητικό πόδι, σακχαρώδης διαβήτης). Οι λόγοι για τους οποίους η μελέτη της βάδισης μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο σε κλινικές εφαρμογές έχουν διευκρινιστεί από τον Brand [1]. Καταρχάς τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν διαγνωστικό εργαλείο προκειμένου να διαχωρίζονται διαφορετικές παθολογίες καθώς και διαφορετικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση της ίδιας παθολογίας. Η σωστή διάγνωση μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή κατάλληλης αγωγής και αποθεραπείας. Ακόμα οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται από την ανάλυση μπορούν να συμβάλλουν στην εκτίμηση της σοβαρότητας της παθολογίας ή του τραυματισμού και μέσω της επαναλαμβανόμενης ανάλυσης της βάδισης για έναν συγκεκριμένο ασθενή μπορεί μακροπρόθεσμα να παρατηρείται η εξέλιξη του.

Σε κλινικές εφαρμογές η οπτική παρατήρηση είναι χρήσιμη σε σοβαρές ανωμαλίες της βάδισης αλλά όταν η ασθένεια δεν έχει πλήρως εκδηλωθεί είναι χρήσιμη η παρατήρηση του προτύπου βάδισης του ασθενή η οποία εμπεριέχει μελέτη παραμέτρων όπως το μήκος βήματος, ο ρυθμός βάδισης, η κατανομή της πελματιαίας πίεσης και οι δυνάμεις που ασκούνται κατά τη βάδιση. Οι σημαντικότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παράμετροι στις κινητικές αναλύσεις είναι η δύναμη και η πελματιαία πίεση. Η δύναμη η οποία αποτελείται από τρεις συνιστώσες (F_x,F_y,F_z) εκφράζει την αλληλεπίδραση του ποδιού ή του σώματος με το περιβάλλον ενώ η πελματιαία πίεση εκφράζει την κατανομή της δύναμης στην επιφάνεια του πέλματος και η μελέτη της προσφέρει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις διαφόρων παθολογιών σε συγκεκριμένες περιοχές της πατούσας.

Οι μέθοδοι μέτρησης της πελματιαίας πίεσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές ομάδες με κριτήριο τη χρήση εξοπλισμού, εκτός παπουτσιού και εντός παπουτσιού. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει μία από τις παλαιότερες μελέτες περιγραφής προτύπων της πελματιαίας πίεσης η οποία έγινε από τον Beely το 1882 και βασίστηκε στη λήψη αποτυπωμάτων της πελματιαίας επιφάνειας κατά τη διάρκεια της βάδισης. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν οι συσκευές Harris Beat mat, Podotrack και Optical pedobarograph [2]. Η χρήση πλατφόρμων μέτρησης της πελματιαίας πίεσης απαιτεί την ενσωμάτωση τους σε κατάλληλες επιφάνειες όπως οι διάδρομοι. Η τοποθέτηση τους πρέπει να γίνεται σε κατάλληλο σημείο του διαδρόμου έτσι ώστε οι εξεταζόμενοι να έχουν ανακτήσει τη φυσιολογική ταχύτητα βάδισης και να μην τους απασχολεί η επαφή τους με την πλατφόρμα. Είναι σημαντικό η καταγραφή της πελματιαίας πίεσης να γίνεται μετά την εξοικείωση του συμμετέχοντα με την εγκατάσταση (Kernozek, LaMott, & Dancisak, 1996). Βασικό μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου μέτρησης της πελματιαίας πίεσης αποτελεί το γεγονός ότι δεν είναι δυνατή η μέτρηση της πελματιαίας πίεσης μεταξύ του παπουτσιού και του πέλματος και ο μικρός αριθμός βημάτων που μπορούν να μελετηθούν (Cobb & Claremont, 1995). Ακόμα η χρήση τους συνήθως απαιτεί τη βάδιση χωρίς υποδήματα καθώς τα παπούτσια μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο μεταφοράς του βάρους σε συγκεκριμένες περιοχές του πέλματος . Το αποτέλεσμα του παραπάνω περιορισμού είναι η χρήση της πλατφόρμας σε περιπτώσεις που μελετάται η λειτουργία του ποδιού για υγιείς και ασθενείς συμμετέχοντες αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποτίμηση της επίδρασης των υποδημάτων στη βάδιση και της αποτελεσματικότητας της όρθωσης (Rosenbaum D. & H. Becker).

Η πληροφορία που λαμβανόταν από τις παραπάνω μεθόδους σε περιπτώσεις παθολογίας ήταν ελλιπής, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν συσκευές μέτρησης της πελματιαίας πίεσης εντός των παπουτσιών, όπως οι παρακάτω: pedobarograph [3], Emed System [4], Fscan System [5] και Pedar Insole System. Βασικό πλεονέκτημα της ανάπτυξης συστημάτων μέτρησης της πελματιαίας πίεσης εντός των παπουτσιών είναι η δυνατότητα δυναμικής καταγραφής της πελματιαίας πίεσης για μεγάλο αριθμό βημάτων και για ολόκληρη την επιφάνεια του πέλματος. Ωστόσο οι παραπάνω συσκευές είναι αρκετά επιρρεπείς σε μηχανικές βλάβες των αισθητήρων λόγω της συνεχούς χρήσης. Ακόμα, το περιβάλλον μέσα στο παπούτσι κατά τη διάρκεια της βάδισης, το οποίο σχετίζεται άμεσα με παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία και την απόδοση των αισθητήρων [6].

2.2.Παράγοντες που επηρεάζουν την πελματιαία πίεση

Οι ανθρωπομετρικοί και οι κινηματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πελματιαία πίεση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν γίνεται σύγκριση των πελματιαίων δεδομένων για διαφορετικούς πληθυσμούς.

2.2.1. Δομικοί παράγοντες

Μια πρώτη κατηγορία αποτελούν οι δομικοί παράγοντες. Για τον υγιή πληθυσμό και ιδιαίτερα τις γυναίκες αποδείχτηκε ότι υπάρχει μια μικρή αλλά σημαντική συσχέτιση του σωματικού βάρους με την πελματιαία πίεση στο μέσο πλευρικό τμήμα της πατούσας και στο τρίτο μετατάρσιο (Hillis et al. 2001). Η αντίστοιχη ανάλυση για διαβητικούς ασθενείς οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το σωματικό βάρος δεν προβλέπει τις πελματιαίες πιέσεις. Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στο σωματικό βάρος και στην πελματιαία πίεση των διαβητικών ασθενών για τα μετατάρσια και το μεγάλο δάχτυλο υπολογίστηκε ίσος με 0.37 ενώ ο αντίστοιχος για τους υγιείς υπολογίστηκε ίσος με 0.36 [7]. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την πελματιαία πίεση είναι η ηλικία. Οι ηλικιωμένοι ασκούν μικρότερη μέγιστη πίεση και μέγιστη δύναμη στις μεσαίες περιοχές του ποδιού όταν ακουμπά η πτέρνα το έδαφος και όταν τα μπροστινά δάχτυλα αφήνουν το έδαφος [8]. Οι διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται λόγω του φύλου μελετήθηκαν από τον Henning. Οι συμμετέχοντες ήταν σαράντα εννιά γυναίκες και εξήντα δύο άντρες και από την ανάλυση των πελματιαίων δεδομένων προέκυψε ότι οι άντρες συμμετέχοντες παρουσιάζουν στη μέση περιοχή του ποδιού κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης σημαντικά μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης [9].

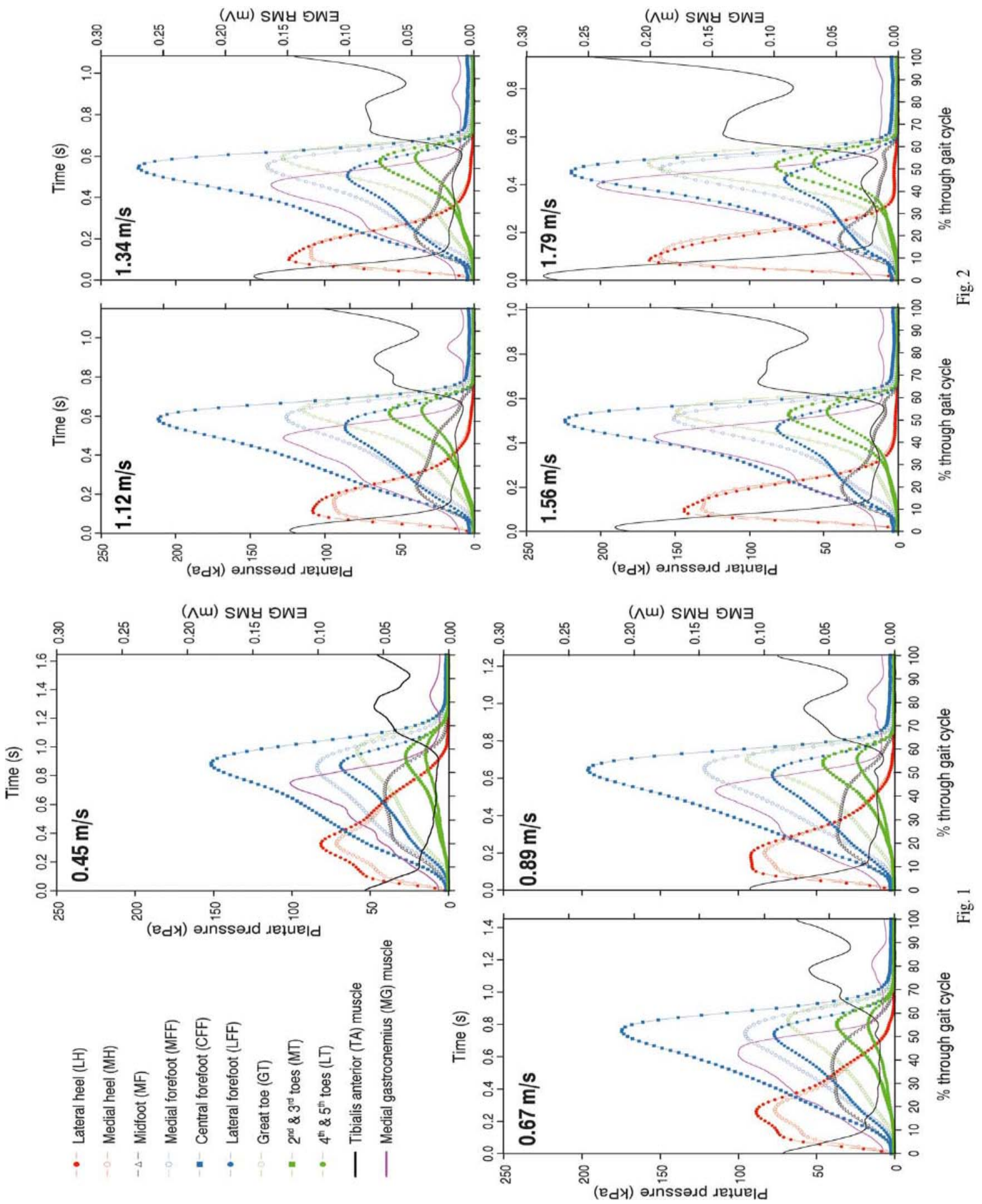
Άλλοι παράγοντες όπως η περιορισμένη ευκινησία των αρθρώσεων του αστράγαλου και των μεταταρσοφαλαγγικών αρθρώσεων μπορούν να προκαλέσουν αυξημένες τιμές πελματιαίων πιέσεων και τελικά ο συνδυασμός τους να προκαλέσει την εμφάνιση έλκους σε περιπτώσεις διαβητικών ασθενών [10].

Η μορφολογία της πτέρνας, τα μήκη των μεταταρσίων, η εμφάνιση κοιλοποδίας και πλατυποδίας μπορούν να αυξήσουν τις πελματιαίες πιέσεις στο μέσο πέλμα και στην εμπρόσθια περιοχή του ποδιού.

2.2.2. Ταχύτητα βάδισης

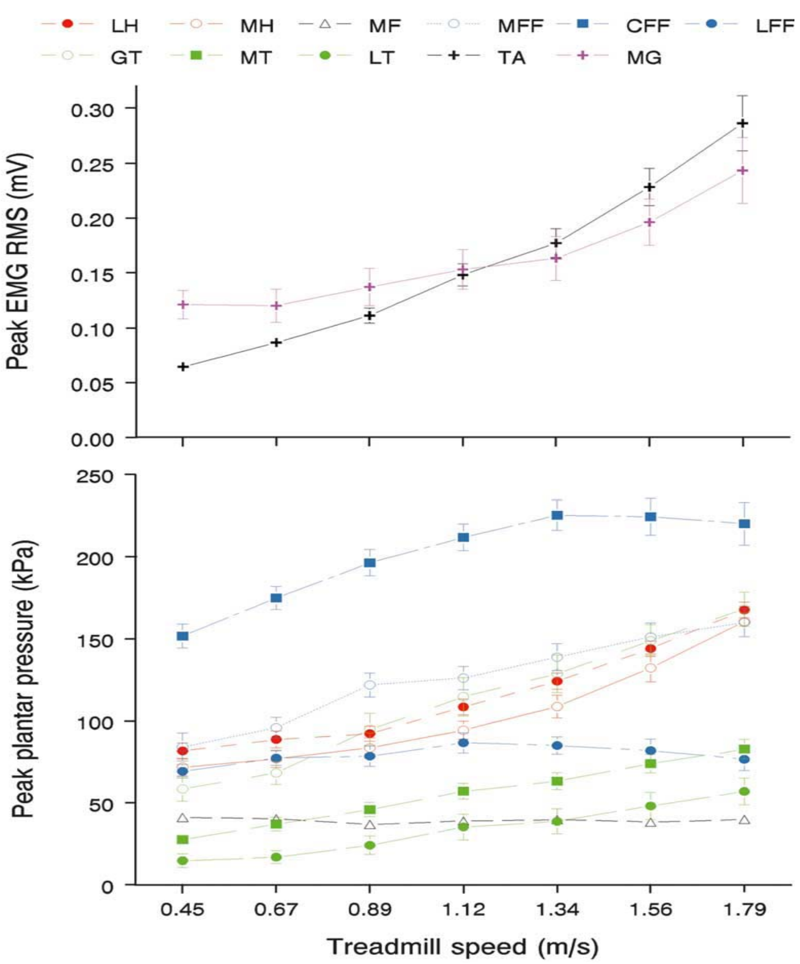
Η αύξηση της ταχύτητας βάδισης προκαλεί αύξηση της μέγιστης (peak) πελματιαίας πίεσης και της μέσης πελματιαίας πίεσης. Οι περιοχές της πατούσας που εμφανίζεται η αύξηση είναι η πτέρνα (47%) και το κεντρικό και τα μεσαία μετατάρσια. Πιο ήπιες αυξήσεις και για τις δυο μεταβλητές εμφανίζονται στο μεγάλο δάχτυλο και στα πλευρικά δάχτυλα (33% και 35 % αντίστοιχα) ενώ μείωση της πελματιαίας πίεσης εμφανίζεται στη πλευρική περιοχή της καμάρας [11].

Οι καμπύλες της πελματιαίας πίεσης σε σχέση με το χρόνο για τις περισσότερες περιοχές της πατούσας με εξαίρεση την πτέρνα και τη μέση περιοχή του πέλματος δεν μεταβάλλονται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα βάδισης [12]. Καθώς η ταχύτητα βάδισης αυξάνεται η εμφάνιση των μέγιστων πελματιαίων πιέσεων (PP) γίνεται πιο νωρίς κατά τη διάρκεια του κύκλου βάδισης. Ενώ για μικρές ταχύτητες βάδισης οι PP της εμπρόσθιας περιοχής του πέλματος εμφανίζονται κατά το 52-54% του χρόνου του κύκλου βάδισης, όταν η ταχύτητα βάδισης αυξάνεται η εμφάνισή τους γίνεται κατά το 45-50% του χρόνου του κύκλου βάδισης (Εικόνα 3). Ακόμα διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στη διάρκεια της φάσης στήριξης, η οποία ενώ σε μικρές ταχύτητες καταλαμβάνει το 79 % του χρόνου του κύκλου βάδισης καθώς η ταχύτητα αυξάνεται η διάρκεια της φάσης στήριξης μειώνεται στο 67 % της διάρκειας του κύκλου βάδισης.



Εικόνα 3: Μέση πελματιαία πίεση και ηλεκτρομυογράφημα για ταχύτητες βάδισης 0.45-0.89 m/s (Fig.1) και μέση πελματιαία πίεση και ηλεκτρομυογράφημα για ταχύτητες 1.12-1.79 m/s (G.L. Warren et al.)

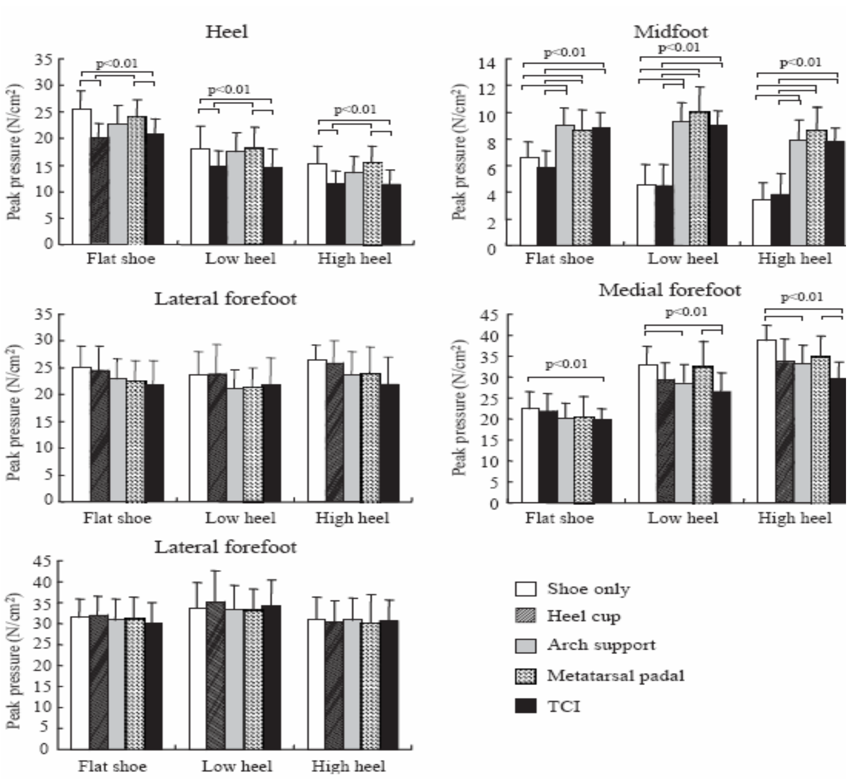
Η επίδραση της ταχύτητας στις τιμές της ακραίας πελματιαίας πίεσης για όλες τις περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα ήταν σημαντική εκτός από την περιοχή του μέσου πέλματος (Εικόνα 4). Η επίδραση πιο συγκεκριμένα στις περιοχές πλευρική πτέρνα (LH), μέση πτέρνα (MH), μέσο πέλμα (MF), μέσο εμπρόσθιο πέλμα (MFF), κεντρικό εμπρόσθιο πέλμα (CFF), μεγάλο δάχτυλο (BT), δεύτερο και τρίτο δάχτυλο (MT), τέταρτο και πέμπτο δάχτυλο (LT) ήταν σημαντική καθώς μέσω της ανάλυσης της διακύμανσης των τιμών της πελματιαίας πίεσης προέκυψε $p<0.001$. Για το πλευρικό εμπρόσθιο πέλμα (LFF) η διακύμανση στις τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης για τις εφτά διαφορετικές ταχύτητες βάδισης ήταν μικρότερη ή ίση από 0.25 και δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στις τιμές της πίεσης για ταχύτητα βάδισης 0.45 m/s και 1.79 m/s [12].



Εικόνα 4: Μέσες τιμές της μέγιστης (peak) πελματιαίας πίεσης και EMG root-mean-square (RMS) σε σχέση με την ταχύτητα βάδισης (G.L. Warren et al.)

2.2.3. Υποδήματα, συχνότητα δειγματοληψίας και πρωτόκολλα λήψης πελματιαίων δεδομένων

Η μελέτη της επίδρασης των υποδημάτων στη βάδιση βοηθά στην εξέλιξη της σχεδίασης κατάλληλων υποδημάτων, τα οποία θα ελαχιστοποιούν τις αρνητικές επιδράσεις στο μυοσκελετικό σύστημα. Η αύξηση του ύψους της σόλας των παπουτσιών στην πτέρνα, οδηγεί στην αύξηση της πελματιαίας πίεσης και δύναμης στην μέση εμπρόσθια περιοχή της πατούσας, με αποτέλεσμα τη δυσκολία κατά τη βάδιση [13]. Η χρήση βοηθητικών πελμάτων στην περιοχή της καμάρας αποδείχτηκε ότι μπορεί να μειώσει κατά 15% την μέγιστη (peak) πελματιαία πίεση στην μέση εμπρόσθια περιοχή του ποδιού (medial forefoot) και να αυξήσει την πελματιαία πίεση στο μέσο του ποδιού (Midfoot) κατά 125.6% (Εικόνα.5) .

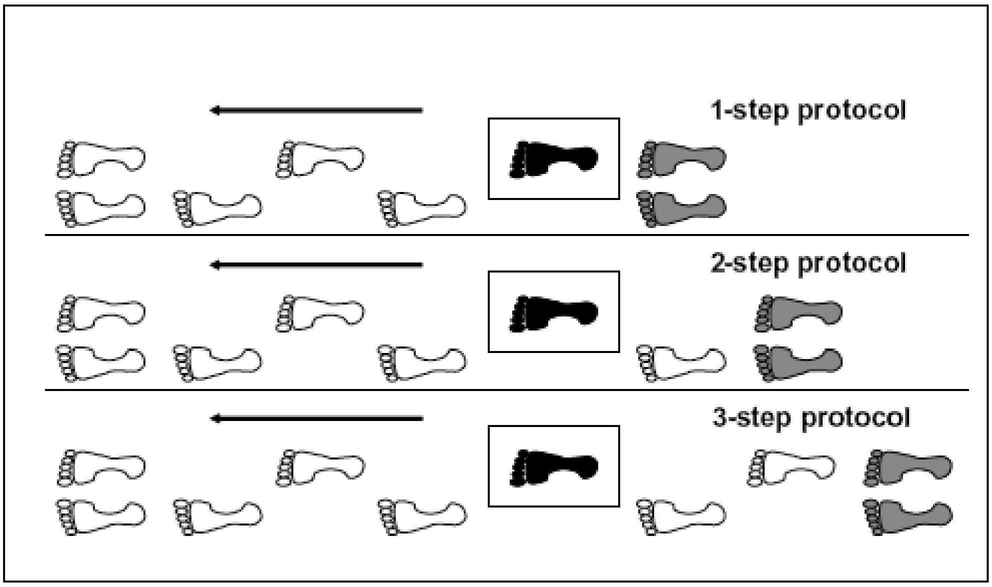


Εικόνα 5: Σύγκριση της 'ακραίας' πελματιαίας πίεσης σε κάθε περιοχή με τα διαφορετικά βοηθήματα [13]

Η μελέτη της πελματιαίας πίεσης από τους Sarnow MR, Veves A, Giurini JMet al. σε διαβητικούς ασθενείς και υγιείς έδειξε ότι οι ασθενείς παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές μέγιστης πελματιαίας πίεσης και ότι και οι δύο ομάδες όταν περπατούσαν χωρίς υποδήματα παρουσίαζαν μικρότερες τιμές πελματιαίας πίεσης [14]. Η χρήση διαφορετικών υποδημάτων σε μια ομάδα δεκατριών διαβητικών ασθενών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η μέση πελματιαία πίεση μειώθηκε έως και 47% στη περιοχή του δεύτερου και του τέταρτου μεταταρσίου όταν οι συμμετέχοντες φορούσαν αθλητικά παπούτσια σε σχέση με τις πελματιαίες πιέσεις που καταγράφηκαν όταν οι ασθενείς φορούσαν δερμάτινα παπούτσια [15].

Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τις τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης. Όταν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μικρή οι τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης στην περιοχή της πτέρνας είναι μικρότερες. Οι αποδεκτές τιμές της συχνότητας δειγματοληψίας είναι άνω των 50 Hz (Schaff 1993)

Τα πρωτόκολλα λήψης πελματιαίων δεδομένων (πρώτο βήμα, δεύτερο βήμα και βήματα στο μέσο της βάδισης (first step, second step, mid gait)) συγκρίθηκαν στη περίπτωση διαβητικών ασθενών με νευροπάθεια (Εικόνα 6). Με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω σύγκρισης δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης ανάμεσα στα τρία πρωτόκολλα. Η μόνη σημαντική διαφορά αφορούσε στο χρόνο επαφής της πτέρνας ο οποίος ήταν μεγαλύτερος στο πρωτόκολλο του ‘ενός βήματος’ συγκριτικά με το πρωτόκολλο των ‘τριών βημάτων’ ($p<0.05$). Μετά την κανονικοποίηση ως προς το συνολικό χρόνο επαφής, η διαφορά ανάμεσα στα πρωτόκολλα για οποιαδήποτε περιοχή ήταν μικρότερη από 6% [16].



Εικόνα 6: Αναπαράσταση του πειραματικού σχεδιασμού για τη λήψη δεδομένων. Οι συμμετέχοντες πατούσαν με το αριστερό ή το δεξί πόδι στη πλατφόρμα και συνέχιζαν τη βάδιση για τρία ή τέσσερα βήματα ακόμη [16]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μελέτη της πελματιαίας πίεσης σε συγκεκριμένες παθολογίες και αποτίμηση κλινικών εφαρμογών.

3.1.Επίδραση του διαβήτη στη βάδιση

Η διαβητική νευροπάθεια προκαλείται από την εξασθένιση του νευρικού συστήματος των ασθενών. Το φαινόμενο αυτό, δηλαδή ο τραυματισμός στα νεύρα των άκρων, έχει σαν συνέπεια την μείωση ή και την απουσία της αντίληψης του πόνου, με αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία των κάτω και των άνω άκρων. Ο εκφυλισμός του νευρικού συστήματος μπορεί να προκαλέσει μυοπάθειες, εξασθένιση και ατροφία των μυών τα οποία επηρεάζουν τη βάδιση [17].

Λόγω της ατροφίας των εσωτερικών μυών του άκρου του ποδιού εμφανίζεται το φαινόμενο της γαμψοδακτυλίας, το οποίο έχει σαν συνέπεια την αυξημένη πίεση στις άκρες των δακτύλων. Η μετατόπιση του κέντρου βάρους στο πέλμα συνδέεται με την μείωση του λιπώδους ιστού, ο οποίος προστατεύει τα μετατάρσια, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πελματιαία πίεση στα προεξέχοντα μετατάρσια [18].

Η συνεχόμενη πίεση έχει σαν συνέπεια τη νέκρωση των κυττάρων και τη δημιουργία κάλων και φλεγμονών, τα οποία καταλήγουν στην εμφάνιση έλκους στις πατούσες. Η εμφάνιση ελκωμάτων στις πατούσες των διαβητικών ασθενών θεωρείται μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της διαβητικής νευροπάθειας καθώς σε συνδυασμό με τον μειωμένο αμυντικό μηχανισμό, όσον αφορά στις λοιμώξεις, οδηγεί σε ακρωτηριασμό.

Με βάση τη βιβλιογραφία, οι πελματιαίες πιέσεις στα πόδια των διαβητικών ασθενών είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με τους υγιείς και σχετίζονται με την εμφάνιση έλκους [19]. Τα έλκη εμφανίζονται συνήθως στη περιοχή των μεταταρσίων και του μεγάλου δακτύλου όπου και εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές πελματιαίας πίεσης (Stokes, Farris IB, Hutton WC 1975. The neuropathic ulcer and loads on the foot in diabetic patients). Με βάση άλλους μελετητές η μεμονωμένη εμφάνιση αυξημένων τιμών πελματιαίας πίεσης δεν προκαλεί έλκη και υπάρχει ένα σύνολο δυσλειτουργιών όπως η περιορισμένη ευκινησία των αρθρώσεων και η μυϊκή αδυναμία οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η παραπάνω θέση οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχει καθοριστεί ένα κατώφλι για τις τιμές της πελματιαίας πίεσης το οποίο θα διαχωρίζει σαφώς τους ασθενείς με κίνδυνο να εμφανίσουν έλκος από εκείνους που δεν ανήκουν στην ομάδα κινδύνου και επιπλέον τα έλκη πολλές φορές δεν εμφανίζονται στις περιοχές που εμφανίζουν υψηλές τιμές πελματιαίας πίεσης [20].

Λόγω του σχετικά μεγάλου ποσοστού 15-20 % διαβητικών περιπτώσεων που μπορούν να καταλήξουν σε ακρωτηριασμό (Αποτελέσματα μελέτης στις Ηνωμένες Πολιτείες) είναι σαφής η ανάγκη εύρεσης μιας μεθοδολογίας η οποία θα συμβάλλει στην έγκαιρη διάγνωση της εμφάνισης έλκους. Η ανάλυση της καμπύλης της μέγιστης (peak) πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική μέθοδο για την έγκαιρη διάγνωση των λειτουργικών βλαβών που εμφανίζονται στα πόδια των διαβητικών ασθενών (Claudia Giacomozzi, Peak presure curve: An effective parameter for early detection of foot functional impairments in diabetic patients). Η καμπύλη της μέγιστης πελματιαίας πίεσης (Peak Pressure Curve) προκύπτει από τη γραμμική ένωση των μέγιστων τιμών πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης της βάδισης.

Οι συμμετέχοντες στη μελέτη ήταν εξήντα ένας διαβητικοί ασθενείς με ή χωρίς νευροπάθεια και είκοσι δύο υγιείς. Τα δεδομένα της πελματιαίας πίεσης λαμβάνονταν μέσω της πλατφόρμας Emed ST4 Novel Gmbh, Munich Germany η οποία ήταν ενσωματωμένη σε ένα διάδρομο μήκους 6.5 m. Το μήκος του διαδρόμου επέτρεπε στους συμμετέχοντες να πραγματοποιήσουν τρία τουλάχιστον βήματα πριν και μετά την επαφή τους με την πλατφόρμα με αποτέλεσμα τα δεδομένα που λαμβάνονταν να ικανοποιούν τα πρωτόκολλα μέτρησης της πελματιαίας πίεσης [21]. Οι Peak Pressure Curves για όλους τους συμμετέχοντες κανονικοποιήθηκαν στο 100% της φάσης στήριξης και προέκυψαν από το μέσο όρο των τριών γραφικών του κάθε αποτυπώματος για κάθε πόδι Ακόμα ορίστηκε μια Boolean παράμετρος η IPP (Increased Peak Pressure) η οποία έπαιρνε την τιμή ένα όταν η ακραία πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης της βάδισης ήταν μεγαλύτερη από την μέση τιμή αναφοράς .

Συνολικά συγκεντρώθηκαν ενενήντα επτά παθολογικές PPCs για τους διαβητικούς ασθενείς με ή χωρίς νευροπάθεια. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια υποδιαίρεση των ασθενών με βάση τις τιμές των παραμέτρων IPP (Increased Peak Pressure), LJM (Limited Joint Mobility of the foot ankle complex), VPT (Vibration Perception Threshold) και MW (Muscular Weakness). Η παραπάνω υποδιαίρεση ονομάστηκε 'λειτουργική' ταξινόμηση και προέκυψαν πέντε ομάδες.

Το σχήμα και το πλάτος των Peak Pressure Curves οδήγησαν σε μια ταξινόμηση των ασθενών με βάση τις ομοιότητες των καμπύλων. Η καμπύλη αναφοράς προέκυψε από τις τιμές της πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης του υγιούς πληθυσμού (Εικόνα 7). Ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε για την 'σχηματική' ταξινόμηση των καμπύλων των διαβητικών ασθενών με ήπια και σοβαρή νευροπάθεια ήταν ο k-means. Ο αλγόριθμος k-means μπορεί να περιγραφεί από το παρακάτω μαθηματικό μοντέλο:

Ελαχιστοποίηση του $P(W,Q)$

$$P(W,Q) = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} w_{i,j} d(X_i, Q_j)$$

Με τους παρακάτω περιορισμούς :

$$\sum_{l=1}^{k} w_{i,l} = 1$$

$1 \leq i \leq n$

$1 \leq l \leq k$

$w_{i,l} \in \{0,1\}$

όπου:

W είναι ο 'πίνακας συμμετοχής' και Wi,l είναι τα στοιχεία του W.

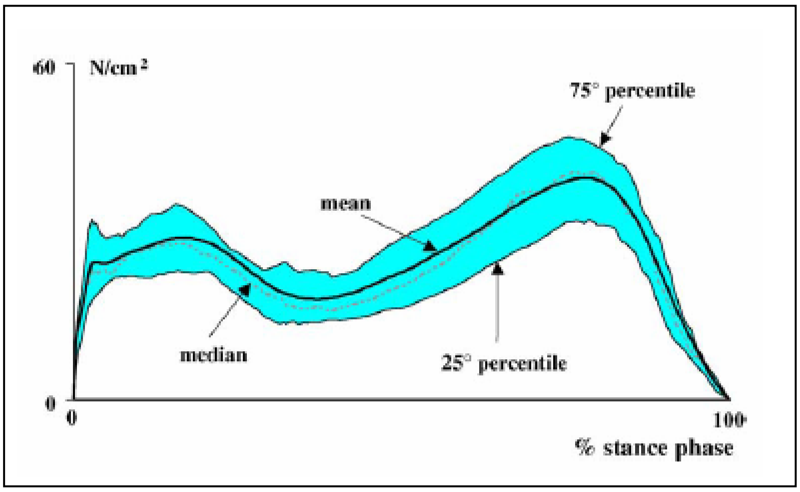
Q είναι το αρχικό κέντρο των κλάσεων σε κάθε βήμα και σε κάθε ομάδα.

d είναι η ευκλείδεια απόσταση του διαστήματος Q και X.

Εφαρμογή του αλγορίθμου:

- δημιουργία των k διαμερίσεων
- δημιουργία των k αρχικών κέντρων των κλάσεων (εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι για τον προσδιορισμό τους : τυχαία εκχώρηση τιμών στα κέντρα , χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο ιεραρχίας και δίνοντας 255 διαφορετικές τυχαίες εκχωρήσεις των αρχικών κέντρων)
- τοποθέτηση κάθε παρατήρησης Xi στην ΄πλησιέστερη' κλάση (την κλάση για την οποία η απόσταση ανάμεσα στην παρατήρηση και το κέντρο(d(X,Qi))) είναι ελάχιστη.
- Επανάληψη του προηγούμενου βήματος μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο σύγκλισης.

Στη συγκεκριμένη μελέτη ο k-means αλγόριθμος που εφαρμόστηκε είχε τρεις κλάσεις ξεκινούσε με την τιμή k=1 και σταματούσε όταν ο αριθμός των αντικειμένων που παρέμενε σε μια ομάδα-cluster από τη μια επανάληψη μέχρι την επόμενη ήταν μεγαλύτερος από το 80% του πληθυσμού της ομάδας-cluster. Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος σταματούσε στην δέκατη επανάληψη, υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το S-plus 2000 (mathsoft) στη Matlab 6.5 και εφαρμόστηκε σε 97 PPCs ασθενών .Για κάθε κλάση υπολογίστηκαν οι 'μέσες' γραφικές και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες των γκρουπ A και B προκειμένου να υπολογιστούν τα κριτήρια σύγκλισης .Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις υπολογίστηκαν σε κάθε ομάδα-cluster, μέσω του one-way ANOVA τεστ (ένας ανεξάρτητος συντελεστής ,τέσσερα επίπεδα και τέσσερα ανεξάρτητα γκρουπ).Το τεστ εφαρμόστηκε στις τρεις κλάσεις και στο γκρουπ ελέγχου με πολλαπλές συγκρίσεις, λαμβάνοντας υπόψη τη Bonferroni διόρθωση και τους ελέγχους ($p<0.05$).

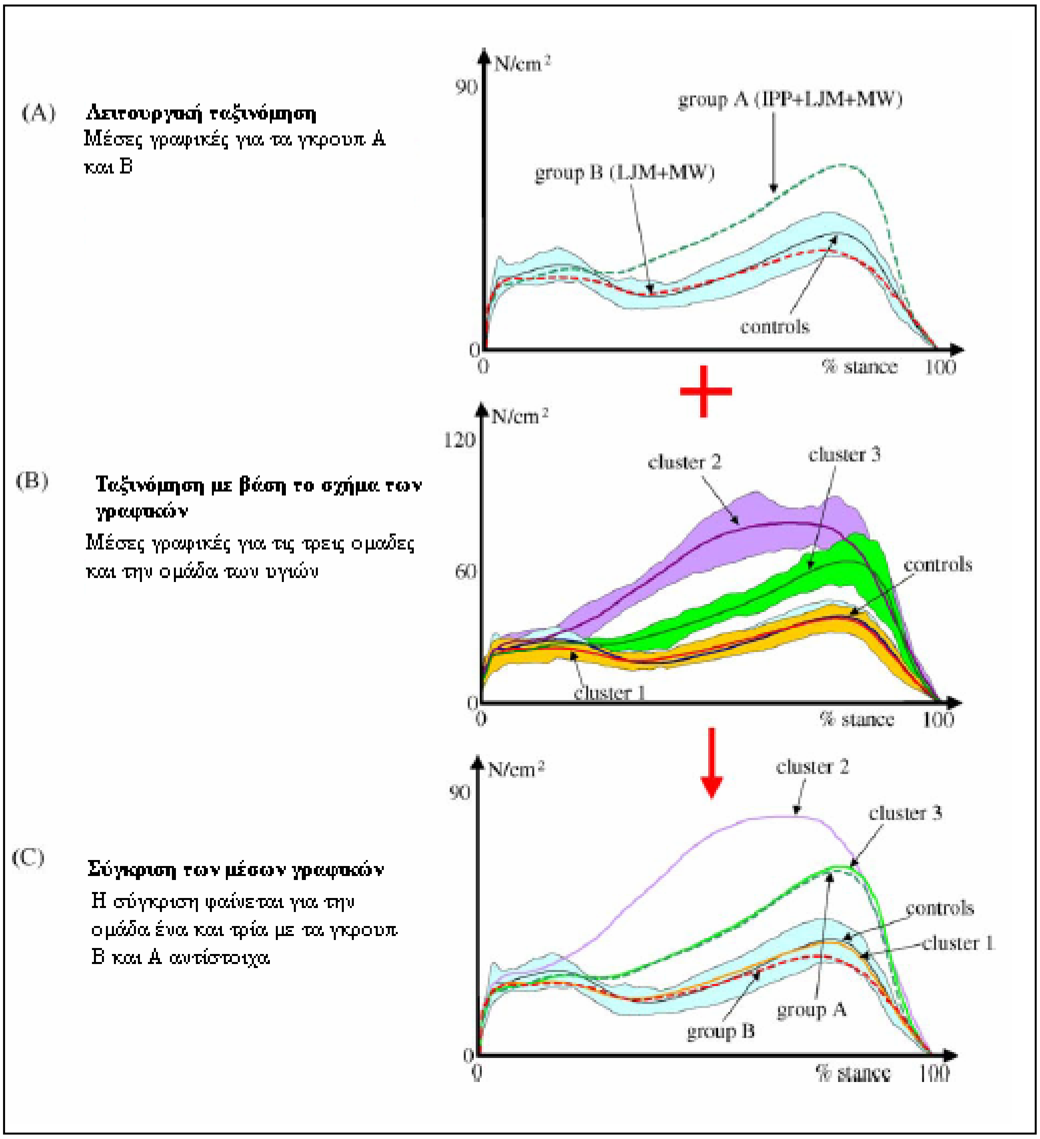


Εικόνα 7: Καμπύλες αναφοράς της μέγιστης πελματιαίας πίεσης των 42 υγιών συμμετεχόντων (Claudia Giacomozzi)

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της 'λειτουργικής' και της σχηματικής ταξινόμησης φαίνονται στην εικόνα 8. Στην εικόνα 8^A απεικονίζονται οι καμπύλες που προέκυψαν από την 'λειτουργική' ταξινόμηση για τις ομάδες Α και Β. Από την εφαρμογή της 'σχηματικής' ταξινόμησης προέκυψαν τρεις καλά διαχωρισμένες ομάδες οι οποίες απεικονίζονται στην εικόνα 8^B.

