



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών

& Φυσικών Επιστημών – Τομέας Μηχανικής

Διπλωματική εργασία:

**Εμβιομηχανική συμπεριφορά του
πρώτου μετατάρσιου του άκρου ποδός**

Φοιτήτρια: Μπλετσογιάννη Ελευθερία

Επιβλέπων: Δρ. Σταύρος Κουρκουλής, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μηχανικής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών
& Φυσικών Επιστημών – Τομέας Μηχανικής**

Διπλωματική εργασία:

**Εμβιομηχανική συμπεριφορά του πρώτου
μετατάρσιου του άκρου ποδός**

Φοιτήτρια: Μπλετσογιάννη Ελευθερία

**Επιβλέπων: Δρ. Σταύρος Κουρκουλής, Αναπληρωτής Καθηγητής
Μηχανικής Ε.Μ.Π**

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

Αθήνα, Νοέμβριος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο « Εμβιομηχανική συμπεριφορά πρώτου μετατάρσιου του άκρου ποδός », εκπονήθηκε την περίοδο 2010-2011 στη μονάδα Εμβιομηχανικής του τομέα μηχανικής του ΕΜΠ. Σκοπός της πραγματοποίησής της ήταν η ολοκλήρωση των σπουδών μου και η απόκτηση του πτυχίου μου από τη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών (ΣΕΜΦΕ) του ΕΜΠ. Αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης έρευνας της συμπεριφοράς του βλαισού μέγα δακτύλου και της αποτελεσματικότερης διόρθωσής του. Η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την συμβολή κάποιων προσώπων. Έτσι, από αυτή τη θέση, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Σταύρο Κουρκουλή, Αναπληρωτή Καθηγητή Μηχανικής του ΕΜΠ, επιβλέποντα της διπλωματικής αυτής εργασίας για τη συστηματική καθοδήγησή του και τη συνεισφορά των επιστημονικών γνώσεων του. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η συνεισφορά του υποψήφιου διδάκτορα Ηλία Θεοδοράκου καθώς με την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης του πρώτου μετατάρσιου πετύχαμε μια βαθύτερη κατανόηση και μελέτη του προβλήματος του hallux valgus. Θα ήθελα, επιπλέον, να ευχαριστήσω το Δρ. Θάνο Μητουςούδη για τις συμβουλές του και την βοήθειά του κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας καθώς και όσους βοήθησαν με τον τρόπο τους χωρίς να το γνωρίζουν...

Τέλος, ίσως ένα « ευχαριστώ » δεν είναι αρκετό για να ανταποδώσω στους γονείς και στην αδερφή μου την υποστήριξη που μου δίνουν πάντα για να προχωράω μπροστά...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία θα επικενρωθούμε στη συσχέτιση της Εμβιομηχανικής με τον τομέα της Ποδολογίας με σκοπό να μελετήσουμε τη συνεισφορά της πρώτης στην αντιμετώπιση του προβλήματος του βλαισού μέγα δακτύλου.

Αρχικά, γίνεται εκτενής περιγραφή της ανατομίας του άκρου πόδος η οποία περιλαμβάνει ανάλυση των οστών, των διαρθρώσεων, των κινήσεων και της γενικότερης μορφολογίας του.

Στη συνέχεια μελετάται η εμβιομηχανική συμπεριφορά του άκρου πόδος με ανάλυση της κινηματικής του πέλματος, του κύκλου βάδισης, των κινήσεων των δακτύλων και της μυϊκής δραστηριότητας.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο πρόβλημα του βλαισού μέγα δακτύλου (hallux valgus). Πιο συγκεκριμένα αναλύεται η προβληματική θέση του μεγάλου δακτύλου και η λανθασμένη λειτουργία του. Αναφέρεται η συσχέτιση υγιούς πόδος με πόδι με hallux valgus καθώς και οι παράγοντες που οδηγούν στη εμφάνιση του προβλήματος.

Σαν λύση του προβλήματος του hallux valgus περιγράφονται διάφορες χειρουργικές τεχνικές ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην κλασική μέθοδο Ludloff καθώς και στην τροποποιημένη από τον Stamatis et al. τεχνική Ludloff, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην πειραματική μελέτη.

Στη βάση επεξεργασίας των παραπάνω χειρουργικών τεχνικών περιγράφεται η πειραματική διαδικασία καταπόνησης προσομοιώματων μεγάλου δακτύλου που έχουν ‘χειρουργηθεί’ από εξειδικευμένο ορθοπαιδικό. Υπάρχει λεπτομερής καταγραφή των αποτελεσμάτων μηχανικής καταπόνησης των δύο ομάδων προσομοιωμάτων . Στόχος της μελέτης των εν λόγω αποτελεσμάτων είναι η διερεύνηση της καλύτερης μεθόδου και των καλύτερων συνθηκών χειρουργικής τεχνικής .

Στο τελευταίο κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καθώς και τα γενικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

ABSTRACT

The focus of the present study is the connection between Biomechanics and Podology. The purpose is to find the way that the science of Biomechanics contributes to the solution of the problem of hallux valgus.

Firstly, there is given an extended description of the anatomy of foot by naming the bones, the joints and their movements.

Furthermore, there is paid attention to the biomechanical attitude of foot. This section of the study is based on the analysis of the kinematics of foot, gait cycle, movement of the big and lesser toes and to muscular activity during gait.

The 3rd chapter of this study is an entrance to the problem of hallux abducto valgus. More specifically, there is an analysis of the new problematic position of the big toe and a detailed explanation of its wrong attitude. There is paid attention to the correlation between normal foot and foot with the problem of hallux valgus and to the factors that lead to the appearance of the problem.

A solution to the hallux valgus problem is surgical operation. There are described some of the most common and effective surgical techniques. Classical Ludloff's technique and Ludloff's modified by Stamatis et al. technique, are used in the experimental procedure.

In the next pages you will find step by step the load procedure of big toe's models. The models mentioned above, have been constructed in

order to simulate the exact properties of real human hallux. Two groups of these models have been 'operated' by specialized orthopedic according to classical Ludloff's technique and modified Ludloff's technique in order to examine which version leads to more satisfactory results.

Finally, there is analysis of all results of the experimental procession and the general study.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Περιγραφή Άκρου	
Ποδός.....	7
1.1 Ανατομία Άκρου	
Ποδός.....	9
1.2 Διαρθρώσεις και Σύνδεσμοι	15
1.2.1 Οι Αρθρώσεις.....	15
1.2.2 Σύνδεσμοι της Ποδοκνημικής.....	16
1.3 Οι Κινήσεις στις Διαρθρώσεις	18
1.3.1 Κινήσεις στην Ποδοκνημική Διάρθρωση.....	18
1.3.2 Κινήσεις της Ποδοκνημικής, της Υπαστραγαλικής και της Αστραγαλοπτεροσκαφοειδούς Διάρθρωσης.....	20
1.4 Σύνδεσμοι των Αρθρώσεων	22

1.5 Μορφολογία και λειτουργία του Σκελετού.....	24
1.5.1 Δομή Σκελετού Άκρου Ποδός.....	24
1.5.2 Ποδική Καμάρα.....	27
1.6 Σχήματα και θέσεις του ποδιού.....	31
Κεφάλαιο 2: Εμβιομηχανική Άκρου Ποδός.....	35
2.1 Η Ανάπτυξη του Άκρου Ποδός.....	37
2.2 Η Κινηματική του Πέλματος.....	41
2.2.1 Εισαγωγή.....	41
2.2.2 Κύκλος Βάδισης	43
2.2.3 Η Μυϊκή Δραστηριότητα κατά τη Βάδιση.....	46
2.3 Κινήσεις των οστών του ταρσού- Ταρσικής- Ταρσομετατάρσιων και Μεσοτάρσιων Διαρθρώσεων.....	48

2.3.1 Κινήσεις Ποδοκνημικής Διάρθρωσης.....	48
2.3.2 Εγκάρσια Κίνηση Ταρσικής Άρθρωσης.....	51
2.3.3. Κινήσεις στις Ταρσομετατάρσιες και Μεσοτάρσιες Διαρθρώσεις.....	53
2.3.4 Κινήσεις των Δακτύλων του Άκρου Ποδός.....	55
2.3.5 Η Κίνηση της Καμάρας.....	57
2.3.6 Μυϊκή Δραστηριότητα στο Άκρο Πόδι.....	59
2.4 Κατανομή Δυνάμεων στο πέλμα.....	61
2.5 Οι Μαλακοί Ιστοί του Άκρου Ποδός.....	63
Κεφάλαιο 3: Ο βλαισός Μέγας Δάκτυλος.....	67
3.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα.....	69

3.2 Ανατομία και λειτουργία υπό φυσιολογικές Συνθήκες.....	73
3.3 Δημιουργία Hallux Abducto Valgus.....	83
3.4 Σχηματισμοί που συνδέονται με τη δημιουργία Βλαισού Μέγα Δακτύλου.....	89
3.4.1 Ενδομετατάρσια Γωνία.....	89
3.4.2 Γωνία Βλαισού Δακτύλου.....	90
3.4.3 Proximal Articular Set Angle.....	91
3.4.4 Εφαπτομενική Γωνία στο Δεύτερο Άξονα.....	90
3.4.5 Distal Articular Set Angle.....	93
3.4.6 Hallux Abductus Interphalangeus.....	93
3.4.7 Σχετικό Μήκος Πρώτου και Δεύτερου Μετατάρσιου.....	94

3.4.8 Metatarsus Adductus Angle.....	96
3.4.9 Σύνδεσμοι Πρώτης Μεταταρσοφαλαγγικής Άρθρωσης.....	97
3.4.10 Σχήμα Κεφαλής Πρώτου Μετατάρσιου.....	99
3.4.11 Μεταταρσοσφηνοειδής Άρθρωση.....	100
3.5 Σύγκριση Φυσιολογικού Ποδιού και Ποδιού με Hallux Valgus.....	101
3.6 Αίτια σχηματισμού Hallux valgus.....	107
Κεφάλαιο 4: Διόρθωση βλαισού Μέγα Δακτύλου.....	117
4.1 Εισαγωγή.....	119
4.2 Χειρουργικές Τεχνικές.....	120
Κεφάλαιο 5: Πειραματική Μελέτη.....	127

5.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας.....	129
5.2 Ανάλυση Πειραματικών Αποτελεσμάτων.....	135
Κεφάλαιο 6: Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων.....	147
6.1 Εισαγωγή.....	149
6.2 Βασική Μεθοδολογία Εφαρμογής Πεπερασμένων Στοιχείων.....	151
6.2.1 Περιγραφή Προβλήματος και Εισαγωγή Γεωμετρίας Φορέα.....	151
6.2.2 Διακριτοποίηση Φορέα.....	152
6.2.3 Επιλογή Τύπου Στοιχείων.....	154
6.2.4 Περιγραφή του Στοιχείου SOLID 185.....	156
6.2.5 Αριθμητική Επίλυση.....	157
6.2.6 Μη Γραμμική Συμπεριφορά.....	159
6.2.7 Στάδια Φόρτισης.....	161
6.2.8 Ακρίβεια της Μεθόδου.....	163

Κεφάλαιο 7: Αριθμητική	
Προσομοίωση.....	165
7.1 Κατασκευή Αριθμητικού	
Προσομοιώματος.....	167
7.2 Αποτελέσματα Αριθμητικής	
Προσομοίωσης.....	168
Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	179
Βιβλιογραφία.....	185

Εισαγωγή

Η Εμβιομηχανική είναι ο επιστημονικός κλάδος που προέκυψε από τη σύμπραξη της Βιολογίας με την Τεχνολογία. Εφόσον η Εμβιομηχανική στη σημερινή της μορφή άρχισε να αναπτύσσεται τον εικοστό μόλις αιώνα, η απόδοση ενός σαφώς οριοθετημένου ορισμού της νέας αυτής επιστήμης αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία. Παρ'όλα αυτά έχουν γίνει κατά καιρούς αξιόλογες προσπάθειες προσδιορισμού της. Σύμφωνα λοιπόν με όσα έχουν διατυπωθεί μέχρι σήμερα στους κόλπους της επιστημονικής κοινότητας, μπορούμε να αναφέρουμε ότι: Εμβιομηχανική είναι η επιστήμη που μελετά δομές και λειτουργίες βιολογικών συστημάτων χρησιμοποιώντας τις γνώσεις και τις μεθόδους διαφόρων κλάδων της Μηχανικής .

Διαφορετικά, ένας ορισμός με περισσότερη εξειδίκευση αναφέρει:

Εμβιομηχανική είναι η επιστήμη η οποία εξετάζει τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω και μέσα σε ένα βιολογικό σύστημα καθώς και τα αποτελέσματα αυτών των δυνάμεων.

Πιο συγκεκριμένα, ασχολείται με την μελέτη των εσωτερικών δυνάμεων στον ανθρώπινο οργανισμό οι οποίες προκύπτουν από την λειτουργία των μυών και με τις εξωτερικές δυνάμεις που είναι δυνατό να ασκούνται σε ένα βιολογικό σώμα, όπως υπερβολικό βάρος.

Μερικές από τις πιθανές συνέπειες δράσης των δυνάμεων αυτών είναι

η επιρροή στην κίνηση της ανθρώπινου σώματος, η παραμόρφωση της δομής του ανθρώπινου σώματος (τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά) και οι βιολογικές αλλαγές στους ιστούς τους οποίους επιβαρύνουν.

Εκτενέστερα, η Εμβιομηχανική μελετά την λειτουργία των μυών, των τενόντων, των αρτηριών και των φλεβών. Επιπλέον, σημαντικό κομμάτι αυτής της επιστήμης αποτελεί η μελέτη της κίνησης του ανθρώπινου σώματος με σκοπό την διερεύνηση της λειτουργικής δομής της σπονδυλικής στήλης ως ενιαίας κατασκευής αλλά και κάθε οστού ξεχωριστά.

Η Εμβιομηχανική λειτουργεί προσομοιώνοντας ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα αλλά και τα όργανά του, τα μέλη του και τη λειτουργία τους. Σκοπός της, μέσω αυτής της προσομοίωσης, είναι η αντικατάσταση των τυχόν βλαμμένων οργάνων ή μελών με τεχνητά υποκατάστατα τα οποία μετά από ένθεση μέσα στον ζώντα οργανισμό θα υποκαθιστούν πλήρως τη λειτουργία των φυσικών μελών.

Όπως προκύπτει εύλογα από τα παραπάνω, η Εμβιομηχανική έχει άμεση σύνδεση με την Χειρουργική όσο και με την Αγγειοπλαστική. Η συνεργασία με την Χειρουργική βασίζεται στο γεγονός ότι η Εμβιομηχανική χρειάζεται τις μεθόδους της Χειρουργικής προκειμένου να γίνει σωστή και ασφαλής εμφύτευση των τεχνητών μελών ή οργάνων σε ζώντες οργανισμούς. Ανάλογη είναι και η σύνδεση με την Αγγειοπλαστική καθώς είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις στήριξης προβληματικού κυκλοφορικού συστήματος.