Το σχήμα των καμπύλων φαίνεται να είναι άμεσα συνδεδεμένο με το διαφορετικό πρότυπο βάδισης των διαβητικών ασθενών (Εικόνα 8). Η πρώτη ομάδα (cluster 1) εμπεριέχει όλους τους ασθενείς οι οποίοι δεν είχαν αναπτύξει ακόμα υπέρταση, παρόλο που εμφάνιζαν περιορισμένη ευκινησία των αρθρώσεων στον αστράγαλο και μειωμένη μυϊκή δύναμη. Στην δεύτερη ομάδα (cluster 2) ανήκαν ασθενείς οι οποίοι παρουσίαζαν μη φυσιολογικά πρότυπα βάδισης. Οι περισσότεροι από αυτούς είχαν παρουσιάσει στο παρελθόν πελματιαία έλκη στην πλευρική περιοχή της πατούσας ενώ έπασχαν και από άλλες παθολογίες όπως οπτικές και ακουστικές βλάβες. Στη τρίτη ομάδα (cluster 3) ανήκαν ασθενείς οι οποίοι εμφάνιζαν τις μεγαλύτερες βλάβες στις αρθρώσεις του αστραγάλου αλλά και τις μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης στα μετατάρσια. Λίγους μήνες μετά τη διεξαγωγή της μελέτης έξι από τους έντεκα διαβητικούς ασθενείς της τρίτης ομάδας εμφάνισαν έλκη στις πατούσες τους.

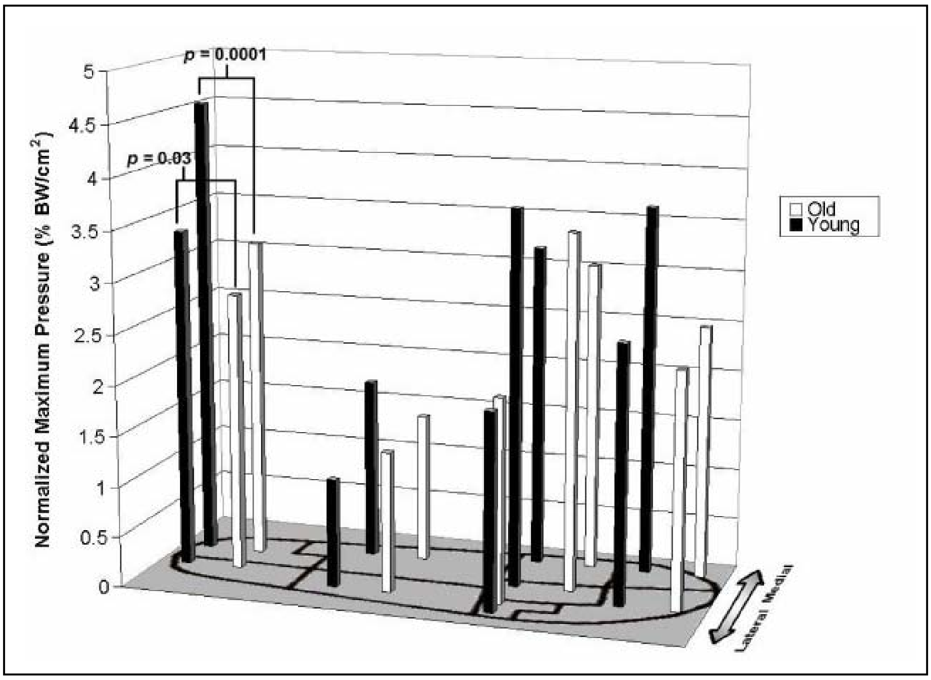
Οι συντελεστές συσχέτισης (CI) για τις μέσες (median) γραφικές υπολογίστηκαν CI=0.989 για την πρώτη ομάδα (cluster 1) σε σχέση με την ομάδα Β, και CI=0.997 για την τρίτη ομάδα (cluster 3) σε σχέση με την ομάδα Α.



Εικόνα 8: (A) Μέση (mean) καμπύλη με βάση την λειτουργική ταξινόμηση για τις ομάδες Α (IPP and MW and LJM))και B(LJM and MW), (B) Αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της σχηματικής ταξινόμησης, (C) Σύγκριση μεταξύ της λειτουργικής και της σχηματικής ταξινόμησης

Η μεμονωμένη εμφάνιση της κάθε δυσλειτουργίας που μελετήθηκε (περιορισμένη ευκινησία των αρθρώσεων, μυϊκή αδυναμία, αυξημένη πελματιαία πίεση) δεν μπορεί να προκαλέσει έλκη στις πατούσες διαβητικών ασθενών αλλά ο συνδυασμός τους, εντάσσει τον ασθενή στην ομάδα κινδύνου. Η χρήση απλών μέσων για την καταγραφή των παραμέτρων βάδισης μπορεί να συμβάλλει στην έγκαιρη διάγνωση περιπτώσεων ασθενών που κινδυνεύουν να εμφανίσουν έλκος στις πατούσες τους.

Ο καθορισμός των παραγόντων που σχετίζονται με την εμφάνιση υψηλών τιμών πελματιαίας πίεσης μπορεί να γίνει μέσω της 'ανάλυσης της παλινδρόμησης' (Craig Payne, Deborah Turner, Kathryn Miller, Determinants of plantar pressures in the diabetic foot). Η τιμή της ακραίας πελματιαίας πίεσης και το pressure time integral υπολογίστηκαν για τις παρακάτω τέσσερις περιοχές της πατούσας: μεγάλο δάχτυλο, πρώτο μετατάρσιο, πλευρική εμπρόσθια περιοχή και πτέρνα με χρήση του 'Group Mask Evaluation' προγράμματος. Σε ένα σύνολο πενήντα διαβητικών ασθενών η ακραία πελματιαία πίεση στη περιοχή του βλαισού υπολογίστηκε ίση με 178.7 kPa, στο πρώτο μετατάρσιο 230.0 kPa, στην πλευρική εμπρόσθια περιοχή 276.9 kPa και στην πτέρνα 216.4 kPa. Με βάση τα αποτελέσματα του regression modelling η διακύμανση 28% στην μέγιστη πελματιαία πίεση στην περιοχή του μεγάλου δακτύλου δικαιολογείται από το εύρος κίνησης του πρώτου μεταταρσοφαλαγγικού συνδέσμου (β=-1.0) και από το Michigan Neuropathy Score (β=5.5) (P=0.0004) το οποίο δικαιολογούσε και τη διακύμανση 17% στην περιοχή του πρώτου μεταταρσίου.Το Michigan Neuropathy Score σχετίζεται με την ύπαρξη ή απουσία ανακλαστικών στον αστράγαλο την αντίληψη του κραδασμού και της θερμοκρασίας. Καμία από τις παραμέτρους δεν δικαιολογούσε τη διακύμανση στην πλευρική εμπρόσθια περιοχή της πατούσας ενώ η ηλικία και το Michigan Neuropathy Score δικαιολογούσαν τη διακύμανση 32% της 'μέγιστης' πελματιαίας πίεσης στην πτέρνα (β=5.6). Η ηλικία σύμφωνα με τους Morag και Cavanagh σχετίζεται με την πελματιαία πίεση και με βάση τους Mary Josephine, Mitul Vtas, Jason Leach, Kun Hu and Vera Novak (Foot pressure distribution during walking in young and old adults) οι ηλικιωμένοι ασκούν μικρότερη πίεση και δύναμη στις μεσαίες περιοχές του ποδιού όταν ακουμπά η πτέρνα το έδαφος και όταν τα μπροστινά δάχτυλα αφήνουν το έδαφος (Εικόνα.9)



Εικόνα 9: Κατανομή της πελματιαίας πίεσης σε κάθε ανατομική περιοχή. Οι τιμές της πελματιαίας πίεσης έχουν κανονικοποιηθεί ως προς το βάρος. Οι άσπρες στήλες αντιστοιχούν στους υγιείς συμμετέχοντες και οι μαύρες στους ηλικιωμένους. Οι σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν στην μέση πελματιαία περιοχή (p=0.0001) και στην πλευρική περιοχή (p=0.03) (Mary Josephine, Mitul Vtas, Jason Leach, Kun Hu and Vera Novak)

Καμία από τις παραμέτρους δεν δικαιολογούσε τη διακύμανση στα pressure time integrals στο βλαισό του μεγάλου δαχτύλου στο πρώτο μετατάρσιο και στην πλευρική εμπρόσθια περιοχή της πατούσας. Μόνο το βάρος ερμήνευσε τη διακύμανση 10.3% (β=0.37) στην περιοχή της πτέρνας. Η έλλειψη εύρεσης συσχέτισης ανάμεσα στην μειωμένη κίνηση των αρθρώσεων μπορεί να οφείλεται στον τρόπο λήψης των δεδομένων μέσω εξοπλισμού εντός του παπουτσιού σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες οι οποίες χρησιμοποιούσαν πλατφόρμες.

Η μελέτη της μέγιστης πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης στην εμπρόσθια περιοχή της πατούσας για διάφορες καθημερινές δραστηριότητες διαβητικών ασθενών όπως η βάδιση, το ανέβασμα και το κατέβασμα σκάλας και η βάδιση σε κεκλιμένο επίπεδο δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των διαφορετικών δραστηριοτήτων στην πελματιαία πίεση. Με βάση τους A.Rozema, J.S Ulbrect, S.E Pammer, P.R Cavanagh,(In shoe plantar pressure pressures during activities of daily living : implications for therapeutic footwear design) οι περιοχές που μελετήθηκαν προκειμένου να διαπιστωθούν οι διαφοροποιήσεις της πελματιαίας πίεσης σε σχέση με τη δραστηριότητα ήταν το μεγάλο δάχτυλο και τα μετατάρσια ένα έως και πέντε. Η μέγιστη (peak) πίεση κάθε δραστηριότητας εκτιμήθηκε υπολογίζοντας το μέσο όρο όλων των βημάτων.

Οι τιμές της ακραίας πελματιαίας πίεσης για κάθε περιοχή υπολογίστηκαν από τον μέσο όρο και των δύο άκρων, καθώς η εφαρμογή του F-ratio test έδειξε ότι δεν υπήρχε σημαντική στατιστική διαφορά στην μέγιστη πελματιαία πίεση ανάμεσα στο δεξί και το αριστερό πόδι.

Για τις περισσότερες δραστηριότητες το δεύτερο μετατάρσιο παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης ενώ οι μικρότερες τιμές βρέθηκαν στα μετατάρσια τέσσερα και πέντε. Στις περισσότερες περιοχές η μέγιστη (peak) πίεση ήταν μεγαλύτερη κατά τη βάδιση σε οριζόντιο επίπεδο, συγκριτικά με τις υπόλοιπες δραστηριότητες ($p \leq 0.30$). Για όλες τις περιοχές οι τιμές της πελματιαίας πίεσης των ασθενών κατά την αλλαγή της πορείας προκειμένου να επιστρέψουν στην αρχική τους θέση ήταν μεγαλύτερες για την οριζόντια βάδιση σε σχέση με το Up & Go test και τη βάδιση σε κεκλιμένο επίπεδο. Ακόμα μεγαλύτερες τιμές πίεσης εμφανίστηκαν κατά την ανάβαση του κεκλιμένου επιπέδου και της σκάλας, συγκριτικά με την κατάβαση ($p \leq 0.001$). Μόνο στην περιοχή του μεγάλου δακτύλου οι τιμές της πελματιαίας πίεσης ήταν μεγαλύτερες κατά την κατάβαση ($p \leq 0.001$).

Για όλες τις δραστηριότητες οι μεγαλύτερες τιμές ακραίας πελματιαίας πίεσης υπολογίστηκαν για τα μετατάρσια ένα έως και τρία. Για τις παραπάνω περιοχές οι τιμές της πελματιαίας πίεσης ήταν μεγαλύτερες κατά τη βάδιση σε οριζόντιο επίπεδο και κατά την κατάβαση κεκλιμένου επιπέδου. Το παραπάνω συμπέρασμα έρχεται σε αντίθεση με τα συμπεράσματα προηγούμενων μελετών, σύμφωνα με τις οποίες οι μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης εμφανίζονται σε δραστηριότητες όπως η βάδιση σε κεκλιμένο επίπεδο, το ανέβασμα και το κατέβασμα σκάλας [22,23]. Οι ασθενείς με διαβητική νευροπάθεια παρουσίαζαν μικρότερες τιμές πελματιαίας πίεσης (περίπου 10%) για όλες τις δραστηριότητες σε σχέση με τους διαβητικούς ασθενείς χωρίς νευροπάθεια, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες [19,24].

3.2. **Νόσος Parkinson και επίδραση στην πελματιαία πίεση**

Η νόσος Parkinson είναι μια ασθένεια η οποία σχετίζεται με το νευρικό σύστημα και η επίδρασή της είναι εμφανής στο πρότυπο βάδισης των ασθενών. Τα βασικά χαρακτηριστικά της βάδισης σε πρώιμα στάδια της ασθένειας είναι η μειωμένη ταχύτητα και το μειωμένο εύρος κίνησης των κάτω και των άνω άκρων. Οι ασθενείς που εμφανίζουν τη νόσο εξαιτίας της υποκινησίας παρουσιάζουν μεγάλες δυσκολίες όταν πρόκειται να στρίψουν και επιβραδύνουν πολύ την κίνησή τους πραγματοποιώντας πολλά και σύντομα βήματα [25].

Η ακινησία (‘πάγωμα’) κατά τη βάδιση είναι ένα συνηθισμένο προσωρινό σύμπτωμα του παρκινσονισμού και εμφανίζεται στο 60% του πληθυσμού που πάσχει από τη νόσο. Σε αρχικά στάδια της ασθένειας το παραπάνω φαινόμενο διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα και προκαλεί ήπια ανικανότητα αλλά καθώς η ασθένεια εξελίσσεται αποτελεί σημαντική αιτία πτώσης και έλλειψης της ανεξαρτησίας κίνησης των ασθενών. Οι ασθενείς οι οποίοι έχουν την τάση να ακινητοποιούνται κατά τη βάδιση παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στο χρόνο βάδισης ανάμεσα στα βήματα και ασυμμετρία στο χρόνο της φάσης αιώρησης ανάμεσα στο δεξί και το αριστερό πόδι [26,39].

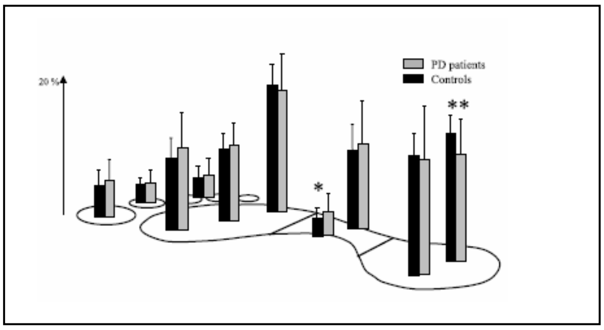
Σύμφωνα με τους Stefan Kimmeskamp and Ewald M. Henning 2001 (heel to toe characteristics in Parkinson patients during free walking) οι ασθενείς παρουσιάζουν σημαντικές τροποποιήσεις στην μεταφορά του βάρους κατά τη βάδιση σε σχέση με τους υγιείς και επιπλέον παρουσιάζουν μειωμένη πρόσκρουση στην περιοχή της πτέρνας. Ακόμα οι ασθενείς τείνουν να μεταφέρουν το βάρος σε μεσαίες περιοχές του πέλματος και παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης στις εμπρόσθιες περιοχές του πέλματος. Προκειμένου να μελετηθεί η διαφοροποίηση της βάδισης των ασθενών με Parkinson σε σχέση με τους υγιείς συγκεντρώθηκαν δεδομένα για τις εξής παραμέτρους: ταχύτητα βάδισης, ρυθμός βάδισης και πελματιαίες πιέσεις. Επειδή τα συμπτώματα της ασθένειας είναι πιθανό να εκδηλωθούν στη μια μόνο πλευρά του σώματος είναι σημαντικό τα δεδομένα του αριστερού και του δεξιού ποδιού να μελετηθούν ξεχωριστά.

Για την κάθε μια από τις δέκα ανατομικές περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα υπολογίστηκε το σχετικό φορτίο (Relative Load) από τα δεδομένα της πελματιαίας πίεσης. Το RL δίνει περισσότερες πληροφορίες συγκριτικά με την ανάλυση της μέγιστης πίεσης (Peak Pressure) για τα χαρακτηριστικά της κίνησης από την πτέρνα μέχρι τα δάχτυλα και εξουδετερώνει την επίδραση του σωματικού βάρους κάθε συμμετέχοντα στα πελματιαία δεδομένα. Το σχετικό φορτίο υπολογίζεται διαιρώντας το ολοκλήρωμα της δύναμης (δύναμη = επιφάνεια * πελματιαία πίεση) σε κάθε i περιοχή με το ολοκλήρωμα του αθροίσματος της δύναμης σε όλες τις περιοχές, με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$RLi(\%) = \frac{\int Fi(t)dt}{\sum_{n=1-N} \int Fn(t)dt} \times 100$$

Όπου RLi αντιστοιχεί στο σχετικό φορτίο κάθε περιοχής και N οι περιοχες στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα

Το σχετικό φορτίο για την πλευρική περιοχή της πατούσας των ασθενών ήταν σημαντικά μικρότερο από το αντίστοιχο των υγιών συμμετεχόντων, ενώ το σχετικό φορτίο στις μέσες περιοχές της πατούσας παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τους υγιείς. Για τα μετατάρσια και τα δάχτυλα δεν εντοπίστηκαν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις δύο ομάδες (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Relative loads για τους ασθενείς και τους υγιείς (Kimmeskamp and Ewald M. Henning 2001

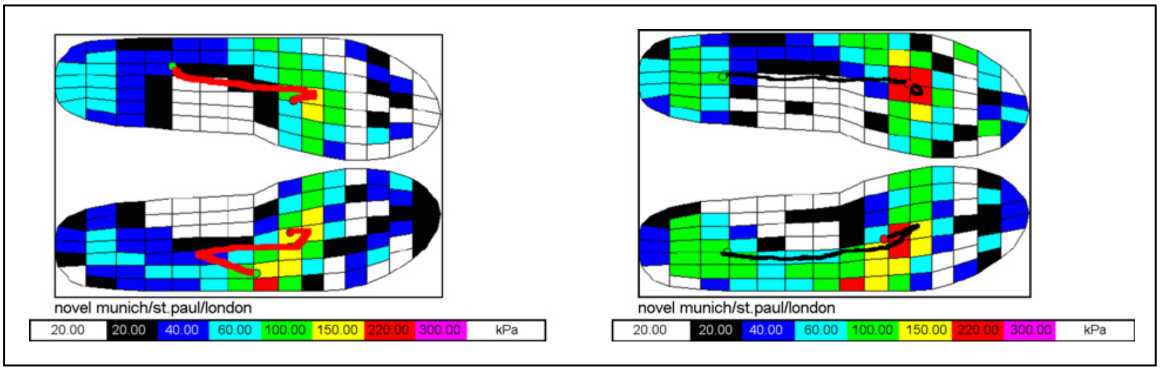
Η επόμενη παράμετρος που μελετήθηκε ήταν η ‘γραμμή βάδισης’ (gait line). Η ‘γραμμή βάδισης’ αντιπροσωπεύει την κίνηση του κέντρου της πίεσης (COP) στην πατούσα κατά τη βάδιση. Προκειμένου να καθοριστεί ο προσανατολισμός της ‘γραμμής βάδισης’ σε πλευρικό ή μέσο, χρησιμοποιήθηκε ένας πλευρικός δείκτης (Lateral Index). Ο παραπάνω δείκτης υπολογίστηκε διαιρώντας την επιφάνεια μεταξύ της γραμμής βάδισης και του ορίου της σόλας με το τετράγωνο του μήκους της γραμμής βάδισης. Μεγάλες τιμές για το δείκτη υποδεικνύουν προσανατολισμό της γραμμής κίνησης προς το μέσο.

Η μέση τιμή για τον πλευρικό δείκτη στην περίπτωση των ασθενών υπολογίστηκε ίση με 0.185 ενώ η αντίστοιχη για τους ασθενείς ήταν ίση με 0.175. Η μεγαλύτερη τιμή του δείκτη για τους ασθενείς υποδεικνύει προσανατολισμό προς το μέσο για τη γραμμή κίνησης συγκριτικά με τους υγιείς. Το μήκος της γραμμής βάδισης δεν παρουσίασε ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις δύο ομάδες, καθώς για τους υγιείς υπολογίστηκε ίσο με 179,6 mm ενώ για τους ασθενείς ήταν 184,4 mm.

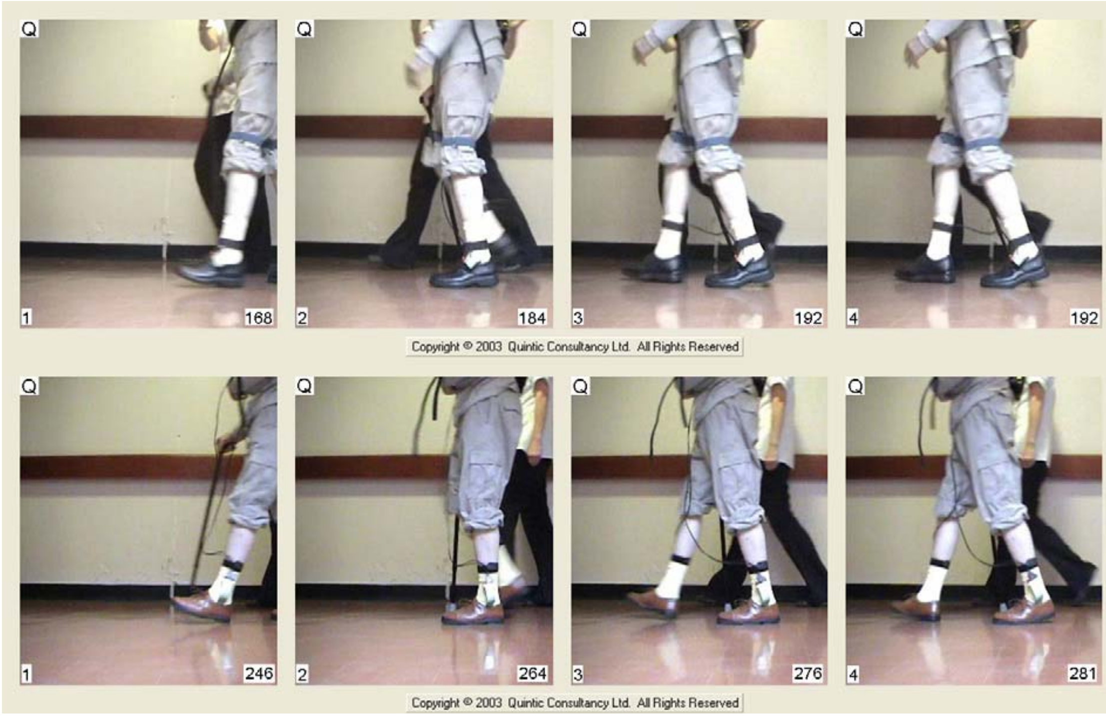
Από τη μελέτη της μέγιστης (peak) πελματιαίας πίεσης προέκυψε ότι η κατανομή της ήταν παρόμοια για τους υγιείς και τους ασθενείς, ωστόσο οι τιμές της πίεσης στη περιοχή της πτέρνας των ασθενών ήταν αρκετά μειωμένες σε σχέση με τους υγιείς. Το παραπάνω συμπέρασμα υποδεικνύει τη ‘διστακτικότητα’ της μεταφοράς του βάρους στην περιοχή της πτέρνας σε ασθενείς με τη νόσο Πάρκινσον [27,28]. Η μελέτη των καμπύλων της δύναμης αντίδρασης (Ground Reaction Forces) των ασθενών και των υγιών συμμετεχόντων κατά τη βάδιση έδειξε ότι όλοι οι υγιείς συμμετέχοντες και είκοσι από τους είκοσι τέσσερις ασθενείς παρουσίασαν διπλή κορυφή στις αντίστοιχες καμπύλες. Η πρώτη κορυφή οφείλεται στην επαφή της πτέρνας με το έδαφος και η δεύτερη οφείλεται στην άρση των μπροστινών δαχτύλων από το έδαφος [29]. Οι ασθενείς που παρουσιάζουν το τυπικό συρτό βηματισμό της νόσου παρουσιάζουν μια μόνο κορυφή στην καμπύλη της δύναμης αντίδρασης [39].

Η βελτίωση της βάδισης των ασθενών με τη νόσο Parkinson και κυρίως η αποφυγή των πτώσεων μέσω φαρμακευτικής αγωγής είναι υπό εξέταση καθώς η χορηγία φαρμάκων και πιο συγκεκριμένα του levodopa μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της αστάθειας των ασθενών [30]. Σύμφωνα με τους Ian Mathienson, Sarah Curran, Sue Hallam και Judi Corne οι κατάλληλες εξωτερικές τροποποιήσεις των υποδημάτων με την προσθήκη ενός τοξοειδούς επιπέδου στην εμπρόσθια περιοχή του υποδήματος ώστε τα μπροστινά δάχτυλα να μην είναι διαρκώς σε επαφή με το έδαφος μπορεί ενδεχομένως να βελτιώσουν τη βάδιση των ασθενών.

Η αποτελεσματικότητα της παραπάνω μεθόδου μελετήθηκε στην περίπτωση ενός ασθενή ο οποίος έπασχε από ιδιοπαθή Parkinson για τουλάχιστον δεκατρία χρόνια. Ο ασθενής παρουσίαζε με την πάροδο της ασθένειας ακινησία, μείωση της ταχύτητας βάδισης και πτώσεις. Τα αποτελέσματα του up & go test έδειξαν αύξηση του χρόνου βάδισης από δεκαεφτά δευτερόλεπτα με είκοσι οχτώ βήματα σε τριάντα οχτώ δευτερόλεπτα με τριάντα εννέα βήματα στο τελευταίο τριετές διάστημα εξέλιξης της νόσου. Προκειμένου να αποτιμηθεί η βελτίωση της βάδισης του ασθενή με την χρήση του τροποποιημένου υποδήματος χρησιμοποιήθηκε το Pedar in shoe pressure measurement system ώστε να συγκεντρωθούν δεδομένα για τη μέγιστη και μέση ταχύτητα (m/s) και την πορεία του κέντρου της πελματιαίας πίεσης. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν κατά τη διεξαγωγή των δοκιμασιών των δέκα μέτρων και των έξι λεπτών βάδισης (10-metre, 6-minute walk tests) και κατά το up & go test με δύο διαφορετικά είδη υποδημάτων τα συνηθισμένα και τα κατάλληλα διαμορφωμένα. Οι εικόνες οι οποίες προέκυψαν από το Pedar για το κέντρο πίεσης επιβεβαιώνουν τη βελτίωση της διαδρομής του κέντρου πίεσης με τα κατάλληλα διαμορφωμένα υποδήματα σε σχέση με τα φυσιολογικά (Εικόνα 11). Ακόμα μέσω της Quintic Consultant anlysis (εξειδικεύεται στην ανάλυση αθλητικών βίντεο) ανακτήθηκε οπτικό υλικό για τις κινηματικές λειτουργίες κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης (Εικόνα 12). Με βάση τις εικόνες ο ασθενής παρουσίασε αύξηση στο μήκος βήματος και καλύτερη τοποθέτηση του ποδιού όταν το βάρος μεταφερόταν στην πτέρνα. Ακόμα αυξήθηκε η διάρκεια της μέσης φάσης στήριξης και η επαφή της πτέρνας με το έδαφος διαρκούσε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε αντίθεση με το μικρό χρονικό διάστημα που χαρακτηρίζει τους ασθενείς που πάσχουν από τη νόσο.



Εικόνα 11: Πορεία του κέντρου της πίεσης με φυσιολογικά υποδήματα (αριστερά) και με τα τροποποιημένα υποδήματα (δεξιά) (Mathieson et al./ Physiotherapy 2007)



Εικόνα 12: Φωτογραφίες κατά τη βάδιση του ασθενή με φυσιολογικά ποδήματα και τη βοήθεια φυσιοθεραπευτή (πάνω) και αντίστοιχα με τα τροποποιημένα υποδήματα (κάτω) (Mathieson et al./ Physiotherapy 2007)

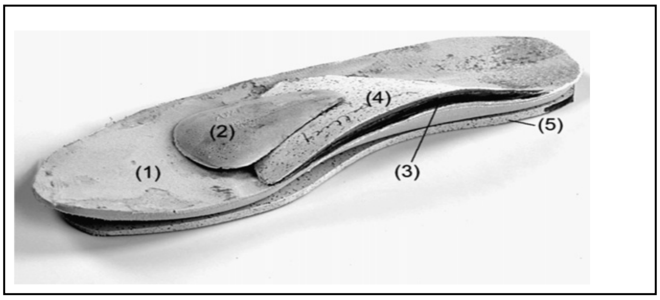
Περαιτέρω μελέτη απαιτείται προκειμένου να διαπιστωθεί αν τα διαμορφωμένα υποδήματα συμβάλλουν όντως στη βελτίωση των χαρακτηριστικών της βάδισης των ασθενών με τη νόσο Parkinson. Η βελτίωση της βάδισης σε δοκιμές όπως ‘των έξι λεπτών βάδισης’ ήταν σχετικά μικρή καθώς ο ασθενής πραγματοποίησε δέκα μόνο παραπάνω βήματα κατά τη διάρκεια της δοκιμής και ίσως ο ενθουσιασμός του συμμετέχοντα να συνέβαλλε σε κάποιο βαθμό στις βελτιώσεις που παρατηρήθηκαν.

3.3.Κλινικές εφαρμογές

Πολλές βλάβες στα κάτω άκρα οφείλονται στις αυξημένες πελματιαίες πιέσεις σε συγκεκριμένες περιοχές της πατούσας και οφείλονται σε ασθένειες όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα, ο διαβήτης, οι δυσμορφίες στο μεγάλο δάχτυλο και η μεταταρσαλγία. Η θεραπεία της όρθωσης χρησιμοποιείται συχνά σε τέτοιες περιπτώσεις προκειμένου να μειωθεί η πελματιαία πίεση, να αποφευχθεί η εμφάνιση ελκωμάτων σε περιπτώσεις διαβητικών ασθενών και να μειωθεί ο πόνος στα πέλματα των ασθενών για διάφορες παθολογίες.

Η αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης των διάφορων πελματιαίων βοηθημάτων σε παθολογίες όπως η αρθρίτιδα και ο διαβήτης είναι χρήσιμη προκειμένου να εξακριβωθεί αν η θεραπεία της όρθωσης μεταβάλλει την κατανομή της πελματιαίας πίεσης και συμβάλλει στην καλύτερη ποιότητα ζωής των ασθενών μειώνοντας τον πόνο.

Πιο συγκεκριμένα η μελέτη της πελματιαίας πίεσης στη περίπτωση διαβητικών ασθενών (N.A. Guldemond, P. Leffers, N.C. Schaper, A.P. Sanders, F. Nieman, P. Willems, G.H.I.M Walenkamp 2007 The effects of insole configurations on forefoot plantar pressure and walking convenience in diabetic patients with neuropathic feet) έδειξε ότι ο συνδυασμός κατάλληλων βοηθημάτων μπορεί να μειώσει την πελματιαία πίεση στην εμπρόσθια περιοχή της πατούσας. Για τη διεξαγωγή της μελέτης όλα τα ‘βοηθήματα’ και η βασική σόλα του παπουτσιού κατασκευάστηκαν από ένα έμπειρο ορθοπεδικό (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Απεικόνιση της βασικής σόλας και των εξαρτημάτων. (1) Βασική σόλα, (2) βοήθημα μεταταρσίου, (3) φυσιολογικό βοήθημα καμάρας, (4) επιπρόσθετο βοήθημα καμάρας και (5) βοήθημα στην μέση περιοχή του πέλματος (N.A.Guldemond, P. Leffers, N.C. Schaper, A.P. Sanders, F. Nieman, P. Willems, G.H.I.M Walenkamp 2007)

Οι περιοχές ενδιαφέροντος μελέτης της πελματιαίας πίεσης ήταν η πλευρική, η κεντρική και η μεσαία εμπρόσθια περιοχή του πέλματος και το μεγάλο δάχτυλο. Για κάθε μια από τις παραπάνω περιοχές μετρήθηκε η ακραία πελματιαία πίεση μέσω του Pedar Insole System. Οι μεγαλύτερες τιμές της μέγιστης (peak) πελματιαίας πίεσης και του pressure time integral σε κάθε αισθητήρα για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη βασική σόλα χρησιμοποιήθηκαν σαν μέτρο σύγκρισης με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των πειραμάτων κατά τα οποία έγινε συνδυασμός των διάφορων βοηθημάτων.

Μετά την εφαρμογή του Anova test διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε σημαντική στατιστική διαφορά ($P \geq 0.194$) για τις τιμές της πελματιαίας πίεσης και των pressure time integrals (N/cm^2*s) μεταξύ του αριστερού και του δεξιού ποδιού με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των δεδομένων και των δύο ποδιών. Για την πλευρική εμπρόσθια περιοχή δεν βρέθηκε σημαντική στατιστική διαφορά για την μέγιστη (peak) πελματιαία πίεση μετά το συνδυασμό των βοηθημάτων εκτός από τη διαφορά που προέκυψε με τη χρήση του ‘μεταταρσικού βοηθήματος’ ($P \leq 0.001$). Για την κεντρική εμπρόσθια περιοχή η χρήση του ‘μεταταρσικού βοηθήματος’, του τυπικού και του επιπρόσθετου βοηθήματος στην καμάρα είχε σαν αποτέλεσμα σημαντική στατιστική διαφορά ($P \leq 0.001$) όπως και η χρήση των βοηθημάτων στην καμάρα και στα μετατάρσια στην μεσαία εμπρόσθια περιοχή του πέλματος είχε σαν αποτέλεσμα σημαντική στατιστική διαφορά ($P \leq 0.036$). Οι μεγαλύτερες μειώσεις της πελματιαίας πίεσης και του pressure time integral εντοπίστηκαν στη κεντρική και μεσαία εμπρόσθια περιοχή της πατούσας με το συνδυασμό των βοηθημάτων στην καμάρα και στα μετατάρσια. Ο παραπάνω συνδυασμός ωστόσο προκαλούσε δυσκολία στη βάδιση των ασθενών και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την κατασκευή ‘βοηθητικών’ εσωτερικών σόλων.

Η παραμόρφωση στο μεγάλο δάκτυλο μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση μεταταρσαλγίας η οποία σχετίζεται με την αυξημένη πίεση στην περιοχή των μεταταρσίων. Προκειμένου να διορθωθεί η παραμόρφωση και η κατανομή της πελματιαίας πίεσης είναι συχνή η επέμβαση της οστεοτομής.

Η μελέτη της μέγιστης πελματιαίας πίεσης μπορεί να συμβάλλει στην εξακρίβωση της αποτελεσματικότητας διαφόρων μεθόδων οστεοτομής όσον αφορά στη μείωση του πόνου και στην τροποποίηση της κατανομής της πελματιαίας πίεσης (Caros Saro, Bodil Andren, Li Fellander Tsai, Urban Lindgren, Anton Ardnt,Plantar pressure distribution and pain after distal osteotomy for hallux valgus. A prospective study of 22 patients with 12 month follow up).

Οι επεμβάσεις οστεοτομής που μελετήθηκαν ήταν η Chevron και η Lindgren and Turan. Η επέμβαση που εφαρμόστηκε σε κάθε ασθενή καθορίστηκε με τυχαίο τρόπο με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν δύο ομάδες ασθενών. Τα δεδομένα της πελματιαίας πίεσης συγκεντρώθηκαν πριν την επέμβαση των ασθενών, έξι μήνες μετά την επέμβαση και δώδεκα μήνες μετά την επέμβαση. Η πατούσα κατά την ανάλυση των πελματιαίων δεδομένων διαιρέθηκε σε επτά περιοχές και οι μεταβλητές οι οποίες αναλύθηκαν σε κάθε περιοχή ήταν οι εξής: επιφάνεια επαφής, ακραία (peak) πίεση, μέγιστη και μέση πίεση και χρόνος επαφής. Επειδή ο χρόνος επαφής του εγχειρισμένου ποδιού μειώθηκε σημαντικά σε όλο το πέλμα δεν συμπεριλήφθηκε στην μελέτη η παράμετρος pressure time integral (Εικόνα 14).

Όλοι οι ασθενείς ομαδοποιήθηκαν έτσι ώστε να εντοπιστούν οι διαφορές σε σχέση με την ομάδα των υγιών συμμετεχόντων. Επειδή οι διαφορές στα πελματιαία δεδομένα των υγιών συμμετεχόντων δεν ήταν σημαντικές χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των δεδομένων και των δύο ποδιών. Ανάμεσα στις δύο ομάδες ασθενών δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στις τιμές της ‘ακραίας’ πελματιαίας πίεσης έξι και δώδεκα μήνες μετά την επέμβαση. Κατά την ανάλυση των δεδομένων, έγινε σύγκριση ανάμεσα στο εγχειρισμένο και το μη εγχειρισμένο πόδι των ασθενών, καθώς και ανάμεσα στα εγχειρισμένα πόδια Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επιφάνεια επαφής κάτω από το βλαισό του μεγάλου δακτύλου μειώθηκε τον δωδέκατο μήνα μετά την εγχείρηση σε σχέση με τα αποτελέσματα έξι μήνες μετά την εγχείρηση.

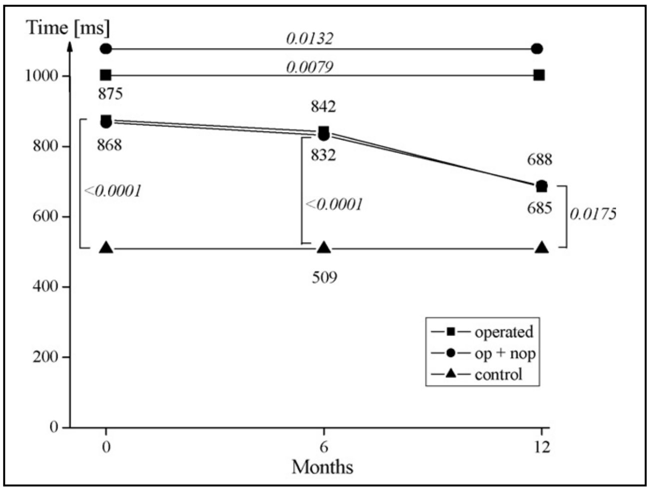
Η μέγιστη πελματιαία πίεση στο εγχειρισμένο πόδι, έξι μήνες μετά την επέμβαση ήταν μικρότερη στην εμπρόσθια πλευρική περιοχή της πατούσας συγκριτικά με το μη εγχειρισμένο πόδι (p=0.0322), μεγαλύτερη στην κεντρική εμπρόσθια περιοχή σε σχέση με τους υγιείς συμμετέχοντες (p=0.0295) και στην μέση περιοχή του ποδιού σε σχέση με το μη εγχειρισμένο πόδι (p=0.0353). Οι μέγιστες τιμές της μέσης πελματιαίας πίεσης στην πλευρική περιοχή της πατούσας και στα δάχτυλα δύο έως και πέντε μειώθηκαν σημαντικά δώδεκα μήνες μετά την επέμβαση (p=0.0106, p=0.0011 πλευρική περιοχή και δάχτυλα αντίστοιχα). Οι συντελεστές συσχέτισης υπολογίστηκαν μεταξύ συγκεκριμένων παραμέτρων πόνου και της κατανομής της πίεσης πριν την επέμβαση και δώδεκα μήνες μετά και για τις δύο ομάδες ασθενών. Οι μόνες σημαντικές συσχετίσεις ήταν μεταξύ του πόνου κατά την ηρεμία και την ακραία πελματιαία πίεση (r=0.56) και την μέγιστη μέση πίεση και του πόνου κατά την ηρεμία (r=0.56) στα δάχτυλα δύο έως και πέντε.

Οι ταχύτητες βάδισης των ασθενών των δύο ομάδων παρουσίασαν διαφοροποιήσεις. Η ταχύτητα βάδισης, για την ομάδα που εφαρμόστηκε η Chevron μέθοδος, δώδεκα μήνες μετά την επέμβαση αυξήθηκε και πλησίασε την τιμή της ταχύτητας της ομάδας των υγιών συμμετεχόντων. Σε αντίθεση οι τιμές της ταχύτητας για την ομάδα που εφαρμόστηκε η Lindgren μέθοδος, μειώθηκαν σταδιακά μετά από δώδεκα μήνες. Τα πελματιαία δεδομένα δεν εμφάνισαν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο ομάδων ασθενών σε αντίθεση, με το συνδυασμό τους σε σχέση με την ομάδα των υγιών συμμετεχόντων. Η μέγιστη πελματιαία πίεση των ασθενών στην κεντρική εμπρόσθια περιοχή της πατούσας ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη των υγιών έξι μήνες μετά την επέμβαση ωστόσο δώδεκα μήνες μετά την επέμβαση οι τιμές της πίεσης μειώθηκαν αισθητά. Οι τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης και οι μέγιστες τιμές της μέσης πελματιαίας πίεσης των ασθενών στην περιοχή των δακτύλων δύο έως και πέντε πριν την επέμβαση ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τους υγιείς, ωστόσο δώδεκα μήνες μετά την επέμβαση οι τιμές για την ομάδα των ασθενών πλησίασαν τις τιμές της ομάδας των υγιών.

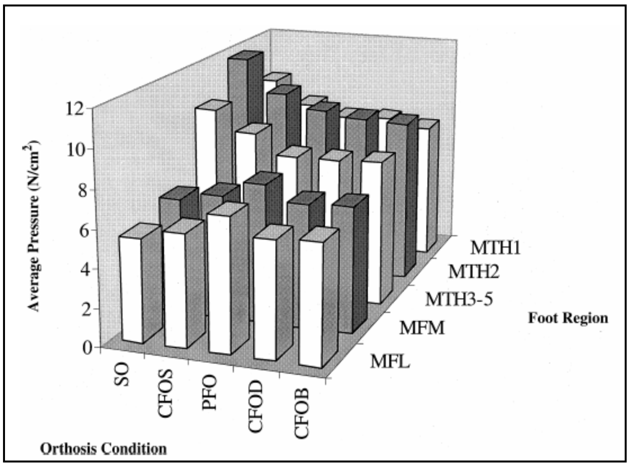
Παρόλο που η μέγιστη πελματιαία πίεση επιλέγεται συνήθως από τους περισσότερους ερευνητές για περαιτέρω μελέτη η μέση πίεση (average) με βάση τους Margaret C. Hodge, Timothy M. Bach, George M. Carter (Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis) μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες σε σχέση με την αποτελεσματικότητα της όρθωσης σε άτομα που πάσχουν από ρευματοειδή αρθρίτιδα. Η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών μεθόδων όρθωσης όσον αφορά στη μείωση της μέσης πελματιαίας πίεσης υπολογίστηκε μέσω της simple main effects ανάλυσης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι η μέση πελματιαία πίεση μειώθηκε σημαντικά στις περιοχές των μεταταρσίων τρία έως και πέντε ($F=9.78$, $P<0.05$), στην περιοχή του δεύτερου μεταταρσίου ($F=7.86$, $P<0.05$) και στην μεσαία πλευρική περιοχή της πατούσας ($F=3.52$, $P<0.05$) (Εικόνα 15).

Ο ρυθμός βάδισης ο οποίος προέκυψε από το πηλίκο του αριθμού των βημάτων εκτός του πρώτου και του τελευταίου με το χρονικό διάστημα από την αρχική επαφή της πτέρνας μέχρι την τελική της επαφή ήταν μια ακόμα παράμετρος που μελετήθηκε από τους συγκεκριμένους ερευνητές.(Τα βήματα και ο χρόνος καθορίστηκαν από το Pedar Step Series program). Μετά την εφαρμογή του one way

Anova test δεν προέκυψε σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα στις διαφορετικές μεθόδους όρθωσης και στο ρυθμό βάδισης με αποτέλεσμα η παραπάνω παράμετρος να μη ληφθεί υπόψη κατά τη διεξαγωγή συμπερασμάτων. Ακόμα δεν βρέθηκε καμιά συσχέτιση ανάμεσα στην μέγιστη πελματιαία πίεση και στον πόνο σε συγκεκριμένες περιοχές της πατούσας. Η μόνη συσχέτιση που εντοπίστηκε ήταν μεταξύ του πόνου και της μέσης πελματιαίας πίεσης. Η συγκεκριμένη συσχέτιση δικαιολογούσε το 32% της διακύμανσης, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με τον πόνο.



Εικόνα 14: Χρόνος επαφής του πέλματος. Χρονική σύγκριση ανάμεσα στις δύο ομάδες ασθενών για τα εγχειρισμένα πόδια (op), μεταξύ των ασθενών και των υγιών συμμετεχόντων (Caros Saro, Bodil Andren, Li Fellander Tsai, Urban Lindgren, Anton Ardnt)



Εικόνα 15: Μέσος όρος της μέσης πελματιαίας πίεσης για κάθε περιοχή του πέλματος για κάθε διαφορετικό τύπο όρθωσης. SO : shoe only control, CFOS: standard custom foot orthosis , PFO: prefabricated foot orthosis, CFOD custom foot orthosis with metatarsal dome. Περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα MT1: πρώτο μετατάρσιο, MT2: δεύτερο μετατάρσιο, MT3-5 :μετατάρσια τρία έως πέντε, MFM :μεσαία περιοχή στο μέσο του πέλματος και MFL: πλευρική περιοχή στο μέσο του πέλματος (Margaret C. Hodge, Timothy M. Bach, George M. Carter)

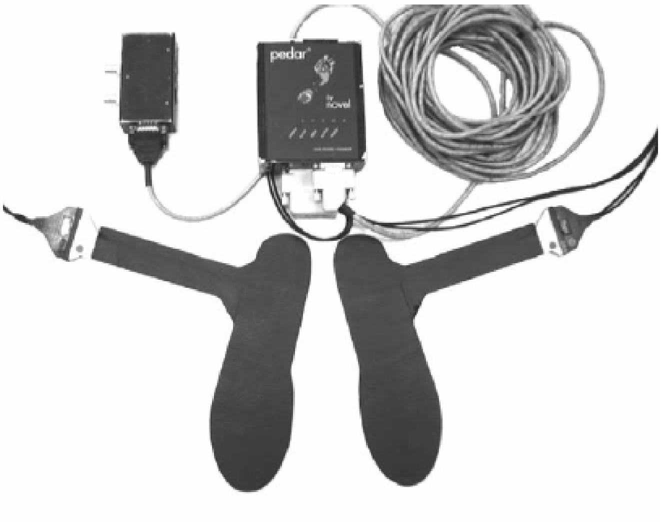
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μεθοδολογία της ανάλυσης των δεδομένων

Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια η μελέτη της πελματιαίας πίεσης αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του κύκλου βάδισης. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν αρχικά η σύγκριση του χρόνου διάρκειας του κύκλου βάδισης για το κάθε άκρο ξεχωριστά και για κάθε ομάδα συμμετεχόντων προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει ασυμμετρία κατά τη διάρκεια της βάδισης ανάμεσα στα δυο άκρα. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση καθώς και η τυπική απόκλιση, στις πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα από τον μέσο όρο όλων των βημάτων των συμμετεχόντων ανά ομάδα. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ακολούθησε σύγκριση ανάμεσα στις ομάδες προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχουν διαφοροποιήσεις στον τρόπο που κατανέμεται η πελματιαία πίεση ανάμεσα στις ομάδες κατά τη διάρκεια της βάδισης.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι καμπύλες της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης οι οποίες δίνουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που διαχειρίζονται τα πόδια το έδαφος κατά τη διάρκεια της βάδισης. Η τελευταία παράμετρος που μελετήθηκε ήταν η γραμμή βάδισης, η οποία προέκυψε από την πελματιαία πίεση που ασκείται στους κεντρικούς αισθητήρες των περιοχών της πτέρνας, του μέσου πέλματος και των μεταταρσίων.

4.1.Πειραματικός εξοπλισμός

Όλες οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τον πελματογράφο Pedar Insole System (Novel Gmbh, Munich, Germany). Το Pedar είναι ένα όργανο μέτρησης της πελματιαίας πίεσης και αποτελείται από δύο πιεζοσόλες, φορητή συσκευή καταγραφής των δεδομένων και πρόγραμμα ανάλυσης των δεδομένων (Εικόνα 16). Το σύστημα επικοινωνεί με υπολογιστή είτε μέσω blue tooth είτε μέσω optic/USB καλωδίου. Οι πιεζοσόλες αποτελούνται από ενενήντα εννιά αισθητήρες πάχους 1,9 mm και το εύρος πίεσης που μπορεί να τους ασκηθεί είναι μεταξύ 15 και 600 Kpa ($1N/cm^2$=10 Kpa). Η συχνότητα καταγραφής των πελματιαίων δεδομένων είναι 50 Hz. Οι περιορισμοί χρήσης του Pedar κατά την ασύρματη καταγραφή των δεδομένων είναι η περιορισμένη αυτονομία του συστήματος, λόγω της παροχής ενέργειας από μπαταρίες (Nimh battery) για 4.5 ώρες, και η περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων καθώς οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε 32 MB μνήμη (32 MB flash memory).



Εικόνα 16: Εξαρτήματα του Pedar Emed System

4.2.Συμμετέχοντες

Οι συμμετέχοντες στη μελέτη ήταν οχτώ υγιείς, τέσσερις ασθενείς με οσφυαλγία και τρεις ασθενείς με τη νόσο Parkinson. Οι παραπάνω δυο ομάδες ασθενών λόγω της φύσης της ασθένειας εμφανίζουν προβλήματα κατά τη διάρκεια της βάδισης. Πιο συγκεκριμένα, οι περιπτώσεις οσφυαλγίας που μελετήθηκαν οφείλονταν σε δισκοκήλη. Χαρακτηριστικό της παραπάνω ασθένειας αποτελεί η χαλάρωση του ινώδους δακτυλίου του μεσοσπονδύλιου δίσκου ο οποίος επιτρέπει την κίνηση μεταξύ των σπονδύλων ώστε η σπονδυλική στήλη να μπορεί να κάμπτεται και να περιστρέφεται. Η χαλάρωση του ινώδους δακτυλίου έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μικρών ρήξεων του δίσκου με αποτέλεσμα την έξοδο μέρους του πηκτοειδούς πυρήνα ο οποίος ασκεί πίεση προς τα έξω. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι η δημιουργία κήλης και ο δίσκος είναι δυνατόν να ασκεί πίεση σε νευρικές ρίζες με αποτέλεσμα την πρόκληση πόνου. Οι ασθενείς, παρουσιάζουν μειωμένες κινήσεις κατά τη βάδιση καθώς δυσκολεύονται να σκύψουν προς τα εμπρός και προς τα πλάγια και σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζεται πόνος και ευαισθησία στο ένα μόνο άκρο.

Η μελέτη της πελματιαίας πίεσης σε ασθενείς με την νόσο Parkinson είναι πολύ διαδεδομένη και οφείλεται στις ποικίλες τροποποιήσεις που παρουσιάζει ο μηχανισμός βάδισης τους σε σχέση με τον υγιή πληθυσμό ιδιαίτερα σε προχωρημένα στάδια της ασθένειας. Η νόσος Parkinson είναι μια αργά εξελισσόμενη και εκφυλιστική νόσος του εγκεφάλου. Οι βλάβες των βασικών γαγγλίων, τα οποία είναι υπεύθυνα για την ομαλή διεξαγωγή της κίνησης, στην περίπτωση των ασθενών με Parkinson έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται ανωμαλίες κατά τη βάδιση. Τα συχνότερα φαινόμενα είναι η βραδυκινησία η οποία μπορεί να εκδηλώνεται είτε με αργή κινητικότητα, είτε με ανέκφραστο πρόσωπο και ελαττωμένο ανοιγοκλείσιμο των βλεφάρων. Άλλα χαρακτηριστικά της βάδισης τους αποτελούν η δυσκαμψία, η αστάθεια και ο τρόμος (τρεμούλιασμα) [25, 30]. Στην παρούσα εργασία μόνο ο ένας από τους συμμετέχοντες με Parkinson ασθενείς παρουσίαζε το κλασικό τρεμούλιασμα της νόσου ενώ οι άλλοι δυο ασθενείς βρίσκονταν σε ήπιο στάδιο της ασθένειας.

Τα χαρακτηριστικά της κάθε ομάδας συμμετεχόντων φαίνονται στον Πίνακα 1. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ταχύτητα της αρεσκείας του κάθε συμμετέχοντα και με διαφορετικά υποδήματα.

Τα πελματιαία δεδομένα καταγράφονταν μετά από τρία ή τέσσερα βήματα από την έναρξη της βάδισης του κάθε συμμετέχοντα, έτσι ώστε η βάδιση τους να είναι φυσιολογική και να μην επηρεάζεται από τις πιεζοσόλες. Εξαιτίας της δυσκολίας στη βάδιση που αντιμετώπιζαν οι δυο κατηγορίες ασθενών, η καταγραφή της πελματιαίας πίεσης πραγματοποιήθηκε για μικρό χρονικό διάστημα περίπου είκοσι δευτερολέπτων έτσι ώστε να συγκεντρωθούν τουλάχιστον οκτώ έγκυρα βήματα για τον κάθε συμμετέχοντα. Επίσης λόγω της έλλειψης της δυνατότητας να επαναληφθεί το πείραμα της λήψης των πελματιαίων δεδομένων στους ίδιους ασθενείς , στην περίπτωση δύο ασθενών απορρίφθηκαν κάποια βήματα από την ανάλυση καθώς διαπιστώθηκε ότι λόγω μηχανικής βλάβης των αισθητήρων οι μετρήσεις δεν ήταν έγκυρες.

	Mean age (yrs)	Mean Body Mass (kg)
Control group (n=8)	27±3	74±20
Lumbago patients (n=4)	43±14	72±10
Parkinson patients (n=3)	75±6	82±16

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων, μέσος όρος και τυπική απόκλιση

4.3.Διαδικασία ανάλυσης των πελματιαίων δεδομένων

Τα δεδομένα της στιγμιαίας πελματιαίας πίεσης τα οποία λαμβάνονταν μέσω του Pedar μετατρέπονταν μέσω του λογισμικού Novel σε ASCII μορφή. Ο πίνακας που προέκυπτε από την παραπάνω μετατροπή ήταν διαστάσεων t,198 όπου το t συμβολίζει το χρονικό διάστημα για το οποίο λαμβάνονταν δεδομένα και το 198 αντιστοιχεί στο άθροισμα των αισθητήρων και για τα δύο άκρα. Η συχνότητα καταγραφής των δεδομένων ήταν 50 Hz, η καταγραφή της στιγμιαίας πελματιαίας πίεσης γινόταν κάθε 0.02 sec σε κάθε έναν από τους 99 αισθητήρες του κάθε άκρου. Η ανάλυση των δεδομένων που ακολούθησε πραγματοποιήθηκε μέσω κώδικα που υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab R2006b.

Το πρώτο βήμα για την υλοποίηση ήταν η εύρεση των διαφορετικών βημάτων κατά τη βάδιση του κάθε συμμετέχοντα και πιο συγκεκριμένα ο καθορισμός των δύο φάσεων της βάδισης, της φάσης στήριξης και της φάσης αιώρησης για κάθε άκρο. Αρχικά υπολογίστηκε η μέση πελματιαία πίεση από τον μέσο όρο της στιγμιαίας πελματιαίας πίεσης για όλους τους αισθητήρες σε κάθε χρονική στιγμή. Κατόπιν ο κώδικας έψαχνε για τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η μέση πελματιαία πίεση ήταν μεγαλύτερη από 0.8 N/cm^2 όπου και ξεκινούσε η φάση στήριξης (είτε μικρότερη από 0.8 N/cm^2 όπου ξεκινούσε η φάση αιώρησης αντίστοιχα). Το υπόλοιπο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η πελματιαία πίεση ήταν μικρότερη από 0.8 N/cm^2 αποτελούσε τη φάση αιώρησης έως ότου να αυξηθεί η πελματιαία πίεση και να ξεπεράσει την τιμή του κατωφλίου με αποτέλεσμα να αρχίσει η φάση στήριξης του επόμενου βήματος. Η επιλογή της τιμής 0.8 N/cm^2 προέκυψε από τις γραφικές παραστάσεις της μέσης πελματιαίας πίεσης για κάθε αισθητήρα κατά τη βάδιση της ομάδας των υγιών συμμετεχόντων (Εικόνα 17). Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβανόταν για όλα τα βήματα. Η διάρκεια του κάθε κύκλου βάδισης σύμφωνα με τον Perry 1992, είναι ένα περίπου δευτερόλεπτο και η διάρκεια της φάσης στήριξης αποτελεί το 60% περίπου της διάρκειας του κύκλου βάδισης ενώ η φάση αιώρησης καταλαμβάνει το υπόλοιπο 40% της διάρκειας του κύκλου βάδισης. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα (Πίνακας 2) το μικρότερο κύκλο βάδισης (1,47±0,08 sec κατά μέσο όρο για όλα τα βήματα για το δεξί πόδι και 1,46±0,09 sec για το αριστερό πόδι) όσον αφορά στη διάρκεια εμφανίζουν οι υγιείς ενώ οι ασθενείς με οσφυαλγία (Lumbago Disease) παρουσίασαν τον μεγαλύτερο κύκλο βάδισης (1,94±0,06 sec για το δεξί πόδι και 1,96±0,07 sec για το αριστερό πόδι κατά μέσο όρο για όλα τα βήματα). Όπως φαίνεται στον πίνακα 2 οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson πραγματοποιούν τη μεγαλύτερη κατά μέσο όρο φάση στήριξης κατά τη διάρκεια της βάδισης, η οποία είναι συγκρίσιμη με τη διάρκεια της φάσης στήριξης των ασθενών με οσφυαλγία. Επίσης οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson πραγματοποιούν την μικρότερη φάση αιώρησης σε σχέση με τη διάρκεια του κύκλου βάδισής τους. Το παραπάνω αποτέλεσμα συμφωνεί με το τυπικό πρότυπο της βάδισης των ασθενών με την συγκεκριμένη νόσο σύμφωνα με το οποίο η βάδισή τους χαρακτηρίζεται από μειωμένα σε μήκος βήματα, μικρής ταχύτητας και αυξημένης φάσης στήριξης. Η μικρή διάρκεια της φάσης αιώρησης σε σχέση με τον κύκλο βάδισής τους είναι πιθανό να οφείλεται στην μειωμένη άρση του ποδιού τους κατά τη φάση της αιώρησης η οποία δυσχεραίνει τον διαχωρισμό των βημάτων και είναι αποτέλεσμα της αστάθειας κατά τη βάδιση και της προστασίας των ασθενών από πιθανή πτώση [31]. Οι ασθενείς με οσφυαλγία λόγω του πόνου που εκδηλώνεται κατά τη βάδιση ο οποίος εκδηλώνεται στην μέση και στα άκρα είναι αναμενόμενο να εμφανίζουν παρατεταμένο κύκλο βάδισης.

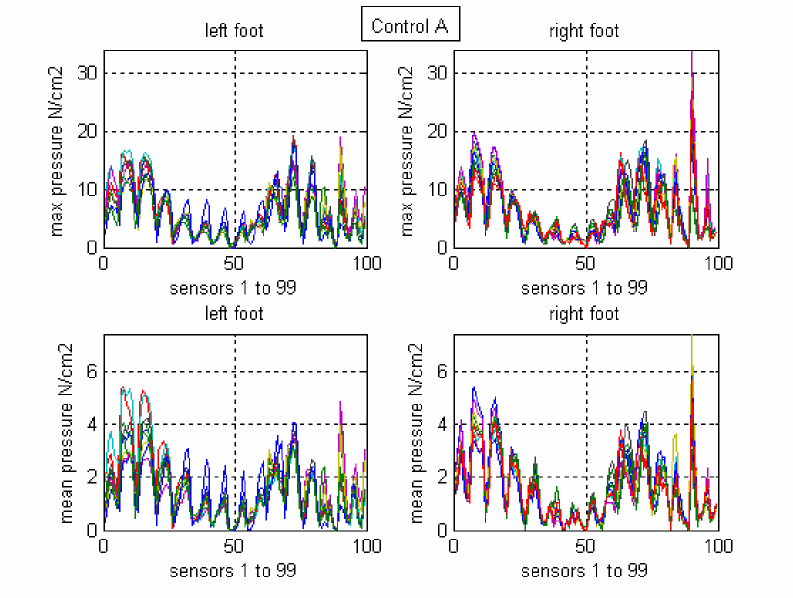
Mean time sec ±S.D.

	Stance phase		Swing phase		Gait Cycle	
	R	L	R	L	R	L
Control	0,89±0,04	0,86±0,06	0,56±0,05	0,61±0,03	1,47±0,08	1,46±0,09
PD	1,23±0,39	1,20±0,05	0,60±0,04	0,51±0,07	1,88±0,43	1,80±0,09
LD	1,20±0,06	1,16±0,076	0,73±0,02	0,80±0,12	1,94±0,06	1,96±0,07

%Gait cycle

Control	61%	59%	38%	41%
PD	66%	67%	32%	30%
lD	62%	59%	37%	40%

Πίνακας 2: Μέση τιμή της διάρκειας της φάσης στήριξης και αιώρησης και του κύκλου βάδισης για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων για όλα τα βήματα



Εικόνα 17: Μέση πελματιαία πίεση για κάθε αισθητήρα κατά τη διάρκεια της βάδισης για ένα υγιή συμμετέχοντα

4.4.Παράμετροι

Οι παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται πιο συχνά κατά την ανάλυση των πελματιαίων δεδομένων είναι η 'ακραία' και η μέση πελματιαία πίεση, η δύναμη, η περιοχή και ο χρόνος.

Στην παρούσα μελέτη οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης, η μέγιστη πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης, το κέντρο της πίεσης και η διάρκεια του βήματος. Η ανάλυση των παραπάνω παραμέτρων έγινε χωριστά για τα δύο πόδια καθώς οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson είναι πιθανό να παρουσιάζουν συμπτώματα της νόσου στη μια μόνο πλευρά του σώματος.

Η μέγιστη (peak) πελματιαία πίεση είναι η μεγαλύτερη τιμή στιγμιαίας πίεσης που καταγράφεται σε κάθε αισθητήρα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης της βάδισης. Από τη γραμμική ένωση των διαδοχικών τιμών της 'ακραίας' πελματιαίας πίεσης προκύπτει η Peak Pressure Curve (PPC) η οποία αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη μελέτη του προτύπου βάδισης των συμμετεχόντων και μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική παράμετρο για την έγκαιρη διάγνωση των ελκωμάτων στα πέλματα των διαβητικών ασθενών (Claudia Giacomozzi 2003) . Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για τη μέση πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης προέκυψε η Mean Pressure Curve η οποία δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη μεταφορά του βάρους στην πτέρνα και στα μπροστινά δάχτυλα.

Η επόμενη παράμετρος που μελετήθηκε ήταν η 'γραμμή βάδισης' (gait line) η οποία προέκυψε από τις τιμές της μέσης πελματιαίας πίεσης των κεντρικών αισθητήρων. Η 'γραμμή βάδισης' αντιπροσωπεύει την κίνηση του κέντρου της πίεσης (COP) στην πατούσα κατά τη βάδιση και δίνει πληροφορίες σχετικά με τον προσανατολισμό της μεταφοράς του βάρους κατά τη βάδιση.

4.5.Κανονικοποίηση των δεδομένων

Οι ανθρωπομετρικοί παράγοντες που είναι πιθανό να επηρεάζουν την πελματιαία πίεση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση των πελματιαίων δεδομένων. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις ανάμεσα στις ομάδες, η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση έχουν κανονικοποιηθεί ως προς το μέσο βάρος όλων των συμμετεχόντων. Η διάρκεια της φάσης στήριξης για καμία από τις ομάδες συμμετεχόντων δεν παρέμενε σταθερή κατά τη διάρκεια της βάδισης με αποτέλεσμα όλες οι καμπύλες οι οποίες αντιπροσωπεύουν την μεταβολή των παραμέτρων της πελματιαίας πίεσης σε σχέση με τον χρόνο να κανονικοποιηθούν ως προς τον χρόνο. Το παραπάνω πραγματοποιήθηκε μετατρέποντας τη διάρκεια της φάσης στήριξης του κάθε βήματος στην ίδια κλίμακα η οποία προέκυψε από τον μέσο όρο των δειγμάτων της φάσης στήριξης όλων των συμμετεχόντων. Στη συνέχεια υπολογιζόταν η μέση και η μέγιστη καμπύλη της πελματιαίας πίεσης.

4.6.Συμμετρία κατά τη βάδιση

Προκειμένου να εξακριβωθεί αν υπάρχει συμμετρία στις παραμέτρους (διάρκεια του κύκλου βάδισης, μέση πελματιαία πίεση) κατά τη διάρκεια της βάδισης ανάμεσα στο αριστερό και το δεξί πόδι υπολογίστηκε ο συντελεστής συμμετρίας (SI) σύμφωνα με τον Herzog et al.(1989) με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$SI = \frac{X_r - X_l}{\left(X_r + X_l\right) * \frac{1}{2}} * 100\% \quad [32]$$

όπου η μεταβλητή X_r συμβολίζει τις παραμέτρους βάδισης για το δεξί πόδι και η μεταβλητή X_l συμβολίζει τις παραμέτρους βάδισης για το αριστερό πόδι. Η ιδανική συμμετρία για τα δύο άκρα προϋποθέτει μηδενική τιμή για τον συντελεστή συμμετρίας και ο καθορισμός ενός δείκτη συμμετρίας για τον φυσιολογικό πληθυσμό δεν μπορεί να καθοριστεί με βάση μια μόνο τιμή κατωφλίου, καθώς η φυσιολογική ασυμμετρία μπορεί να εμφανίσει εύρος τιμών από ±4% έως και ±13% ανάλογα με τις παραμέτρους που μελετώνται (Herzog et al.). Με βάση τους Giakas, Baltzopoulos, Dangerfield et al.[33] η συμμετρία των παραμέτρων θεωρείται αποδεκτή όταν ο συντελεστής συμμετρίας παίρνει τιμές μικρότερες από 10%. Στην παραπάνω μελέτη οι παράμετροι που αναλύθηκαν ως προς την συμμετρία ήταν παράμετροι της κάθετης δύναμης αντίδρασης και τα προς ανάλυση δεδομένα δεν προέκυπταν από διαδοχικά βήματα, καθώς ο πειραματικός εξοπλισμός ήταν μια ενσωματωμένη σε διάδρομο πλατφόρμα.

Στην παρούσα εργασία ο συντελεστής συμμετρίας υπολογίστηκε αρχικά για τη μέση διάρκεια του κύκλου βάδισης. Οι παράμετροι X_r, X_l ήταν η μέση διάρκεια του κύκλου βάδισης η οποία προέκυψε από τον μέσο όρο της διάρκειας όλων των βημάτων σε κάθε ομάδα συμμετεχόντων για το δεξί και το αριστερό πόδι αντίστοιχα. Για την ομάδα των υγιών ο συντελεστής υπολογίστηκε ίσος με 0,8%, για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson ίσος με 4,7% και για τους ασθενείς με οσφυαλγία ίσος με 1,1%. Καμία από τις ομάδες δεν εμφανίζει ασυμμετρία ανάμεσα στα δυο άκρα ως προς την μέση διάρκεια του κύκλου βάδισης. Το παραπάνω αποτέλεσμα δεν ήταν αναμενόμενο καθώς οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson εμφανίζουν ασυμμετρίες στη διάρκεια του κύκλου βάδισης ανάμεσα στα δυο πόδια . Στην συνέχεια υπολογίστηκε ο συντελεστής συμμετρίας για τις δυο φάσεις του κύκλου βάδισης ανάμεσα στα δυο πόδια. Οι ασθενείς με οσφυαλγία και η ομάδα ελέγχου δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία για καμία από τις δυο φάσεις του κύκλου ενώ οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson εμφανίζουν ασυμμετρία για τη διάρκεια της φάσης αιώρησης (SI =17%) ανάμεσα στο αριστερό και το δεξί πόδι (Πίνακας 3a). Η ασυμμετρία της διάρκειας της φάσης αιώρησης αποτελεί χαρακτηριστικό της βάδισης των ασθενών με Parkinson σε προχωρημένα στάδια της ασθένειας και σχετίζονται με πιθανή πτώση [38]. Η επόμενη παράμετρος που μελετήθηκε ως προς την συμμετρία ήταν η μέση τιμή της πελματιαίας πίεσης στις πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα (Πίνακας 3b).

3a.

	Stance phase	Swing phase	Gait cycle
	SI		
Control group	3%	7%	0,80%
Parkinson Patients	2%	17%	4,70%
Lumbago Patients	4%	9%	1,10%

3b.

	R1	R2	R3	R4	R5
	SI				
Control group	4%	2%	8%	6%	18%
Parkinson Patients	5%	13%	29%	1,90%	23%
Lumbago Patients	8%	10%	35%	18%	18%

Πίνακας 3: Ο συντελεστής συμμετρίας για την διάρκεια των δυο φάσεων του κύκλου βάδισης και για την συνολική διάρκεια του κύκλου ανάμεσα στα δυο πόδια (β): Ο συντελεστής συμμετρίας για την μέση πελματιαία πίεση για τις πέντε περιοχές της πατούσας. R1: πτέρνα, R2 και R3: μέσο πέλμα, R4: μετατάρσια, R5: δάχτυλα

Για την περιοχή των δακτύλων (R5) παρατηρήθηκαν ασυμμετρίες και για τις τρεις κατηγορίες συμμετεχόντων με τη μεγαλύτερη ασυμμετρία να παρατηρείται για την ομάδα των ασθενών με τη νόσο Parkinson. Η ασυμμετρία για τους υγιείς συμμετέχοντες στην περιοχή των δακτύλων είναι εν μέρει σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της μελέτης των R. Scott Vanzant, Thomas G.Mc Poil, Mark W. Carnwall σχετικά με την συμμετρία της πελματιαίας πίεσης και της κάθετης δύναμης αντίδρασης κατά τη βάδιση σε τριάντα υγιείς συμμετέχοντες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους οι υγιείς συμμετέχοντες εμφάνισαν ασυμμετρία ανάμεσα στα δυο πόδια για τις περιοχές της πτέρνας και των δακτύλων.

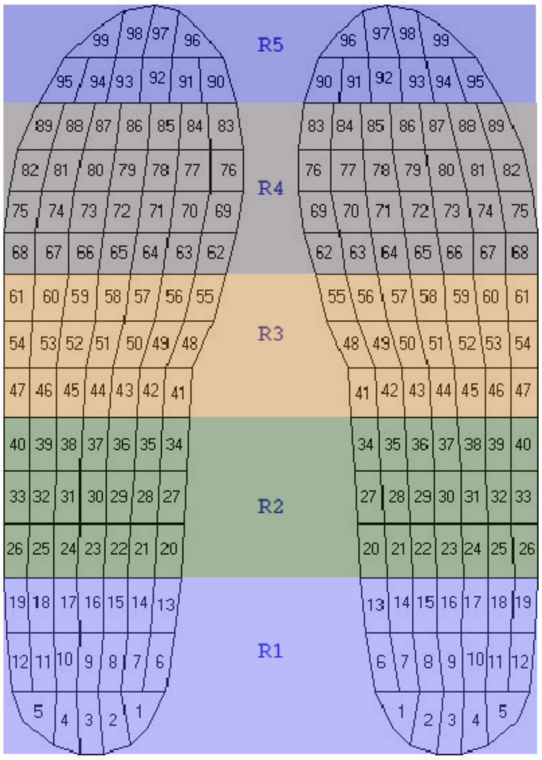
Οι ασθενείς με οσφυαλγία εμφάνισαν ασυμμετρία σε όλες τις περιοχές του πέλματος εκτός της πτέρνας (R1) ενώ η μεγαλύτερη ασυμμετρία της μέσης πελματιαίας πίεσης και για τις δυο κατηγορίες ασθενών κατά τη βάδιση παρατηρείται στην περιοχή του μέσου πέλματος. Η ασυμμετρία της μέσης πελματιαίας πίεσης για τους ασθενείς με οσφυαλγία ενδεχομένως να δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο πόνος και η ευαισθησία σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζεται στο ένα μόνο πόδι με αποτέλεσμα να μεταφέρεται περισσότερο βάρος στο ένα άκρο.

4.7. Περιοχές ενδιαφέροντος

Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν προηγουμένως μπορούν να υπολογιστούν για όλη την περιοχή του πέλματος καθώς και για μικρότερες ανατομικές περιοχές της πατούσας. Σε κλινικές εφαρμογές η μελέτη της πελματιαίας πίεσης σε μικρές περιοχές του πέλματος είναι καταλληλότερη σε σχέση με τη μελέτη του πέλματος σαν σύνολο καθώς συγκεντρώνεται πιο ακριβής πληροφορία για συγκεκριμένες περιοχές παρόλο που υπάρχει απώλεια πληροφορίας όσον αφορά στη συνολική λειτουργία του πέλματος [34]. Οι υποδιαιρέσεις του πέλματος σε μικρότερες περιοχές πρέπει να είναι αρκετά μικρές ώστε να μην συγχέονται πληροφορίες από γειτονικές περιοχές και αρκετά μεγάλες ώστε να εμπεριέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την συγκεκριμένη περιοχή που μελετάται.

Ο τρόπος με τον οποίο το πέλμα υποδιαιρείται σε μικρότερες περιοχές σχετίζεται με το σκοπό της μελέτης και με τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού που μελετώνται. Για παράδειγμα, κατά τη μελέτη της πελματιαίας πίεσης σε διαβητικούς ασθενείς (Craig Payne, Deborah Turner, Kathryn Miller και A.Rozema, J.S Ulbrect, S.E Pammer, P.R Cavanagh) και σε ασθενείς με τη νόσο Parkinson (Kimmeskamp and Ewald M.Henning) το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε κυρίως στην εμπρόσθια περιοχή του πέλματος και στην πτέρνα ενώ κατά την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της όρθωσης σε ασθενείς (Margaret C.Hodge, Timothy M. Bach,George M.Carter) οι περιοχές ενδιαφέροντος ήταν τα μετατάρσια ένα έως και πέντε.

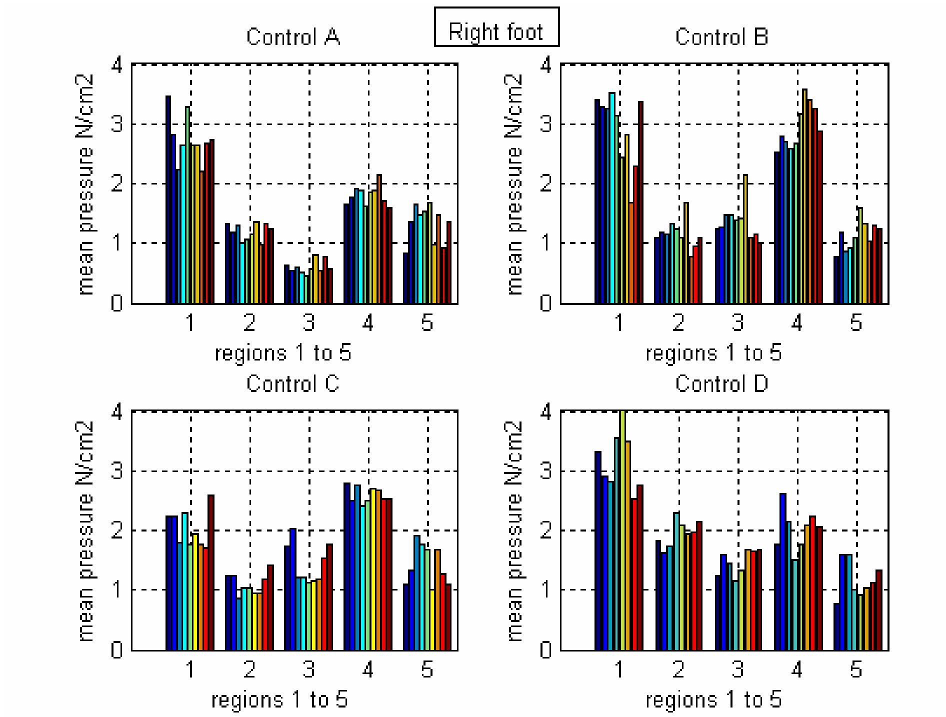
Κατά την επεξεργασία των πελματιαίων δεδομένων αρχικά η πατούσα διαιρέθηκε σε πέντε περιοχές (R_1-R_5, Εικόνα 18) . Η πρώτη περιοχή (αισθητήρες 1-19) αντιστοιχεί στην περιοχή της πτέρνας, η δεύτερη περιοχή (αισθητήρες 20-40) και η τρίτη περιοχή (αισθητήρες 41-61) αντιστοιχούν στην περιοχή του μέσου πέλματος, η τέταρτη περιοχή (αισθητήρες 62-89) αντιστοιχεί στην περιοχή των μεταταρσίων και η τελευταία περιοχή (αισθητήρες 90-99) αντιστοιχεί στην περιοχή των δακτύλων. Η διαίρεση του πέλματος σε μικρότερες περιοχές έγινε με βάση τη γεωμετρία της πατούσας και τις περιοχές ενδιαφέροντος, κυρίως για ασθενείς με τη νόσο Parkinson, από μελετητές και οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω.