Αν και όπως αναφέραμε, η Εμβιομηχανική υφίσταται σαν επιστήμη τα τελευταία χρόνια ωστόσο οι ρίζες της χάνονται στην αρχαιότητα. Μάλιστα οι αρχαίοι Έλληνες ήταν οι πρώτοι ανάμεσα στους πολιτισμούς οι οποίοι έδειξαν ενδιαφέρον στην κίνηση του ανθρώπινου σώματος. Λόγω της γνωστής φιλοσοφίας τους “Νους υγιής εν σώματι υγιή” πίστευαν ότι η αρμονία μυαλού και σώματος απαιτούσε γνώση και αθλητική δραστηριότητα. Έτσι παρατηρούμε ότι έδειχναν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην άθληση και γενικότερα στην κίνηση του ανθρώπινου σώματος γεγονός που απεικονίζεται ακόμη και στα έργα τέχνης τους, όπως σε αγάλματα στα οποία είναι σαφείς οι γνώσεις δυναμικής της κίνησης.

Μπαίνοντας στον 20^ο αιώνα, βασικοί παράγοντες όπως τα μηχανικά και τεχνολογικά επιτεύγματα που προήλθαν από τους δύο Παγκόσμιους πολέμους, η αύξηση του πληθυσμού, η οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, η αύξηση του ενδιαφέροντος για τα σπορ και η υποστήριξη της ιατρικής έρευνας είχαν σαν αποτέλεσμα την θεαματική ανάπτυξη της Εμβιομηχανικής.

Η Εμβιομηχανική θεωρείται σήμερα παγκοσμίως ως η αιχμή της τεχνολογίας και της επιστήμης και οι επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων επιχειρούν να προσδιορίσουν εκείνες τις ανακαλύψεις και τις εφευρέσεις που ώθησαν τη γέννηση της νέας αυτής επιστήμης. Πρόκειται, λοιπόν, για τον κλάδο εκείνο της επιστήμης που ενισχύει όσο κανείς άλλος την συνεργασία διαφορετικών πεδίων όπως αυτών

της βιολογίας, της φυσικής, των μαθηματικών, της ιατρικής και της μηχανικής.

Σαν αποτέλεσμα της κάλυψης ενός ιδιαίτερα πολυποίκιλου επιστημονικού φάσματος, η Εμβιομηχανική ήδη στις μέρες μας έχει ισχυρό αντίκτυπο στην ποιότητα της ζωής του σημερινού ανθρώπου. Σε μια προσπάθεια κατανόησης των δυνατοτήτων της Εμβιομηχανικής, μπορούμε να αναφέρουμε την έρευνα σχετικά με νέα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εμφυτεύματα τεχνητών οργάνων, την ανάπτυξη νέων διαγνωστικών μεθόδων για την ανάλυση της κυκλοφορίας του αίματος, την μελέτη της δυναμικής κίνησης των πνευμόνων, την σχεδίαση βοηθητικών μηχανημάτων για άτομα με ειδικές ανάγκες και την ανάπτυξη εξειδικευμένων συστημάτων για τη διάγνωση και τη θεραπεία διάφορων ασθενειών.

Το 2005 ιδρύθηκε στην Ελλάδα η Ελληνική Εμβιομηχανική Εταιρεία (ΕΛΕΜΒΙΟ) με έδρα το Βόλο. Σκοπός της δημιουργίας της είναι να έρθουν σε επαφή τόσο επιστήμονες όσο και νέοι ερευνητές που ασχολούνται με τον τομέα της Εμβιομηχανικής. Η ΕΛΕΜΒΙΟ στην μέχρι τώρα πορεία της έχει διεξάγει τέσσερα συνέδρια σε συνεργασία με πανεπιστήμια της Ελλάδας και του Εξωτερικού. Κατά τη διάρκεια των συνεδρίων παρουσιάζονται πρωτότυπες επιστημονικές εργασίες από Καθηγητές και ερευνητές από διάφορα Πανεπιστήμια. Στ

Στην παρούσα εργασία θα επικενρωθούμε στην συσχέτιση της Εμβιομηχανικής με τον τομέα της Ποδολογίας με σκοπό να

μελετήσουμε τη συνεισφορά της πρώτης στην αντιμετώπιση του προβλήματος του βλαισού μέγα δακτύλου.

Κεφάλαιο 1

Περιγραφή Άκρου Ποδός

1.1 Ανατομία του Άκρου Ποδός

Ο σκελετός του ποδιού αποτελείται από 26 βραχέα και μακρά οστά, τα οποία έχουν τοποθετηθεί κατα τέτοιο τρόπο ώστε το σύνολό τους να αποτελεί ένα τοξοειδές μόρφωμα «την ποδική καμάρα». Στον σκελετό του άκρου ποδός διακρίνουμε:

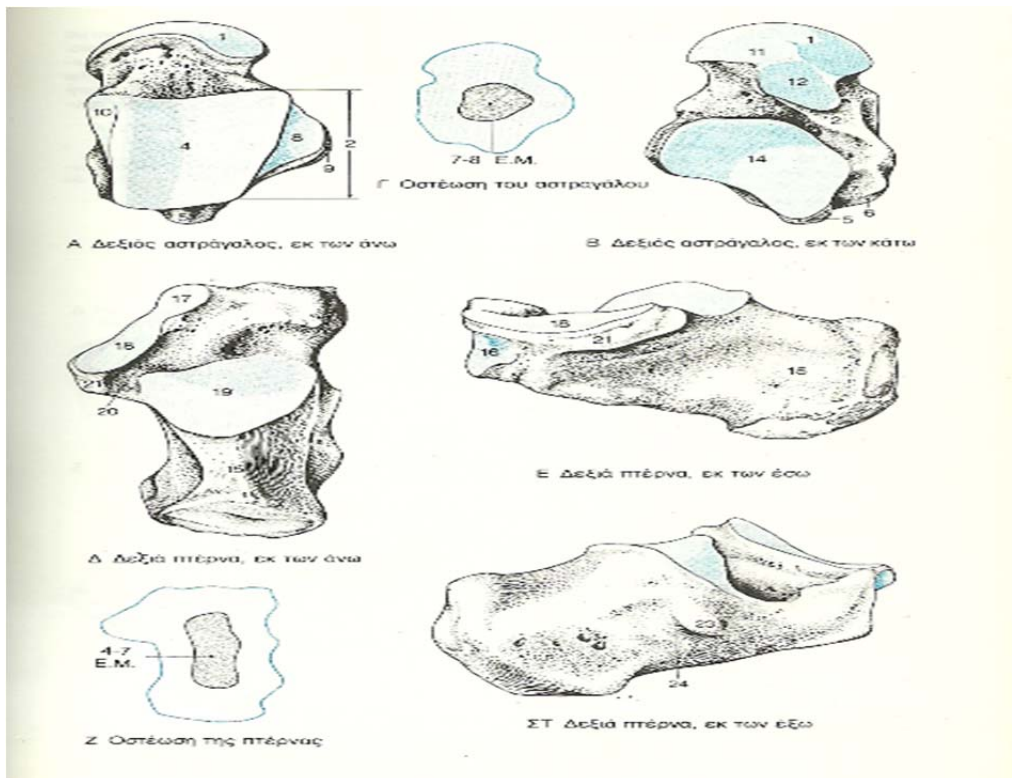
1. τα οστά του ταρσού
2. τα μετατόρσια

3. τα οστά των δακτύλων

1. Πιο συγκεκριμένα, τα οστά του τάρσους είναι επτά: ο αστράγαλος, η πτέρνα, το σκαφοειδές, το κυβοειδές και τα τρία σφηνοειδή.

Ο αστράγαλος είναι ένα βραχύ οστό που μεταφέρει το βάρος ολόκληρου του σώματος προς το πόδι. Εμφανίζει τρία μέρη, την κεφαλή (1), το σώμα (2) και τον αυχένα (3). Η κεφαλή του αστραγάλου στην πρόσθια επιφάνεια της φέρει την υπόκυρτη σκαφοειδή αρθρική επιφάνεια για την σύνταξη με το σκαφοειδές οστό. Ο αυχένας παρουσιάζει πολλαπλά μικρά αγγειώδη τμήματα. Το σώμα του αστραγάλου εμφανίζει την τροχιλία του αστραγάλου (4) και πίσω της την οπίσθια απόφυση του αστραγάλου, με το έξω (5) και το έσω (6) φύμα. Δίπλα στο έσω φύμα είναι η αύλακα του τένοντα του μακρού καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου (7). Η τροχιλία του αστραγάλου είναι λεπτότερη μπροστά. Η έξω επιφάνεια εμφανίζει την έξω σφυρίτιδα επιφάνεια (8), που συνεχίζει στην έξω απόφυση του αστραγάλου (9). Η έσω επιφάνεια εμφανίζει τη μικρότερη έσω σφυρίτιδα επιφάνεια (10). Η κάτω επιφάνεια του αστραγάλου παρουσιάζει, ως την προς τα κάτω συνέχεια της σκαφοειδούς αρθρικής επιφάνειας του (1), την πρόσθια πτερνιαία αρθρική επιφάνεια (11) και αμέσως πίσω την μέση πτερνιαία αρθρική επιφάνεια (12). Πίσω βρίσκονται η αύλακα του αστραγάλου (13) και η μεγάλη οπίσθια πτερνιαία αρθρική επιφάνεια (14).

Η πτέρνα είναι το μεγαλύτερο οστό του ταρσού. Η οπίσθια επιφάνειά της εμφανίζει το κύρτωμα της πτέρνας (15) που κατά την μετάβασή του στην κάτω επιφάνεια εμφανίζει το έξω και το έσω φύμα της πτέρνας. Ο Αχίλλειος τένοντας καταφύεται στην τραχεία επιφάνεια της πτέρνας. Η πρόσθια επιφάνεια είναι η αρθρική επιφάνεια για την σύνταξη της πτέρνας με το κυβοειδές οστό (16). Η άνω επιφάνεια της πτέρνας εμφανίζει την πρόσθια (17), τη μέση (18) και την οπίσθια (19) αστραγαλική αρθρική επιφάνεια. Μεταξύ των δύο τελευταίων βρίσκεται η αύλακα της πτέρνας (20), η οποία μαζί με την αύλακα του αστραγάλου σχηματίζουν σωλήνα, τον ταρσιαίο κόλπο. Η πρόσθια και η μέση αρθρική επιφάνεια μπορεί να είναι συνενωμένες. Στην έσω επιφάνεια της πτέρνας προβάλλει το υπερέρισμα του αστραγάλου (21) πάνω στο οποίο υπάρχει η μέση αρθρική επιφάνεια. Κάτω από το υπερέρισμα υπάρχει η αύλακα του τένοντα του μακρού καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου (22). Η έξω επιφάνεια εμφανίζει φύμα, την έξω απόφυση της πτέρνας (23), κάτω από την οποία φέρεται η αύλακα του τένοντα του μακρού περνιαίου μυός.

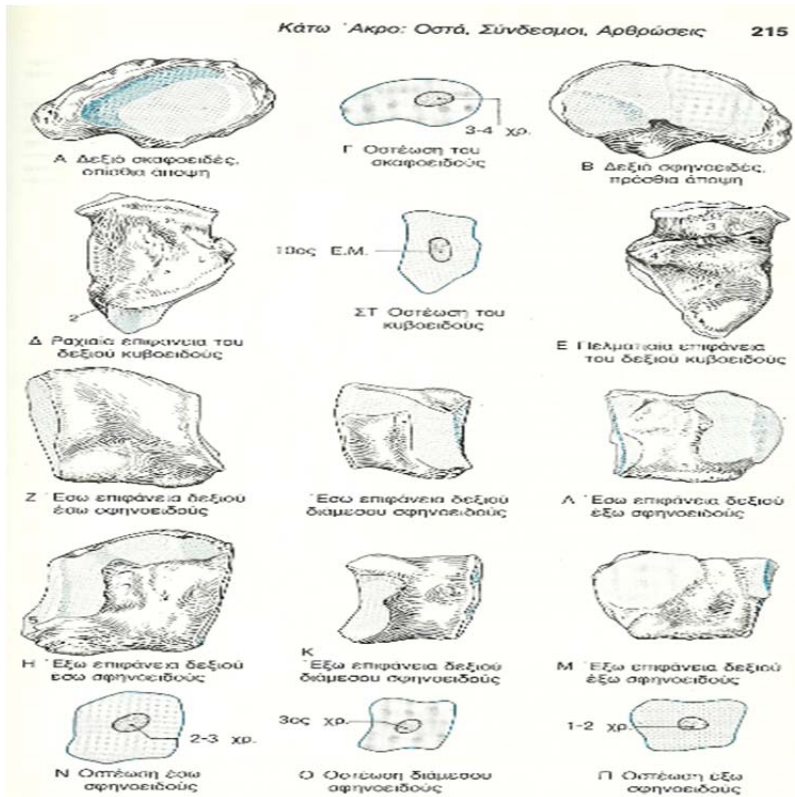


Εικόνα 1.1.1

Το σκαφοειδές συντάσσεται με τον αστράγαλο και με τα τρία σφηνοειδή οστά. Η οπίσθια επιφάνεια του είναι υπόκοιλη, αρθρική και υποδέχεται την κεφαλή του αστραγάλου. Το έσω άκρο του εμφανίζει το φύμα του σκαφοειδούς (1) που στρέφεται προς τα κάτω και έσω. Η πρόσθια επιφάνεια υποδιαιρείται σε τρεις μικρότερες αρθρικές επιφάνειες, που χωρίζονται με τρεις χαμηλές ακρολοφίες, για τη σύνταξη με τα τρία σφηνοειδή .

Το κυβοειδές (Δ-ΣΤ) είναι βραχύτερο προς τα έξω. Προς τα εμπρός εμφανίζει αρθρικές επιφάνειες για τη σύνταξη με το 4^ο και το 5^ο μετατάρσιο. Προς τα έσω εμφανίζει αρθρική επιφάνεια για τη σύνταξη με το 3^ο σφηνοειδές. Προς τα πίσω εμφανίζει αρθρική επιφάνεια για την σύνταξη με την πτέρνα. Η πελματιαία του επιφάνεια εμφανίζει την αύλακα (2) του τένοντα του μακρού περνιαίου μυός, το φύμα του κυβοειδούς οστού (3).

Τα τρία σφηνοειδή οστά (Ζ-Π) διαφέρουν στο σχήμα και τη θέση τους. Το έσω ή 1^ο σφηνοειδές (Ζ,Η) είναι το μεγαλύτερο και το διάμεσο ή 2^ο σφηνοειδές (Ι,Κ) είναι το μικρότερο από τα σφηνοειδή. Η βάση του έσω σφηνοειδούς στρέφεται προς το πέλμα ενώ η βάση του διαμέσου και του έξω ή 3^ο (Λ,Μ) στρέφεται προς τα άνω. Και τα τρία σφηνοειδή συντάσσονται προς τα πίσω με το κυβοειδές (4) και προς τα εμπρός με τις βάσεις των τριών πρώτων μετατάρσιων. Το έσω σφηνοειδές συντάσσεται με το 1^ο μετατάρσιο και εν μέρει με το 2^ο, ενώ το έξω σφηνοειδές συντάσσεται με το 3^ο μετατάρσιο, εν μέρει με το 2^ο και καμιά φορά και με το 4^ο. Το διάμεσο συντάσσεται μόνο με το 2^ο μετατάρσιο. Τα τρία σφηνοειδή αρθρώνονται επίσης μεταξύ τους. Επιπλέον το έξω σφηνοειδές έχει αρθρική επιφάνεια για τη σύνταξη με το κυβοειδές.

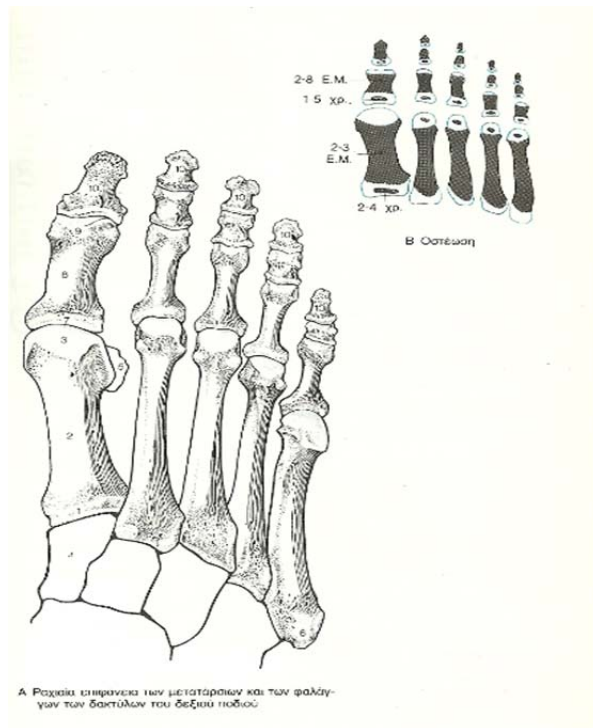


Εικόνα 1.1.2

2. Τα πέντε μετατάρσια είναι μακρά οστά, κυρτά και ραχιαία. Κάθε μετατάρσιο εμφανίζει βάση (1), σώμα (2) και κεφαλή (3). Το 1^ο μετατάρσιο είναι το βραχύτερο και παχύτερο. Η βάση του 1^ο μετατάρσιου εμφανίζει στην πελματιαία της επιφάνεια το φύμα του 1^ο μετατάρσιου. Επί τα εκτός του φύματος το 1^ο μετατάρσιο αρθρώνεται

προς τα έξω με τη βάση του 2^{ου} μετατάρσιου και προς τα πίσω με το έσω σφηνοειδές (4). Η κεφαλή του στην πελματιαία της επιφάνεια έχει μια μικρή ακρολοφία και εκατέρωθεν τις δύο μικρές αύλακες. Σ' αυτή βρίσκονται συχνά δύο μικρά σησαμοειδή οστά (5). Το 2^ο, το 3^ο και το 4^ο μετατάρσιο είναι λεπτότερα και οι βάσεις τους είναι πλατύτερες στη ραχιαία τους επιφάνεια. Οι πλευρικές επιφάνειες των βάσεων είναι αρθρικές, για τη σύνταξη με τις παρακείμενες βάσεις. Προς τα πίσω οι βάσεις τους συντάσσονται με τα σφηνοειδή και το κυβοειδές. Οι κεφαλές αυτών των μετατάρσιων είναι πιεσμένες από τα πλάγια. Η βάση του 5^{ου} μετατάρσιου εμφανίζει προς τα έξω και πίσω το φύμα της βάσης του 5^{ου} μετατάρσιου (6).

3. Όσον αφορά στα οστά των δακτύλων του ποδιού, το 2^ο-5^ο δάκτυλο έχουν το καθένα τρεις φάλαγγες, την πρώτη, τη μέση και την τρίτη ή ονυχοφόρο, ενώ το 1^ο δάκτυλο έχει δύο μόνο φάλαγγες. Κάθε φάλαγγα εμφανίζει βάση (7), σώμα (8) και κεφαλή (9). Η τρίτη φάλαγγα (10) εμφανίζει το πρόσθιο φύμα.



Εικόνα 1.1.3

1.2 Διαρθρώσεις και Σύνδεσμοι

1.2.1 Οι Αρθρώσεις

Οι αρθρώσεις του ποδιού είναι:

1. Η άρθρωση των σφυρών ή αστραγαλοκνημική (ποδοκνημική) διάρθρωση.
2. Οι μεσοτάρσιες διαρθρώσεις στις οποίες ανήκουν η υπαστραγαλική (αστραγαλοπτερνική), η πτερνοκυβοειδής και η σκαφοσφηνοειδής διάρθρωση.
3. Οι ταρσομετατάρσιες που είναι διαρθρώσεις μεταξύ των οστών του ταρσού και των μετατάρσιων.
4. Οι μεταταρσιοφαλαγγικές διαρθρώσεις, μεταξύ των μετατάρσιων και των φαλάγγων των δακτύλων.
5. Οι μεσοφαλαγγικές διαρθρώσεις.

1.2.2 Σύνδεσμοι της ποδοκνημικής διάρθρωσης

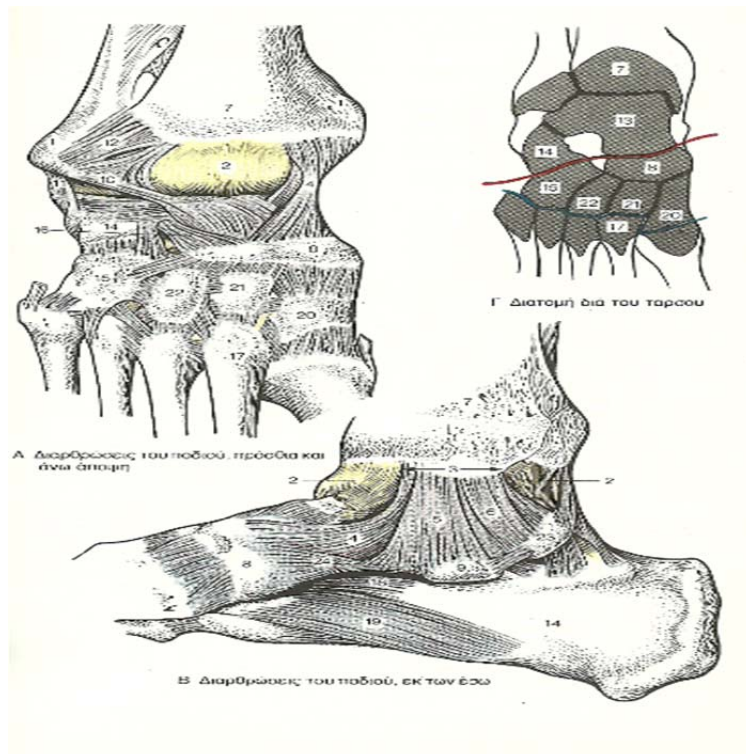
Ο μεγαλύτερος σύνδεσμος κατά την έσω επιφάνεια είναι ο δελτοειδής ή έσω πλάγιος σύνδεσμος (3) που αποτελείται από τέσσερις δεσμίδες, τον κνημοσκαφοειδή (4), τον κνημοπτερνικό και τον πρόσθιο και οπίσθιο(6) αστραγαλοκνημικό σύνδεσμο. Ο κνημοσκαφοειδής

σύνδεσμος (4) φέρεται από το έσω σφυρό (7) στο σκαφοειδές (8) και καλύπτει τον πρόσθιο ασταγαλοκνημικό σύνδεσμο, που καταφύεται στον αυχένα του αστραγάλου. Ο κνημοπτερνικός σύνδεσμος (5) φέρεται στο υπέρεισμα του αστραγάλου και καλύπτει εν μέρει τον κνημοσκαφοειδή σύνδεσμο (4). Κατά την έξω επιφάνεια υπάρχει ο έξω πλάγιος σύνδεσμος που αποσχίζεται στον πρόσθιο αστραγαλοπερονικό σύνδεσμο (10). Ο πρόσθιος αστραγαλοπερονικός σύνδεσμος φέρεται από το έξω σφυρό στον αυχένα του αστραγάλου. Ο οπίσθιος αστραγαλοπερονικός σύνδεσμος φέρεται σχεδόν οριζόντια από το έξω σφυρό στην οπίσθια αστραγαλική απόφυση. Η περονοκνημική γλήνη στηρίζεται με τον πρόσθιο (12) και τον οπίσθιο περονοκνημικό σύνδεσμο.

1.3 Οι Κινήσεις στις Διαρθρώσεις

1.3.1 Κινήσεις στην Ποδοκνημική Διάρθρωση

Στην ποδοκνημική διάρθρωση γίνονται κινήσεις πελματιαίας και ραχιαίας κάμψης (έκτασης) του ποδιού. Δεδομένου ότι η τροχλία του αστραγάλου είναι μικρότερη πίσω, κατά την πελματιαία κάμψη είναι δυνατές και πλάγιες κινήσεις. Ο εγκάρσιος άξονας των κινήσεων κάμψης-έκτασης διέρχεται ακριβώς κάτω από την κορυφή του έσω σφυρού και δια του παχύτερου τμήματος του έξω σφυρού. Το εύρος κίνησης μεταξύ της μέγιστης ραχιαίας και της μέγιστης πελματιαίας κάμψης είναι 70°.



Εικόνα 1.3.1.1

Η αστραγαλοπτεροσκαφοειδής διάρθρωση σχηματίζεται από τρία οστά. Εκτός από τις αρθρικές επιφάνειες του αστραγάλου, της πτέρνας (2) και του σκαφοειδούς (3) υπάρχει και πρόσθετη αρθρική επιφάνεια καλυμμένη με χόνδρο στον πελματιαίο πτεροσκαφοειδή σύνδεσμο (4). Ο σύνδεσμος αυτός συνδέει το υπέρεισμα του αστραγάλου, στην περιοχή της μέσης αρθρικής επιφάνειας, με το

σκαφοειδές οστό και σχηματίζει μαζί με αυτό την αρθρική γλήνη που υποδέχεται την κεφαλή του αστραγάλου. Ο αρθρικός θύλακος της αστραγαλοπτερνοσκαφοειδούς διάρθρωσης προσφύεται στο χείλος του αρθρικού χόνδρου. Ο ισχυρός δισχιδής σύνδεσμος συνδέει την πτέρνα με το σκαφοειδές και το κυβοειδές και ενισχύει το θύλακο. Ο μεσόστεος αστραγαλοπτερνικός σύνδεσμος (5), μέσα στον ταρσιαίο κόλπο, χωρίζει την υπαστραγαλική διάρθρωση.

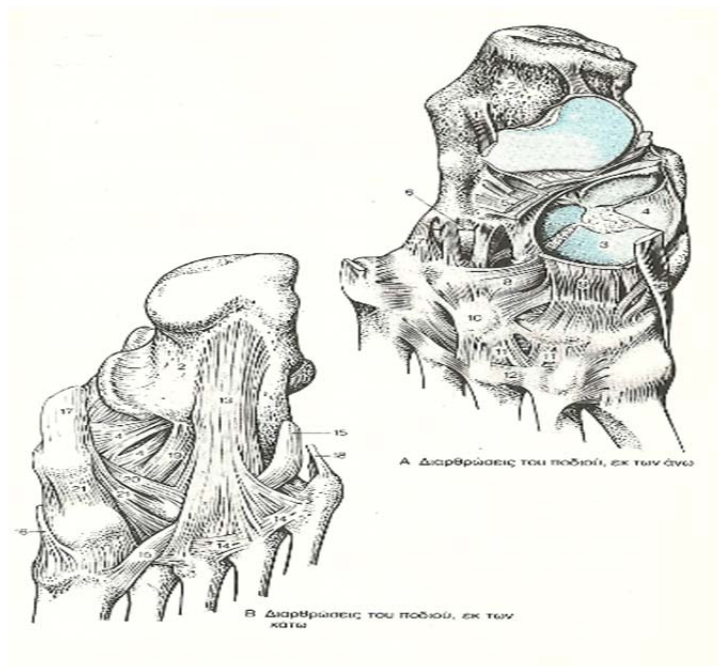
1.3.2 Κινήσεις της Ποδοκνημικής, της

Υπαστραγαλικής και της

Αστραγαλοπτερνοσκαφοειδούς Διάρθρωσης.

Συνοπτικά, η διάρθρωση των σφυρών επιτρέπει γιγγλόμευς κινήσεις, ενώ η υπαστραγαλική και η αστραγαλοπτερνοσκαφοειδής διάρθρωση επιτρέπουν στρωφικές κινήσεις. Σαν σύνολο λειτουργούν ως ‘τροχογίγγλυμη’ διάρθρωση. Οι στρωφικές κινήσεις είναι γνωστές ως πρηνησιμός ή ανάσπαση του έξω χείλους του ποδιού (eversion) με

ταυτόχρονη έξω στροφή και ως υπτιασμός ή ανάσπαση του έσω χείλους του ποδιού (inversion). Το πλήρες εύρος των κινήσεων μεταξύ μέγιστου πρηνισμού και μέγιστου υπτιασμού ανέρχεται σε 130°.



Εικόνα 1.3.2.1

1.4 Σύνδεσμοι των Αρθρώσεων (A-B)

Οι σύνδεσμοι του ταρσού διαιρούνται σε διάφορες ομάδες.

1. Οι σύνδεσμοι που συνδέουν τα οστά της κνήμης μεταξύ τους και με τα οστά του ταρσού (κόκκινοι) περιλαμβάνουν το δελτοειδή σύνδεσμο (1) , τον πρόσθιο αστραγαλοπερονικό (2), τον οπίσθιο αστραγαλοπερονικό (3), τον περνοπερονικό (4), τον πρόσθιο κνημοπερονιαίο (5) και τον οπίσθιο κνημοπερονιαίο (6) σύνδεσμο.
2. Οι σύνδεσμοι που συνδέουν τον αστράγαλο με τα άλλα οστά του ταρσού (πράσινοι) περιλαμβάνουν το ραχιαίο αστραγαλοσκαφοειδή (7), το μεσόστεο αστραγαλοπερνικό (8), τον έξω (9) και τον έσω (10) αστραγαλοπερνικό και τον οπίσθιο αστραγαλοπερνικό σύνδεσμο (11).
3. Οι υπόλοιποι ραχιαίοι σύνδεσμοι του ταρσού (κίτρινοι) περιλαμβάνουν το δισχιδή σύνδεσμο (12) με τις μοίρες του, περνοσκαφοειδή και περνοκυβοειδή, τους ραχιαίους μεσοσφηνοειδείς συνδέσμους (13), το ραχιαίο κυβοσφηνοειδή

σύνδεσμο (14), το ραχιαίο σκαφοκυβοειδή σύνδεσμο (15), το ραχιαίο σκαφοσφηνοειδή σύνδεσμο (16) και το ραχιαίο πτερνοκυβοειδή σύνδεσμο (17).

4. Οι πελματιαίοι σύνδεσμοι του ταρσού περιλαμβάνουν το μακρό πελματικό σύνδεσμο (18) που φέρεται από το κύρτωμα της πτέρνας στο κυβοειδές και τα μετατάρσια. Ο πελματιαίος πτερνοσκαφοειδής (19) είναι σημαντικός για τη σταθερότητα του ποδιού. Η έσω μοίρα του μακρού πελματικού συνδέσμου, ο πελματιαίος πτερνοκυβοειδής σύνδεσμος (20) είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Επί πλέον, υπάρχουν οι πελματιαίοι σκαφοσφηνοειδείς σύνδεσμοι, ο πελματιαίος σκαφοσφηνοειδής σύνδεσμος, οι πελματιαίοι μεσοσφηνοειδείς σύνδεσμοι, ο πελματιαίος κυβοσφηνοειδής σύνδεσμος και οι μεσόστεοι σύνδεσμοι, δηλαδή ο μεσόστεος κυβοσφηνοειδής σύνδεσμος και οι μεσόστεοι μεσοσφηνοειδείς σύνδεσμοι.
5. Οι σύνδεσμοι μεταξύ του ταρσού και του μετατάρσιου (μωβ) περιλαμβάνουν τους ραχιαίους και πελματιαίους ταρσομετατάρσιους συνδέσμους και τους μεσόστεους σφηνοειδομετατάρσιους συνδέσμους.