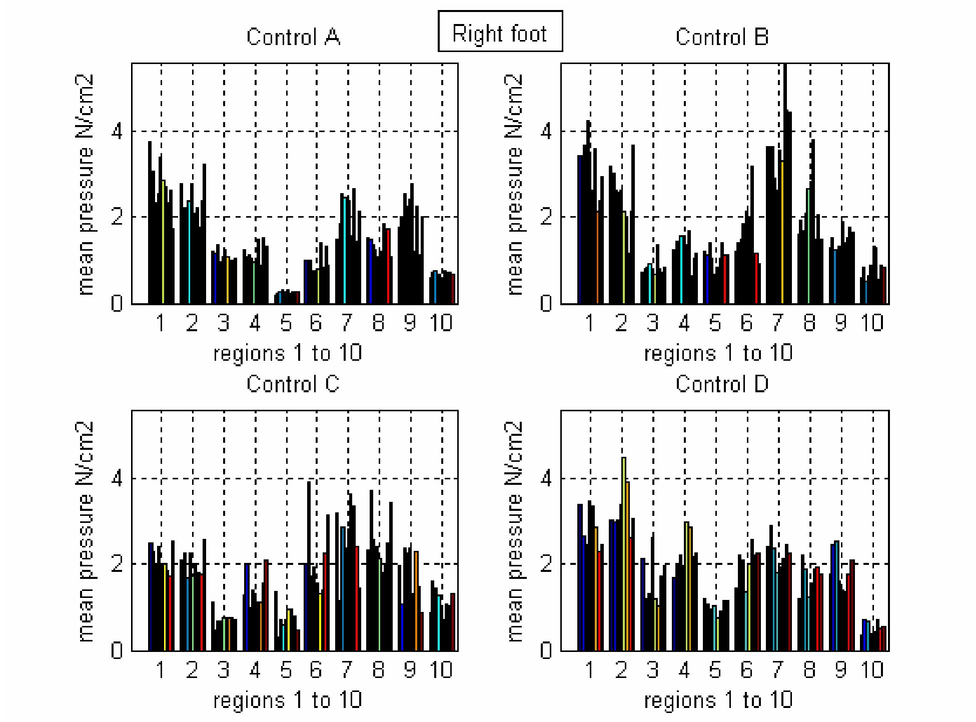
Εικόνα 18: Κατανομή των αισθητήρων στις πιεζοσόλες

Μια δεύτερη υποδιαίρεση της πατούσας προέκυψε από τον αποκλεισμό των κεντρικών αισθητήρων από τη μελέτη των παραμέτρων της πελματιαίας πίεσης. Η κάθε μια από τις παραπάνω πέντε περιοχές χωρίστηκε σε δύο μέρη δεξιά και αριστερά των κεντρικών αισθητήρων με αποτέλεσμα να προκύψουν δέκα περιοχές. Από την κατανομή της μέσης πελματιαίας πίεσης στις δέκα περιοχές προέκυψε ότι για τις περιοχές της πτέρνας και του μέσου πέλματος δεν υπήρχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις δεξιά και αριστερά των κεντρικών αισθητήρων, σε αντίθεση με την περιοχή των μεταταρσίων και των μπροστινών δακτύλων (Εικόνες 19-20). Για την περιοχή των δακτύλων η διαφοροποίηση στις τιμές της μέσης πελματιαίας πίεσης είναι πιθανό να οφείλεται στην μεταφορά του βάρους στο μεγάλο δάκτυλο κατά τη βάδιση και στο οποίο σύμφωνα με τους Stokes, Farris IB και Hutton WC 1975 εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης.

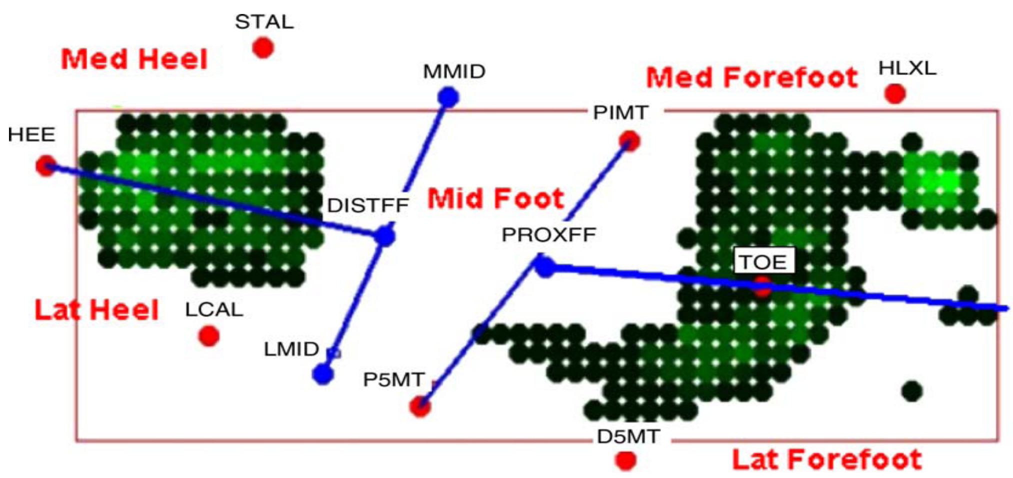
Η ιδανική υποδιαίρεση του πέλματος προϋποθέτει γνώσεις σχετικές με την ανατομία και τη λειτουργία του πέλματος καθώς και τις θέσεις των συνδέσμων στο πέλμα. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι υποδιαίρεσης του πέλματος, η πρώτη βασίζεται στη γεωμετρία του πέλματος και η δεύτερη σε ανατομικά ορόσημα. Η δεύτερη μέθοδος εφαρμόστηκε από τους J.A. Stebbinsa, M.E. Harringtonb, C. Giacomozzi, N. Thompsonb [35] και η υποδιαίρεση του πέλματος πραγματοποιήθηκε με την κάθετη προβολή των ορόσημων στο αποτύπωμα της πατούσας (Εικόνα 21).



Εικόνα 19: Μέση πελματιαία πίεση για τις πέντε περιοχές του πέλματος (R1-R5) από τα πελματιαία δεδομένα τεσσάρων υγιών συμμετεχόντων



Εικόνα 20: Μέση πελματιαία πίεση για τις δέκα περιοχές του πέλματος (R1-R10) οι οποίες προέκυψαν από την υποδιαίρεση των πέντε παραπάνω περιοχές χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των μεσαίων αισθητήρων



Εικόνα 21: Αποτύπωμα της πατούσας στο οποίο φαίνονται οι πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα. Τα ορόσημα απεικονίζονται με κύκλους [35]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα

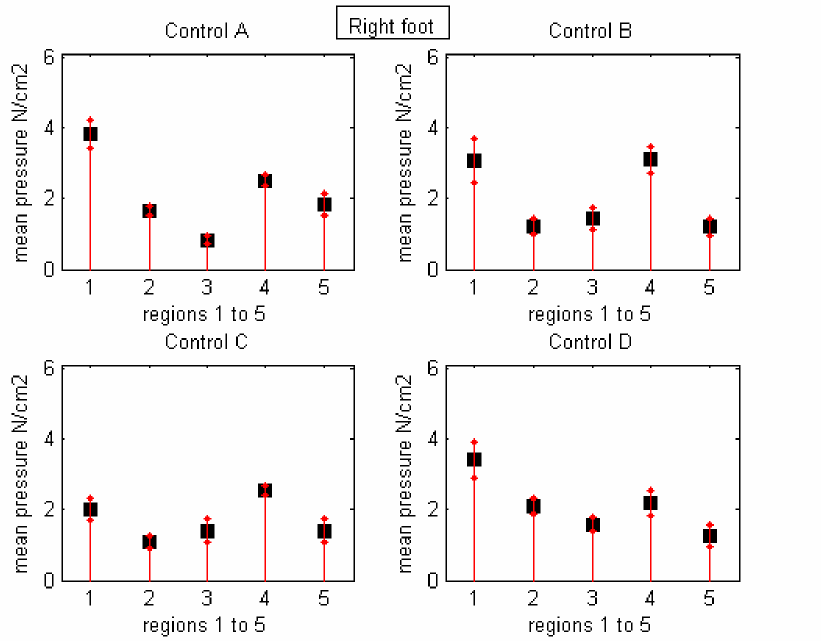
Τα σημαντικότερα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη μελέτη της πελματιαίας πίεσης των τριών ομάδων συμμετεχόντων: υγιείς, ασθενείς με τη νόσο Parkinson και ασθενείς με οσφυαλγία παρουσιάζονται παρακάτω.

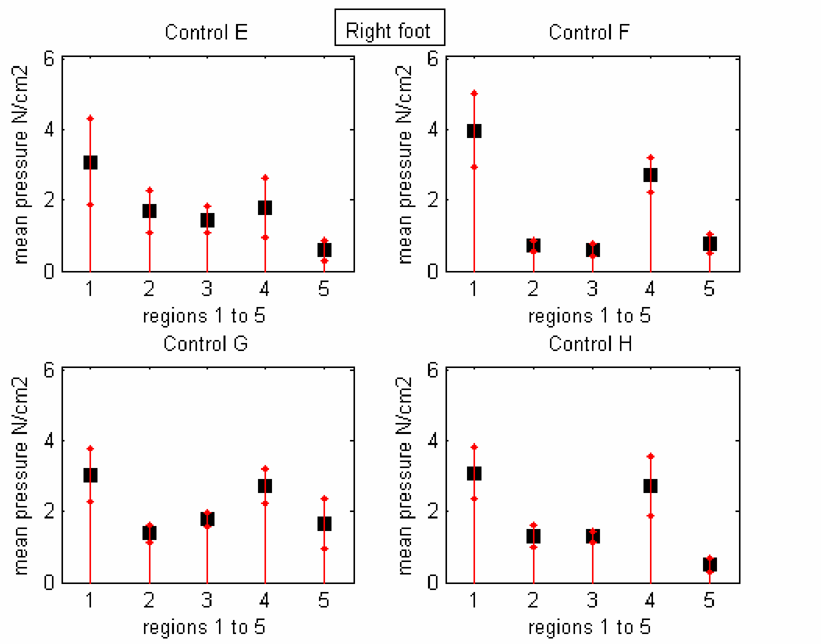
5.1.Μέση και μέγιστη πελματιαία πίεση

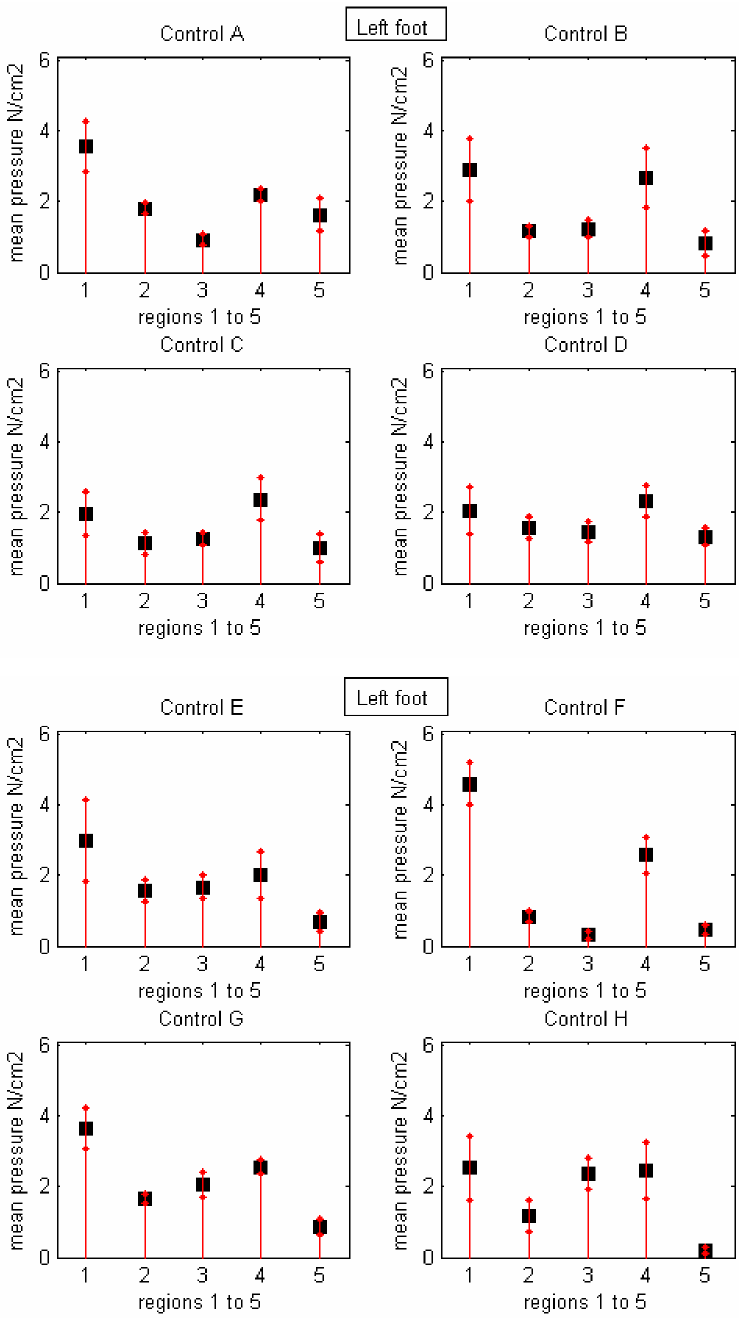
Η μέση πελματιαία πίεση και για τρεις ομάδες συμμετεχόντων μελετήθηκε αρχικά για κάθε κύκλο βάδισης και για τις δύο φάσεις του κύκλου (στήριξης και αιώρησης) για κάθε πόδι ξεχωριστά και για κάθε περιοχή στην οποία διαιρέθηκε το πέλμα (Εικόνα 19,20).

5.1.1. Control group

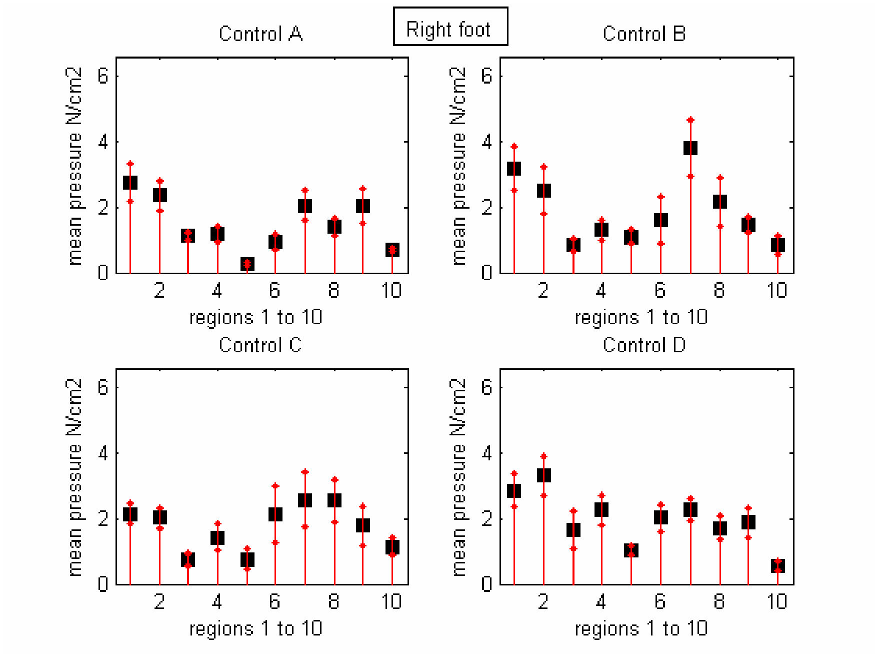
Στις εικόνες 22 και 23 φαίνεται η μέση πελματιαία πίεση για τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες η οποία προέκυψε από τον μέσο όρο όλων των κύκλων βάδισης για τις πέντε και τις δέκα περιοχές του πέλματος. Στην εικόνα 24 φαίνεται η μέγιστη κατά μέσο όρο πελματιαία πίεση στις πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα.

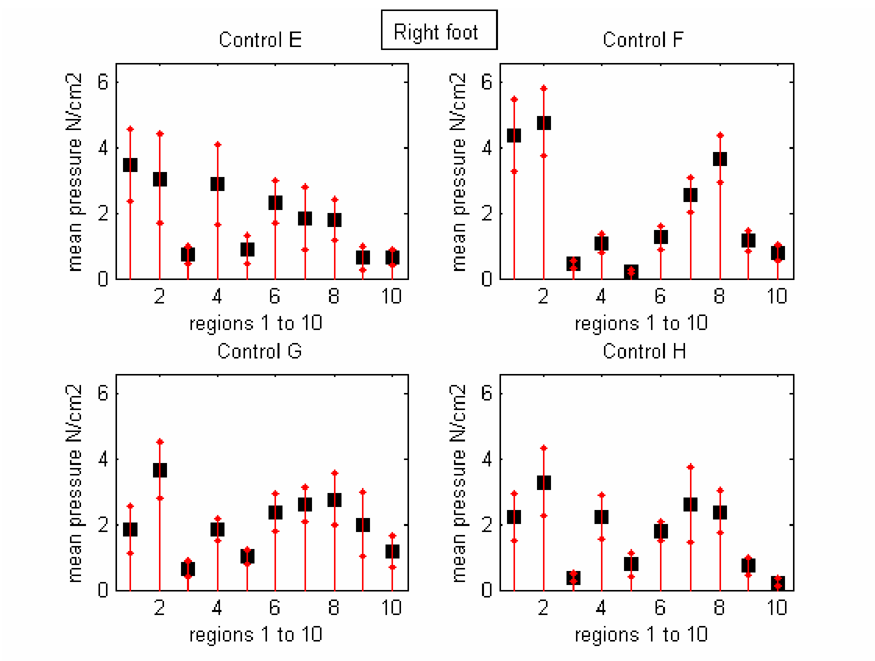

Right foot
Control A
Control B
Control C
Control D
mean pressure N/cm2
regions 1 to 5

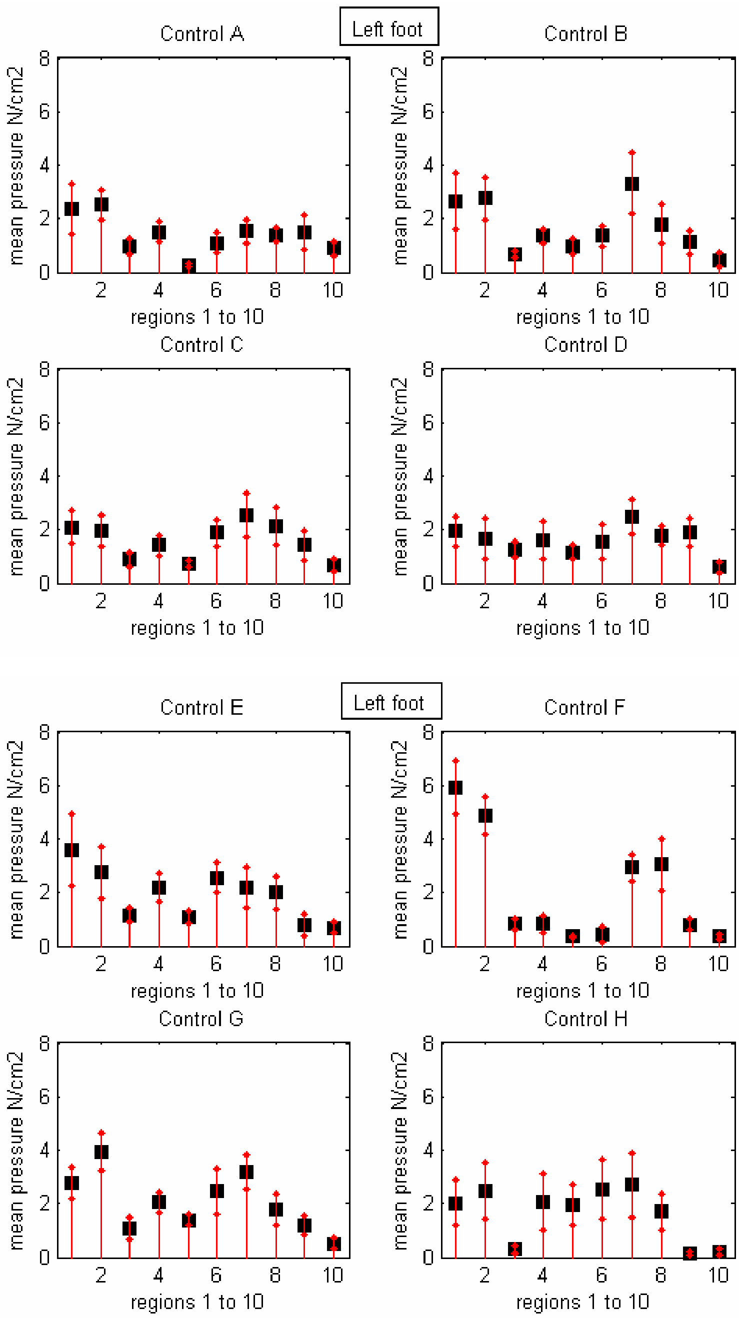

Right foot
Control E
Control F
Control G
Control H
mean pressure N/cm2
regions 1 to 5



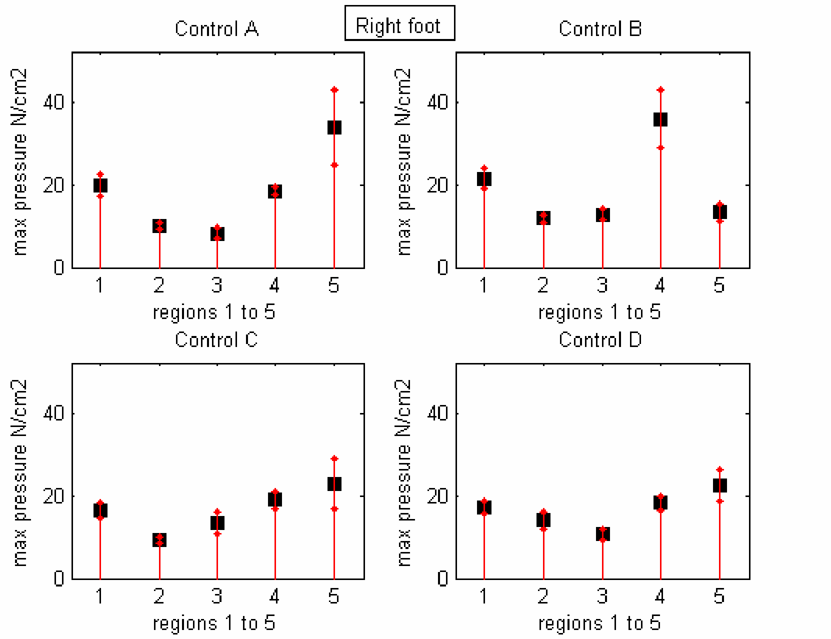
Εικόνα 22: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για το δεξί και το αριστερό πόδι των υγιών συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια της βάδισης για τις πέντε περιοχές (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)

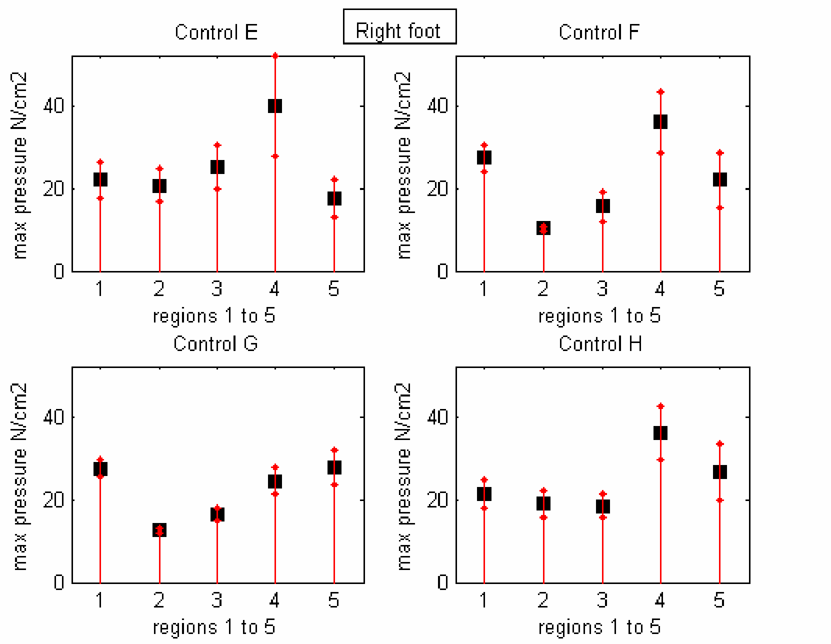

Right foot
Control A
Control B
Control C
Control D
mean pressure N/cm2
regions 1 to 10

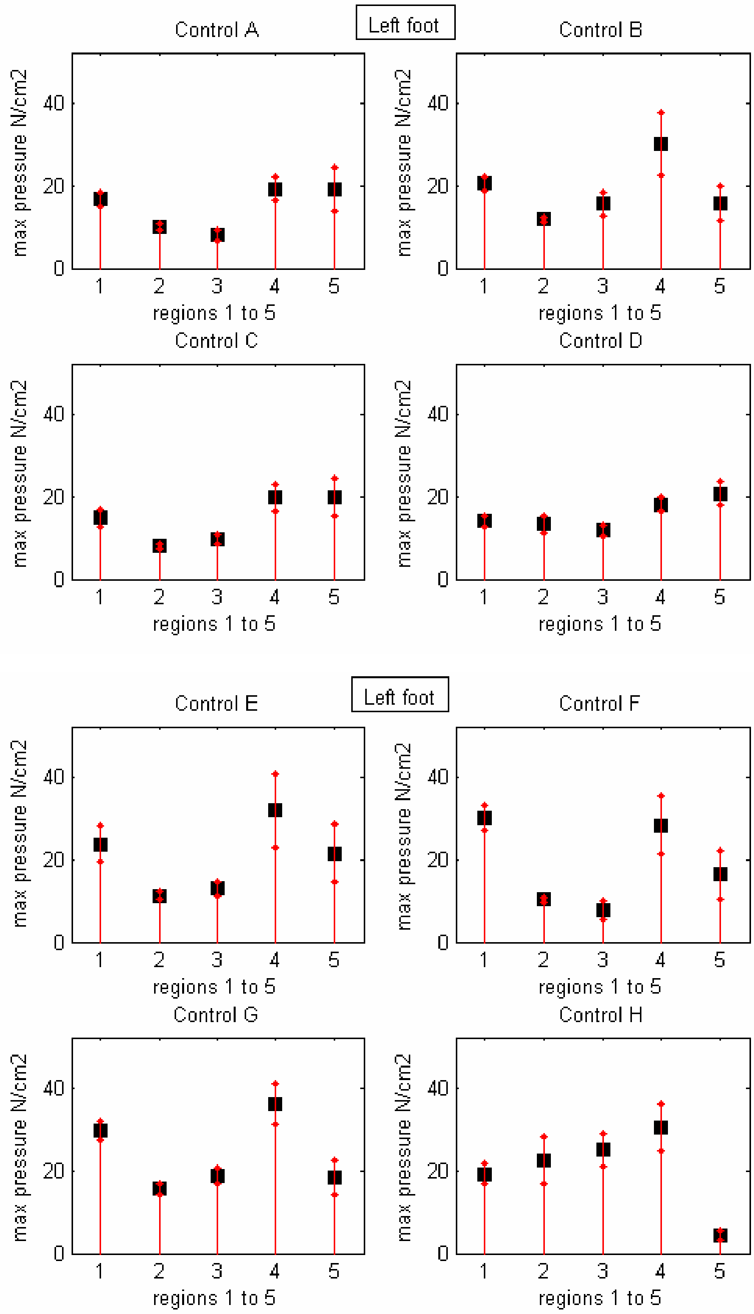

Right foot
Control E
Control F
Control G
Control H
mean pressure N/cm2
regions 1 to 10



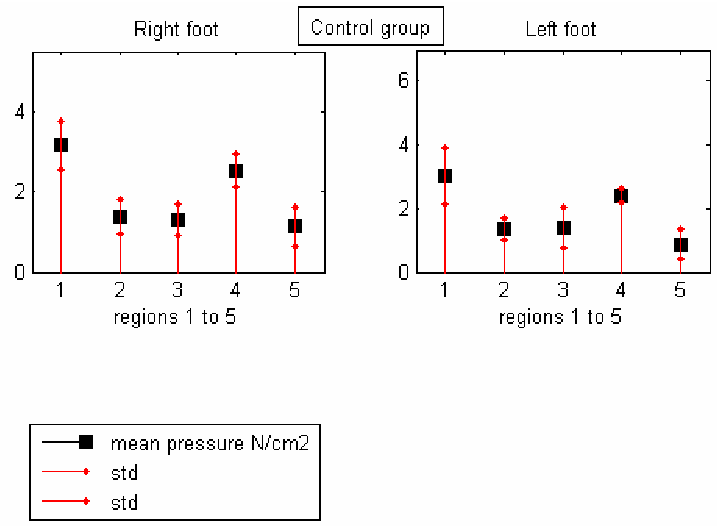
Εικόνα 23: Μέση πελματιαία πίεση±S.D για το δεξί και το αριστερό πόδι των υγιών συμμετεχόντων για τις δέκα περιοχές (Περιοχές R1 και R2:πτέρνα, R3,R4 και R5,R6:μέσο πέλμα, R7,R8:μετατάρσια και R9,R10:δάκτυλα)


Right foot
Control A
Control B
Control C
Control D
max pressure N/cm2
0
20
40
1
2
3
4
5
regions 1 to 5

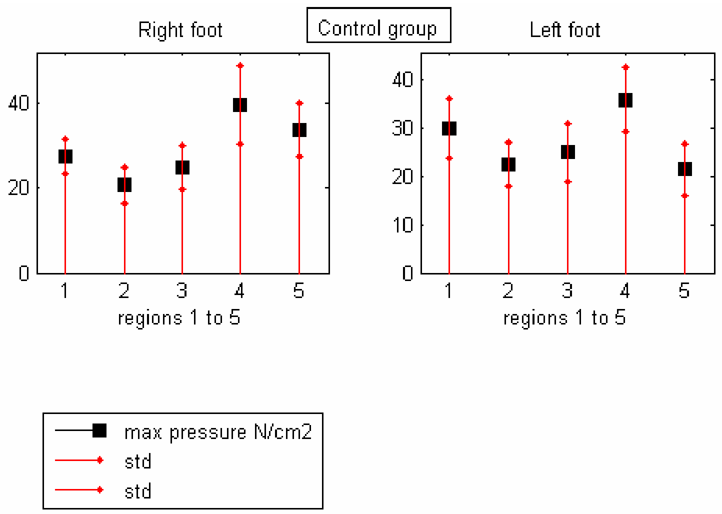

Right foot
Control E
Control F
Control G
Control H
max pressure N/cm2
0
20
40
1
2
3
4
5
regions 1 to 5



Εικόνα 24: Μέγιστη πελματιαία πίεση±S.D κατά τη διάρκεια της βάδισης για τους υγιείς συμμετέχοντες για τις πέντε περιοχές (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 25: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες για όλους τους κύκλους βάδισης. (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 26: Μέγιστη πελματιαία πίεση ±S.D για τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες για όλους τους κύκλους βάδισης. (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)

Οι μεγαλύτερες τιμές για την μέση πελματιαία πίεση για τους υγιείς συμμετέχοντες εμφανίστηκαν στις περιοχές της πτέρνας (3,02±0,88 N/cm^2, 3,17±0,59 N/cm^2) και των μεταταρσίων (2,53±0,39 N/cm^2, 2,38±0,21 N/cm^2) για το αριστερό και το δεξί πόδι αντίστοιχα (Εικόνα 25, Πίνακας 7). Οι περιοχές στις οποίες ασκούνται οι μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια της βάδισης είναι οι περιοχές των μεταταρσίων (39,75±9,28 N/cm^2) και των δακτύλων (33,75±6,30N/cm^2) για το δεξί πόδι και οι περιοχές της πτέρνας (30±6,26 N/cm^2) και των μεταταρσίων (36±6,75 N/cm^2) για το αριστερό πόδι (Εικόνα 26, Πίνακας 8).

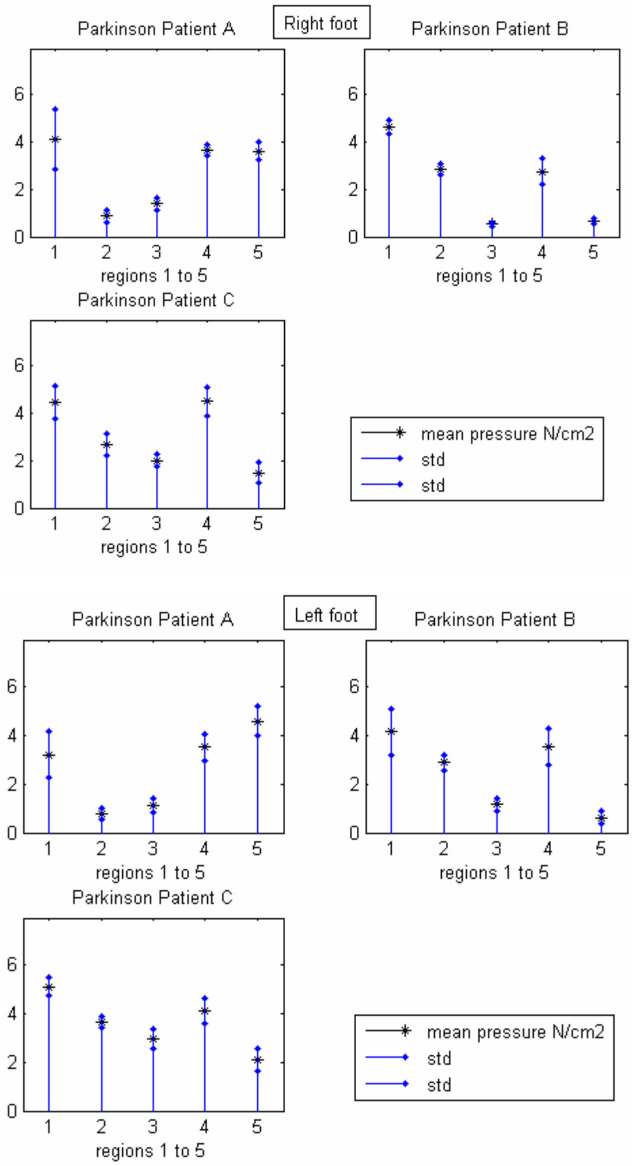
Mean pressure N/cm2 ± S.D.					
	Heel	Mid foot		Metatarsals	Forefoot
	R1	R2	R3	R4	R5
Right foot					
Control A	3,79±0,39	1,66±0,13	0,83±0,10	2,51±0,17	1,83±0,30
Control B	3,07±0,60	1,21±0,23	1,43±0,31	3,10±0,37	1,19±0,24
Control C	1,99±0,30	1,08±0,18	1,40±0,34	2,54±0,13	1,40±0,33
Control D	3,42±0,50	2,10±0,21	1,58±0,21	2,18±0,33	1,26±0,30
Control E	3,08±1,20	1,68±0,59	1,45±0,36	1,79±0,82	0,57±0,28
Control F	3,96±1,04	0,71±0,15	0,59±0,17	2,72±0,48	0,78±0,26
Control G	3,01±0,74	1,38±0,24	1,78±0,19	2,71±0,49	1,65±0,72
Control H	3,07±0,72	1,30± 0,30	1,28±0,13	2,73±0,83	0,49±0,19
Left foot					
Control A	3,54±0,71	1,80±0,17	0,92±0,15	2,18±0,18	1,62±0,46
Control B	2,89±0,88	1,14±0,15	1,23±0,25	2,65±0,83	0,82±0,34
Control C	1,96±0,59	1,13±0,30	1,26±0,18	2,36±0,59	0,98±0,38
Control D	2,05±0,66	1,54±0,31	1,44±0,27	2,30±0,43	1,32±0,25
Control E	2,97±1,14	1,58±0,31	1,67±0,32	2,02±0,65	0,67±0,25
Control F	4,58±0,59	0,83±0,13	0,31±0,11	2,56±0,49	0,46±0,14
Control G	3,64±0,58	1,66±0,13	2,03±0.35	2,54±0,20	0,88±0,22
Control H	2,52±0,94	1,16±0,43	2,35±0,44	2,46±0,80	0,19±0,08

Πίνακας 4*: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση για τέσσερις από τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες*

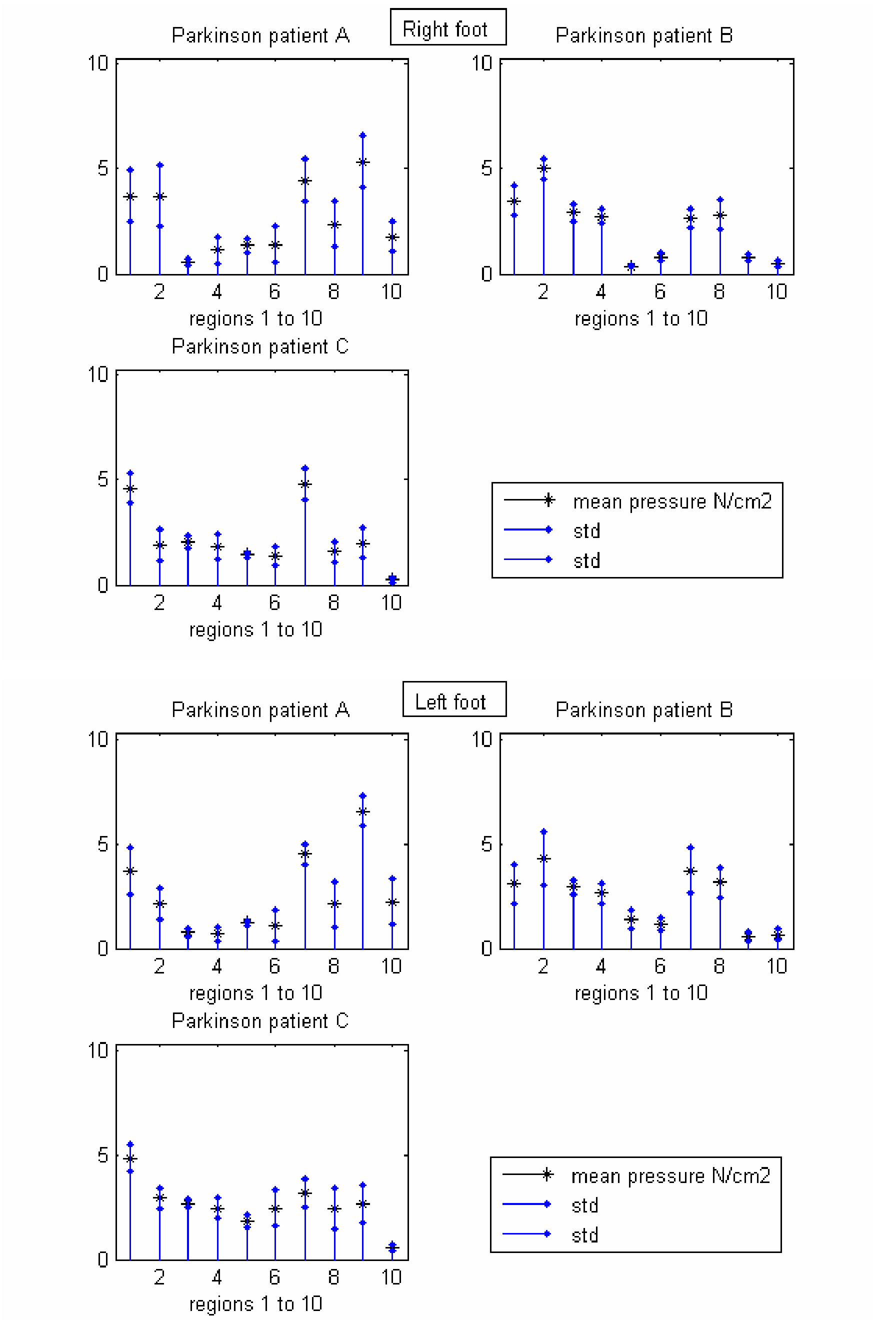
Για όλους τους υγιείς συμμετέχοντες εκτός του Control D δεν υπήρχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις τιμές της μέσης πελματιαίας πίεσης ανάμεσα στο αριστερό και το δεξί πόδι για όλες τις περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα (Πίνακας 4).