6. Οι σύνδεσμοι μεταξύ των μετατάρσιων (ροζ) περιλαμβάνουν τους ραχιαίους και πελματιαίους μεσομετατάρσιους συνδέσμους που βρίσκονται όλοι στις βάσεις των μετατάρσιων.

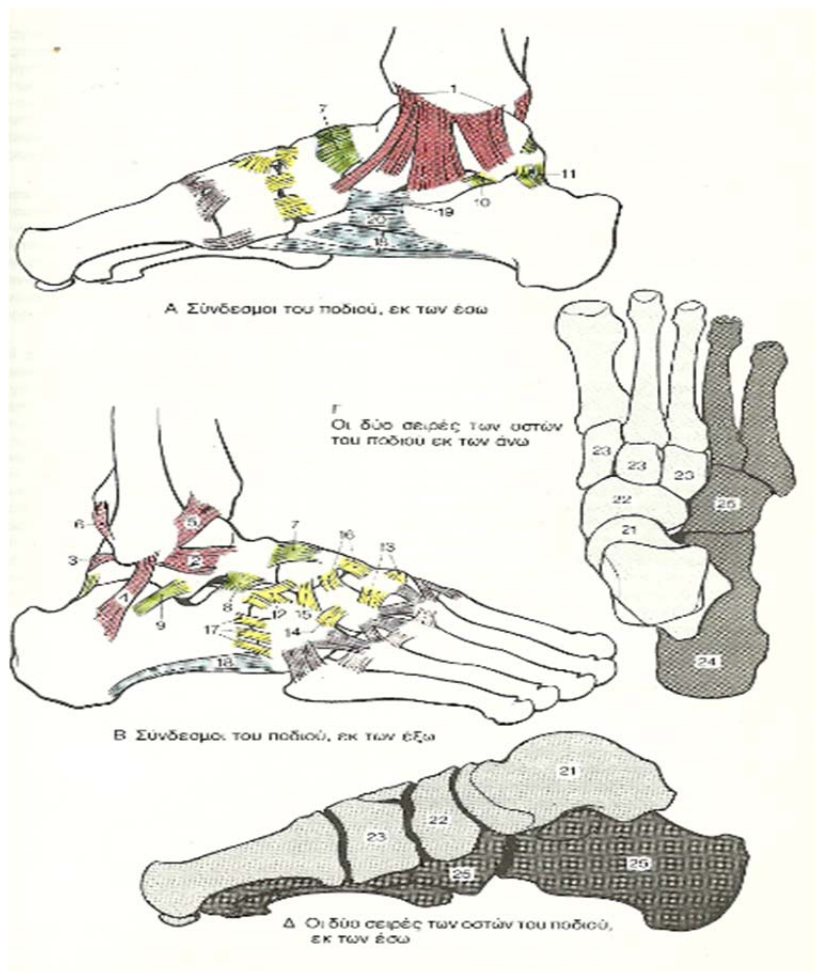
1.5 Μορφολογία και Λειτουργία του Σκελετού (Γ-Δ)

1.5.1 Δομή Σκελετού Άκρου Πόδός

Όταν βλέπουμε το σκελετό του ποδιού παρατηρούμε ότι ενώ πίσω τα οστά επικάθονται το ένα στο άλλο, στο μέσο και στο πρόσθιο τμήμα βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο. Αυτή η διάταξη δημιουργεί τις καμάρες του ποδιού, που είναι γνωστές ως οβελιαία (επιμήκης) καμάρα και εγκάρσια καμάρα.

Αρχίζοντας από τον αστράγαλο, μια έσω σειρά οστών (ανοικτό γκρι) φέρεται κατ'ευθείαν μπροστά, ενώ μια έξω σειρά οστών (σκούρο γκρι) φέρεται από την πτέρνα προς τα εμπρός. Η έσω σειρά αποτελείται από τον αστράγαλο (21), το σκαφοειδές (22), τα

σφηγοειδή (23) και τα τρία έσω μετατάρσια με τις σύστοιχες φάλαγγες. Η έξω σειρά περιλαμβάνει τον αστράγαλο (24), το κυβοειδές (25) και τα δύο έξω μετατάρσια με τις σύστοιχες φάλαγγες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πόδι να είναι πλατύ προς τα εμπρός και στενό πίσω. Επίσης είναι υψηλότερο προς τα πίσω. Έτσι σχηματίζεται καμάρα που βλέπει προς τα έσω και είναι κυρτή κι επιμήκως και εγκαρσίως. Η επιμήκης καμάρα είναι πιο έκδηλη στο έσω χείλος παρά στο έξω χείλος του ποδιού. Η εγκάρσια καμάρα είναι έκδηλη μόνο στο μέσο και στο πρόσθιο τμήμα του ποδιού.



Εικόνα 1.5.1.1

1.5.2 Ποδική Καμάρα (Α-Γ)

Η ποδική καμάρα φυσιολογικά υποβαστάζει το βάρος του σώματος. Τα οστικά σημεία στήριξης επί του εδάφους είναι το κύρτωμα της πτέρνας (1), η κεφαλή του 1^{ου} μετατάρσιου (2) και η κεφαλή του 5^{ου} μετατάρσιου (3). Έτσι, η στηρικτική επιφάνεια έχει σχήμα τριγώνου (Α, στικτό κόκκινο). Αν εξετάσουμε ένα ποδικό αποτύπωμα (Β), βρίσκουμε κάπως μεγαλύτερη στηρικτική επιφάνεια που παράγεται από τα μαλακά μέρη. Η γραμμή μεταβίβασης του βάρους του σώματος περνάει από την κνήμη (4) στην πτέρνα (5) και στο μέσο και πρόσθιο τμήμα του ποδιού (6). Η μεταβίβαση της πίεσης στην καμάρα και κατά τις δύο διευθύνσεις τείνει να την αποπλατύνει. Στην αποπλάτυνση όμως αυτή αντιτίθενται οι σύνδεσμοι και οι πελματιαίοι μύες.

Οι σύνδεσμοι δεν υφίστανται κάματο και έχουν μεγαλύτερη αντίσταση στη διάταση από τους μυς. Η αντίστασή τους δεν ποικίλλει, αλλά όταν υπερεκταθούν δεν επανέρχονται στο προηγούμενο σχήμα τους. Στους συνδέσμους υπάγονται η πελματιαία απονεύρωση (7), ο μακρός πελματιαίος σύνδεσμος (8), ο πελματιαίος πτερνοσκαφοειδής σύνδεσμος (10) και οι βραχείς πελματικοί σύνδεσμοι. Η πελματιαία απονεύρωση (7) συνδέει το κύρτωμα της πτέρνας με την πελματιαία επιφάνεια των δακτύλων. Λειτουργεί κυρίως στην ορθοστασία. Η

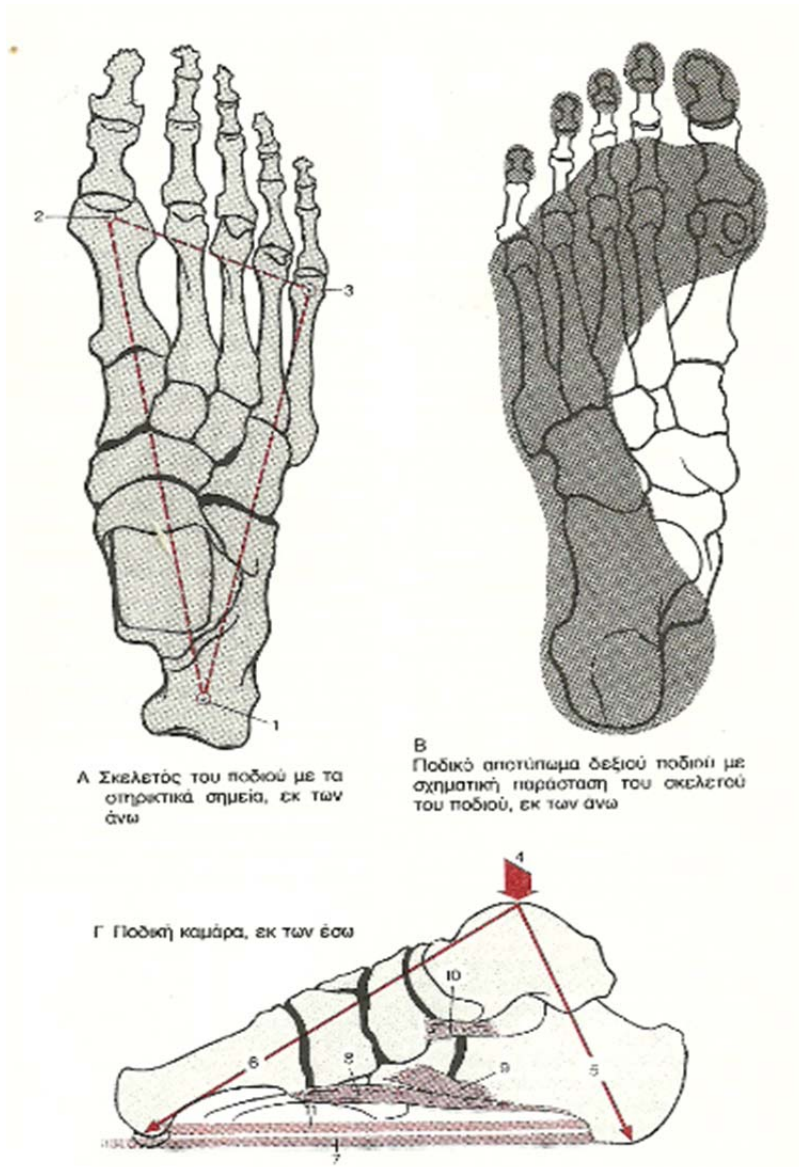
τάση των εγκάρσιων ινών της απονεύρωσης, κατα το μετατάρσιο τμήμα του ποδιού, συγκρατεί και την επιμήκη και την εγκάρσια καμάρα.

Ο μακρός πελματιαίος σύνδεσμος (8, 9) γεφυρώνει την έξω σειρά των οστών του ταρσού. Εκφύεται από την πελματιαία επιφάνεια της πτέρνας, πλατύνεται προς τα εμπρός, και ως μακρά επιπολής ινώδης στιβάδα (8) περνάει κάτω από τον τένοντα του μακρού περνιαίου και φτάνει στις βάσεις των μετατάρσιων. Βραχείς ίνες του καταφύονται στο φύμα του κυβοειδούς και αποτελούν τον πελματιαίο πτερνοκυβοειδή σύνδεσμο (9).

Ο πελματιαίος αστραγαλοσκαφοειδής σύνδεσμος (10) μαζί με τους βραχείς πελματικούς συνδέσμους αποτελούν την εν τω βάθει στιβάδα των συνδέσμων. Επαυξάνει το μέγεθος της γλήνης που υποδέχεται την κεφαλή του αστραγάλου. Η άνω του επιφάνεια καλύπτεται από ινώδη χόνδρο που καμιά φορά οστεοποιείται. Το πάχος του μπορεί να φτάσει τα 5 mm.

Οι πελματιαίοι μύες αντιστέκονται και αυτοί στην επίδραση του βάρους του σώματος και περιβάλλουν τις καμάρες. Υπόκεινται σε κάματο και είναι ασθενέστεροι από τους συνδέσμους. Εντούτοις, η μυική τάση ρυθμίζεται ανάλογα με την εξασκούμενη δύναμη. Η ενέργεια των έσω απαγωγών μυών είναι ισχυρότερη από των έξω απαγωγών.

Οι πελματιαίοι μύες διαιρούνται στους ίδιους μύς του πέλματος (11) που φέρονται μεταξύ ταρσού-μετατάρσιων-φαλάγγων, και στους τένοντες των μυών της κνήμης, που εκπορευόμενοι από την κνήμη καταφύονται στα οστά του ταρσού, στα μετατάρσια και στις φάλαγγες των δακτύλων. Οι ίδιοι μύες του πέλματος επιτρέπουν κινήσεις των δακτύλων σε σχέση με τα μετατάρσια και τα οστά του ταρσού. Επί ορθροστασίας τα δάκτυλα και τα μετατάρσια πιέζονται επί του εδάφους και οι ίδιοι μύες του πέλματος ενεργούν ως τείνοντες την ποδική καμάρα, αντιροπώντας την τάση αποπλάτυνσής της που δημιουργείται από τα μετατάρσια.



Εικόνα 1.5.2.1

1.6 Σχήματα και Θέσεις του Ποδιού (Α-Θ)

Το σχήμα του ποδιού στον ζώντα μπορεί να καθορισθεί με τη λήψη του αποτύπωματος του πέλματος. Στο φυσιολογικό πόδι, το ορθό πόδι (*pes rectus A*), το αποτύπωμα πρέπει να δείχνει τα πέντε αποτύπωμα των δακτύλων, το πρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα του πέλματος και μια ταινία κατά το έξω χείλος που συνδέει τα δύο τμήματα. Το κύριο βάρος στο φυσιολογικό πόδι (E) πέφτει προς τα έσω, στην πτέρνα (1) και την κεφαλή του 1^{ου} μετατάρσιου (2). Εάν το αποτύπωμα του πέλματος είναι πεπλατυσμένο (B) τότε πρόκειται περί πλατυποδίας (*pes planus*). Η πλατυποδία προκαλείται από ανεπάρκεια των μυών του πέλματος, που οδηγεί σε υπερδιάταση των συνδέσμων και πτώση της ποδικής καμάρας. Όταν συμβεί αυτό, υπάρχει πρηνισμός του αστραγάλου που γλιστράει προς τα έσω επί της πτέρνας (ΣΤ). Τελικά γίνεται αναδιάταξη των οστών του ταρσού (πτέρνας, αστραγάλου, σκαφοειδούς και κυβοειδούς). Κατά την πλατυποδία υπάρχει πόνος στο πόδι και την κνήμη λόγω υπερδιάτασης των μακρών μυών του πέλματος.

Αποτύπωμα πέλματος χωρισμένο σε δύο μέρη (Γ – πρόσθιο και οπίσθιο) παριστάνει υψηλή ποδική καμάρα (*pes cavus - Γ*). Σ' αυτήν την περίπτωση η πτέρνα υπτιάζεται ενώ τα άλλα μέρη του σκελετού του ποδιού πρηνίζονται.

Στη βλαιοπλατυποδία (pes planovagus) το αποτύπωμα προβάλλει προς τα έσω (Δ). Είναι συνδιασμός πλατυποδίας και βλαισού ποδιού (pes valgus - Η). Η πτέρνα πρηνίζεται.

Στο φυσιολογικό πόδι (Ζ) η γραμμή βάρους του κάτω άκρου διέρχεται από το μέσο της πτέρνας μέχρι την κάτω επιφάνειά της.

Στο βλαισό πόδι (pes valgus - Η) ο κάθετος άξονας που περνάει από τον αστράγαλο και την πτέρνα σχηματίζει με τον επιμήκη άξονα του κάτω άκρου γωνία της οποίας το άνοιγμα βλέπει προς τα έξω. Το έξω χείλος του ποδιού ανυψώνεται (πρηνισμός του ποδιού). Ο πρηνισμός αυτός μπορεί να δημιουργηθεί από παράλυση των υπτιαστών μυών - τρικέφαλου γαστροκνήμιου, οπίσθιου κνημαίου, μακρού καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου, μακρού καμπτήρα των δακτύλων και πρόσθιου κνημαίου.

Το ραιβό πόδι (pes varus, clubfoot - Θ) είναι ακριβώς το αντίθετο. Εδώ ο άξονας που περνάει από τον αστράγαλο και την πτέρνα σχηματίζει με τον επιμήκη άξονα του κάτω άκρου γωνία ανοικτή προς τα έσω. Δημιουργείται σε παράλυση των πρηνιστών μυών - του μακρού και του βραχέος περνιαίου, του μακρού εκτείνοντα τους δακτύλους και του μακρού εκτείνοντα το μεγάλο δάκτυλο - με αποτέλεσμα υπτιασμό.

Στο φυσιολογικό πόδι (Ζ) το έξω σφύρο βρίσκεται χαμηλότερα από το έσω σφύρο. Στο βλαισό πόδι (Η) βρίσκεται ακόμα πιο χαμηλά, ενώ

στο ραιβό πόδι δεν υπάρχει διαφορά ύψους ή ακόμα το έξω σφύρο φέρεται υψηλότερα από το έσω.

Άλλες ανώμαλες θέσεις του ποδιού περιλαμβάνουν την ιπποποδία (pes equinus) και την πτερνοποδία (pes calcaneous). Η ιπποποδία είναι αποτέλεσμα παράλυσης των εκτεινόντων μυών (ραχιαία κάμψη) και η πτερνοποδία προκαλείται από παράλυση των καμπτήρων μυών (πελματιαία κάμψη). Συνδιασμός ραιβού ποδιού και ιπποποδίας ‘ραιβοιπποποδία’ (pes equinovarus) συμβαίνει μετά από παράλυση του κοινού περνιαίου νεύρου από το οποίο νευρώνονται οι πρόσθιοι μύες της κνήμης και οι περνιαίοι μύες.

Κεφάλαιο 2

Εμβιομηχανική Άκρου Ποδός

2.1 Η Ανάπτυξη του Άκρου Ποδός

Το άκρο πόδι σύμφωνα με τον Leonardo Da Vinci είναι είναι ένα μηχανικό αριστούργημα, ένα έργο τέχνης της φύσης που παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην κίνηση του ανθρώπου.



Εικόνα 2.1.2:Μήτρα (Leonardo Da Vinci 1489)

Η μορφολογία του ποδιού επηρεάζεται σημαντικά στη βρεφική και την παιδική ηλικία από διάφορους ενδομήτριους και εξωμήτριους παράγοντες.

Η ανάγκη εξοικονόμησης χώρου ενδομήτρια συνοδεύεται από συγκάμψεις μυών και αρθρώσεων και παρεκκλίσεις της ευθυγράμμισης των κάτω άκρων του εμβρύου. Η ενδομήτρια θέση επηρεάζει την διαμόρφωση του κάτω άκρου και εξωμήτρια για χρονικό διάστημα 3 - 4 χρόνων ίσως σε μερικές περιπτώσεις και περισσότερο. Έτσι στο νεογέννητο τα ισχία και τα γόνατα διατηρούνται σε κάμψη, η οποία αποκαθίσταται σε 4 - 6 μήνες, το κατώτερο τμήμα του κάτω άκρου και το άκρο πόδι εμφανίζουν έσω κνημιαία στροφή και τα άκρα πόδια επιπλέον υπτιασμό, διότι ενδομήτρια τα κάτω άκρα είναι αναδιπλωμένα και τα άκρα πόδια έρχονται συχνά σε επαφή με την οπίσθια επιφάνεια του ετερόπλευρου μηρού όπως φαίνεται στην εικόνα 1.

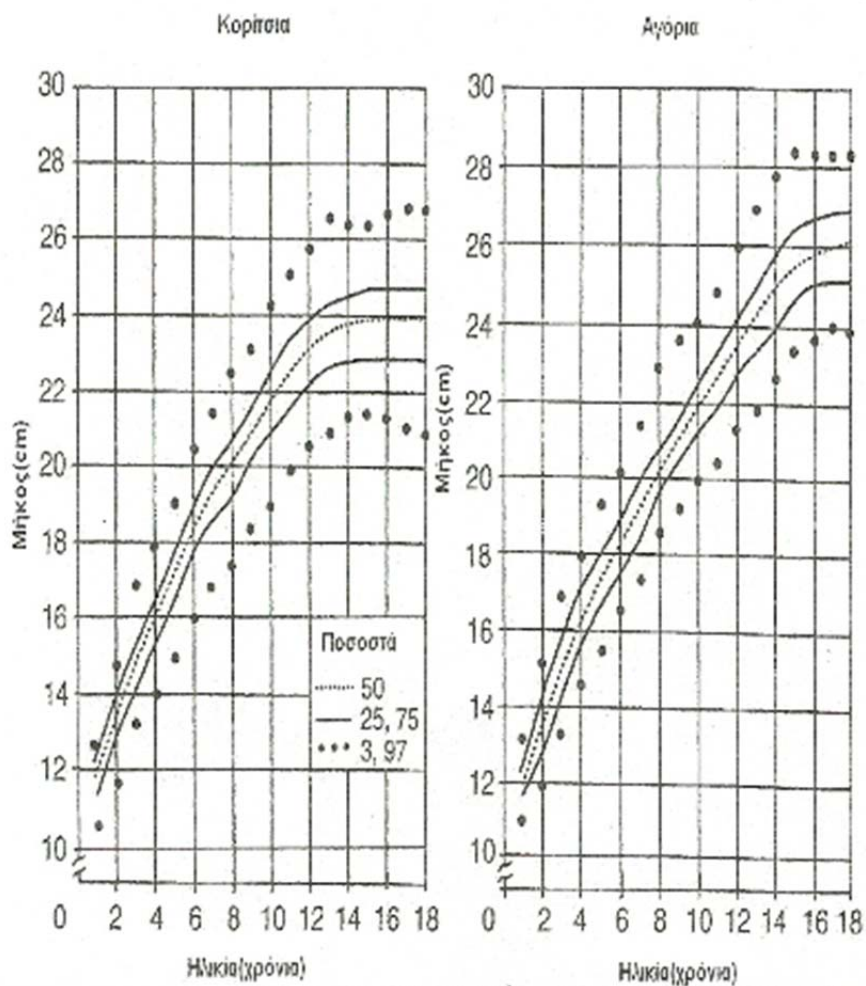
Στη γέννηση ο σκελετός του άκρου ποδιού είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος χόνδρινος και απεικονίζεται ακτινολογικά ως χαλαρή συνάρθρωση των πυρήνων οστέωσης του αστραγάλου, της πτέρνας και των οστεοποιημένων διαφύσεων των οστών, των φαλάγγων και των μετατάρσιων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η σύσταση αυτή καθιστά το βρεφικό πόδι εξαιρετικά εύκαμπτο και έτσι επιτρέπεται η διαμόρφωσή του από εξωτερικούς παράγοντες.

Ο μηχανισμός με τον οποίο αυξάνονται και διαπλάθονται τα οστά του κάτω άκρου δεν είναι ενιαίος. Τα μακρά οστά, κνήμη και περόνη, έχουν στα άκρα τους αυξητικές πλάκες (συζευκτικός χόνδρος) και η κατά μήκος αύξησή τους επιτυγχάνεται με ενδοχόνδρια οστέωση

αυτών των περιοχών. Τα άκρα τους, οι επιφύσεις, οι οποίες καλύπτονται από τον αρθρικό χόνδρο και μετέχουν στον σχηματισμό των αρθρώσεων, είναι αρχικά χόνδρινες και οστεοποιούνται προοδευτικά. Ο αρθρικός χόνδρος έχει κάποιο αυξητικό δυναμικό. Η κατά πλάτος αύξηση των μακρών οστών επιτυγχάνεται με απόθεση οστού από το περιχόνδριο (στην περιοχή των αυξητικών πλακών). Τα οστά του ταρσού, δεν έχουν αυξητικές πλάκες και αυξάνονται με απόθεση οστού από το περιχόνδριο και το περίοστεο, ενώ τα μετατάρσια και οι φάλαγγες αυξάνονται και οστεοποιούνται με συνδιασμό των δύο παραπάνω μηχανισμών. Το πρώτο μετατάρσιο έχει αυξητική πλάκα στο εγγύς άκρο του, τα υπόλοιπα μετατάρσια έχουν στα άπω άκρα τους και οι φάλαγγες έχουν στα εγγύς άκρα.

Το άκρο πόδι αυξάνεται ταχύτατα στη βρεφική ηλικία, προσεγγίζοντας το μισό σχεδόν του τελικού του μεγέθους στο τέλος του πρώτου χρόνου ζωής. Οι βασικές δομικές αλλαγές που δίνουν στο άκρο πόδι εμφάνιση ανάλογη με εκείνη του ενηλίκου συμπληρώνονται περίπου στην ηλικία των 8 χρόνων. Το άκρο πόδι παίρνει το τελικό του μέγεθος στην ηλικία των 14 χρόνων στα κορίτσια και των 16 χρόνων στα αγόρια.

ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΟΔΙΟΥ

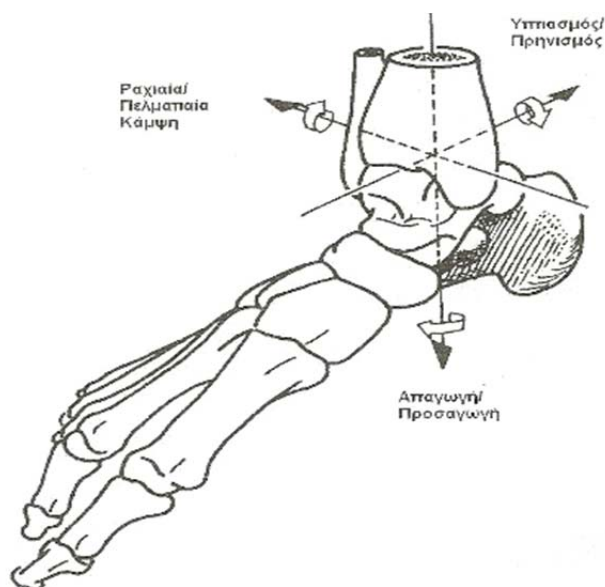


Εικόνα 2.1.2: Μήκος φυσιολογικού ποδιού σε αγόρια και κορίτσια

2.2 Η Κινηματική του Πέλματος

2.2.1 Εισαγωγή

Η κίνηση του πέλματος γίνεται σε τρεις άξονες και τρία επίπεδα. Η κάμψη - έκταση λαμβάνει χώρα στο οβελιαίο επίπεδο, η απαγωγή – προσαγωγή στο οριζόντιο ή αλλιώς εγκάρσιο και η στροφή στο πρόσθιο επίπεδο. Ο υπτιασμός και ο πρηνισμός είναι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη θέση της πελματιαίας επιφάνειας του ποδιού ενώ η κύρια κίνηση γίνεται στην ποδοκνημική διάρθρωση. Κατά τον υπτιασμό το πέλμα κλίνει προς τα έσω ενώ κατά τον πρηνισμό προς τα έξω. Ο υπτιασμός είναι ένας συνδιασμός στροφής, κάμψης και προσαγωγής. Από την άλλη πλευρά ο πρηνισμός είναι συνδιασμός στροφής, έκτασης και απαγωγής. Οι κινήσεις που εκτελούν τα δάκτυλα του άκρου πόδα είναι η κάμψη, η έκταση, προσαγωγή και απαγωγή.



Εικόνα 2.2.1.1

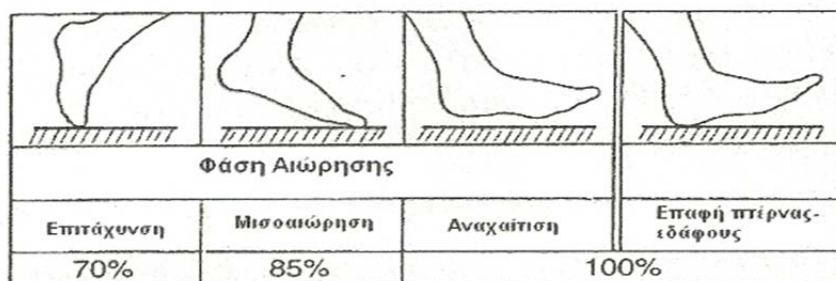
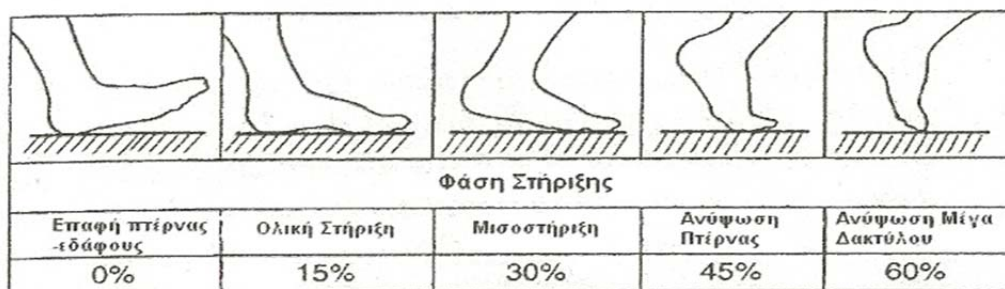
Θεωρείται ότι το πέλμα εκτελεί τόσο ενεργητική όσο και παθητική κίνηση. Παθητική θεωρείται η κίνηση που γίνεται χωρίς φόρτιση. Αυτό το είδος κίνησης μπορεί να διεξαχθεί όταν ο το σώμα βρίσκεται σε καθιστή θέση και ο άκρος πόδας και ο αστράγαλος κρέμονται ελεύθερα. Σ' αυτή την περίπτωση η κίνηση στην ποδοκνημική διάθρωση ελέγχεται κρατώντας την κνήμη με το ένα χέρι και αναστρέφοντας την πτέρνα με το άλλο. Η απαγωγή και η προσαγωγή του πρόσθιου μέρους του άκρου πόδα μπορεί να ελεγχθεί αν η πτέρνα κρατηθεί ακίνητη. Ο υπτιασμός και ο πρηνισμός του άκρου πόδα

ελέγχεται πάλι με την πτέρνα ακινητοποιημένη, όπως και η κάμψη και η έκταση των ταρσομεταταρσικών αρθρώσεων και δακτύλων.

Ενεργητική θεωρείται η κίνηση που εκτελείται με φόρτιση. Διαφέρει από την παθητική κίνηση γιατί οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από το βάρος του σώματος και από τη μυϊκή σύσπαση είναι αυτές που δρουν ώστε να μείνουν σταθερές οι αρθρώσεις. Σε σύγκριση με την παθητική κίνηση, στην ενεργητική ο άκρος πόδας έχει μικρότερο εύρος κίνησης. Η έξω στροφή του άκρου ποδός κατά τη φόρτιση ωθεί την πτέρνα σε αναστροφή και το πρόσθιο μέρος του άκρου ποδός σε πρηγισμό και σε ανόρθωση της ποδικής καμάρας. Στην έσω στροφή του άκρου ποδός έχουμε πτώση της ποδικής καμάρας.

2.2.2 Κύκλος Βάδισης

Ο κύκλος βάδισης αποτελείται από τη φάση στήριξης και τη φάση της αιώρησης. Η φάση στήριξης αποτελεί το 62% του κύκλου βάδισης και η φάση της αιώρησης κατέχει το υπόλοιπο 38%.