5.1.2. Parkinson patients

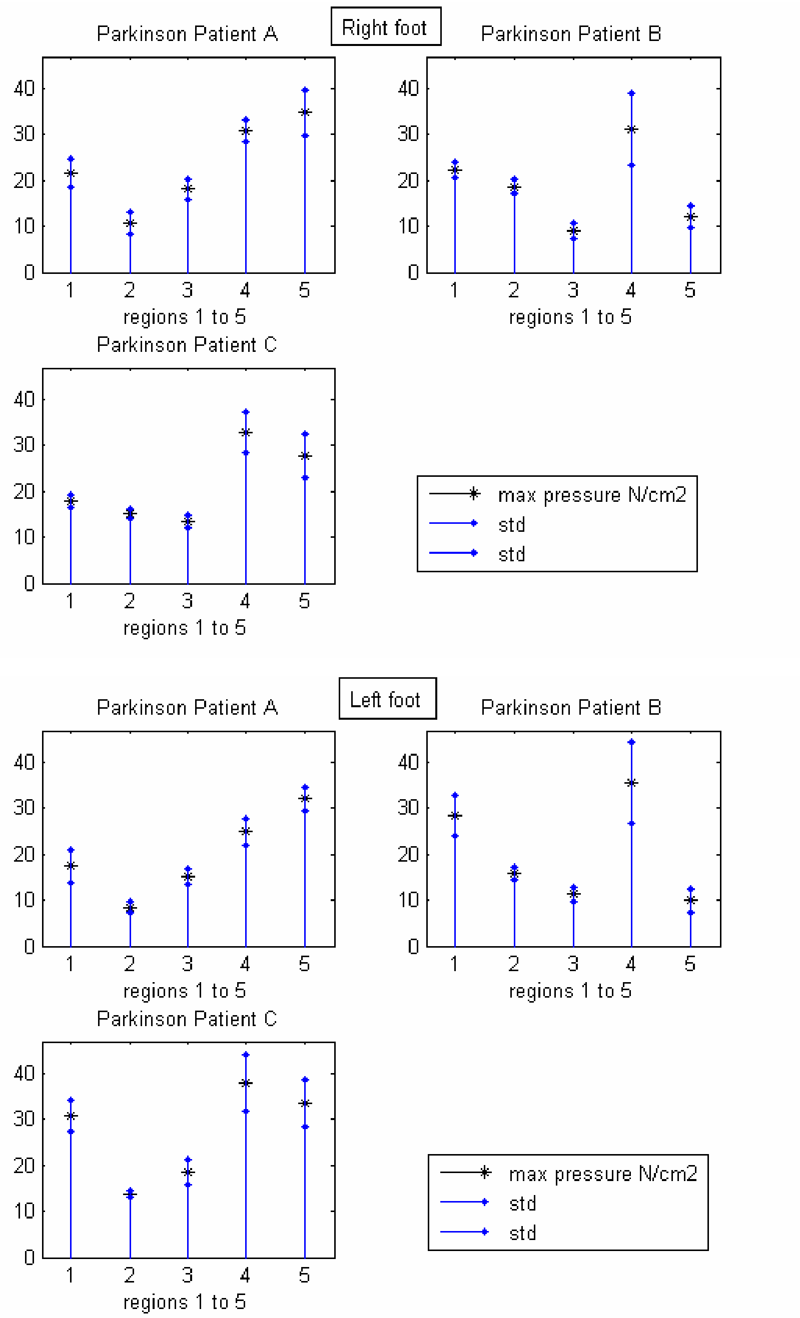
Ομοίως για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson στις εικόνες 27 και 28 φαίνεται ενδεικτικά η μέση πελματιαία πίεση των τριών συμμετεχόντων η οποία προέκυψε από τον μέσο όρο όλων των κύκλων βάδισης για τις πέντε και τις δέκα περιοχές του πέλματος. Στην εικόνα 29 φαίνεται ενδεικτικά η μέγιστη κατά μέσο όρο πελματιαία πίεση στις πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα για το δεξί και το αριστερό πόδι.



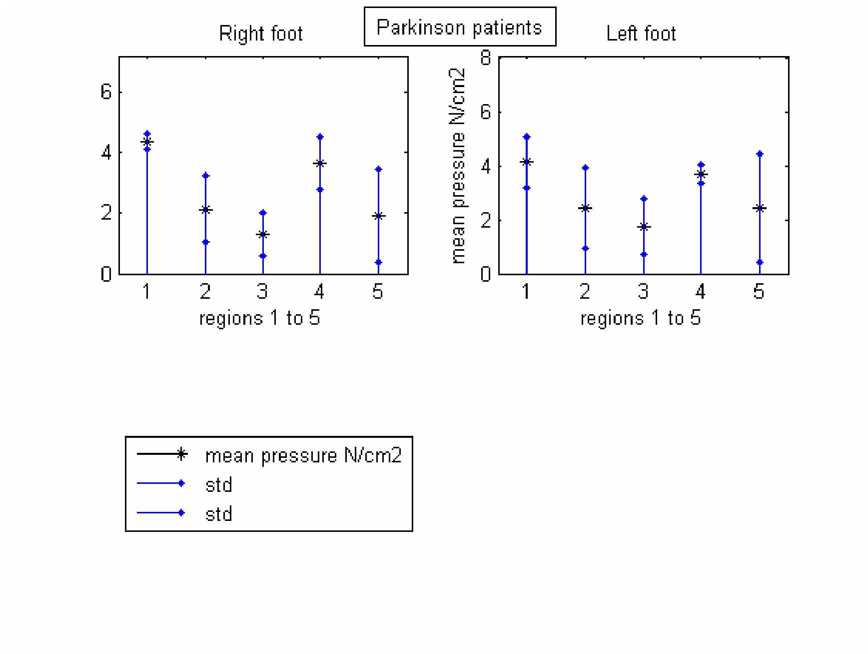
Εικόνα 27: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για το δεξί και το αριστερό πόδι των τριών ασθενών με τη νόσο Parkinson κατά τη διάρκεια της βάδισης (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



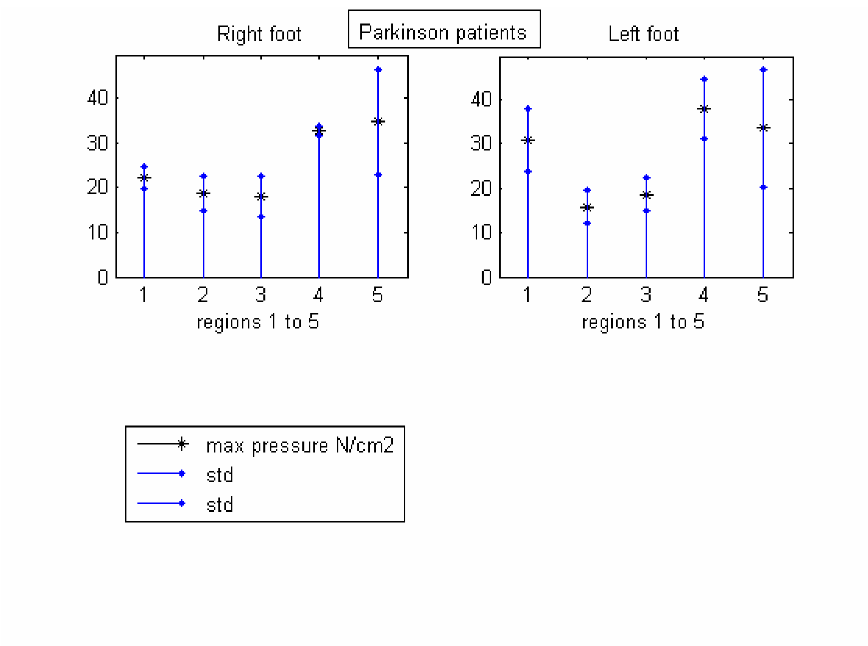
Εικόνα 28: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για το δεξί και το αριστερό πόδι των τριών ασθενών με τη νόσο Parkinson κατά τη διάρκεια της βάδισης (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 29: Μέγιστη πελματιαία πίεση±S.D κατά τη διάρκεια της βάδισης για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 30: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson για όλους τους κύκλους βάδισης και για τα δύο πόδια (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 31: Μέγιστη πελματιαία πίεση ±S.D για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson για όλους τους κύκλους βάδισης και για τα δύο πόδια (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)

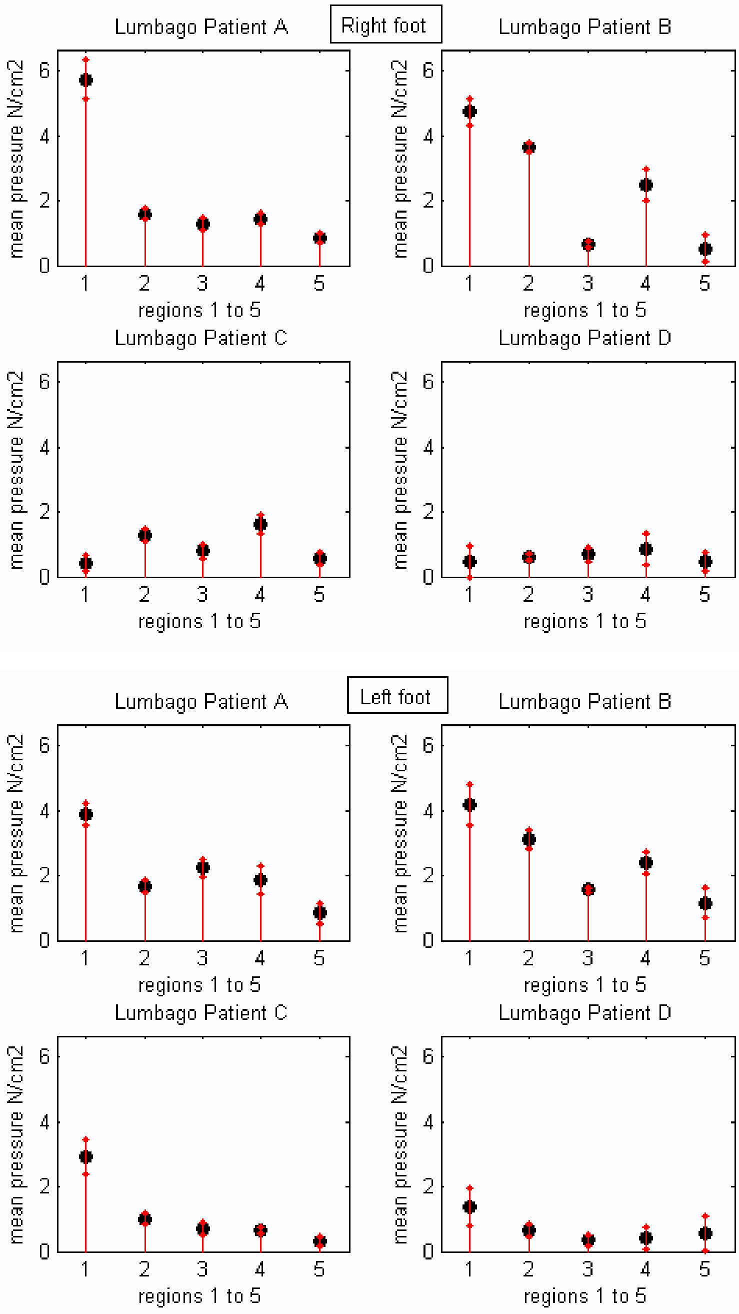
Οι μεγαλύτερες τιμές για την μέση πελματιαία πίεση για την συγκεκριμένη ομάδα εμφανίστηκαν στις περιοχές της πτέρνας (4,38±0,25N/cm^2, 4,15±0,95 N/cm^2) και των μεταταρσίων (3,64±0,87 N/cm^2, 3,71±0,34 N/cm^2) για το δεξί και το αριστερό πόδι αντίστοιχα (Εικόνα 30,Πίνακας 7). Οι περιοχές στις οποίες ασκούνται οι μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια της βάδισης είναι οι περιοχές των μεταταρσίων (32,73±1,07 N/cm^2, 37,81±6,84 N/cm^2) για το δεξί και το αριστερό πόδι αντίστοιχα και των δακτύλων (34,65±11,60N/cm^2, 33,41±13,16 N/cm^2) για το δεξί και το αριστερό πόδι αντίστοιχα (Εικόνα 31, Πίνακας 8). Οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 δεν ασκούν την ίδια μέση πελματιαία πίεση στο δεξί και στο αριστερό πόδι σε αντίθεση με τους υγιείς οι οποίοι ασκούν παρόμοιες πελματιαίες πιέσεις και στα δυο πόδια. Οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δυο άκρων έχουν σημειωθεί με έντονη γραφή.

Mean pressure N/cm^2 ± S.D.					
	Heel	Mid foot		Metatarsals	Forefoot
	R1	R2	R3	R4	R5
		Left foot			
Parkinson Patient A	3,20±0,94	0,77±0,23	1,12±0,30	3,52±0,54	4,58±0,60
Parkinson Patient B	4,14±0,96	2,87±0,32	**1,16±0,25**	3,51±0,74	0,62±0,24
Parkinson Patient C	5,10±0,37	**3,64±0,22**	2,94±0,42	4,12±0,50	2,09±0,45
		Right foot			
Parkinson Patient A	4,10±1,26	0,87±0,26	1,38±0,25	3,67±0,23	3,61±0,38
Parkinson Patient B	4,60±0,28	2,85±0,24	**0,53±0,08**	2,75±0,55	0,65±0,12
Parkinson Patient C	4,45±0,67	**2,67±0,46**	1,99±0,25	4,49±0,59	1,49±0,43

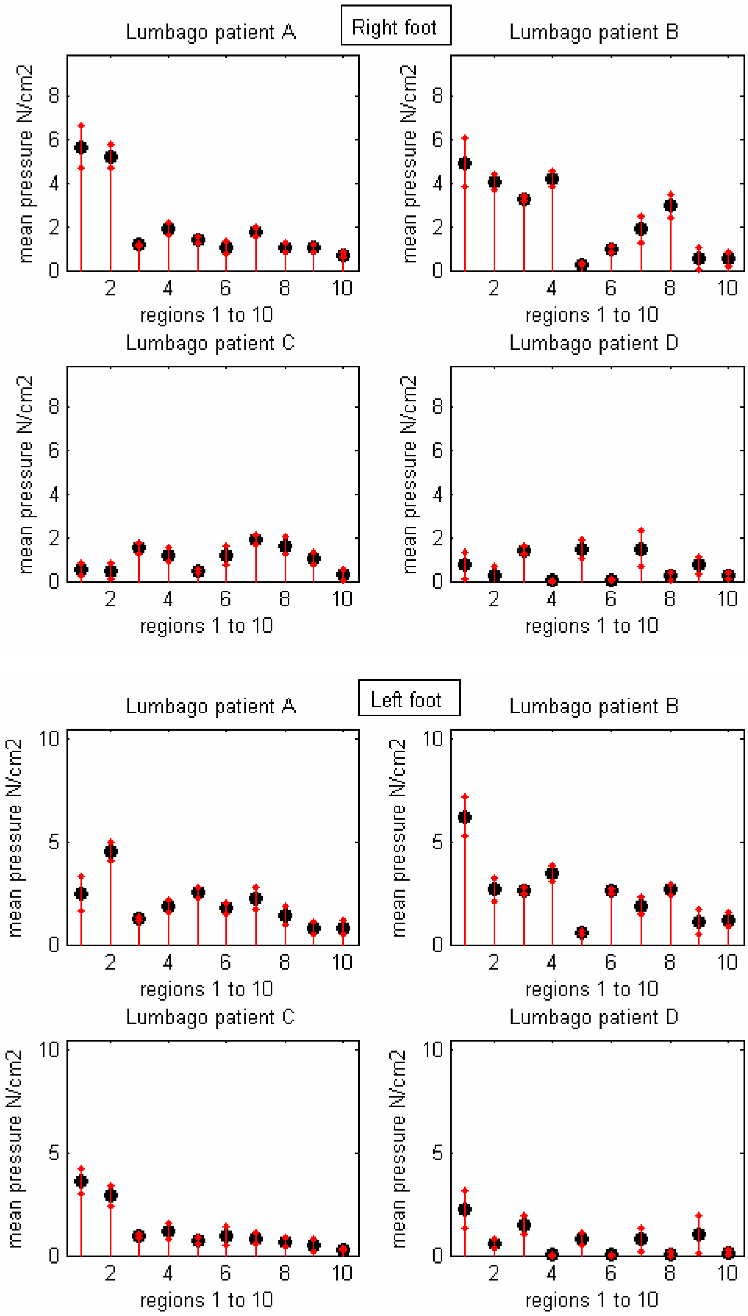
Πίνακας 5: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson

5.1.3. Lumbago patients

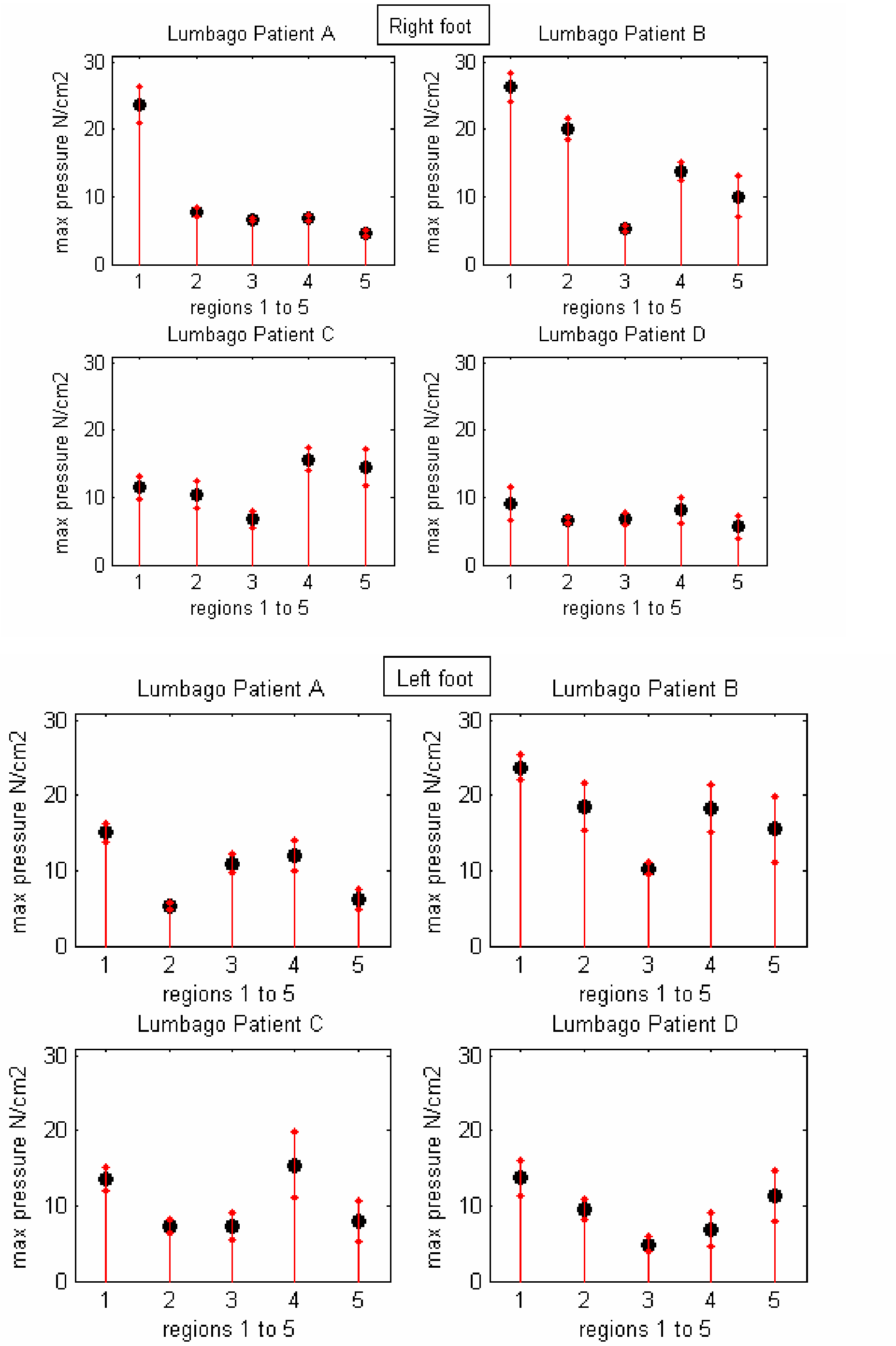
Στις εικόνες 32 και 33 φαίνεται ενδεικτικά η μέση πελματιαία πίεση των τεσσάρων ασθενών για τις πέντε και τις δέκα περιοχές του πέλματος. Στην εικόνα 34 φαίνεται ενδεικτικά η μέγιστη κατά μέσο όρο πελματιαία πίεση στις πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα για το δεξί και το αριστερό πόδι.



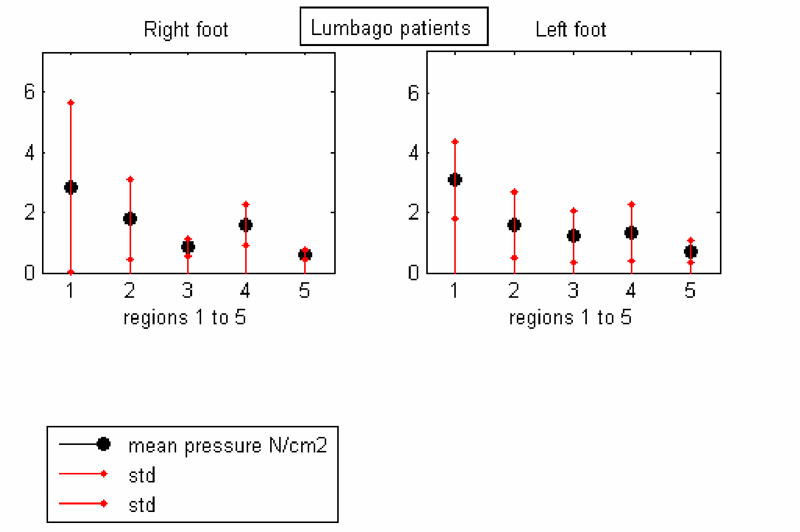
Εικόνα 32: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για το δεξί και το αριστερό πόδι τεσσάρων ασθενών με οσφυαλγία κατά τη διάρκεια της βάδισης (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



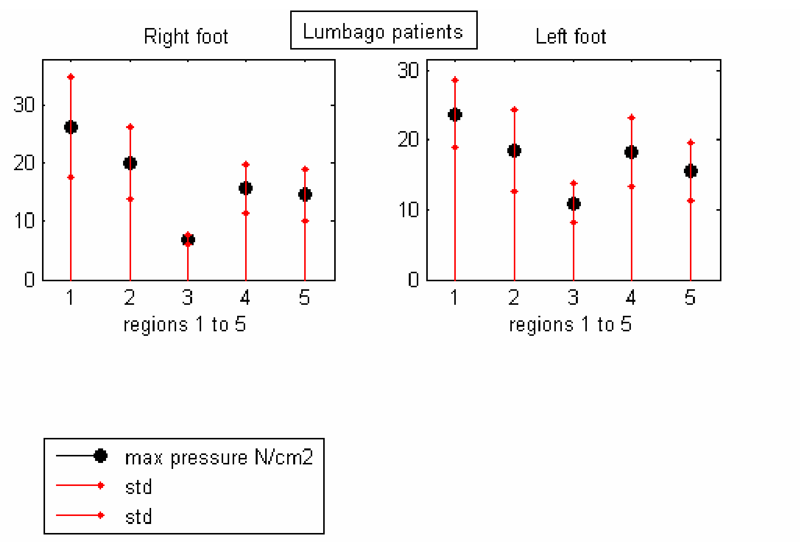
Εικόνα 33: Μέση πελματιαία πίεση±S.D για το δεξί και το αριστερό πόδι τεσσάρων ασθενών οσφυαλγία (Περιοχές R1 και R2:πτέρνα, R3,R4 και R5,R6:μέσο πέλμα, R7,R8:μετατάρσια και R9,R10:δάκτυλα)



Εικόνα 34: Μέγιστη πελματιαία πίεση±S.D κατά τη διάρκεια της βάδισης για τους ασθενείς με οσφυαλγία. (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 35: Μέση πελματιαία πίεση ±S.D για τους ασθενείς με οσφυαλγία για όλους τους κύκλους βάδισης και για τα δύο πόδια (Περιοχές R1:πτέρνα, R2 και R3:μέσο πέλμα, R4:μετατάρσια και R5:δάκτυλα)



Εικόνα 36: Μέγιστη πελματιαία πίεση για τους ασθενείς με οσφυαλγία για όλους τους κύκλους βάδισης και για τα δύο πόδια

Όπως φαίνεται στον πίνακα 6 υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην μέση πελματιαία πίεση που ασκείται από το αριστερό και το δεξί πόδι από τους ασθενείς με οσφυαλγία και οι σημαντικότερες έχουν σημειωθεί με έντονη γραφή. Οι μεγαλύτερες τιμές για την μέση πελματιαία πίεση για την ομάδα των ασθενών με οσφυαλγία εμφανίστηκαν στην περιοχή της πτέρνας (3,09±1,26N/cm^2 , 2,84±2,80 N/cm^2) για το αριστερό και το δεξί πόδι αντίστοιχα (Εικόνα 35, Πίνακας 7) ενώ η περιοχή στην οποία ασκείται η μεγαλύτερη πελματιαία πίεση κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια της βάδισης είναι η περιοχή της πτέρνας (23,75±4,89 N/cm^2, 26,25±8,62) για το αριστερό και το δεξί πόδι αντίστοιχα (Εικόνα 36, Πίνακας 8).

Mean pressure N/cm2 ± S.D.					
	Heel	Mid foot		Metatarsals	Forefoot
	R1	R2	R3	R4	R5
		Right foot			
Lumbago Patient A	5,74±0,60	1,58±0,18	1,27±0,20	1,48±0,17	0,85±0,15
Lumbago Patient B	4,75±0,41	3,66±0,15	**0,64±0,08**	2,48±0,50	0,52±0,42
Lumbago Patient C	**0,42±0,24**	1,27±0,20	0,78±0,21	**1,63±0,29**	0,54±0,18
Lumbago Patient D	0,47±0,47	0,59±0,09	0,69±0,21	0,83±0,49	0,46±0,27
		Left foot			
Lumbago Patient A	3,88±0,34	1,66±0,17	2,22±0,24	1,86±0,43	0,82±0,32
Lumbago Patient B	4,18±0,63	3,11±0,28	**1,55±0,06**	2,38 ± 0,33	1,15±0,46
Lumbago Patient C	**2,93±0,54**	1,02±0,17	0,70±0,17	**0,65±0,11**	0,32±0,14
Lumbago Patient D	1,37±0,58	0,65±0,20	0,34±0,15	0,40±0,34	0,55±0,51

Πίνακας 6: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση για όλους τους συμμετέχοντες

Mean Pressure N/cm^2 ± S.D.					
	Heel	Mid foot		Metatarsals	Forefoot
	R1	R2 and R3		R4	R5
		Left foot			
Control Group	3,02±0,88	1,36±0.33	1,40±0.63	2,38±0,21	0,93±0,45
Parkinson Patients	4,15±0,95	2,43±1,48	1,75±1,05	3,71±0,34	2,43±2,01
Lumbago Patients	3,09±1,26	1,60±1,08	1,20±0,84	1,32±0,95	0,71±0,36
		Right foot			
Control Group	3,17±0,59	1,39±0,42	1,29±0,39	2,53±0,39	1,12±0,49
Parkinson Patients	4,38±0,25	2,13±1,09	1,30±0,73	3,64±0,87	1,92±1,52
Lumbago Patients	2,84±2,80	1,78±1,31	0,84±0,28	1,59±0,68	0,59±0,17

Πίνακας 7*:* Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση για όλους τους συμμετέχοντες

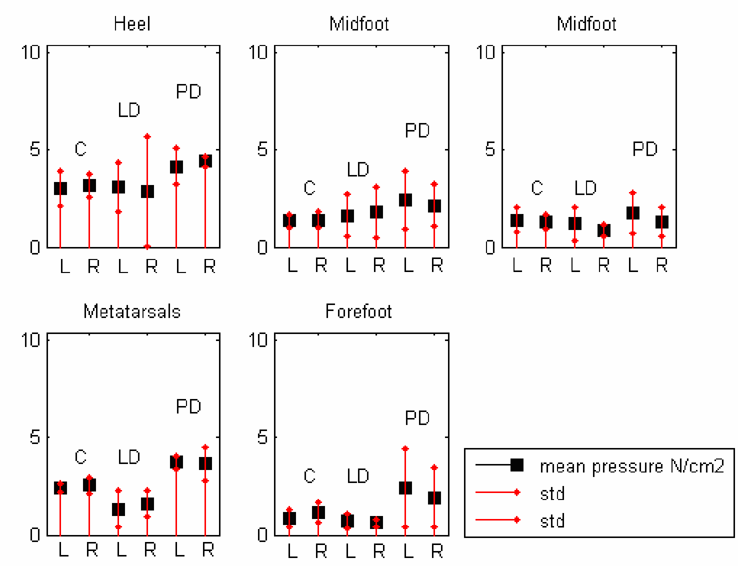
Max Pressure N/cm^2±S.D.					
	Heel	Mid foot		Metatarsals	Forefoot
	R1	R2 and R3		R4	R5
		Left foot			
Control Group	30±6,26	22,5 ± 4,51	25±5,90	36±6,75	21,50±5,43
Parkinson Patients	30,71±7,13	15,81±3,83	18,56±3,67	37,8±6,84	33,41±13,16
Lumbago Patients	23,75±4,89	18,51±5,81	10,96±2,80	18,25±4,89	15,51±4,12
		Right foot			
Control Group	27,5±4,05	20,75±4,27	25±5,15	39,75±9,28	33,75±6,30
Parkinson Patients	22,18±2,31	18,61±3,93	18,11±4,59	32,73±1,07	34,65±11,60
Lumbago Patients	26,25±8,62	20,4±6,10	6,86±0,76	15,62±4,25	14,52±4,54

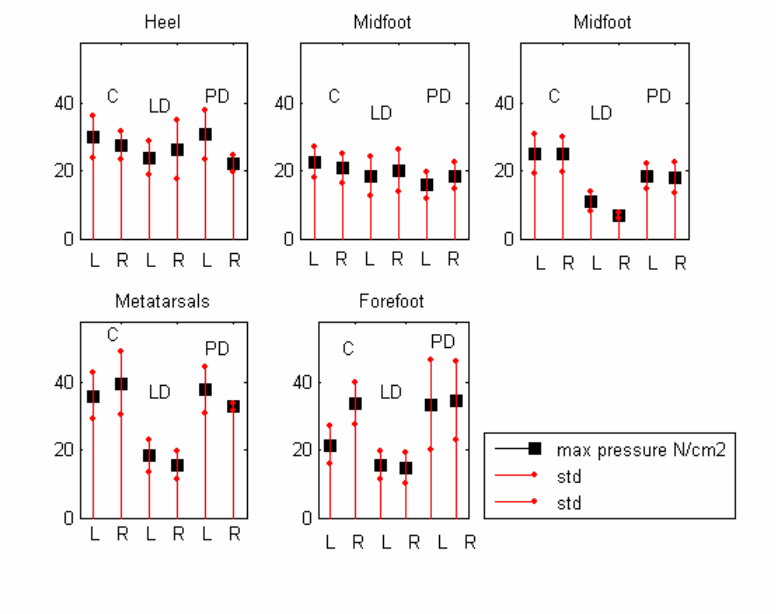
Πίνακας 8*:* Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση για όλους τους συμμετέχοντες

5.1.4. Σύγκριση της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης ανάμεσα στις τρεις ομάδες συμμετεχόντων

Όπως φαίνεται στην εικόνα 37 και στον Πίνακα 4 δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην μέση πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης ανάμεσα στα δύο πόδια για την ομάδα των υγιών συμμετεχόντων εκτός από την περιοχή των δακτύλων. Η ομάδα που εμφανίζει τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις είναι αυτή των ασθενών με τη νόσο Parkinson για την οποία για όλες τις περιοχές οι μεγαλύτερες κατά μέσο όρο πελματιαίες πιέσεις ασκούνται από το αριστερό πόδι. Το παραπάνω αποτέλεσμα ενδεχομένως να οφείλεται στην φύση της ασθένειας η οποία εκδηλώνεται στη μια μόνο πλευρά του σώματος. Οι ασθενείς με οσφυαλγία παρουσίασαν διαφοροποιήσεις στη μέση πελματιαία πίεση ανάμεσα στα δυο πόδια για τις περιοχές της πτέρνας και του μέσου πέλματος.

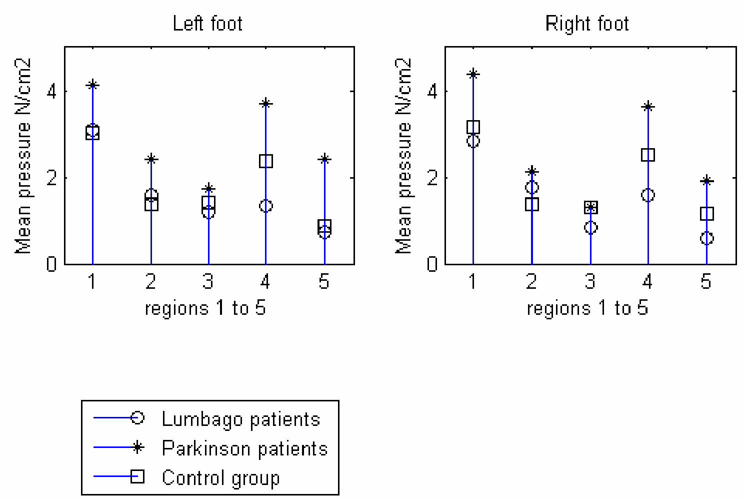
Η διακύμανση της μέσης πελματιαίας πίεσης για την ομάδα των ασθενών με τη νόσο Parkinson ήταν μεγάλη σε σχέση με τους υγιείς στην περιοχή των δακτύλων και στην περιοχή του μέσου πέλματος. Η αυξημένη διακύμανση στις παραπάνω δύο περιοχές είναι χαρακτηριστικό της βάδισης των ασθενών με Parkinson [36] και είναι πιθανό να συνδέεται με τις πτώσεις που παρατηρούνται κατά τη βάδισή τους.



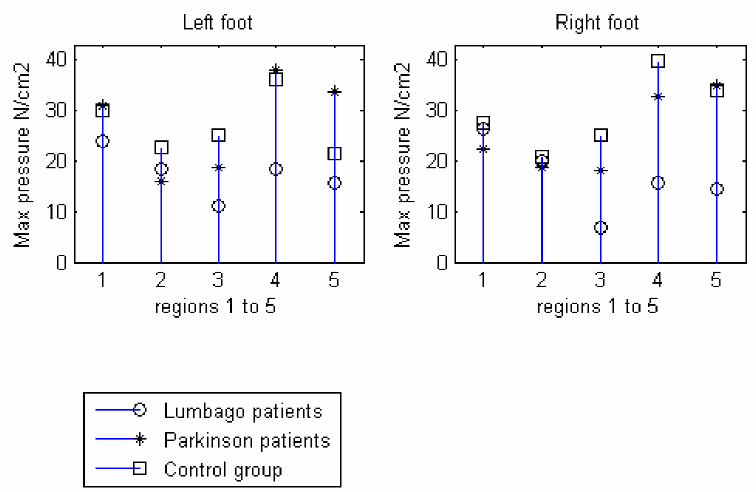


Εικόνα 37: Μέση και μέγιστη πελματιαία πίεση για το δεξί (R) και το αριστερό πόδι (L) για κάθε ομάδα συμμετεχόντων για τις πέντε περιοχές (C: control group, PD: Parkinson disease, LD: Lumbago disease)

Από την σύγκριση της μέσης πελματιαίας πίεσης και για τις δύο φάσεις του κύκλου βάδισης για τις πέντε περιοχές του πέλματος για όλες τις ομάδες συμμετεχόντων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: Οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson ασκούν τις μεγαλύτερες κατά μέσο όρο πελματιαίες πιέσεις σε όλες τις περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα για τα αριστερό πόδι και το δεξί πόδι (εκτός της περιοχής R3) (Εικόνα 38, *Πίνακας 4*) συγκριτικά με τις ομάδες των υγιών και των ασθενών με οσφυαλγία. Για το αριστερό πόδι οι μέγιστες τιμές πελματιαίας πίεσης ασκούνται από την ομάδα των υγιών συμμετεχόντων για όλες τις περιοχές εκτός της περιοχής των δακτύλων (R5) για την οποία ο μέγιστες τιμές πελματιαίας πίεσης ασκούνται από τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson (Εικόνα 39).