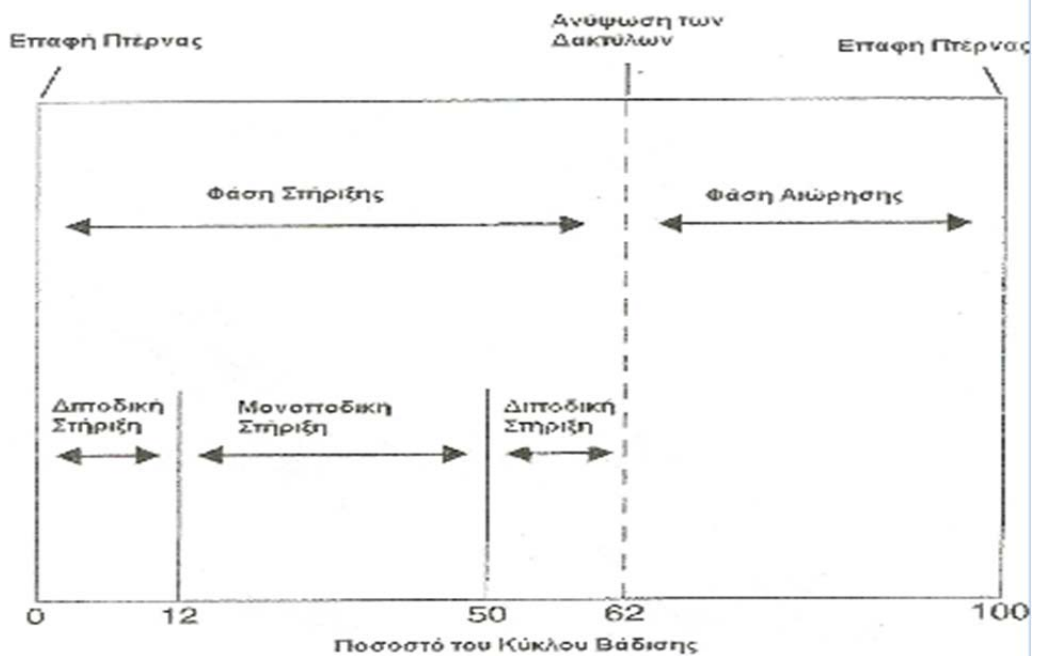
Εικόνα 2.2.2.1: φυσιολογικός κύκλος βάρδισης

Η φάση στήριξης χωρίζεται στην επαφή πτέρνας - εδάφους, στην ολική στήριξη του ποδιού, στη μισοστήριξη του ποδιού, στην ανύψωση της πτέρνας και τέλος στην ανύψωση του μεγάλου δακτύλου. Η φάση της αιώρησης χωρίζεται στη φάση της επιτάχυνσης, στη φάση της μισοαίωρησης και στη φάση της αναχαίτισης.

Το σημείο της φάσης στήριξης κατά το οποίο και τα δύο πόδια βρίσκονται στο έδαφος είναι γνωστό ως πλήρης στήριξη των δύο κάτω

άκρων και λαμβάνει χώρα κατά το πρώτο και τελευταίο 12% της φάσης στήριξης.

Κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής βάρδισης, όλο το κάτω άκρο (συμπεριλαμβανομένης της λεκάνης, του μηριαίου οστού και της κνήμης) στρέφεται εσωτερικά κατά το πρώτο 15% της φάσης στήριξης. Από την στιγμή της επαφής πτέρνας - εδάφους μέχρι την ολική στήριξη του ποδιού, η ποδοκνημική άρθρωση στρέφεται προς τα έξω, το πέλμα πρηνίζεται και το μπροστινό τμήμα του πέλματος γίνεται εύκαμπτο προκειμένου να απορροφήσει πιθανούς κραδασμούς και να προσαρμοστεί στις ανωμαλίες του εδάφους. Η ποδοκνημική διάθρωση στρέφεται εν μέρει γιατί το σημείο της επαφής πτέρνας είναι πλευρικό ως προς το κέντρο άρθρωσης του αστραγάλου και έτσι προκαλείται 'εξάρθρωση' του αστραγάλου. Στη μέση της φάσης στήριξης και στη διάρκεια της επιτάχυνσης, ολόκληρο το κάτω άκρο αρχίζει να στρέφεται προς τα έξω καθώς παράλληλα η ποδοκνημική στρέφεται προς τα έξω. Με την στροφή της ποδοκνημικής διάθρωσης και τον υπτισμό του ποδιού, το πόδι γίνεται άκαμπτο προκειμένου να προωθηθεί η βάρδιση.



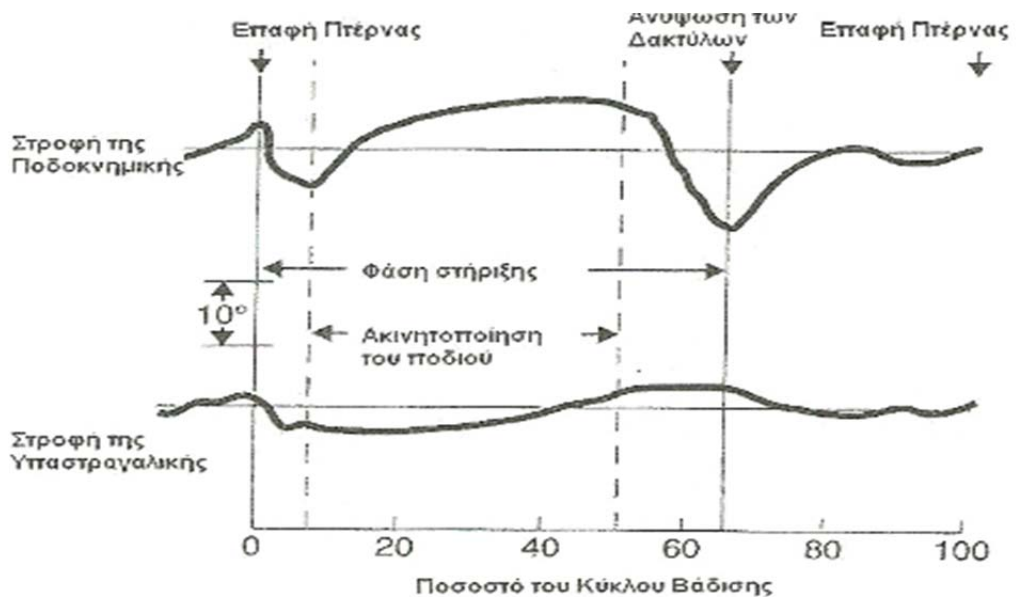
Εικόνα 2.2.2.2

2.2.3 Η Μυϊκή Δραστηριότητα κατά τη Βάδιση

Κατά την επαφή πτέρνας – εδάφους, οι μύες της κνήμης μειώνουν το ρυθμό της πελματιαίας κάμψης για να εμποδίσουν την απότομη πτώση του πέλματος στο έδαφος. Στη διάρκεια της μέσης φάσης της

στήριξης, οι μύες της γαστροκνημίας συμβάλουν στη μείωση του ρυθμού της πρόσθιας κίνησης του σώματος. Οι ενδιάμεσες μυϊκές ομάδες συντελούν στην αύξηση της σταθερότητας του άκρου πόδα από τη φάση μισοστήριξης του ποδιού μέχρι και τη φάση ανύψωσης του μεγάλου δακτύλου. Η ανύψωση του μεγάλου δακτύλου είναι αρχικά παθητική κίνηση. Το μυϊκό σύστημα της κνήμης ενεργεί ξανά κατά τη φάση της αιώρησης προκειμένου να εξασφαλίσει την ομαλή κίνηση του ποδιού κατά τη φάση της μισοαιώρησης.

Οι μύες του κάτω άκρου είναι πιο ενεργητικοί κατά το τρέξιμο. Ο μέγας γλουτιαίος μυς και οι μύες του ισχίου είναι ενεργοί από τη φάση της μισοαιώρησης μέχρι τη φάση ανύψωσης του μεγάλου δακτύλου. Οι ραχιαίοι καμπτήρες του ποδιού είναι ενεργοί κατά το 70% του κύκλου τρεξίματος. Οι ενδιάμεσες μυϊκές ομάδες, οι πελματιαίοι καμπτήρες και οι περονιαίοι μύες συμβάλλουν σημαντικά στη σταθεροποίηση της πελματιαίας επιφάνειας και του πίσω μέρους του ποδιού κατά τη φάση της ολικής στήριξης (Adelaar, 1986).



Εικόνα 2.2.3.1: Η κίνηση της ποδοκνημικής και στροφή υψαστραγαλικής

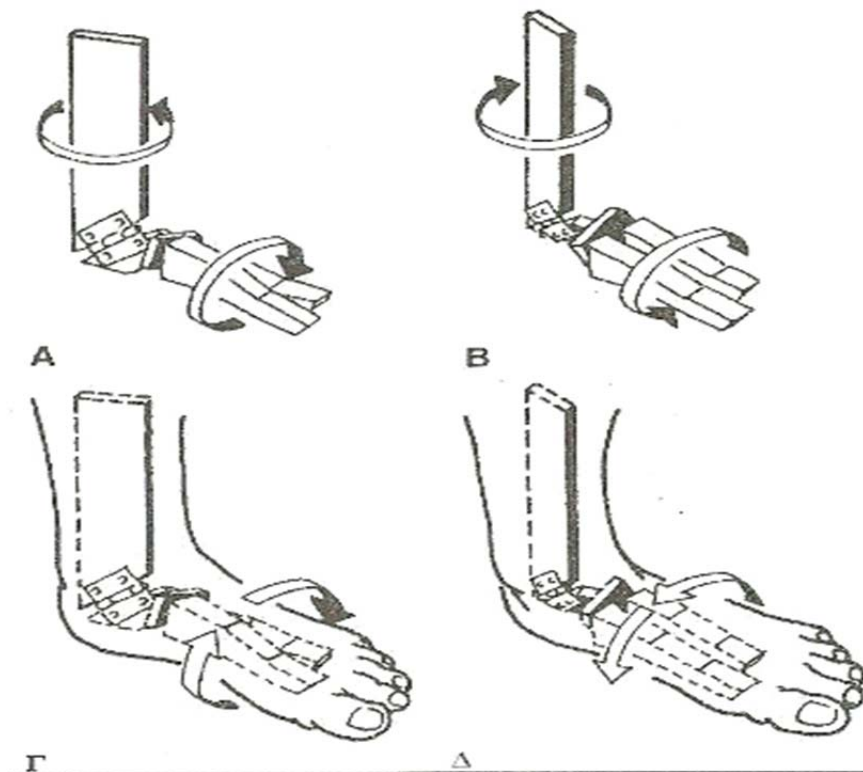
2.3 Κινήσεις των οστών του ταρσού

2.3.1 Κινήσεις Ποδοκνημικής Διάρθρωσης

Η άρθρωση μεταξύ του αστραγάλου και του οστού της πτέρνας ονομάζεται ποδοκνημική διάρθρωση. Η ποδοκνημική διάρθρωση μαζί με την αστραγαλοπτεροσκαφοειδή και την πτερνοκυβοειδή είναι

υπεύθυνες για την μετατροπή της περιστροφής της κνήμης σε υπτιασμό (ανάσπαση έσω χείλους της ποδοκνημικής) και σε πρηνισμό (ανάσπαση έξω χείλους της ποδοκνημικής). Επειδή η άρθρωση του αστραγάλου εκτελεί ως ένα βαθμό μονοαξονική κίνηση, οι κινήσεις της ποδοκνημικής μειώνουν την πίεση λόγω στοφών στην άρθρωση του αστραγάλου. Σε περίπτωση εμποδιζόμενης κίνησης της ποδοκνημικής διάρθρωσης μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό σφαιροειδούς αστραγάλου σαν αποτέλεσμα της αυξημένης περιστροφικής πίεσης στην άρθρωση.

Οι πλευρές της ποδοκνημικής διάρθρωσης μοιάζουν με το «σπιράλ του Αρχιμήδη». Φαίνονται σαν ένα δεξιόστροφο κατσαβίδι στο δεξί πέλμα, έτσι ώστε το οστό της πτέρνας να μεταβιβάζεται παράλληλα πρόσθια κατά μήκος του ποδοκνημικού άξονα καθώς περιστρέφεται με τη φορά του ρολογιού κατά τη στροφή της ποδοκνημικής. Η μέση κίνηση της ποδοκνημικής είναι 20°- 30° μοίρες έσω στροφή και 5°- 10° έξω στροφή. Η λειτουργική κίνηση της ποδοκνημικής διάρθρωσης κατά τη βάρδιση είναι 10°- 15°. Κατά τον κύκλο βάρδισης, η πτέρνα φτάνει στο έδαφος σε έσω στροφή που ακολουθείται από έξω στροφή 5°- 10° στο 10% του κύκλου βάρδισης (Sarraffian, 1993).



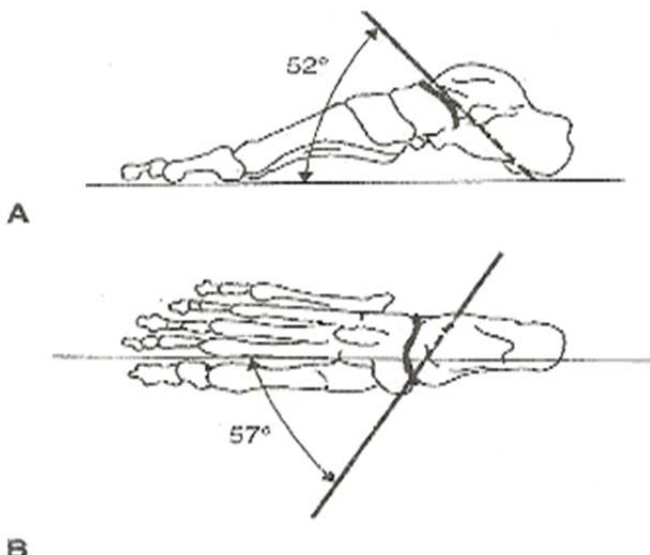
Εικόνα 2.3.1.1: Μοντέλο κίνησης του ποδιού, της ποδοκνημικής και της υπαστραγαλικής.

A. Έξω στροφή της πάνω ράβδου προκαλεί έσω στροφή στο κάτω.

B. Έξω στροφή του κάτω προκαλεί έξω στροφή στο κάτω.

Γ. Έξω στροφή της κνήμης προκαλεί υπτιασμό του ποδιού.

Δ. Έσω στροφή της κνήμης προκαλεί πρηνισμό του ποδιού.



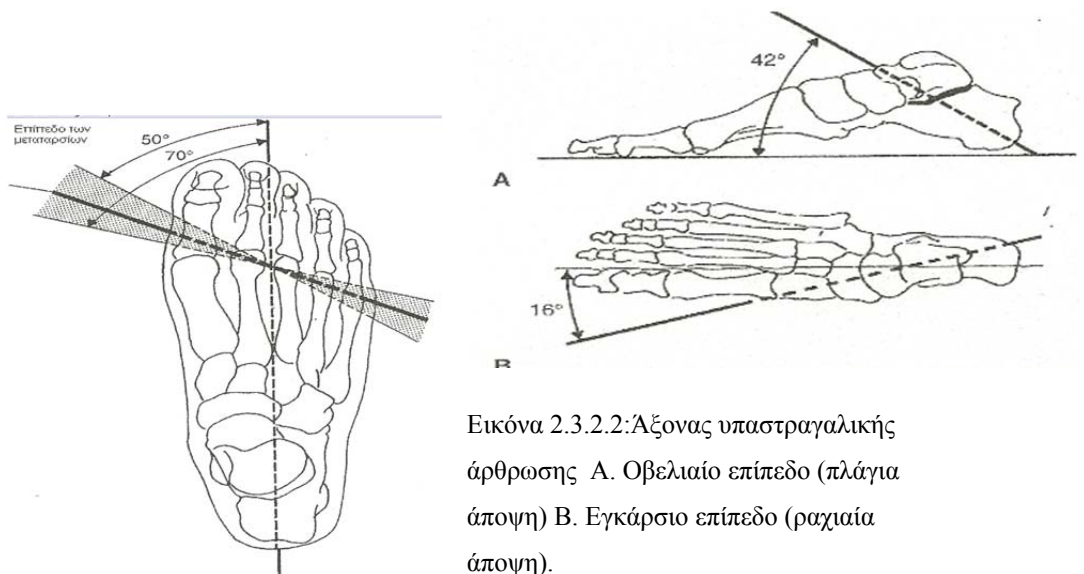
2.3.2 Εγκάρσια Κίνηση Ταρσικής Άρθρωσης

Η Εγκάρσια ταρσική άρθρωση Chopart's αποτελείται από την αστραγαλοπτερνοσκαφοειδή και την πτερνοκυβοειδή διάρθρωση. Σύμφωνα με τον Manter η κίνηση της εγκάρσιας ταρσικής άρθρωσης αναλύεται σε ένα διαμήκη και ένα κεκλιμένο άξονα. Ο διαμήκης άξονας προσανατολίζεται 15° πάνω από τον οριζόντιο άξονα και 9° πάνω από τον διαμήκη άξονα του πέλματος. Στην κατεύθυνση αυτού του άξονα συμβαίνουν υπτιασμός και πρηνισμός. Ο κεκλιμένος άξονας προσανατολίζεται 52° πάνω από τον οριζόντιο και 57° μεσοπρόσθια. Σ' αυτό τον άξονα συμβαίνουν κάμψη και έκταση.

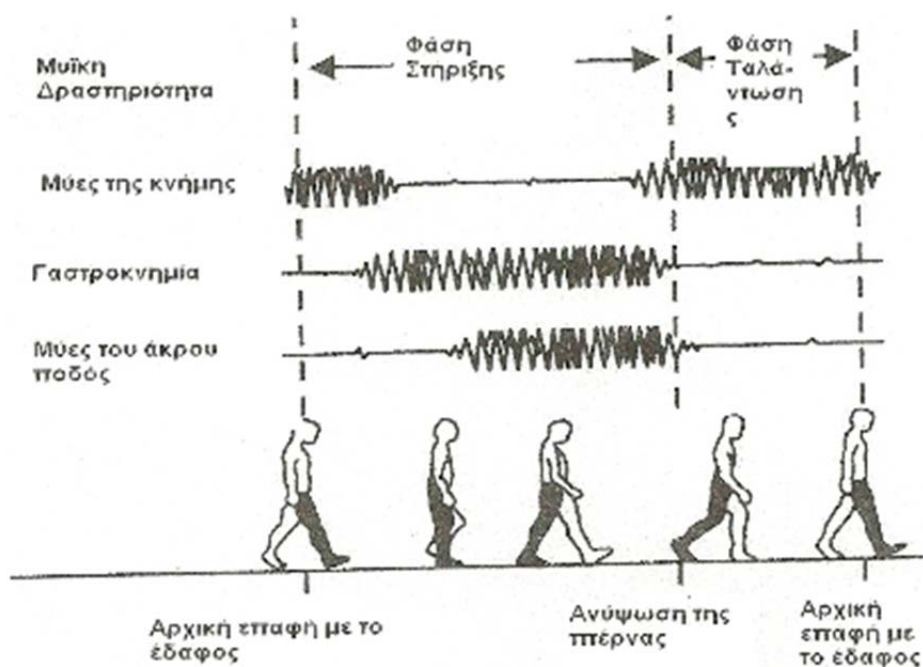
Οι κινήσεις της ποδοκνημικής και της εγκάρσιας ταρσικής άρθρωσης έχουν ως σκοπό την αύξηση της ελαστικότητας ή της ακαμψίας στον άκρο πόδα ανάλογα με την εκάστοτε επιθυμητή λειτουργία του. Το

1960 ο Elftman απέδειξε ότι οι κύριοι άξονες της περνοκυβοειδούς και της αστραγαλοπερνοσκαφοειδούς διάρθρωσης είναι παράλληλοι όταν η ποδοκνημική διάρθρωση βρίσκεται σε ανάσπαση, επιτρέποντας έτσι την κίνηση της εγκάρσιας ταρσικής άρθρωσης. Καθώς η ποδοκνημική βρίσκεται σε ανάσπαση, οι άξονες αυτών των διαρθρώσεων συγκλίνουν ρυθμίζοντας έτσι την εγκάρσια ταρσική άρθρωση και σταθεροποιώντας το άκρο πόδι. Από τη φάση της μισοαιώρησης μέχρι τη φάση ανύψωσης του μεγάλου δακτύλου, το άκρο πόδι λειτουργεί σαν άκαμπτος μοχλός μέσω ανάσπασης της ποδοκνημικής διάρθρωσης και ‘μπλοκαρισμένης’ ταρσικής άρθρωσης.

Εικόνα 2.3.2.1: Πλάγιος άξονας της εγκάρσιας ταρσικής άρθρωσης. Α. πλάγια άποψη Β. ραχιαία άποψη



Εικόνα 2.3.2.2: Άξονας υπαστραγαλικής άρθρωσης Α. Οβελιαίο επίπεδο (πλάγια άποψη) Β. Εγκάρσιο επίπεδο (ραχιαία άποψη).



Εικόνα 2.3.2.3: Μυϊκή δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής βάδισης.

2.3.3 Κινήσεις στις Ταρσομετατάρσιες και Μεσοτάρσιες Διαρθρώσεις

Οι διαρθρώσεις μεταξύ των τριών σφηγοειδών οστών (κυβοειδές και πέντε μετατάρσια) εκτελούν πολύ μικρή κίνηση. Οι μεσοτάρσιες διαρθρώσεις είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους και εκτελούν μικρή

ολίσθηση. Οι ταρσομετατάρσιες διαρθρώσεις, γνωστές ως διαρθρώσεις Lisfranc, είναι εσωτερικά σταθερές εξαιτίας της τοξοειδούς δομής τους. Η βάση του δεύτερου μετατάρσιου που βρίσκεται στη μέση του άκρου ποδός, σχηματίζει μια διάρθρωση με το διάμεσο σφηνοειδές. Ο σύνδεσμος Lisfranc συνδέει τη βάση του δεύτερου μετατάρσιου με το διάμεσο σφηνοειδές οστό. Η κίνηση των τριών πρώτων μεταταρσοσφηνοειδών αρθρώσεων είναι ελάχιστα ανάλογη με την κίνηση στην τέταρτη και πέμπτη μεταταρσοκυβοειδή άρθρωση. Οι Ouzonian και Sherref καθόρισαν την κίνηση μεταξύ πρώτου μετατάρσιου και διάμεσου σφηνοειδούς οστού σε 3, 5° κάμψη - έκταση και 1, 5° πρηνισμό - υπτιασμό, ενώ οι κινήσεις των τέταρτων και πέμπτων μεταταρσοκυβοειδών αρθρώσεων ήταν 9°- 10° κάμψη – έκταση και 9°- 11° πρηνισμό - υπτιασμό.

Βάσει μελετών που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια, υπάρχει η περίπτωση λόγω αυξημένης κίνησης μεταξύ πρώτου μετατάρσιου και διάμεσου σφηνοειδούς οστού να οδηγήσει σε αποφόρτιση της πρώτης σειράς των οστών και συνεπακόλουθα σε δυσμορφία της φυσιολογικής απόκλισης του μεγάλου δακτύλου (Klaue, Hansen & Masquelet, 1994).

2.3.4 Κινήσεις των δακτύλων του Άκρου Ποδός

Η πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική διάρθρωση έχει εμβέλεια κίνησης από 30° πελματιαίας κάμψης σε 90° ραχιαίας κάμψης, με επίπεδο αναφοράς τον επιμήκη άξονα του πρώτου μετατάρσιου.

Το πρώτο μετατάρσιο έχει κλίση 20° σε σχέση με το έδαφος. Έτσι το εύρος κίνησής του είναι 50° σε πελματιαία κάμψη και 70° σε ραχιαία κάμψη σε σχέση με τη επιφάνεια του εδάφους. Σημειώνεται πως στην φάση ανύψωσης της πτέρνας κατά την φυσιολογική βάδιση απαιτείται η μέγιστη ραχιαία κάμψη της πρώτης μεταταρσιοφαλαγγικής διάρθρωσης.

Η κίνηση της επιφάνειας της πρώτης μεταταρσιοφαλαγγικής διάρθρωσης χαρακτηρίζεται ως εφαπτόμεν ολίσθηση από μέγιστη πελματιαία κάμψη σε μέση ραχιαία κάμψη (Sammarco, 1980, Sherref, Bejahi & Kummer 1986). Η επιφάνεια άρθρωσης της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου μετατοπίζεται ραχιαία με πλήρη έκταση και σχετίζεται με την συμπίεση της πρώτης μεταταρσιαίας άρθρωσης.

Το μεγάλο δάκτυλο παρέχει σταθερότητα στον άκρο πόδα μέσω του μηχανισμού του ελύτρου της πελματιαίας απονεύρωσης. Σύμφωνα με μελέτη που έκανε το 1980 ο Clark, αναλύοντας τις δυνάμεις στη τελευταία φάση της στήριξης η πίεση που δέχεται η κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου είναι η μέγιστη δυνατή.

Τα τέσσερα υπόλοιπα δάκτυλα έχουν τρεις φάλαγγες το καθένα. Η κίνηση κάθε φάλαγγας ελέγχεται από οπίσθιους μύες οι οποίοι εκφύονται από όλο το κάτω άκρο και από πρόσθιους οι οποίοι εκφύονται από το άκρο πόδι. Η φυσιολογική κίνηση κάθε μεταταρσιοφαλαγγικής διάρθρωσης είναι από 90° σε έκταση και ως 50° σε κάμψη. Η λειτουργία των οπίσθιων και των πρόσθιων μυών είναι να βοηθούν στην έκταση των εκτείνοντων μυών των δακτύλων, οι οποίοι ελέγχουν τις κινήσεις των μεταταρσιοφαλαγγικών και μεσοφαλαγγικών διαρθρώσεων. Οι οπίσθιοι μύες αποτελούνται από τον μακρύ καμπτήρα των δακτύλων και τους εκτείνοντες μύες. Οι πρόσθιοι μύες κάμπτουν τις μεταταρσιοφαλαγγικές διαρθρώσεις και εκτείνουν τις μεσοφαλαγγικές διαρθρώσεις. Οι μακρείς εκτείνοντες των δακτύλων εκτείνουν τις μεταταρσιοφαλαγγικές διαρθρώσεις διαμέσου της δράσης των οβελιαίων συνδέσμων, σηκώνοντας τις μέσες φάλαγγες σε έκταση.

2.3.5 Η κίνηση της Καμάρας

Η ποδική καμάρα έχει τόσο παθητική όσο και ενεργητική λειτουργία. Για την ερμηνεία της λειτουργίας της έχουν αναπτυχθεί δύο μοντέλα.

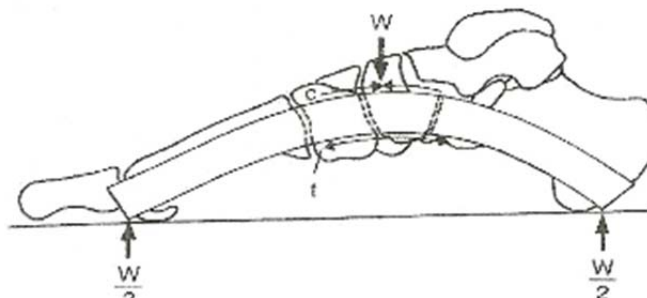
Σύμφωνα με το πρώτο μοντέλο το οποίο ονομάζεται μοντέλο ακτίνας, η καμάρα είναι μια καμπύλη ακτίνα κατασκευασμένη από αλληλοσυνδεόμενες αρθρώσεις. Στα κατώτερα σημεία της εμφανίζονται τασικές δυνάμεις ενώ στο ανώτερο δυνάμεις συμπίεσης.

Βάσει του δεύτερου μοντέλου το οποίο ονομάζεται μοντέλο στήριξης, η καμάρα έχει τριγωνική δομή που συνίσταται σε δύο συμπιεσμένα υποστηλώματα που συνδέονται μέσω μιας τεντωμένης ράβδου. Η παραπάνω συνδετική ράβδος είναι η πελματιαία απονεύρωση η οποία ξεκινά από το κύρτωμα του οστού της πτέρνας, καλύπτει τον εγκάρσιο τارسό, τις ταρσομεταταρσικές και τις μεταταρσιοφαλαγγικές διαρθρώσεις και καταλήγει στις μεταταρσιοφαλαγγικές πελματιαίες πλάκες, στους παράπλευρους, συνδέσμους και στα σησαμοειδή οστά του μεγάλου δακτύλου. Η πελματιαία απονεύρωση υφίσταται έλξη λόγω της ραχιαίας κάμψης των μεταταρσιοφαλαγγικών διαρθρώσεων και έτσι ανυψώνεται η ποδική καμάρα.

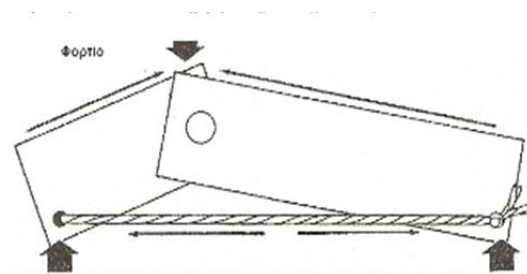
Κατά την ανύψωση της πτέρνας στο φυσιολογικό κύκλο βάδισης, τα δάκτυλα κάμπτονται ραχιαία και παθητικά και η πελματιαία

απονεύρωση διατείνεται και συμβάλλοντας στην μείωση της απόστασης μεταξύ των μεταταρσικών κεφαλών και της πτέρνας. Η δύναμη της πελματιαία απονεύρωσης βοηθά επίσης στην στροφή του οστού της πτέρνας.

Το 1993 ο Huang και οι συνεργάτες του μετά από έρευνα διαπίστωσαν πως οι τρεις πιο σημαντικοί συντελεστές στη σταθερότητα της ποδικής καμάρας είναι με σειρά αύξουσας σημασίας: η πελματιαία απονεύρωση, οι μακρείς και οι βραχείς πελματιαίοι σύνδεσμοι και ο πελματιαίος πτερνοσκαφοειδής σύνδεσμος.



Εικόνα 2.3.5.1.: Μοντέλο ακτίνας



Εικόνα 2.3.5.2: Μοντέλο στήριξης

2.3.6 Μυϊκή δραστηριότητα στο Άκρο Πόδι

Κατά τη φυσιολογική βάρδιση οι μύες του ποδιού λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική μεταφορά μυϊκής δύναμης στο έδαφος και η ομαλή μετακίνηση του σωματικού βάρους μπροστά και κατά μήκος του άξονα κίνησης.