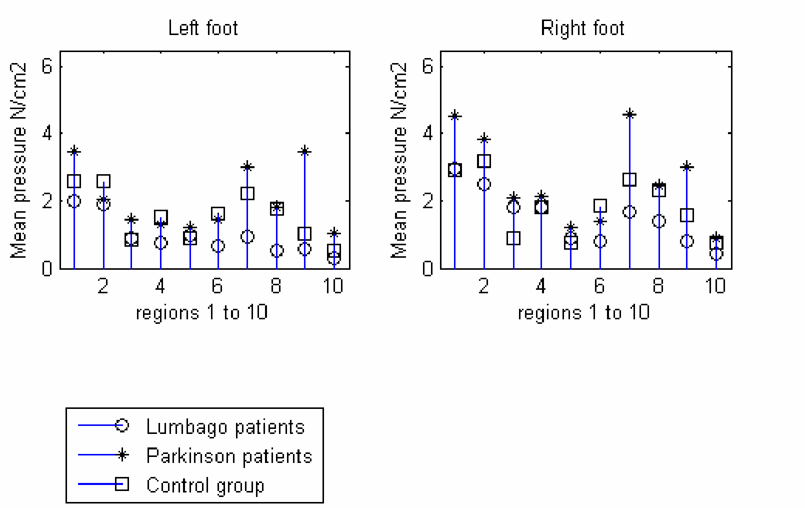
Εικόνα 38: Μέση πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης για τις πέντε περιοχές του πέλματος για όλους τους συμμετέχοντες



Εικόνα 39: Μέγιστη πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης για τις πέντε περιοχές του πέλματος για όλους τους συμμετέχοντες

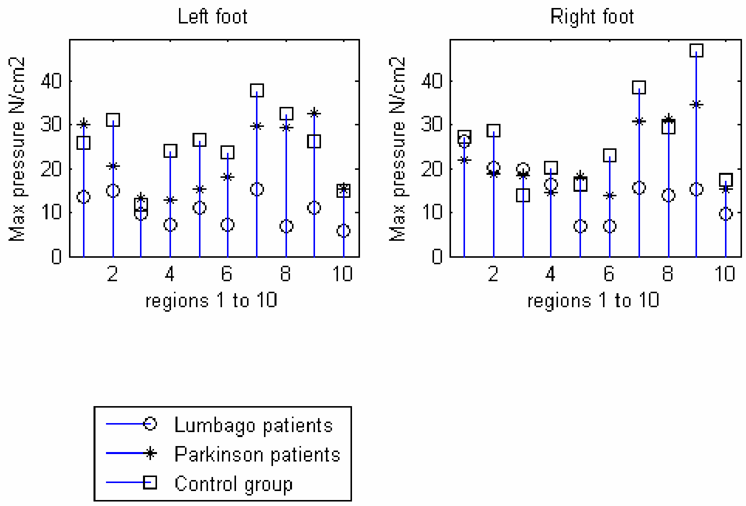
Στις εικόνες 40,41 φαίνεται η σύγκριση της μέσης πελματιαίας και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης για όλες τις ομάδες συμμετεχόντων στις δέκα περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης της μέσης πελματιαίας πίεσης είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της σύγκρισης για τις πέντε περιοχές του πέλματος, καθώς οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson εμφανίζουν τις μεγαλύτερες κατά μέσο όρο μέσες πελματιαίες πιέσεις στις περιοχές της πτέρνας (R1 και R2), στην περιοχή των μεταταρσίων (R7) και στην περιοχή του μεγάλου δακτύλου (R9).

Διαφοροποιήσεις της μέσης πελματιαίας πίεσης ανά περιοχή, δεξιά και αριστερά των κεντρικών αισθητήρων φαίνεται να υπάρχουν για όλους τους συμμετέχοντες. Οι σημαντικότερες διαφορές εμφανίστηκαν στις περιοχές των δακτύλων (R9 και R10) και των μεταταρσίων (R7 και R8) για τους ασθενείς με Parkinson οι οποίοι και για τα δυο πόδια ασκούν μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση στις περιοχές R7 και R9.



Εικόνα 40: Μέση πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης για τις δέκα περιοχές του πέλματος για όλους τους συμμετέχοντες

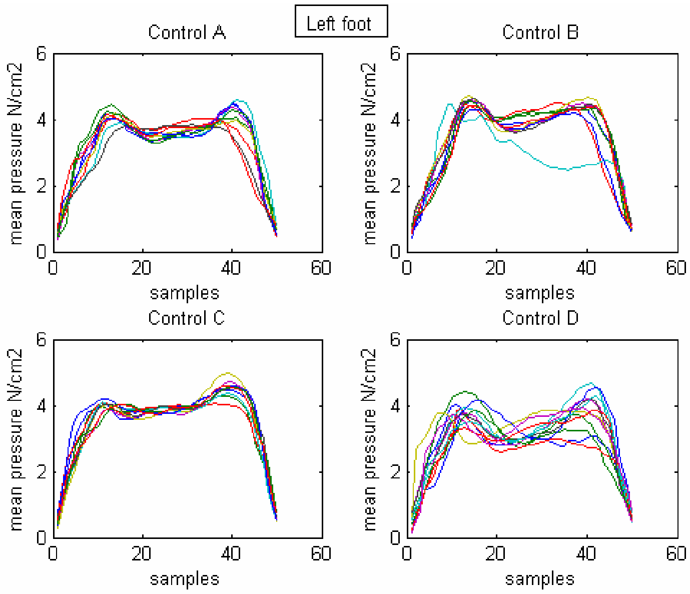
Χωρίς την επίδραση των κεντρικών αισθητήρων στις πέντε περιοχές οι υγιείς συμμετέχοντες για το αριστερό πόδι ασκούν κατά μέσο όρο μεγαλύτερες τιμές μέγιστης πελματιαίας πίεσης σε όλες τις περιοχές εκτός από τα δάχτυλα (R9) και την πτέρνα (R1) όπου οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson, ενώ για το δεξί πόδι οι υγιείς συμμετέχοντες εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μέγιστες πιέσεις για όλες τις περιοχές εκτός από την περιοχή του μέσου πέλματος (R3), όπου οι μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης ασκούνται από την ομάδα των ασθενών με οσφυαλγία.

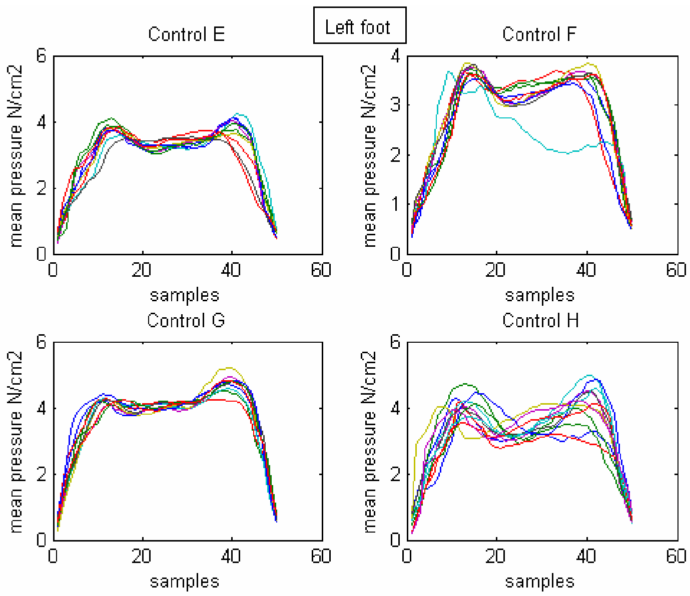


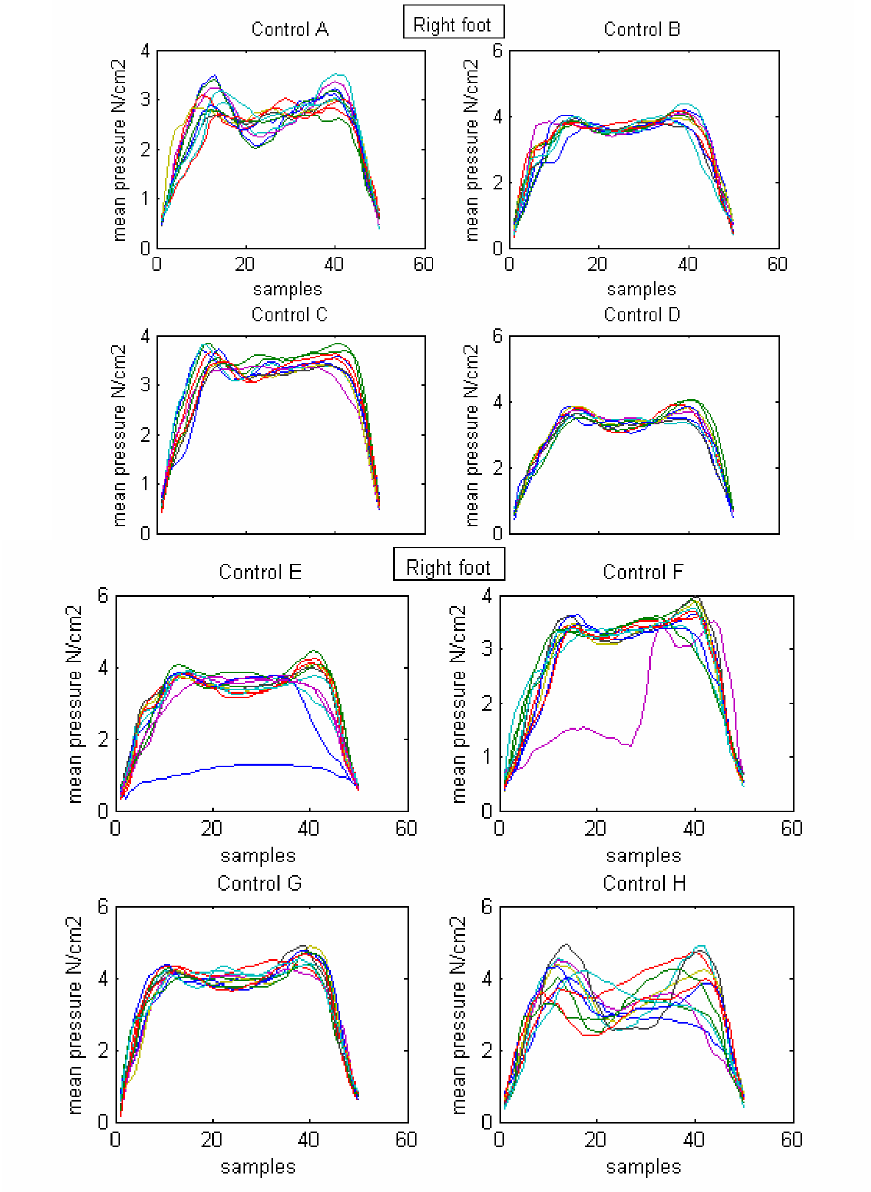
Εικόνα 41: Μέγιστη πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης για τις δέκα περιοχές του πέλματος για όλους τους συμμετέχοντες

5.2.Mean pressure curve

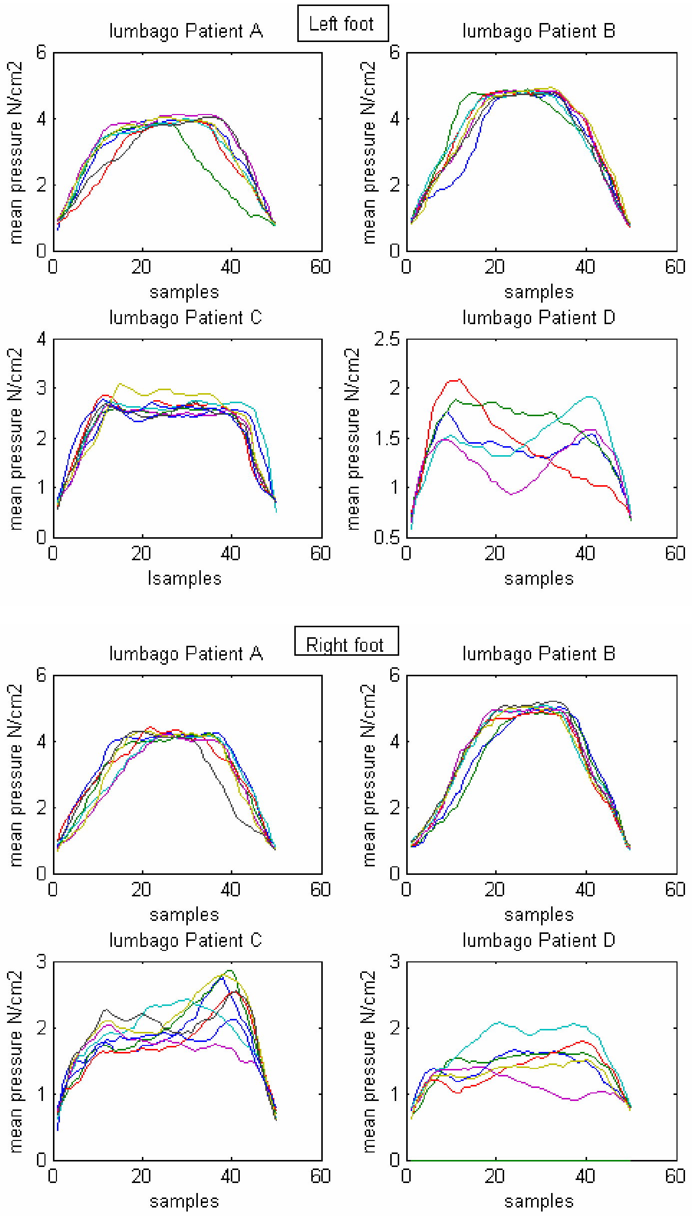
Η καμπύλη της μέσης πελματιαίας πίεσης για κάθε συμμετέχοντα προέκυψε από τη γραμμική ένωση των τιμών της μέσης πελματιαίας πίεσης σε όλους τους αισθητήρες σε κάθε χρονική στιγμή της φάσης στήριξης για κάθε βήμα (Εικόνες 42-44). Η Mean Pressure Curve για κάθε ομάδα συμμετεχόντων προέκυψε από το μέσο όρο των καμπύλων κάθε ομάδας (Εικόνα 45). Επειδή τα δείγματα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης σε κάθε βήμα δεν ήταν σταθερά καθώς η διάρκεια του κάθε κύκλου βάδισης ακόμα και για τον ίδιο συμμετέχοντα δεν παραμένει σταθερή, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των δειγμάτων της φάσης στήριξης και όλα τα βήματα προσαρμόστηκαν στην τιμή που προέκυψε. Οι τιμές της πελματιαίας πίεσης που ενδεχομένως να έλειπαν σε ορισμένα βήματα συμπληρώθηκαν με μια συνάρτηση παρεμβολής που υλοποιήθηκε.



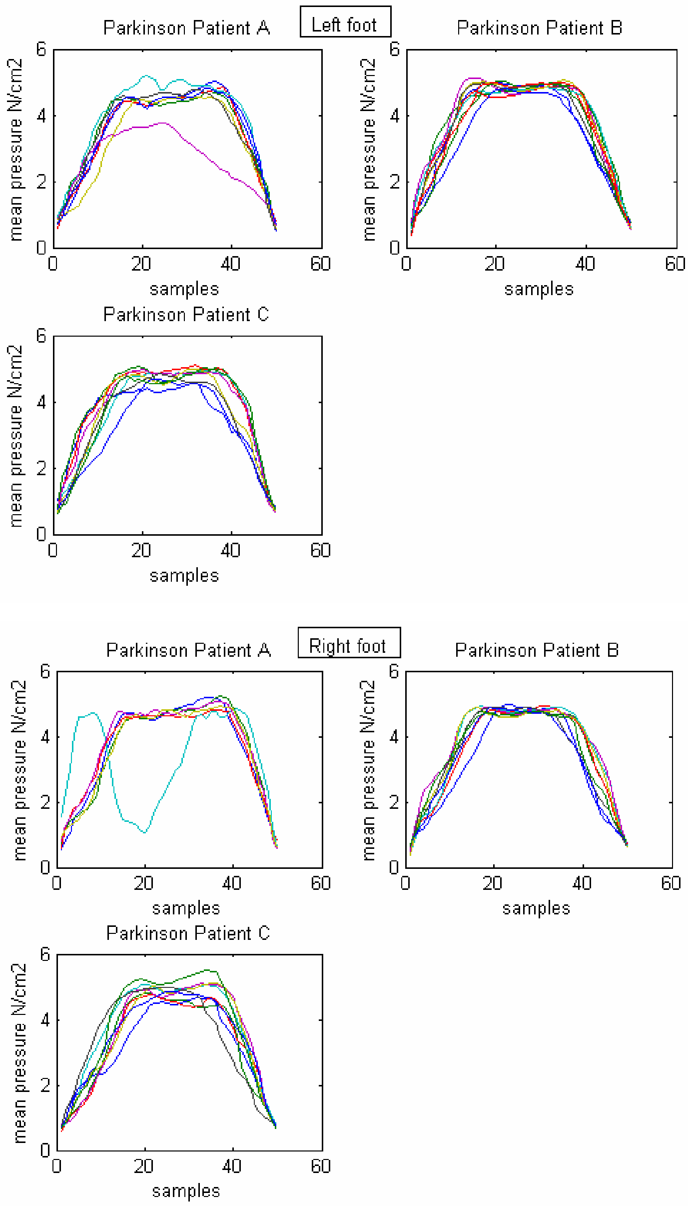




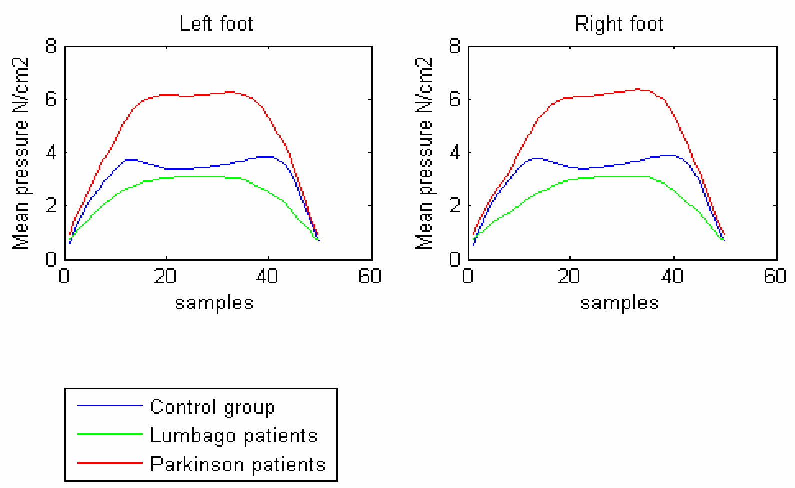
Εικόνα 42: Mean pressure Curve για τέσσερις από τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες για κάθε βήμα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης



Εικόνα 43*:* Mean pressure Curve για τους ασθενείς με οσφυαλγία για κάθε βήμα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης



Εικόνα 44: Mean pressure Curve για τους ασθενείς με οσφυαλγία για κάθε βήμα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης



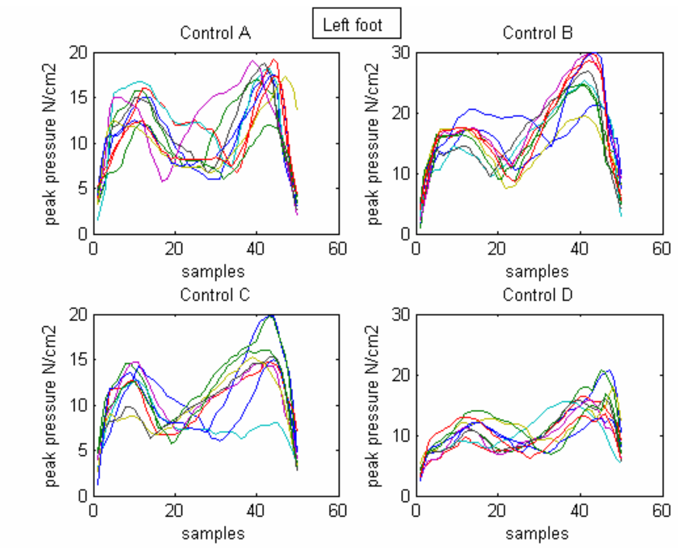
Εικόνα 45: Mean Pressure Curves κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης της βάδισης για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων

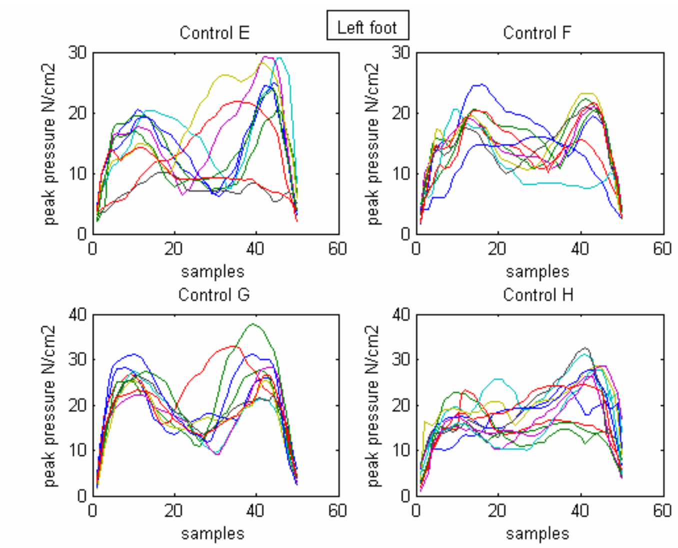
Η μελέτη των καμπύλων της μέσης πελματιαίας πίεσης (Mean Pressure Curve) των ασθενών και των υγιών συμμετεχόντων κατά τη βάδιση έδειξε ότι οι υγιείς συμμετέχοντες παρουσίασαν διπλή κορυφή στις αντίστοιχες καμπύλες σε αντίθεση με όλους του ασθενείς οι οποίοι παρουσίασαν μονή κορυφή (Εικόνα 43). Το παραπάνω αποτέλεσμα συμφωνεί με τα αποτελέσματα της μελέτης της καμπύλης της δύναμης αντίδρασης των E.Ueno, N.Yanagisawa and M.Takami σύμφωνα με τους οποίους οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson που παρουσιάζουν τον τυπικό συρτό βηματισμό παρουσιάζουν μια μόνο κορυφή στην καμπύλη της δύναμης αντίδρασης . Οι δύο κορυφές που εμφανίζονται στην καμπύλη της μέσης πελματιαίας πίεσης στους υγιείς οφείλονται η πρώτη στη μεταφορά του βάρους στην πτέρνα κατά την επαφή με το έδαφος και η δεύτερη στην μεταφορά του βάρους στα μπροστινά δάχτυλα πριν την άρση τους [33].

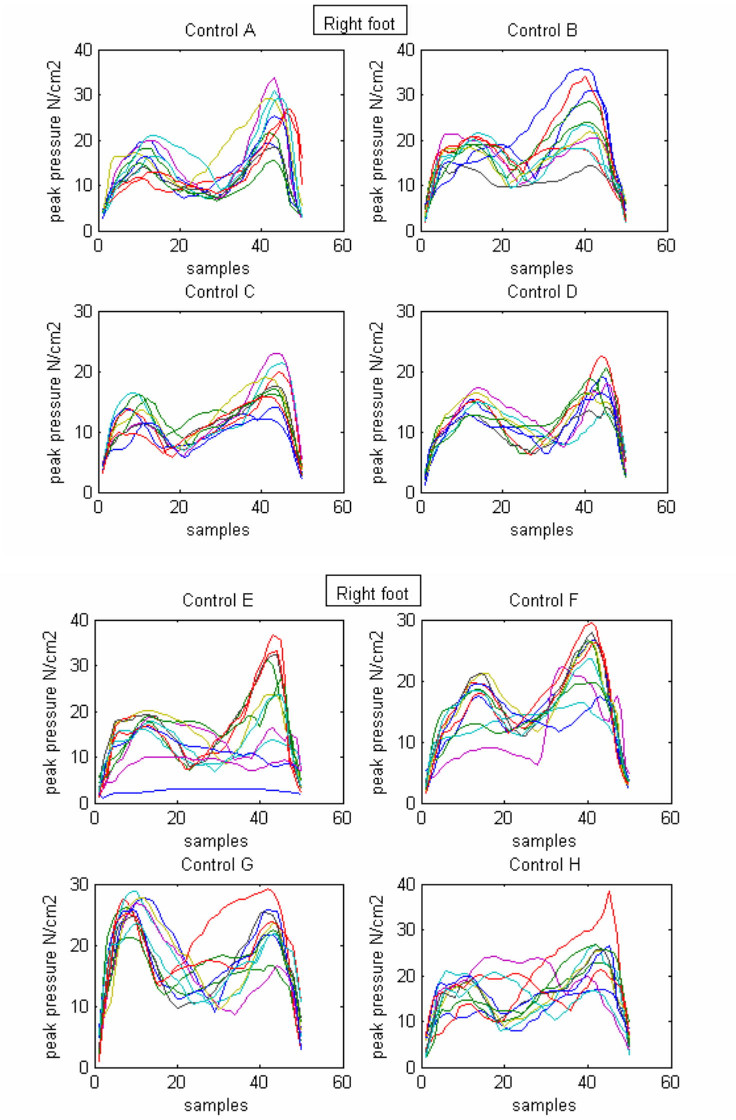
Από την σύγκριση των Mean Pressure Curves για όλους τους συμμετέχοντες (Εικόνα 43) και για κάθε πόδι χωριστά προέκυψαν τρεις σαφώς διαχωρισμένες καμπύλες. Οι ασθενείς με οσφυαλγία εμφάνισαν τις μικρότερες τιμές πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης ενώ οι μεγαλύτερες τιμές για τη μέση πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης εμφανίστηκαν στην ομάδα των ασθενών με τη νόσο Parkinson. Οι Mean Pressure Curves των δύο ομάδων ασθενών υποδεικνύουν ότι οι ασθενείς κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης, κυρίως οι ασθενείς με οσφυαλγία, χρησιμοποιούν όλη την επιφάνεια του πέλματος σε αντίθεση με τους υγιείς οι οποίοι χρησιμοποιούν την πτέρνα και τα μπροστινά δάχτυλα.

5.3.Peak pressure curve

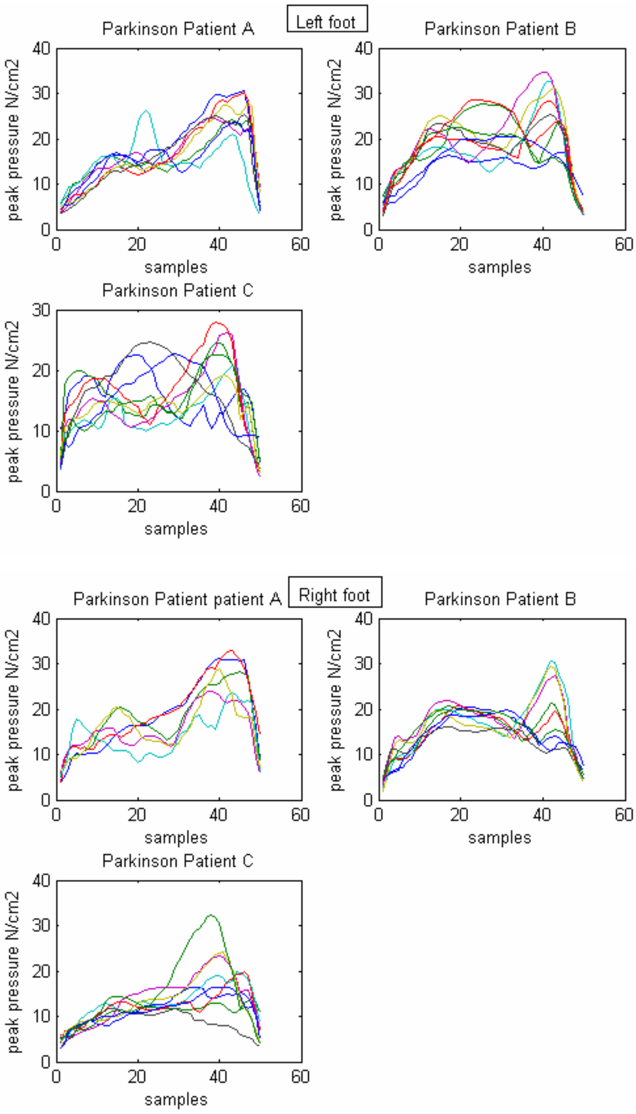
Η Peak Pressure Curve για κάθε συμμετέχοντα προέκυψε από τη γραμμική ένωση των τιμών της μέγιστης πελματιαίας πίεσης σε όλους τους αισθητήρες σε κάθε χρονική στιγμή της φάσης στήριξης για κάθε βήμα (Εικόνες 46-48). Η Peak Pressure Curve για κάθε ομάδα συμμετεχόντων προέκυψε από το μέσο όρο των καμπύλων κάθε ομάδας.



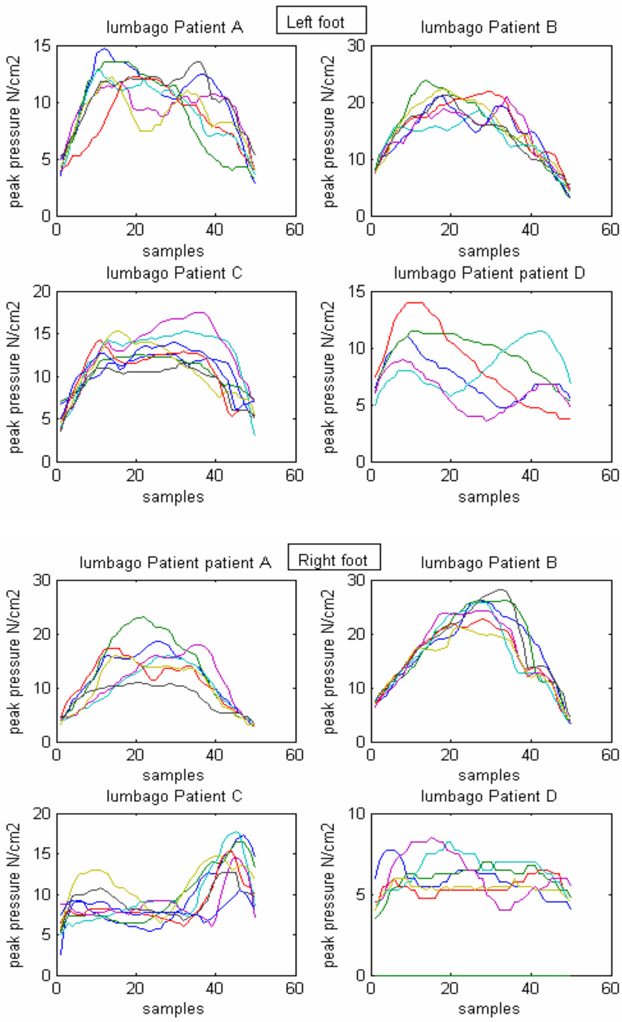




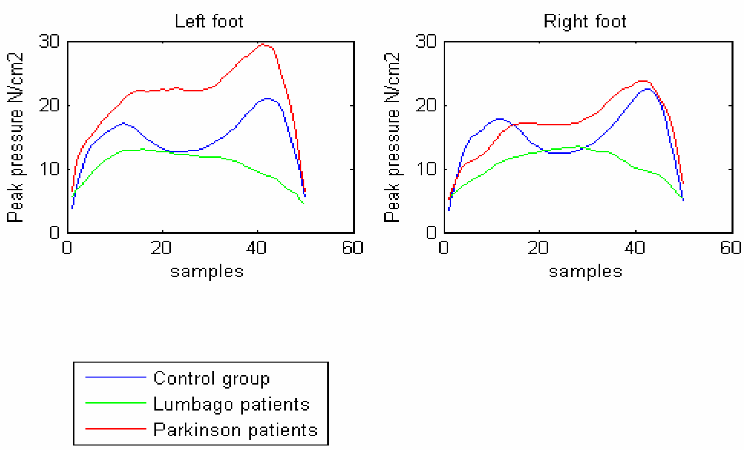
Εικόνα 46: Peak Pressure Curve για τέσσερις από τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες για κάθε βήμα κατά τη φάση στήριξης της βάδισης



Εικόνα 47: Peak Pressure Curve για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson για κάθε βήμα κατά τη φάση στήριξης της βάσισης



Εικόνα 48: Peak Pressure Curve για τους ασθενείς με οσφυαλγία και για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson για κάθε βήμα κατά τη φάση στήριξης της βάδισης



Εικόνα 49: Peak Pressure Curves κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης της βάδισης για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων

Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των Peak Pressure Curves μεταξύ των υγιών συμμετεχόντων και των ασθενών με τη νόσο Parkinson συμφωνούν με το συμπέρασμα των Stefan Kimmeskamp and Ewald M.Henning 2001 σύμφωνα με τους οποίους οι ασθενείς τείνουν να μεταφέρουν το βάρος τους σε πλευρικές περιοχές του πέλματος και παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης στις εμπρόσθιες περιοχές του πέλματος.

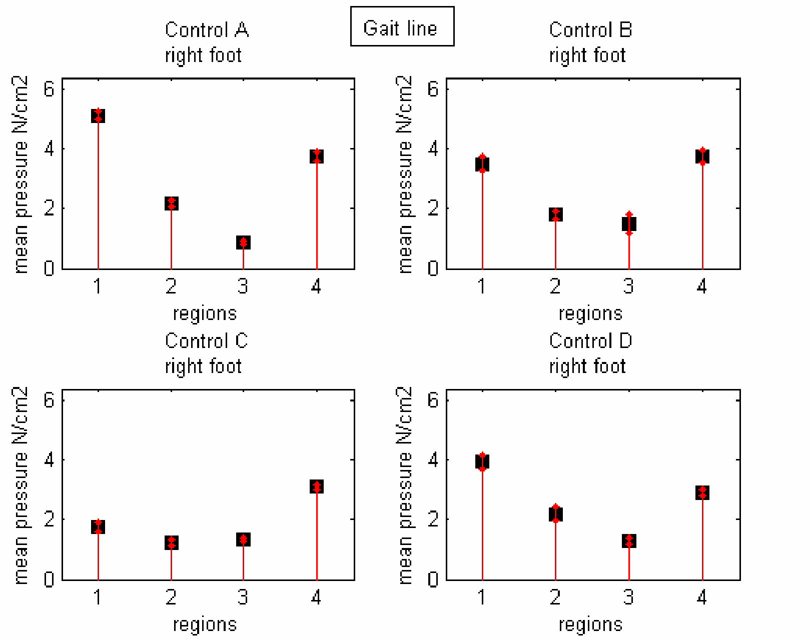
Κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης όπως φαίνεται στην εικόνα 49 οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson παρουσιάζουν μικρές τιμές πελματιαίας πίεσης κατά την έναρξη της φάσης στήριξης, όταν δηλαδή η πτέρνα έρχεται σε επαφή με το έδαφος, ενώ στο τελευταίο στάδιο της φάσης στήριξης όταν το βάρος μεταφέρεται στα δάχτυλα οι αντίστοιχες τιμές είναι μεγαλύτερες. Το παραπάνω αποτέλεσμα δικαιολογείται από τον χαρακτηριστικό βηματισμό των ασθενών με τη μειωμένη πρόσκρουση της πτέρνας στο έδαφος. Οι ασθενείς με οσφυαλγία φαίνεται να χρησιμοποιούν όλη την επιφάνεια του πέλματος καθώς δεν παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στις τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης σε κανένα στάδιο της φάσης στήριξης και οι καμπύλες τόσο για την μέση πελματιαία πίεση όσο και για την μέγιστη πελματιαία πίεση εμφανίζει μια μόνο κορυφή.

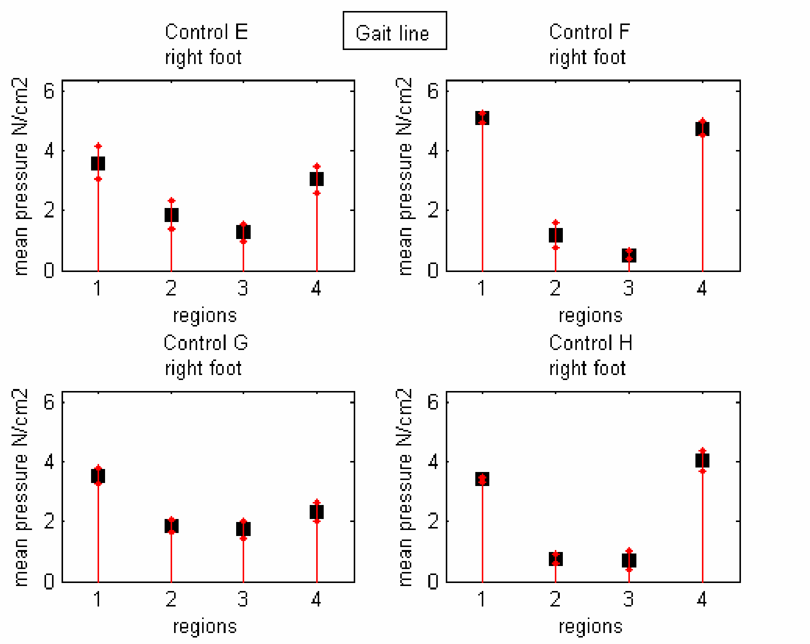
5.4.Γραμμή βάδισης

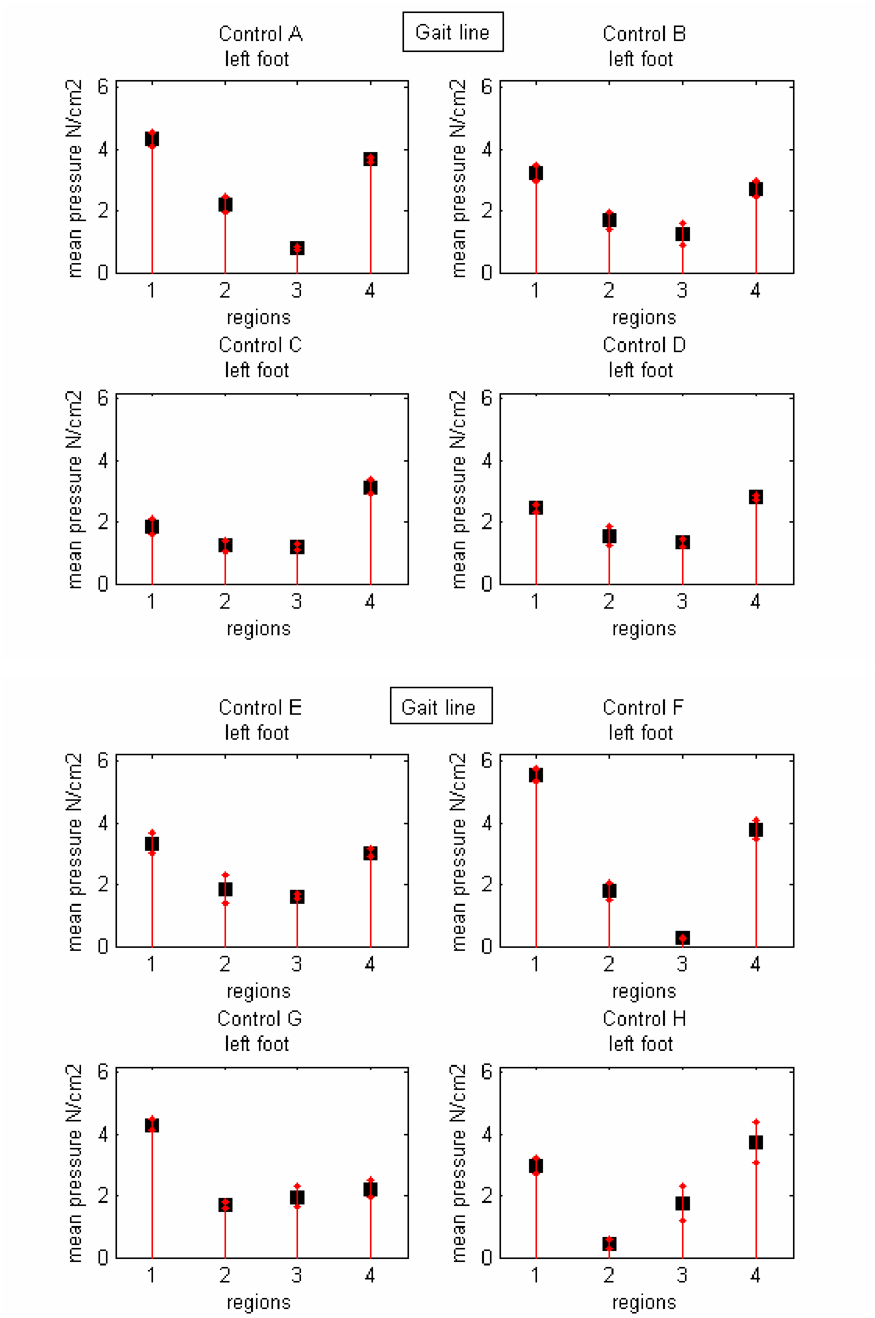
Η γραμμή βάδισης προέκυψε από τις τιμές της πελματιαίας πίεσης των κεντρικών αισθητήρων των περιοχών της πτέρνας (αισθητήρες 3,9,16), του μέσου πέλματος (αισθητήρες 23,30,37 και αισθητήρες 44,51,58) και των μεταταρσίων (αισθητήρες 65,72,79,86). Η μέση γραμμή βάδισης προέκυψε από τον μέσο όρο της μέσης πελματιαίας πίεσης των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για όλα τα βήματα και η μέγιστη από την μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων κάθε περιοχής για όλα τα βήματα αντίστοιχα. Επίσης μελετήθηκε η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης κάθε συμμετέχοντα και από τον μέσο όρο των καμπύλων των συμμετεχόντων ανά ομάδα προέκυψαν οι Mean Pressure Curves και οι Peak Pressure Curves.

5.4.1. Control group

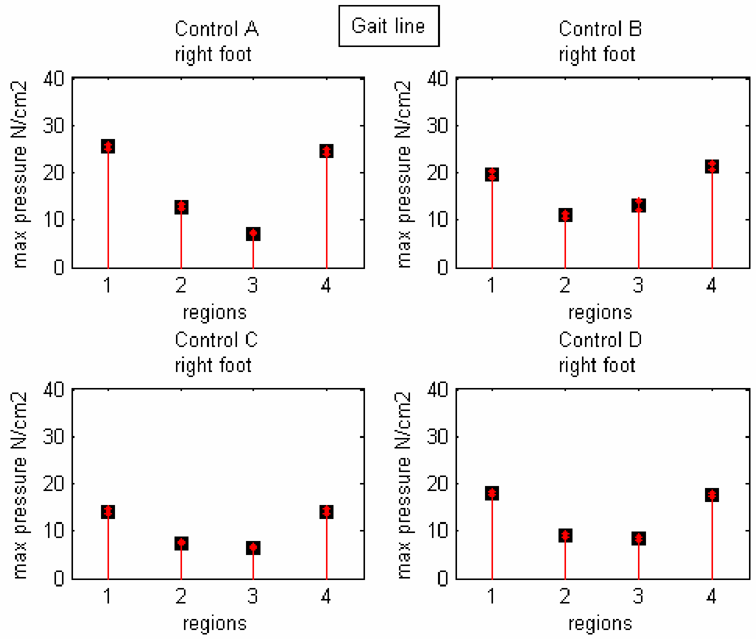
Στις εικόνες 50-51 φαίνεται ενδεικτικά η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων κατά τη διάρκεια όλων των βημάτων και για τις δυο φάσεις του κύκλου βάδισης, για τέσσερις από τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες. Στις εικόνες 52 και 53 φαίνεται η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για τους οκτώ υγιείς συμμετέχοντες.

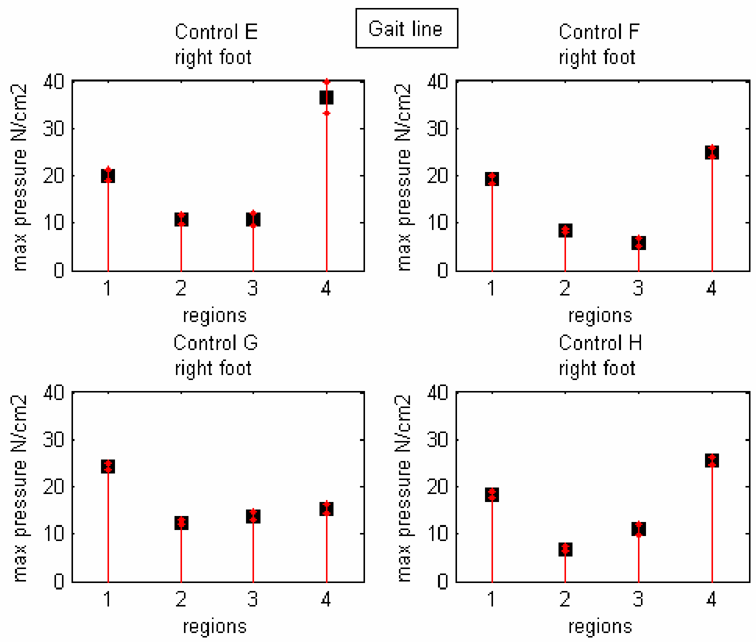


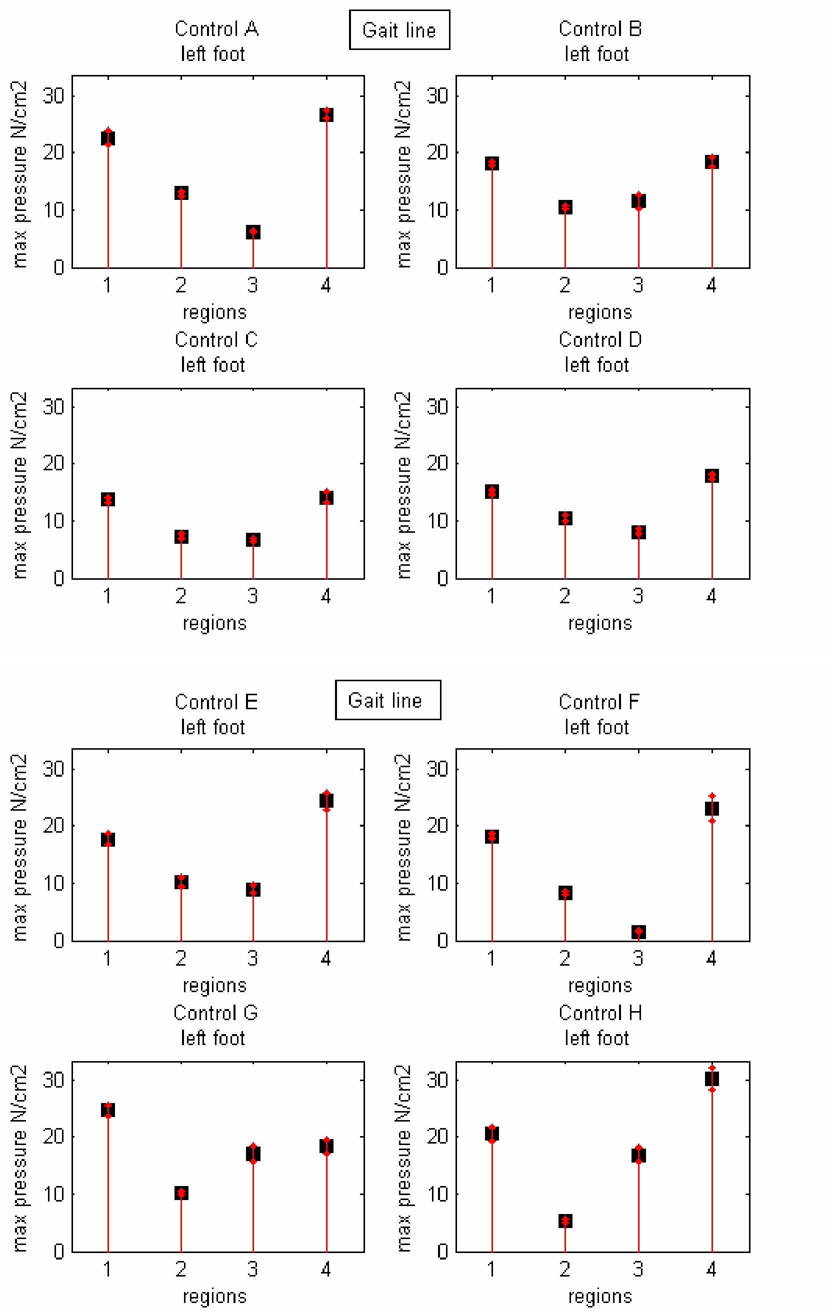




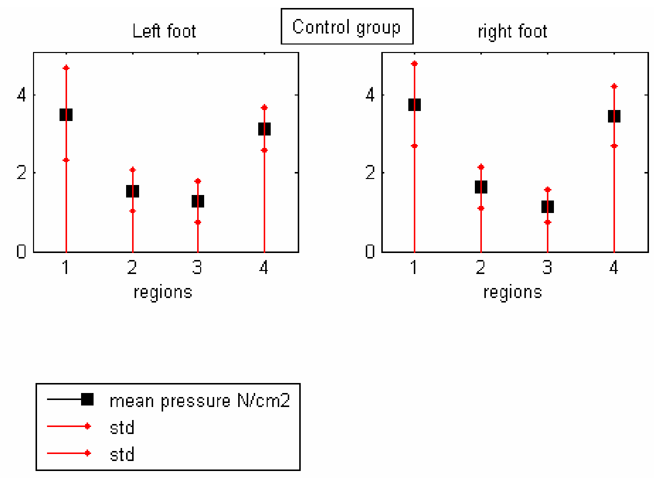
Εικόνα 50: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για κάθε υγιή συμμετέχοντα κατά τη διάρκεια της βάδισης


Gait line
Control A
right foot
Control B
right foot
Control C
right foot
Control D
right foot
max pressure N/cm2
0
10
20
30
40
1
2
3
4
regions

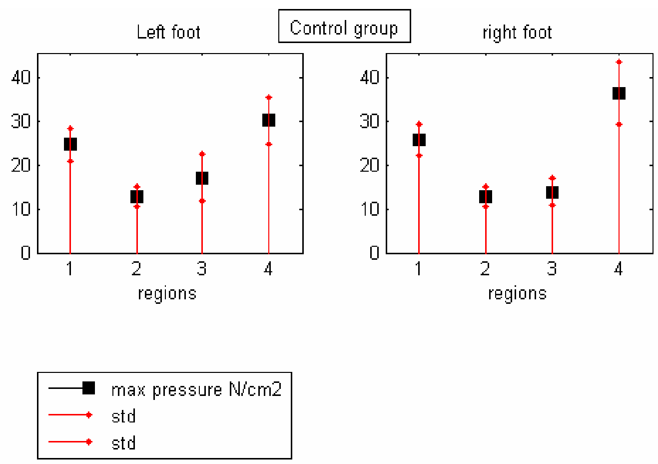

Gait line
Control E
right foot
Control F
right foot
Control G
right foot
Control H
right foot
max pressure N/cm2
0
10
20
30
40
1
2
3
4
regions



Εικόνα 51: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για κάθε υγιή συμμετέχοντα κατά τη διάρκεια της βάσης



Εικόνα 52: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για τους υγιείς συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της βάδισης

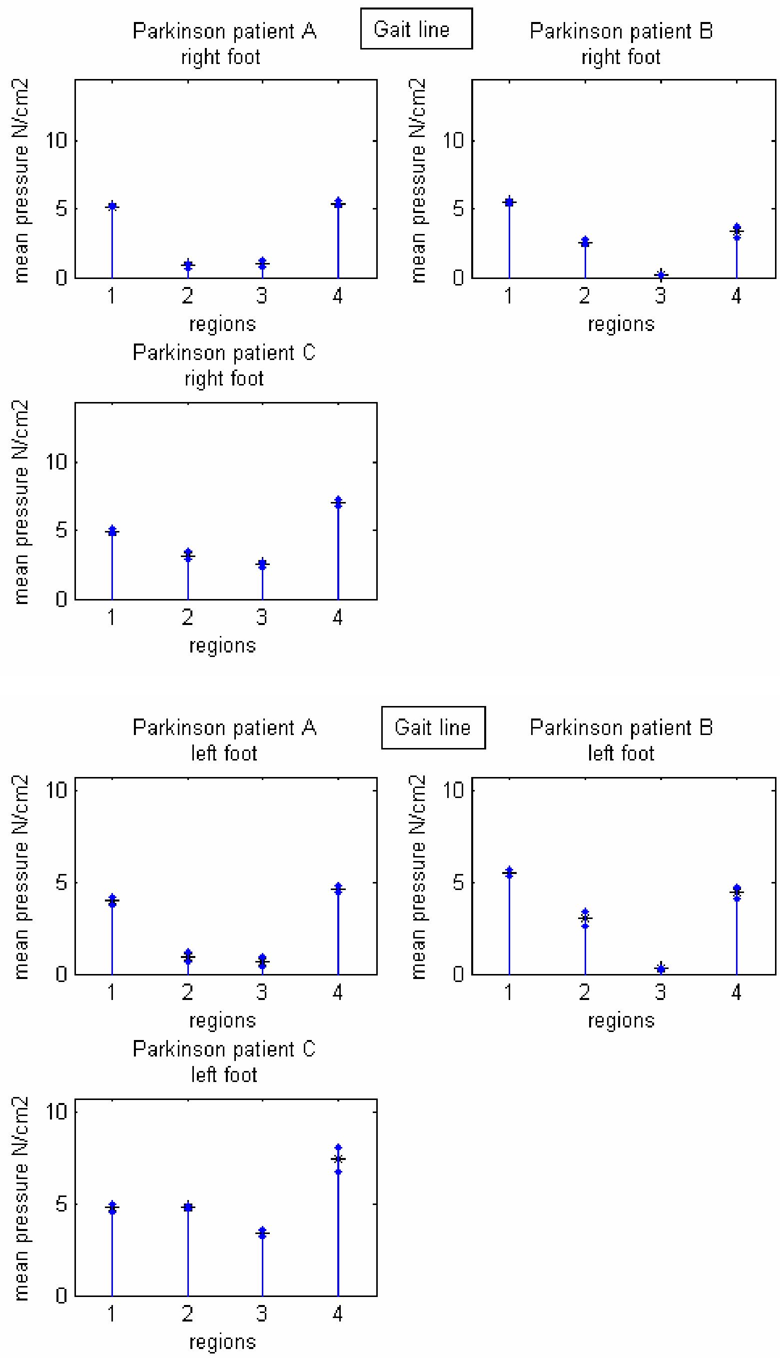


Εικόνα 53: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για τους υγιείς συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της βάδισης

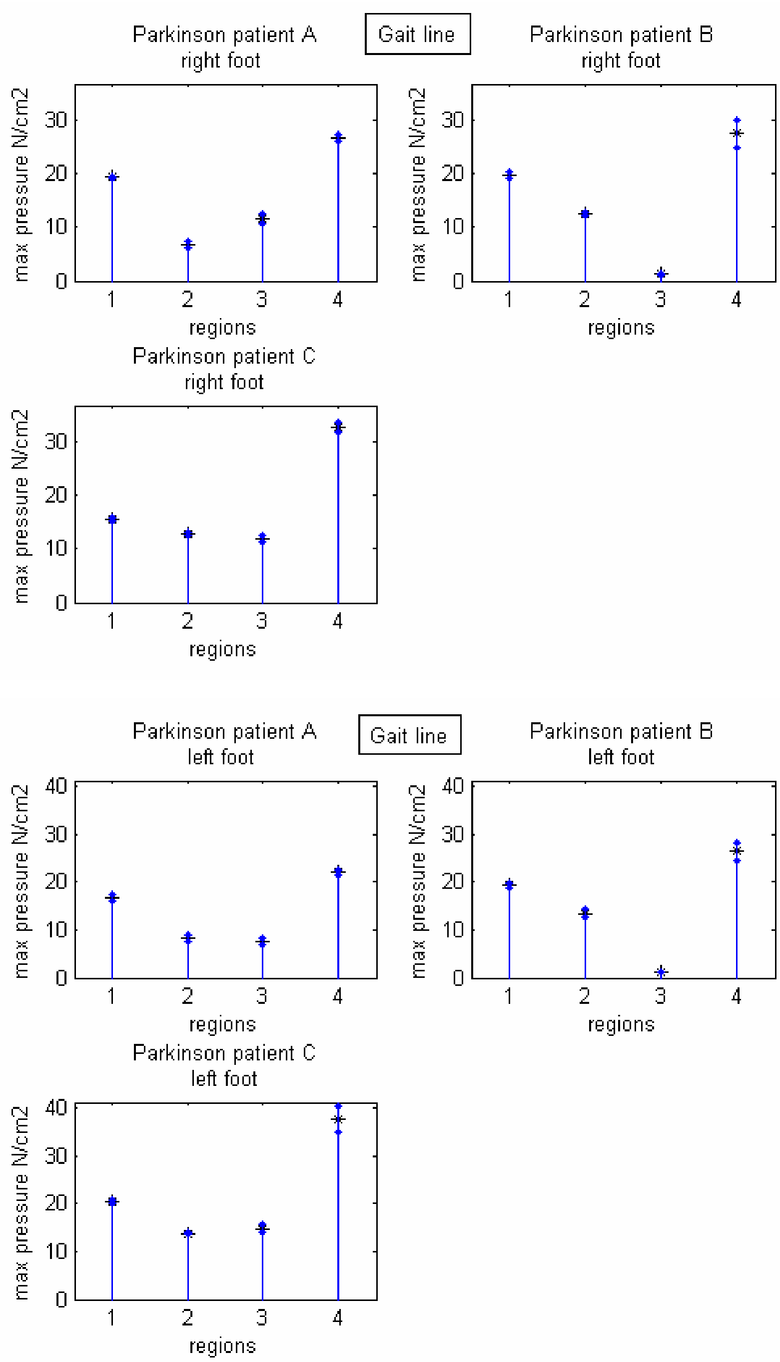
Οι υγιείς συμμετέχοντες εκτός του Control C ασκούν μεγαλύτερη μέση και μέγιστη πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες των περιοχών της πτέρνας και των μεταταρσίων. Για κανένα συμμετέχοντα δεν υπολογίστηκε μεγάλη τυπική απόκλιση και δεν υπήρχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην κατανομή της πελματιαίας πίεσης μεταξύ του αριστερού και του δεξιού ποδιού.

5.4.2. Parkinson patients

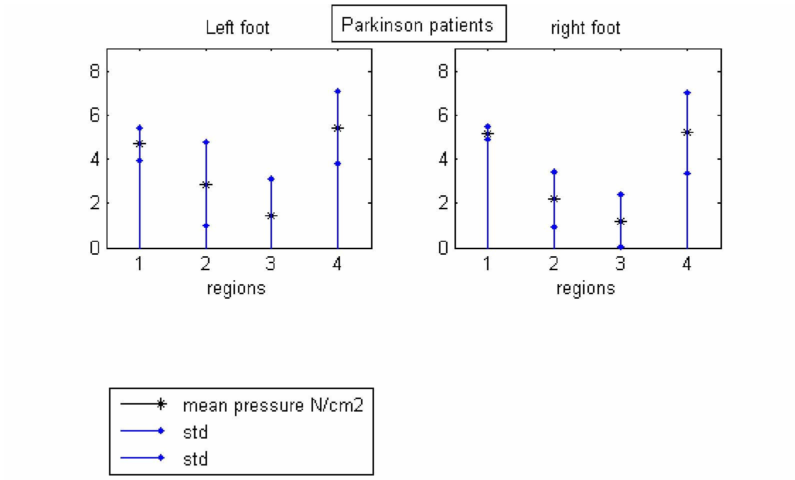
Ομοίως για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson στις εικόνες 54-55 φαίνεται η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων κατά τη διάρκεια όλων των βημάτων και για τις δυο φάσεις του κύκλου βάδισης. Στις εικόνες 56 και 57 φαίνεται η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για τους τρεις ασθενείς.



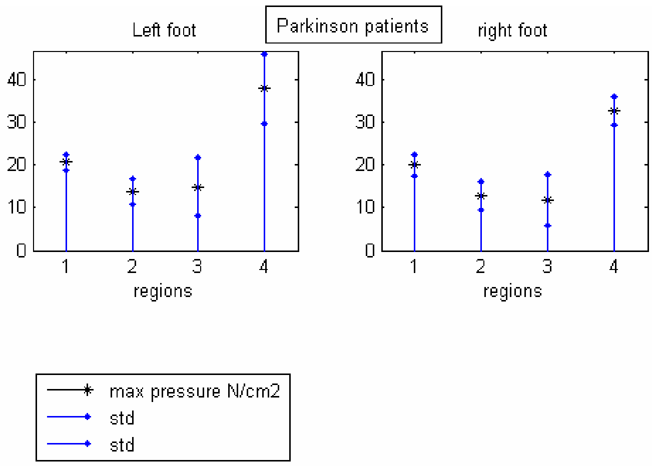
Εικόνα 54: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για κάθε ασθενή με τη νόσο Parkinson κατά τη διάρκεια της βάδισης



Εικόνα 55: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για κάθε ασθενή με τη νόσο Parkinson κατά τη διάρκεια της βάδισης



Εικόνα 56: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson κατά τη διάρκεια της βάδισης

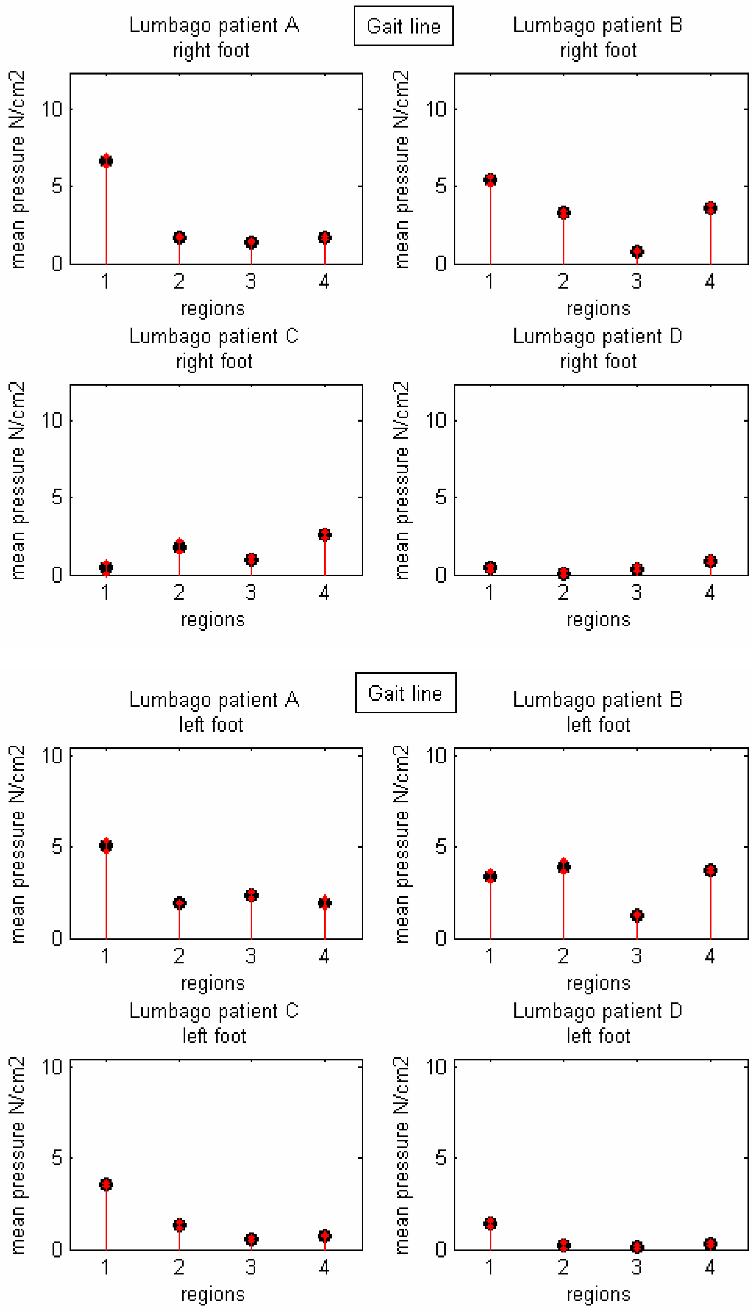


Εικόνα 57: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson κατά τη διάρκεια της βάδισης

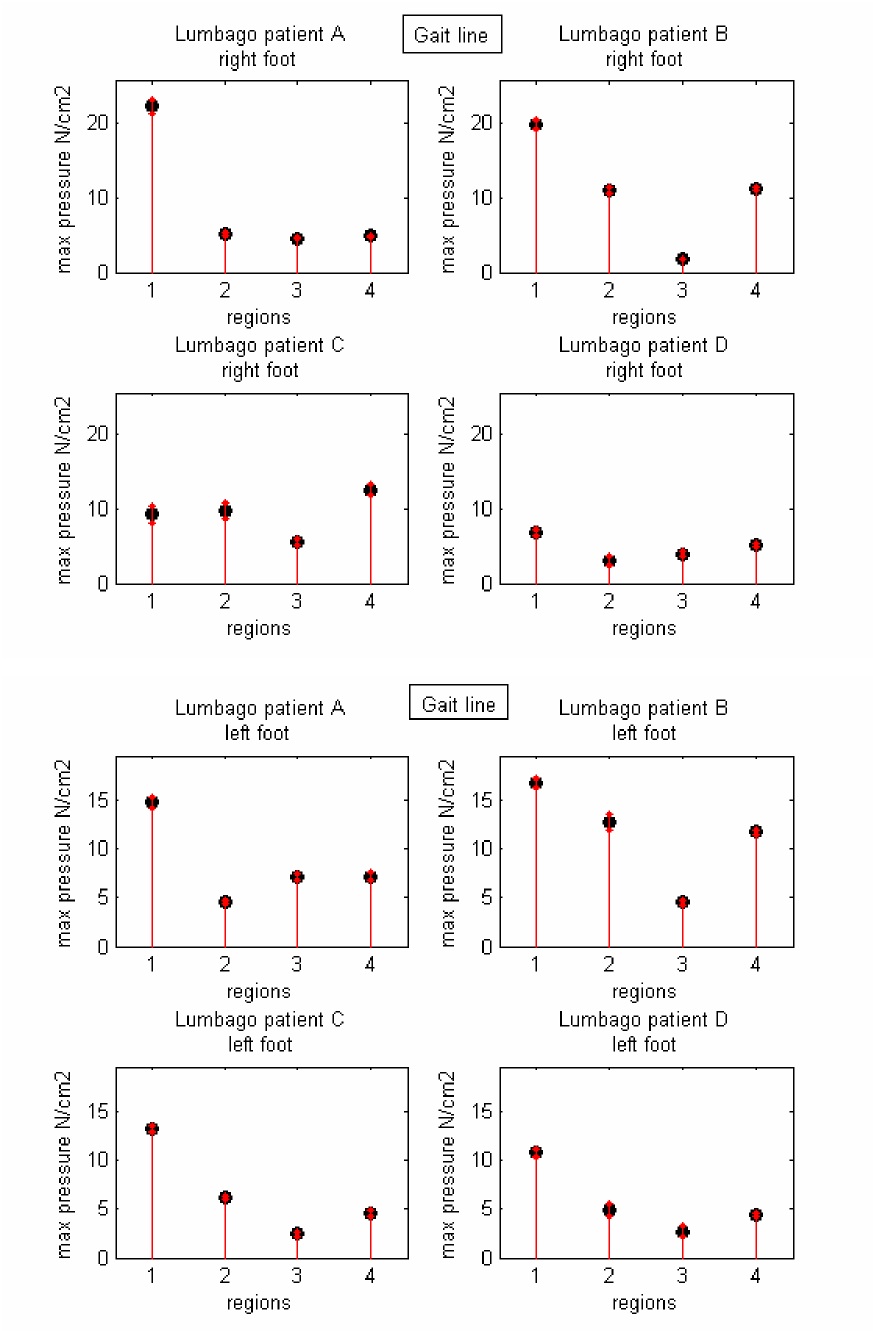
Οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson όπως και οι υγιείς συμμετέχοντες ασκούν τις μεγαλύτερες μέσες και μέγιστες πελματιαίες πιέσεις στους κεντρικούς αισθητήρες των περιοχών της πτέρνας και των μεταταρσίων. Η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση για την πελματιαία πίεση για όλους τους ασθενείς και για τα δυο πόδια υπολογίστηκε για τους κεντρικούς αισθητήρες της περιοχής των μεταταρσίων (37,81±8,11 N/cm^2 και 32,73±3,24 N/cm^2 για το αριστερό και το δεξί πόδι αντίστοιχα).

5.4.3. Lumbago patients

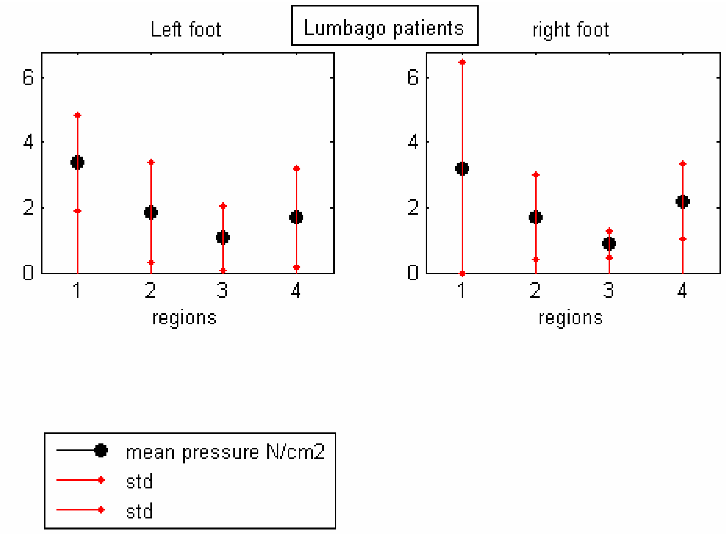
Στις εικόνες 58-59 φαίνεται η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή κατά τη διάρκεια όλων των βημάτων και για τις δυο φάσεις του κύκλου βάδισης για κάθε ασθενή. Στις εικόνες 60 και 61 φαίνεται η μέση και η μέγιστη πελματιαία πίεση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για τους τέσσερις ασθενείς με οσφυαλγία.



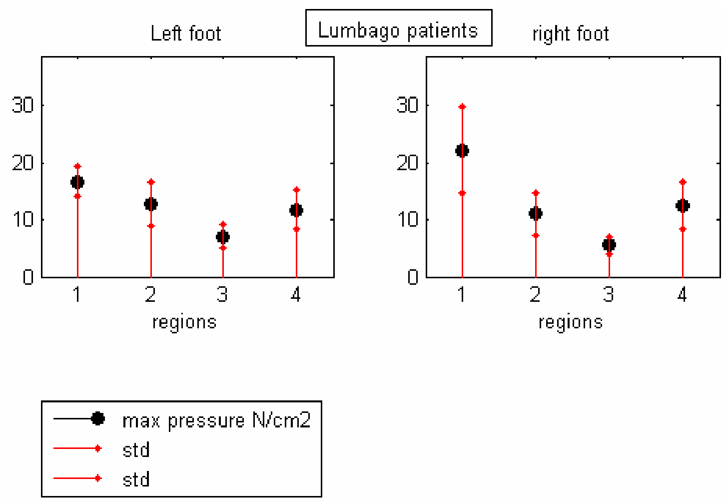
Εικόνα 58: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για κάθε ασθενή με οσφυαλγία κατά τη διάρκεια της βάδισης



Εικόνα 59: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για κάθε ασθενή με οσφυαλγία κατά τη διάρκεια της βάδισης



Εικόνα 60: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για όλους τους ασθενείς με οσφυαλγία κατά τη διάρκεια της βάδισης

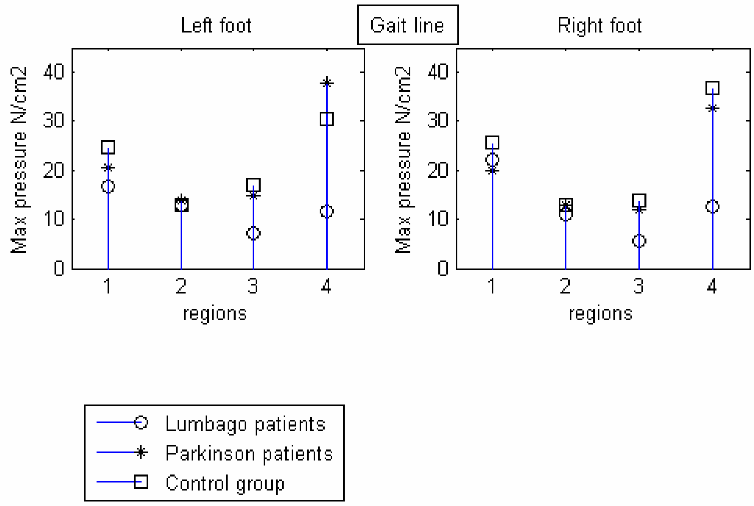


Εικόνα 61: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων για όλους τους ασθενείς με οσφυαλγία κατά τη διάρκεια της βάδισης

Όπως φαίνεται στις εικόνες 60 και 61 οι ασθενείς με οσφυαλγία ασκούν μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση στην περιοχή της πτέρνας και για τα δυο πόδια (3,37±1,48 N/cm^2 και 3,22±3,21 N/cm^2 για το αριστερό και το δεξί πόδι αντίστοιχα).Οι μέγιστες τιμές πελματιαίας πίεσης ασκούνται στην περιοχή της πτέρνας και για τα δυο πόδια (16,75±2,52 N/cm^2 και 22,18±7,58 N/cm^2 για το αριστερό και το δεξί πόδι αντίστοιχα). Οι ασθενείς με οσφυαλγία, εκτός του πρώτου ασθενή, παρουσίασαν διαφοροποιήσεις στην μέση πελματιαία πίεση ανάμεσα στο δεξί και το αριστερό πόδι. Ο ασθενής B ασκεί μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες της πτέρνας για το δεξί πόδι ενώ για το αριστερό πόδι η μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση ασκείται στην περιοχή του μέσου πέλματος. Οι ασθενείς C και D ασκούν μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες των μεταταρσίων για το δεξί πόδι ενώ για το αριστερό πόδι η μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση εμφανίστηκε στους κεντρικούς αισθητήρες της πτέρνας (Εικόνα 58). Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι συνέπεια της ασθένειας η οποία εκδηλώνεται με πόνο στο ένα από τα δυο άκρα συνήθως με αποτέλεσμα να μεταφέρεται λιγότερο βάρος στο ένα άκρο και κυρίως σε πλευρικές περιοχές.

5.4.4. Σύγκριση γραμμής βάδισης ανάμεσα στις τρεις ομάδες συμμετεχόντων

Όπως φαίνεται στην εικόνα 62 οι υγιείς συμμετέχοντες ασκούν κατά μέσο όρο μεγαλύτερες μέγιστες τιμές πελματιαίας πίεσης συγκριτικά με τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson και με τους ασθενείς με οσφυαλγία (Πίνακας 9) Μεταξύ των δυο άκρων για όλες τις ομάδες δεν υπήρχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις για την μέγιστη πελματιαία πίεση κατά τη διάρκεια της βάδισης. Για την ομάδα των ασθενών με τη νόσο Parkinson παρατηρείται διαφοροποίηση στις τιμές της μέγιστης πελματιαίας πίεσης στους κεντρικούς αισθητήρες όλων των περιοχών μεταξύ του αριστερού και του δεξιού ποδιού καθώς τείνουν να ασκούν μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις στο αριστερό πόδι (Εικόνα 62). Επίσης οι υγιείς συμμετέχοντες φαίνεται να ασκούν μεγαλύτερη μέγιστη πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες της περιοχής των μεταταρσίων 30,22±5,35 N/cm^2 για το αριστερό πόδι και 36,57±7,16 N/cm^2 για το δεξί πόδι.

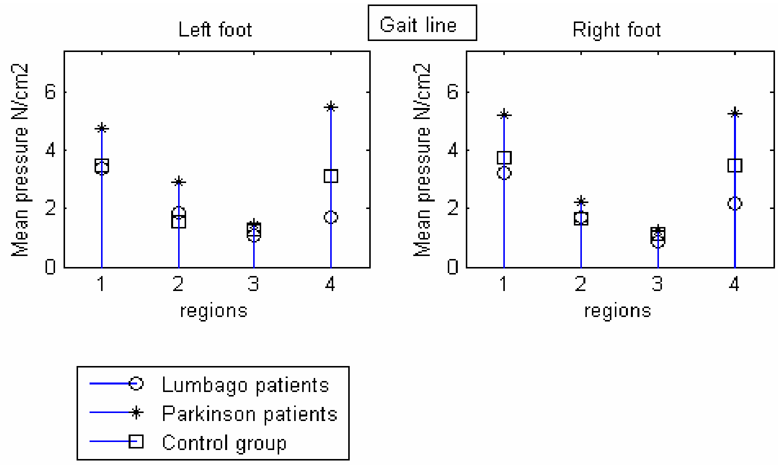


Εικόνα 62: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για όλους τους συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της βάδισης

Max Pressure N/cm^2±S.D			
	Heel	Mid foot	Metatarsals
	R1	R2 and R3	R4
		Left foot	
Control Group	24,67±3,65	12,85±2,31 17,06±5,32	30,22±5,35
Parkinson Patients	20,58±1,93	13,83±3,05 14,85±6,79	37,81±8,11
Lumbago Patients	16,75±2,52	12,75±3,82 7,14 ±2,17	11,75±3,41
		Right foot	
Control Group	24,71±3,63	12,85±2,23 13,91±3,01	36,57±7,16
Parkinson Patients	19,89±2,39	12,82±3,37 11,81±6,00	32,73±3,24
Lumbago Patients	22,18±7,58	11,22±3,79 5,52±1,59	12,54±4,02

Πίνακας 9: Μέγιστη πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για όλες τις ομάδες των συμμετεχόντων

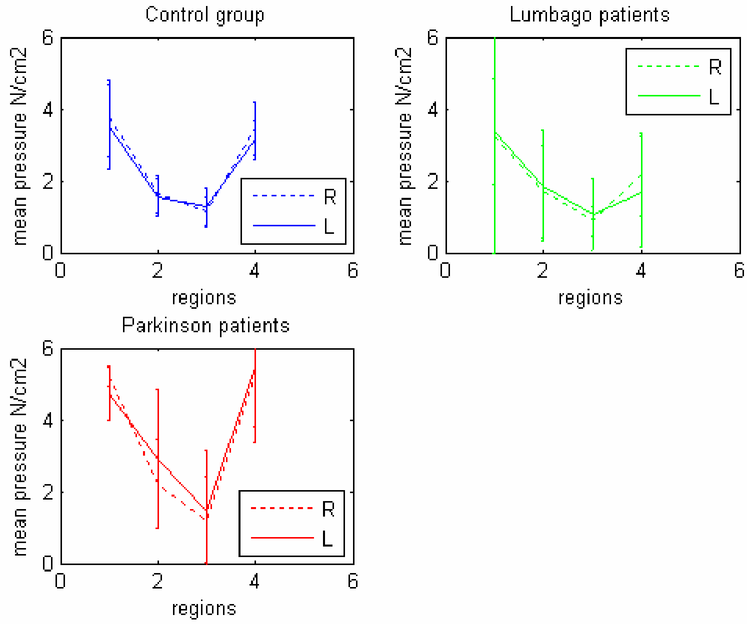
Οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson ασκούν κατά μέσο όρο μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση σε όλους τους κεντρικούς αισθητήρες. Οι διαφορές ανάμεσα στις ομάδες είναι πιο σημαντικές για τις περιοχές της πτέρνας και των μεταταρσίων (R1 και R4) καθώς οι ασθενείς με οσφυαλγία ασκούν τις μικρότερες πελματιαίες πιέσεις ενώ οι ασθενείς με Parkinson τις μεγαλύτερες. Για τις περιοχές του μέσου πέλματος (R2 και R3) οι τιμές της μέσης πελματιαίας πίεσης για όλες τις ομάδες είναι παρόμοιες (Εικόνα 63, Πίνακας 10).



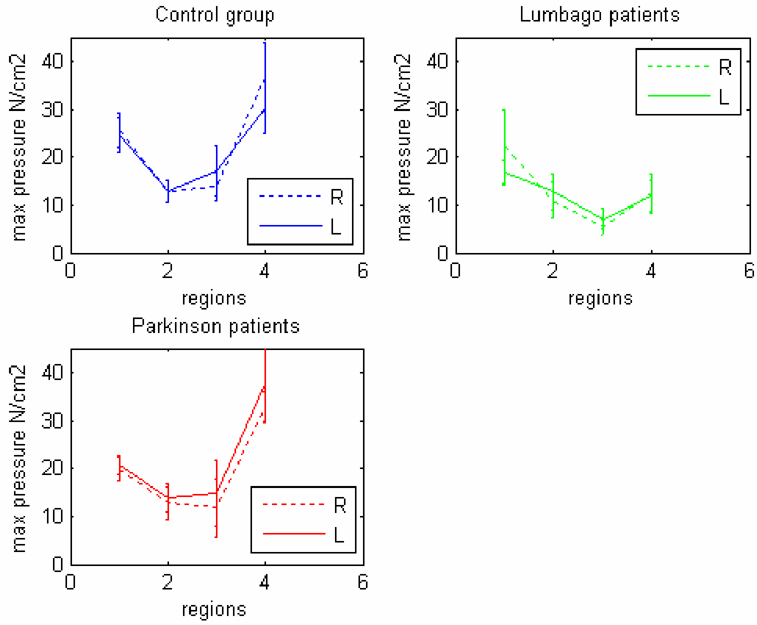
Εικόνα 63: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για όλους τους συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της βάδισης

Mean Pressure N/cm^2±S.D			
	Heel	Mid foot	Metatarsals
	R1	R2 and R3	R4
		Left foot	
Control Group	3,50±1,18	1,55±0,53 1,27±0,54	3,13±0,55
Parkinson Patients	4,73±0,74	2,89±1,93 1,44±1,69	5,47±1,66
Lumbago Patients	3,37±1,48	1,85±1,55 1,07 ±0,99	1,69±1,53
		Right foot	
Control Group	3,75±1,06	1,63±0,51 1,15±0,41	3,46±0,75
Parkinson Patients	5,22±0,27	2,20±1,20 1,21±1,18	5,23±1,85
Lumbago Patients	3,22±3,21	1,71±1,28 0,88±0,41	2,17±1,16

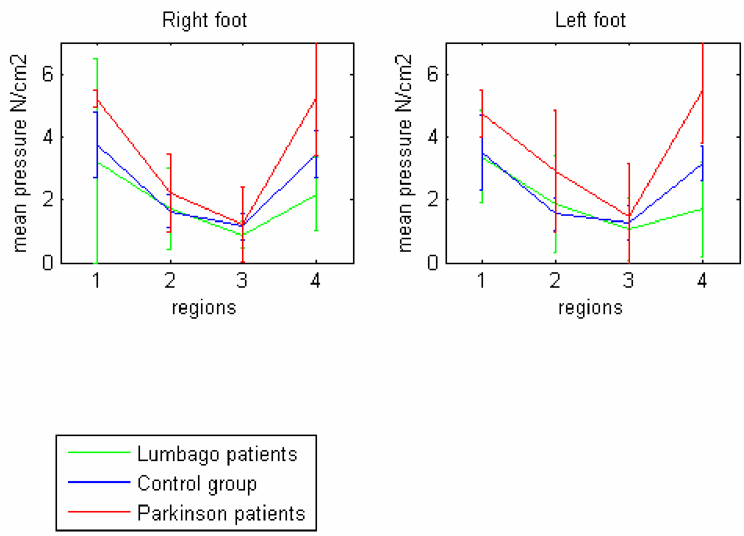
Πίνακας 10: Μέση πελματιαία πίεση και τυπική απόκλιση των κεντρικών αισθητήρων ανά περιοχή για όλες τις ομάδες των συμμετεχόντων



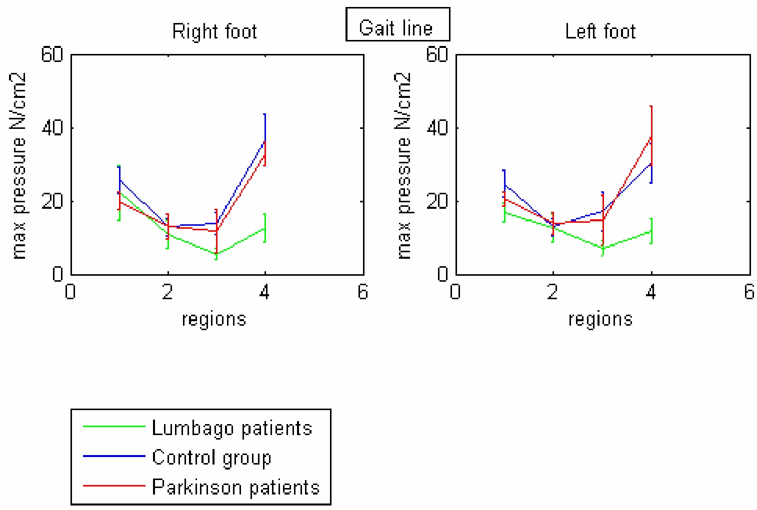
Εικόνα 64: Γραμμή βάσισης. Μέση πελματιαία πίεση για κάθε ομάδα συμμετεχόντων (R: δεξί πόδι, L: αριστερό πόδι)



Εικόνα 65: Γραμμή βάσισης. Μέγιστη πελματιαία πίεση για κάθε ομάδα συμμετεχόντων (R: δεξί πόδι, L: αριστερό πόδι)



Εικόνα 66: Γραμμή βάδισης. Μέση πελματιαία πίεση για όλους τους συμμετέχοντες για τους κεντρικούς αισθητήρες του δεξιού και του αριστερού ποδιού

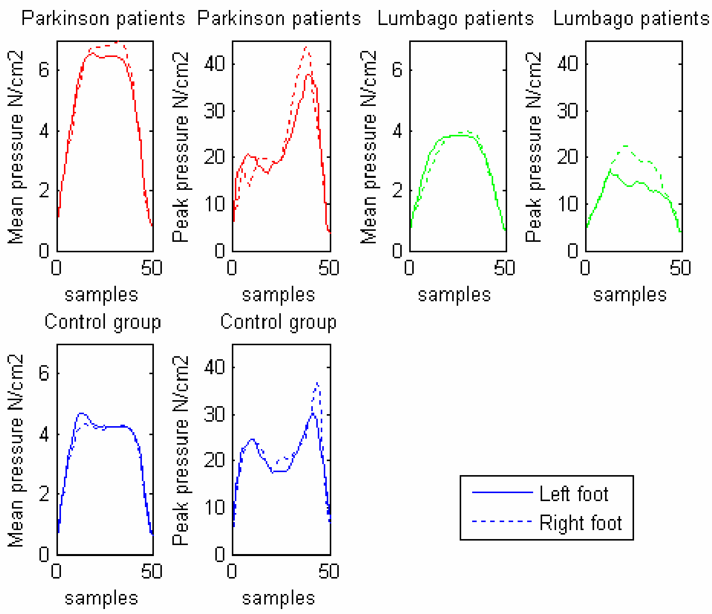


Εικόνα 67: Γραμμή βάδισης. Μέγιστη πελματιαία πίεση για όλους τους συμμετέχοντες για τους κεντρικούς αισθητήρες του δεξιού και του αριστερού ποδιού

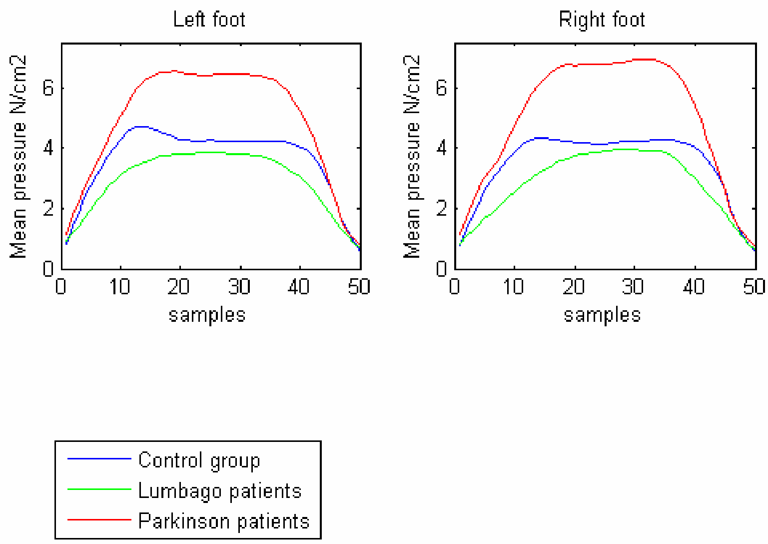
Όπως φαίνεται στις εικόνες 64-67 οι υγιείς συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της βάδισής τους παρουσιάζουν ομαλή μεταφορά του βάρους στους κεντρικούς αισθητήρες, καθώς εμφανίζουν μια γραμμή βάδισης η οποία ξεκινά από την περιοχή της πτέρνας και καταλήγει στα μετατάρσια στα ίδια επίπεδα τιμών. Οι ασθενείς με οσφυαλγία εμφανίζουν τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις τόσο για τη μέση όσο και τη μέγιστη πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες καθώς εμφανίζουν την τάση να ασκούν μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις στην περιοχή της πτέρνας χωρίς να διατηρούν ομαλή την πορεία της γραμμής βάδισης στις μπροστινές περιοχές του πέλματος. Οι ασθενείς με τη νόσο Parkinson, κυρίως από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη μέγιστη πελματιαία πίεση της γραμμής βάδισης, φαίνεται να επιβεβαιώνουν την τάση να ασκούν μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις στην περιοχή των μεταταρσίων.

5.4.5. Γραμμή βάδισης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης

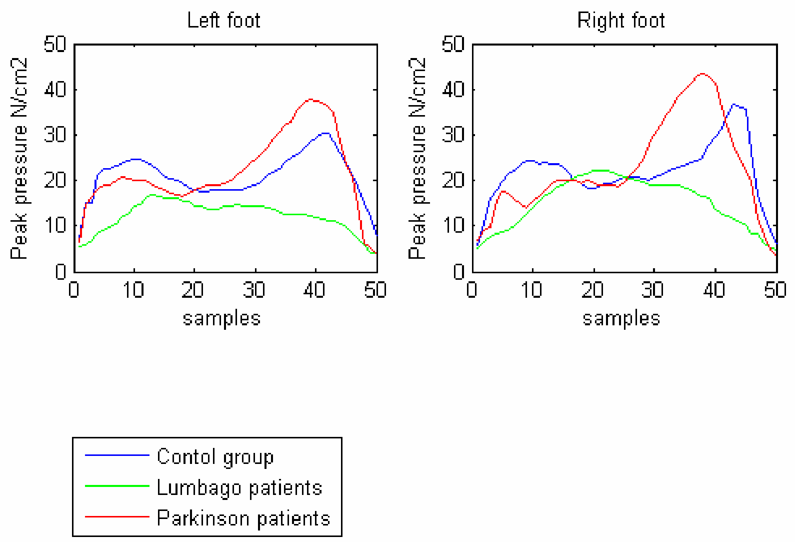
Η Peak Pressure Curve και η Mean Pressure Curve για κάθε ομάδα προέκυψε από τον μέσο όρο των αντίστοιχων καμπύλων όλων των συμμετεχόντων ανά ομάδα (Εικόνες 68-70). Οι καμπύλες της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης στους κεντρικούς αισθητήρες κάθε συμμετέχοντα προέκυψαν από την γραμμική ένωση των τιμών της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης σε κάθε χρονική στιγμή της φάσης στήριξης για κάθε βήμα. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης στους κεντρικούς αισθητήρες ανάμεσα στις ομάδες είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της αντίστοιχης σύγκρισης για όλους τους αισθητήρες. Οι ασθενείς με Parkinson ασκούν τις μεγαλύτερες τιμές πελματιαίας πίεσης σε σχέση με τις άλλες δυο ομάδες και εμφανίζουν τις μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις στην περιοχή των μεταταρσίων. Χαρακτηριστικό των καμπύλων της μέγιστης πελματιαίας πίεσης για την ομάδα των ασθενών με Parkinson είναι η μειωμένη πρόσκρουση στην περιοχή της πτέρνας. Οι ασθενείς με οσφυαλγία φαίνεται ότι χρησιμοποιούν όλο το πέλμα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μια μόνο κορυφή και στις δυο καμπύλες κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης. Οι υγιείς συμμετέχοντες, όπως προέκυψε και από την μελέτη της μέγιστης πελματιαίας πίεσης σε όλο το πέλμα κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης, μεταφέρουν σταδιακά το βάρος τους από την περιοχή της πτέρνας στο μέσο πέλμα και τέλος στην περιοχή των μεταταρσίων. Ασυμμετρίες της μέγιστης πελματιαίας πίεσης ανάμεσα στα δυο άκρα εμφανίστηκαν και για τρεις ομάδες συμμετεχόντων (Εικόνα 68).



Εικόνα 68: Σύγκριση της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης ανάμεσα στις ομάδες κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης



Εικόνα 69: Μέση πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης για όλες τις ομάδες συμμετεχόντων



Εικόνα 70: Μέγιστη πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης για όλες τις ομάδες συμμετεχόντων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα και περαιτέρω εργασία

6.1.Συμπεράσματα

Από την μελέτη της συνολικής διάρκειας του κύκλου βάδισης και μεμονωμένα των δυο φάσεων του κύκλου, της φάσης αιώρησης και της φάσης στήριξης, για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων διαπιστώσαμε ότι οι ασθενείς με οσφυαλγία πραγματοποιούν τον πιο παρατεταμένο κύκλο βάδισης (1,94±0,06 sec και 1,96±0,07 sec για το δεξί και το αριστερό πόδι αντίστοιχα). Η διάρκεια του κύκλου βάδισης για τους ασθενείς με Parkinson ήταν επίσης, αρκετά μεγάλη σε σχέση με την μέση διάρκεια του κύκλου για τους υγιείς. Η διαφοροποίηση ανάμεσα στους ασθενείς με Parkinson και οσφυαλγία όσον αφορά στη διάρκεια της φάσης στήριξης και αιώρησης έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη ομάδα τείνει να καταναλώνει περισσότερο χρόνο στην φάση στήριξης κατά τη διάρκεια της βάδισης, συγκριτικά με τους ασθενείς με οσφυαλγία, οι οποίοι παρά το γεγονός ότι εμφανίζουν τον μεγαλύτερο κύκλο βάδισης τείνουν να διατηρούν το πρότυπο του J. Perry για την διάρκεια των δυο φάσεων (φάση στήριξης: 60% της διάρκειας του κύκλου βάδισης και η φάση αιώρησης: 40% της διάρκειας του κύκλου βάδισης). Τα αποτελέσματα όσον αφορά στη διάρκεια του κύκλου βάδισης των ασθενών με Parkinson ήταν αναμενόμενα καθώς η μεγάλη διάρκεια του κύκλου είναι χαρακτηριστική για την συγκεκριμένη παθολογία. Επίσης η μεγάλη διάρκεια της φάσης στήριξης σε σχέση με τους υγιείς συμμετέχοντες (1,23 ±0,39 sec έναντι 0,89±0,04 sec για το δεξί πόδι και 1,20 ±0,05 sec έναντι 0,86±0,06 sec για το αριστερό πόδι) είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Maurizio Ferrarin et al. [37] καθώς η φάση στήριξης για τους ασθενείς διαρκούσε περισσότερο συγκριτικά με τους υγιείς. Η βραδύτητα της κίνησης των ασθενών και η παρατεταμένη προετοιμασία της βάδισης είναι λογικό να οδηγούν σε επιβράδυνση όλων των διαδοχικών επαναληπτικών κινήσεων που αποτελούν τη βάδιση. Η μικρή διάρκεια της φάσης αιώρησης, για τους ασθενείς με Parkinson, δικαιολογείται από την ανικανότητα των ασθενών να αφήνουν το έδαφος κατά τη βάδιση με αποτέλεσμα τα πόδια τους να σέρνονται. Οι περιπτώσεις οσφυαλγίας που μελετήθηκαν οφείλονταν όλες σε δισκοκήλη η οποία εμφανίζει νευρολογική συμπτωματολογία και μυϊκή αδυναμία των κάτω άκρων.

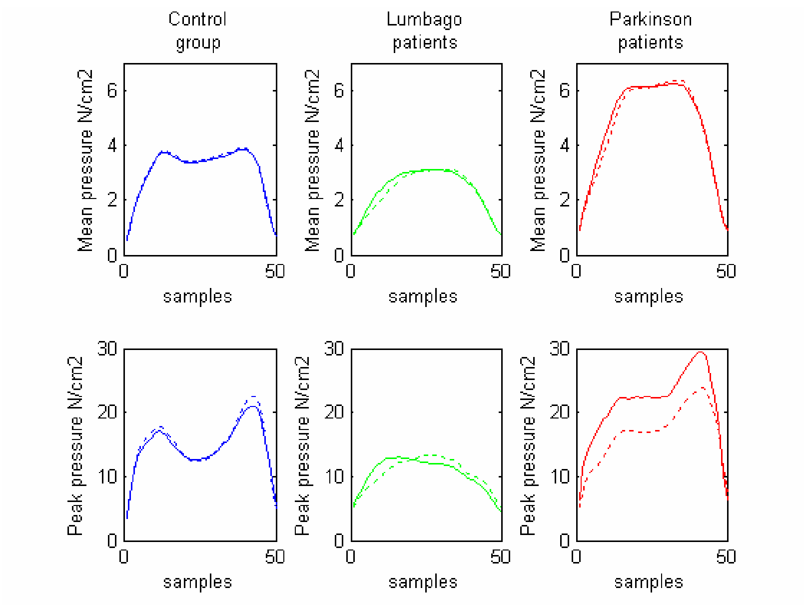
Για καμία από τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων δεν διαπιστώθηκε ασυμμετρία της διάρκειας του κύκλου βάδισης ανάμεσα στο αριστερό και το δεξί πόδι. Το παραπάνω αποτέλεσμα δεν ήταν αναμενόμενο για τους ασθενείς με Parkinson καθώς η ασθένεια εκδηλώνεται συνήθως στη μια μόνο πλευρά του σώματος. Ένας παράγοντας που ενδεχομένως να επηρέασε τα αποτελέσματα είναι ο μικρός αριθμός των δειγμάτων, τρεις ασθενείς, και το γεγονός ότι μόνο ο ένας από τους τρεις ασθενείς εμφάνιζε το χαρακτηριστικό τρέμουλο της νόσου. Ασυμμετρία για τις φάσεις στήριξης και αιώρησης ανάμεσα στα δυο άκρα δεν διαπιστώθηκε για καμία ομάδα με εξαίρεση την ασυμμετρία της φάσης αιώρησης των ασθενών με Parkinson (S.I.=18%). Η ασυμμετρία του χρόνου της φάσης αιώρησης για τους ασθενείς με τη νόσο Parkinson ανάμεσα στο δεξί και το αριστερό πόδι αποτελεί σύμπτωμα μιας πιθανής ακινησίας και δεν παρατηρείται γενικά σε όλους τους ασθενείς που παρουσιάζουν τον τυπικό βηματισμό της νόσου [38]. Ασυμμετρία της μέσης πελματιαίας πίεσης διαπιστώθηκε ότι υπάρχει για όλες τις ομάδες συμμετεχόντων. Η ομάδα των υγιών συμμετεχόντων εμφάνισε ασυμμετρία μόνο στην περιοχή των δακτύλων (S.I.=18%) κάτι που ενδεχομένως να οφείλεται στον τρόπο υπολογισμού του δείκτη συμμετρίας από το μέσο όρο όλων των συμμετεχόντων για όλα τα βήματα. Η μεγαλύτερη ασυμμετρία (S.I.=23%) για την συγκεκριμένη περιοχή εμφανίστηκε από τους ασθενείς με Parkinson. Επίσης η μεγάλη απόκλιση της μέσης πελματιαίας πίεσης στην περιοχή των δακτύλων για τους ασθενείς με Parkinson μπορεί να δικαιολογηθεί από τον χαρακτηριστικό ασταθή βηματισμό τους με μια τάση μεταφοράς του βάρους στις εμπρόσθιες περιοχές του πέλματος.

Από την ανάλυση της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης για τις πέντε περιοχές του πέλματος (R1 πτέρνα, R2 και R3 μέσο πέλμα, R4 μετατάρσια και R5 δάκτυλα) διαπιστώσαμε ότι ασθενείς με Parkinson ασκούν κατά μέσο όρο μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση σε όλες τις περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα. Οι ασθενείς με οσφυαλγία τείνουν να ασκούν τις μικρότερες πελματιαίες πιέσεις σε όλες τις περιοχές και χαρακτηριστικό της βάδισης τους φαίνεται να είναι οι μικρές πελματιαίες πιέσεις στις μπροστινές περιοχές του πέλματος. Το παραπάνω αποτέλεσμα οφείλεται στο γεγονός ότι μια κήλη δίσκου O_5I_1 η οποία ασκεί έντονη και παρατεταμένη πίεση στην O_5 ρίζα μπορεί να προκαλέσει πάρεση των προσθίων κνημιαίων και περονιαίων μυών με αποτέλεσμα την πτώση του σύστοιχου άκρου ποδός. Σαν αποτέλεσμα ο ασθενής είναι πιθανό να παρουσιάσει δίκροτο βάδισμα που σημαίνει μεγαλύτερη πελματιαία πίεση στην περιοχή της πτέρνας.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης της μέγιστης πελματιαίας πίεσης των τριών ομάδων στις πέντε περιοχές ήταν λίγο διαφορετικά σε σχέση με την μέση πελματιαία πίεση καθώς φαίνεται ότι στο μέσο πέλμα οι μέγιστες πελματιαίες πιέσεις ασκούνται από τους υγιείς συμμετέχοντες. Το παραπάνω αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο καθώς οι ηλικιωμένοι (ασθενείς με τη νόσο Parkinson, μέση ηλικία 75±6) τείνουν να ασκούν μειωμένη πελματιαία πίεση και δύναμη στις μεσαίες περιοχές του ποδιού, όταν ακουμπά η πτέρνα το έδαφος και όταν τα μπροστινά δάχτυλα αφήνουν το έδαφος [8].

Η σύγκριση της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης στις δέκα περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε η πατούσα, χωρίς την επίδραση των κεντρικών αισθητήρων στις πέντε περιοχές, έδειξε ότι οι υγιείς συμμετέχοντες ασκούν μεγαλύτερη μέση και μέγιστη πελματιαία πίεση σε όλες τις περιοχές με εξαίρεση την περιοχή των δακτύλων (R9) για το αριστερό πόδι όπου οι μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις ασκούνται από τους ασθενείς με Parkinson και την περιοχή του μέσου πέλματος (R3) όπου οι ασθενείς με οσφυαλγία ασκούν τις μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις.

Οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις τρεις ομάδες προέκυψαν από την σύγκριση της καμπύλης της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης. Όλοι οι υγιείς συμμετέχοντες τόσο για την μέση όσο και την μέγιστη πελματιαία παρουσιάζουν την τυπική M καμπύλη (J. Perry 1992) όπως φαίνεται στην εικόνα 68. Η τυπική M σχήματος καμπύλη οφείλεται στην διαδικασία που ακολουθείται στη φυσιολογική βάδιση, κατά την οποία η πτέρνα πρώτα χτυπάει το έδαφος και ακολουθείται από το μέσο πέλμα και την εμπρόσθια περιοχή του πέλματος. Η ταξινόμηση των ασθενών θα μπορούσε να γίνει με βάση το σχήμα των καμπύλων της μέγιστης πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης καθώς φαίνεται ότι το σχήμα τους σχετίζεται άμεσα με την παθολογία που μελετάται (Εικόνα 71).



Εικόνα 71: Καμπύλες της μέσης και της μέγιστης πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης για κάθε ομάδα συμμετεχόντων. Η διακεκομμένη γραμμή σε όλες τις καμπύλες αντιστοιχεί στο δεξί πόδι και η συνεχής στο αριστερό πόδι

Από την ανάλυση της μέγιστης πελματιαίας πίεσης κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης διαπιστώσαμε ότι χαρακτηριστικό της φάσης στήριξης των ασθενών με τη νόσο Parkinson είναι η έντονα μειωμένη πρόσκρουση στην περιοχή της πτέρνας. Οι ασθενείς ασκούν μεγάλες πιέσεις στις μπροστινές περιοχές του πέλματος κάτι που ενδεχομένως να οφείλεται στην ανάπτυξη τεχνικών προκειμένου να διατηρήσουν την ισορροπία τους κατά τη βάδιση. Ακόμα η στάση του σώματος τους (κλίση προς τα εμπρός) κατά τη διάρκεια της βάδισης συμβάλλει στην ανάπτυξη μεγαλύτερων πελματιαίων πιέσεων στις μπροστινές περιοχές του πέλματος.

Οι ασθενείς με οσφυαλγία κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης τείνουν να κτυπούν το έδαφος με ολόκληρο το πόδι σε αντίθεση με τη συνολική βάδιση όπου φαίνεται ότι ασκείται μεγαλύτερη μέση και μέγιστη πελματιαία πίεση στην περιοχή της πτέρνας. Οι μύες που υπόκεινται πάρεση (πρόσθιος κνημιαίος, μακρός περονιαίος μυς και βραχύς περονιαίος μυς) σχετίζονται με ενέργειες οι οποίες κάμπτουν τα μετατάρσια και διατηρούν την ποδική καμάρα σε εγκάρσια φορά. Σαν συνέπεια είναι αναμενόμενο οι ασθενείς να παρουσιάζουν μια φάση στήριξης η οποία εκδηλώνεται συγχρόνως σε όλο το πέλμα και όχι σταδιακά, με μεταφορά του βάρους από την πτέρνα στο μέσο πέλμα και τέλος στα δάκτυλα όπως ισχύει για τους υγιείς.

Από τη σύγκριση της μέσης πελματιαίας πίεσης στους κεντρικούς αισθητήρες ανά περιοχή, διαπιστώσαμε ότι οι ασθενείς με Parkinson ασκούν σε όλες τις περιοχές την μεγαλύτερη μέση πελματιαία πίεση και για τα δυο πόδια. Το παραπάνω δικαιολογείται από την τάση των ασθενών να περπατούν περισσότερο προς το κέντρο και να μεταφέρουν περισσότερο βάρος στις μπροστινές περιοχές [39]. Οι ασθενείς με οσφυαλγία ασκούν μεγαλύτερες πελματιαίες πιέσεις στους κεντρικούς αισθητήρες στην περιοχή της πτέρνας. Ανάμεσα στους ασθενείς με οσφυαλγία και στους υγιείς συμμετέχοντες δεν παρατηρήσαμε σημαντικές διαφορές για την μέση πελματιαία πίεση στους κεντρικούς αισθητήρες των περιοχών της πτέρνας και του μέσου πέλματος, οι σημαντικότερες διαφορές εντοπίστηκαν για την περιοχή των μεταταρσίων όπου οι ασθενείς με οσφυαλγία ασκούν μικρότερες πελματιαίες πιέσεις.

6.2.Περαιτέρω εργασία

Η περαιτέρω μελέτη των χαρακτηριστικών της βάδισης που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης, για παράδειγμα του χρόνου που το βάρος παραμένει σε συγκεκριμένες περιοχές του πέλματος, θα μπορούσε να δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το πρότυπο βάδισης τόσο των υγιών όσο και των ασθενών. Η ανάλυση της πελματιαίας πίεσης σε περισσότερα άτομα και σε περισσότερες παθολογίες θα ήταν χρήσιμη προκειμένου να καθοριστεί ένας γενικός μηχανισμός βάδισης που αναπτύσσει κάθε ομάδα.

<u>Βιβλιογραφία</u>

[1] D.Rosenbaum, H. P. Becker. Plantar pressure distribution measurement. Technical background and clinical applications. Foot and ankle Surgery, volume 3, Issue 1, 1997, pages 1-14.

[2] Richard J. Bogdan. Methods for assessing stress under the pathological forefoot. Chapter 35.

[3] Thomas E. Lyons, Barry I. Rosenblum, A. Veves. Foot pressure abnormalities in the diabetic foot. The diabetic foot, Second edition.

[4] L. Wolfe, RM Stess, PM Graf. Dynamic pressure analysis of the diabetic Charcot foot. Journal of the american podiatric medical association, Vol. 81, Issue 6, pages: 281-287.

[5] C.S. Nicolopoulos, E.G. Anderson, S.E. Solomonidis, P.V. Giannoudis. Evaluation of the gait analysis FSCAN pressure system: clinical tool or a toy? The Foot, Volume 10, Issue 3, 200, pages: 124-130.

[6] M.n. Orlin, T.G. McPoil. Plantar pressure assessment. Physical therapy, volme 80, Number 4, 200, pages:399-409.

[7] Cavanagh P.R, Sims D.S, Sanders L.J. Body mass is a poor predictor of plantar pressure in diabetic men. Diabetes Care, 1991,Vol 14, Issue 8, pages:750-755

[8] Mary Josephine, Mitul Vtas, Jason Leach, Kun Hu and Vera Novak. Foot pressure distribution during walking in young and old adults. BMC Geniatrics 2005, 5:8 doi:10.1186/1471-2318-5-8.

[9] Henning E.M.. Gender differences for running in athletic footwear.

[10] DJ Fernando, EA Masson, A Veves and AJ Boulton. Relationship of limited joint mobility to abnormal foot pressures and diabetic foot ulceration**.** Diabetes care,Vol 14, Issue 1 8-11,1991.

[11] M. Burnfield, Courtney D. Few , Olfat S. Mohamed b, Jacquelin Perry. The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults. Clinical Biomechanics.2004,19(1), pages:78-84.

[12] Gordon L. Warren, Ruth M. Maher, Elizabeth J. Higbie.Temporal patterns of plantar pressures and lower-leg muscle activity during walking: effect of speed. Gait and posture, Volume 19, Issue 1,pages:91-100.

[13] Lee Yung-Hui, Hong Wei-Hsien.Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force and perceived comfort during walking.Applied ergonomics 36, 2005, pages:355-362.

[14] Sarnow MR, Veves A, Giurini JM. In-shoe foot pressure measurements in diabetic patients with at-risk feet and in healthy subjects. Diabetes Care,1994, Vol 17, Issue 9, pages: 1002-1006

[15] Kastenbauer T, Sokol G, Auiuger M., Irsiqler K. Running shoes for relief of plantar pressure in diabetic patients. Diabetic Medicine, 1998, 15 (6), pages:518-522.

[16] Sicco A. Bus, Antony de Lange.A comparison of the 1-step, 2-step, and 3-step protocols for obtaining barefoot plantar pressure data in the diabetic neuropathic foot. Clinical Biomechanics, Volume 20, Issue 9, pages 892-899.

[17] C.H.M. van Schie, A. J. M. Boulton. Biomechanics of the Diabetic Foot. The road to foot ulceration. The diabetic foot, second edition, 2007, pages: 185-200.

[18] Cavanagh PR, Ulbert JS, Caputo GM. New developments in the biomechanics of the diabetic foot. International symposium on the diabetic foot, 2000, volume 16, pages: S6-S10.

[19] Veves A, Murray HJ, Young MJ, Boulton AJM.The risk of foot ulceration in diabetic patients with high foot pressure. Diabetologia,1992, 35, pages: 660-663.

[20] Robert G. Frykberg, Thomas Zgonis, David G. Armstrong, Vickie R. Driver, John M. Giurini, Steven R. Kravitz, Adam S. Landsman, DPM, Lawrence A. Lavery, J. Christopher Moore, John M. Schuberth, Dane K. Wukich, Charles Andersen, John V. Vanore. Diabetic foot disorders: a clinical guideline. The journal of foot and ankle surgery.

[21] Barnett S. International protocol guidelines for plantar pressure measurement. Diabetic Foot, 1998, 1(1), pages:137-140

[22] S.Lundeen, K.Lundquist, M.W. Cornwall, T.G. McPoil, Plantar pressures during level walking compared with other ambulatory activities. Foot and ankle international,1994, 15 (6), pages: 324-328.

[23] P.R Cavanagh, G.G Simoneau, J.S Ulbrect. Ulceration, unsteadiness and ancertainity: the biomechanical consequences of diabetes mellitus. Journal of biomechanics,1993,26, pages: 23-40.

[24] C. Giacomozzi, F. Martelli. Peak pressure curve: An effective parameter for early detection of foot functional impairments in diabetic patients. Gait and posture, Volume 23, Issue 4, pages: 464-470.

[25] M. Schenkman, TM Cutson, M Kuchibhatla, J Chandler, and C Pieper. Reliability of impairment and physical performance measures for persons with Parkinson's disease. Physical Therapy, Volume 77, No.1,1997, pages: 19-27.
[26] Yasuyuki Okuma. Freezing of gait in parkinson’s disease. J. Neurol ,2006 , pages: 27-32.
[27] Nieuwboer A, De Weerdt W, Dom R, Peeraer L, Lesaffre E, Hilde F. Plantar force distribution in Parkinsonian gait: a comparison between patients and age matched control subjects. Journal of Rehabilation Medicine, Volume 31, Issue 3, pages: 185-192
[28] Hughes JR, Bowes SG, Leeman AL, O Neil CJ, Deshmukh AA, Nicholson PW. Parkinsonian abnormality of foot strike: a phenomenon of ageing and/or one responsive to levodopa therapy? Br.J.clin.Pharmac.1990, 29, pages: 179-186.
[29] J. Perry. Normal and Pathological function.
[30] L. Rocchi, L. Chiari, F. B. Horak.Effects of deep brain stimulation and levodopa on postural sway in Parkinson's disease. J. Neurol Neurosurg Psychiatry 2002, 73, pages: 267-274.
[31] Meg E. Morris , Jennifer McGinley, Frances Huxham, Janice Collier, Robert Iansek. Constraints on the kinetic, kinematic and spatiotemporal parameters of gait in Parkinson's disease. Human Movement Science 18 (1999), pages: 461-483
[32] Herzog, W., Benno, M., Nigg, B.N., Read, L.J., & Olsson, E. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1989 21 (1) pages:110-114.
[33] Giakas G, Baltzopoulos V. Time and frequency domain analysis of ground reaction forces during walking: an investigation of variability and symmetry. Gait Posture 1997, 5, pages:189–97
[34] Lord M, Reynolds DP, Hughes JR. Foot pressure measurement: a review of clinical findings. J Biomed Eng 1986, 8, pages: 283–94.
[35] J.Stebbins, M. Harrington, C. Giacomozzi, N. Thompson, A. Zavatsky, T. Theologis. Assessment of sub division of plantar pressure in children. Gait & Posture, Volume 22, Issue 4, Pages 372-376
[36] J.M.Hausdorff, M.E.Cudkowicz, R.Firtion, J.Y.Wei, AL. Goldberger. Gait variability and basal ganglia disorders :stride to stride variations of gait cycle timing in Parkinson’s disease and Huntington’s disease. Movement Disord.1998, 13, pages: 428-437.

[37] Maurizio Ferrarin, L. Lopiano, M. Rizonne, M.Lanotte, B. Bergamasco, M. Recalcati, A. Pedotti. Quantative analysis of gait in Parkison's disease: a pilot study on the effects of bialateral sub-thalamic stimulation. Gait and Posture 16, 2002, pages: 135-148.

[38] Nir Giladi. Freezing of gait: Risk factors and clinical characteristics. Parknsonism and related Disorders, 2006, S52.

[39] Stefan Kimmeskamp, Ewald M. Henning. Heel to toe characteristics in Parkinson patients during free walking.Clinical Biomechanics,Volume 16, Issue 9, pages:806-812.