Κατά τη φάση της μισοστήριξης του ποδιού ενεργοποιούνται οι πελματιαίοι καμπτήρες του ποδιού προκειμένου να επιβραδυνθεί η πρόσθια κίνηση της κνήμης πάνω από το άκρο πόδι. Ο υποκνημίδιος και ο γαστροκνήμιος μυς συναποτελούν τον αχίλλειο τένοντα, ο οποίος καταφύεται στο κύρτωμα της πτέρνας και είναι ο πιο δυνατός καμπτήρας της ποδοκνημικής. Ο πιο δυνατός εκτείνοντας της ποδοκνημικής είναι ο πρόσθιος κνημιαίος μυς, ο οποίος είναι ο πιο ενεργός κατά τη φάση στήριξης. Οι εκτείνοντες της ποδοκνημικής και των δακτύλων έχουν σαν ρόλο να επιβραδύνουν την κάμψη του πέλματος προκειμένου να αποφευχθεί η απότομη πτώση του στο έδαφος. Οι συγκεκριμένοι εκτείνοντες είναι επίσης απαραίτητοι για την ανύψωση του πέλματος κατά τη φάση της αιώρησης.

Ο πιο δυνατός υπτιαστής της ποδοκνημικής και του άκρου πόδα είναι ο οπίσθιος κνημιαίος μυς. Λειτουργεί για να υπτιάζει την ποδοκνημική

διάρθρωση κατά τη φάση της ολικής στήριξης και της μισοστήριξης, απενεργοποιώντας την ποδοκνημική διάρθρωση και εξασφαλίζοντας έτσι τη σταθερότητα του ποδιού κατά τη φάση της ανύψωσης της πτέρνας από το έδαφος.

Οι κύριοι πρηγιστές της ποδοκνημικής και του άκρου πόδα είναι οι περνιαίοι μύες. Ο μακρός περνιαίος μυς καταφύεται στη βάση του πρώτου μετατάρσιου και στο έσω σφηνοειδές οστό. Ο βραχύς περνιαίος μυς σταθεροποιεί το πρόσθιο τμήμα του ποδιού αμφίπλευρα, εμποδίζοντας τον υπτιασμό.

Κατά την τελευταία φάση της στήριξης ενεργούν οι μεσόστεοι μύες οι οποίοι βελτιώνουν την ισορροπία του ποδιού κατά την ανύψωση της πτέρνας.

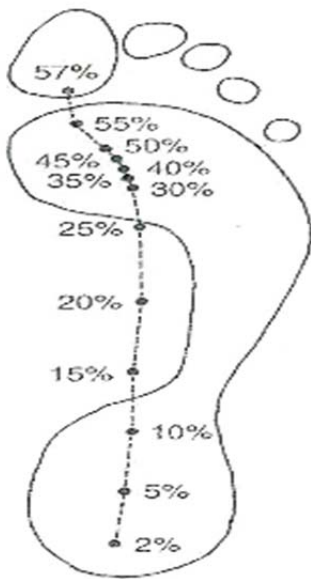
Τέλος, οι πρόσθιοι και οι οπίσθιοι μύες συντελούν στον έλεγχο του μεγάλου δακτύλου. Μια εγκάρσια διατομή της κεντρικής φάλαγγας δείχνει τη σχετική θέση των καμπτήρων, των εκτεινόντων, των απαγωγών και των προσαγωγών μυών. Τα σησαμοειδή οστά βρίσκονται κάτω από τον τένοντα του βραχύ καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου, κάτω από την κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου. Τα σησαμοειδή έχουν ως λειτουργία την αύξηση της αντίστασης του βραχύ καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου και συντελούν στην αύξηση της καμπτικής ροπής στη μεταταρσιοφαλαγγική διάρθρωση. Επίσης μεταφέρουν δυνάμεις από το έδαφος στην κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου.

2.4 Κατανομή Δυνάμεων στο πέλμα

Το πέλμα δέχεται πολύ μεγάλο φορτίο δυνάμεων. Οι μέγιστες κατακόρυφες δυνάμεις φτάνουν στον 120% του σωματικού βάρους κατά τη βάδιση και στο 275% κατά το τρέξιμο. Ο Manter μελέτησε τις δυνάμεις συμπίεσης που αναπτύσσονται στο άκρο πόδι σε στατική φόρτιση για να προσδιορίσει την κατανομή των δυνάμεων μέσω των αρθρώσεων του ποδιού.

Τα μεγαλύτερα φορτία από όλες τις αρθρώσεις των οστών του ταρσού τα δέχεται το υψηλότερο μέρος της ποδικής καμάρας (η αστραγαλοπερνοσκαφοειδής και η περνοκυβοειδής διάρθρωση), καθώς και το μεσαίο τμήμα του άκρου ποδός (αστράγαλος, σκαφοειδές, σφηνοειδή, τρία πρώτα μετατόρσια). Τα μικρότερα φορτία τα δέχεται το έξω πλάγιο τμήμα του άκρου ποδός (περνοκυβοειδής διάρθρωση και τα δύο τελευταία μετατόρσια).

Όσον αφορά στην κατανομή των φορτίων στο πέλμα κατά τη στήριξη, μελέτη του Cavanaugh το 1987 έδειξε ότι η κατανομή είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.4.1: Η μετακίνηση των κέντρων πίεσης κατά μήκος του πέλματος στη φυσιολογική βάδιση εκφράζεται με μια τεθλασμένη γραμμή.

Τα μέγιστα φορτία στην πτέρνα είναι είναι 2.6 φορές μεγαλύτερα από τουτου πρόσθιου τμήματος του πέλματος. Τα μέγιστα φορτία του πρόσθιου τμήματος του πέλματος εμφανίζονται κάτω από την κεφαλή του δεύτερου μετατάρσιου. Οι ακτινογραφικές μετρήσεις του ποδιού κατά τη στάση απέτυχαν να προσδιορίσουν το 65% των διαφορετικών

κατανομών των φορτίων, που εντοπίστηκαν σε ποικίλα αντικείμενα. Έτσι η δυναμική της βάδισης επηρεάζει την κατανομή των φορτίων κατά τη βάδιση (Cavanaugh et al. 1997). Το 1973 ο Hutton μελέτησε την μετακίνηση του σημείου μέγιστου φορτίου κατά μήκος του πέλματος στη βάδιση. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως κατά τη βάδιση χωρίς υπόδηση, το σημείο μέγιστου φορτίου βρίσκεται αρχικά στο κέντρο της πτέρνας και μετακινείται βαθμιαία κατά μήκος του πέλματος για να φτάσει στο πρόσθιο τμήμα του πέλματος. Τα μέγιστα φορτία στο πρόσθιο τμήμα του πέλματος φτάνουν στο 80% στη φάση στήριξης και εντοπίζονται στην κεφαλή του δεύτερου μετατάρσιου.

Στη φάση ανύψωσης της πτέρνας το σημείο που δέχεται το μέγιστο φορτίο βρίσκεται κάτω από το μεγάλο δάκτυλο. Οι κεφαλές των

μετατάρσιων βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος τουλάχιστον για το 50% της φάσης στήριξης. Ο Soames (1985) υποστήριξε ότι κατά τη βάδιση χωρίς υπόδηση, το σημείο που παραλαμβάνει το μέγιστο φορτίο βρίσκεται κάτω από την κεφαλή του τρίτου μετατάρσιου και όχι του δεύτερου.

Είναι σημαντικό το γεγονός ότι η κατανομή των φορτίων στο πέλμα μεταβάλλεται ανάλογα με την υπόδηση. Η υπόδηση μειώνει την πίεση που δέχεται η πτέρνα ενώ η κατανομή του φορτίου στο πρόσθιο πέλμα μετακινείται κεντρικά 'ρίχνοντας' το μέγιστο φορτίο κάτω από την κεφαλή του πρώτου και του δεύτερου μετατάρσιου. Παράλληλα αυξάνονται και τα φορτία κάτω από τις κεφαλές όλων των δακτύλων .

Κατά τις διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου, όπως η βάδιση και το τρέξιμο, ενεργούν διάφορες δυνάμεις μεταξύ πέλματος και εδάφους όπως κατακόρυφες δυνάμεις, διαμήκης διάτμηση, μέση και πλάγια διάτμηση και περιστροφική κίνηση.

2.5 Οι Μαλακοί Ιστοί του Άκρου Ποδός

Οι μαλακοί ιστοί του άκρου ποδός έχουν σαν λειτουργία τους την απορρόφηση κραδασμών και γενικότερα την προστασία του άκρου πόδα. Το δέρμα της πελαματιαίας επιφάνειας είναι σταθερά

συνδεδεμένο με τα οστά, τις αρθρώσεις, τα τενόντια έλυτρα της πτέρνας και του πρόσθιου τμήματος του πέλματος μέσω ειδικών συνδέσμων της πελματιαίας απονεύρωσης. Στην παρούσα φάση ο ρόλος της πελματιαίας απονεύρωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την αλληλεπίδραση του εδάφους - πέλματος. Κατά την έκταση των μεταταρσιοφαλαγγικών αρθρώσεων, οι προαναφερθέντες σύνδεσμοι της πελματιαίας απονεύρωσης περιορίζουν την κίνηση του δέρματος του πρόσθιου τμήματος του ποδιού και του πελματιαίου, μετατάρσιου, λιπώδους μαλακού ιστού (Bojesen - Moller & Lamoreux 1979).

Το μαλακό μέρος της πτέρνας είναι μια δομή σχεδιασμένη να απορροφά όλους τους δυνατούς κραδασμούς. Αποτελείται από λίπος σε σχήμα U. Είναι ενισχυμένο εσωτερικά με ελαστικές εγκάρσιες και διαγώνιες ίνες με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας κυψελοειδούς δομής. Τα κύτταρα στην περιοχή αυτή είναι προσαρμοσμένα ώστε να έχουν μεγάλη απορροφητική δύναμη. Με την πάροδο των χρόνων επέρχεται λιπώδης ατροφία με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα τραυματισμού του ποδιού (Jahss et al 1992).

Κεφάλαιο 3

Ο βλαισός μέγας δάκτυλος

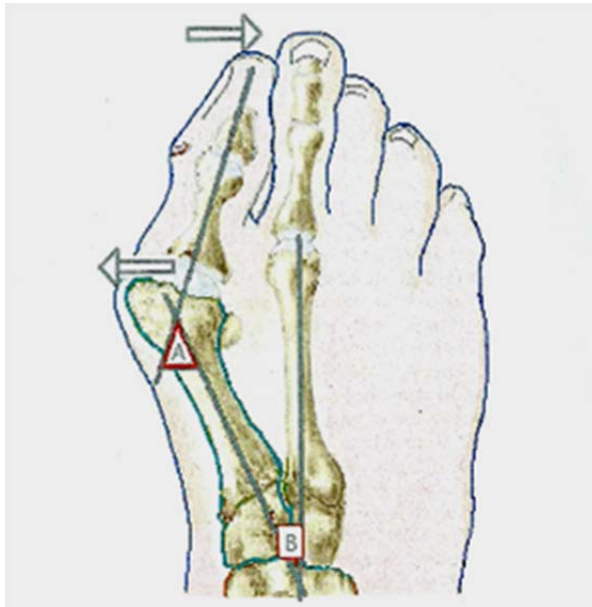
3.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα

Ο βλαισός μέγας δάκτυλος είναι μια από τις πιο συνηθισμένες δυσμορφίες που προσβάλλουν το άκρο πόδι. Η συχνότητα εμφάνισής του στις μοντέρνες κοινωνίες αγγίζει πολλές φορές το 30% του εξεταζόμενου πληθυσμού ενώ είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο στα γυναικεία άκρα! Ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για την αναφορά στο βλαισό μέγα δάκτυλο είναι hallux valgus complex. Ο όρος hallux αναφέρεται στο μεγάλο δάκτυλο του ποδιού, ο όρος valgus αναφέρεται στην εκτοπισμένη, προβληματική θέση του hallux ενώ ο όρος complex χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι το πρόβλημα του βλαισού μέγα δακτύλου συνήθως συνοδεύεται κι από άλλα προβλήματα του κάτω άκρου. Σ' αυτά τα προβλήματα θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν η μεταταρσαλγία, η πλατυποδία και οι γνωστοί σε όλους κάλλοι.

Παρά τη γενική ιδέα που επικρατεί και θέλει το βλαισό μέγα δάκτυλο να εμφανίστηκε με την συνήθεια να φοράμε κλειστά υποδήματα, μια προσεκτικότερη ματιά στο παρελθόν θα μας πείσει για το αντίθετο. Πολλά γλυπτά των αρχαίων Ελλήνων και Ρωμαίων απεικονίζονται με βλαισό μέγα δάκτυλο ενώ και ο Raphael στο έργο του “The Coronation of Virgin” το 1502 μαρτυράται στον Ιωάννη το Βαπτιστή το φαινόμενο του hallux valgus. Επιπλέον, μετά από μελέτη σε

σκελετικά ευρήματα που ανήκουν στην αρχαία φυλή Ινδιάνων Pecos οι οποίοι δεν χρησιμοποιούσαν υποδήματα, γνωρίζουμε ότι είχαν το ίδιο πρόβλημα.

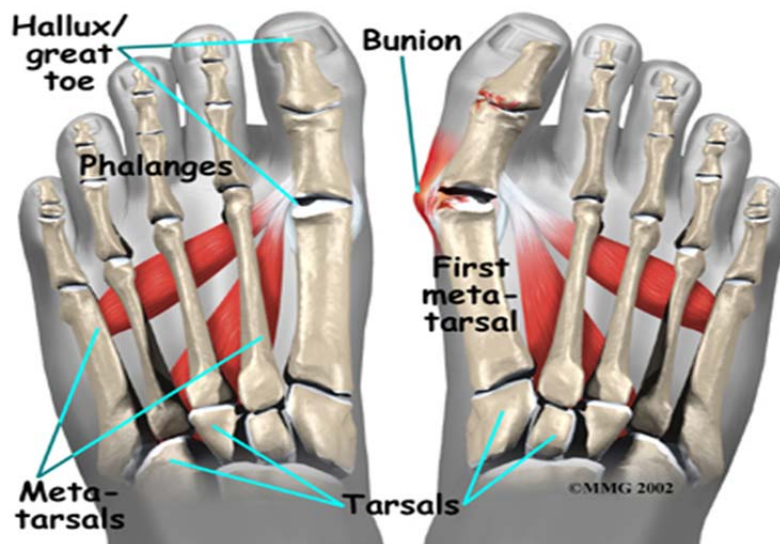
Ο βλαισός μέγας δάκτυλος (hallux valgus) είναι μια οστική δυσμορφία του άκρου ποδός η οποία χαρακτηρίζεται από σταδιακή παραμόρφωση της πρώτης μεταταρσιοφαλαγγικής άρθρωσης. Η παραμόρφωση αυτή οφείλεται στην σταδιακή πλευρική απόκλιση του μεγάλου δακτύλου (hallux) του άκρου πόδα από τον άξονα του πρώτου μετατάρσιου προς τα υπόλοιπα δάκτυλα του άκρου ποδός. Η κίνηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό γωνίας μεγαλύτερης των 15° μεταξύ πρώτου και δεύτερου μετατάρσιου καθώς και την οστική μεγέθυνση της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου. Η νέα προβληματική θέση του πρώτου μετατάρσιου ονομάζεται hallux valgus ή hallux abducto valgus.



Εικόνα 3.1.1.: Ο βλαισός μέγας δάκτυλος διαταράσσει την ομαλή ευθυγράμμιση της πρώτης μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κίνησης της άρθρωσης κατά την παραμόρφωση. Το μεγάλο δάκτυλο υφίσταται απαγωγή ενώ το πρώτο μεταταρσοσφηνοειδές τμήμα υφίσταται προσαγωγή. Η σοβαρότητα της δυσμοφίας του βλαισού μέγα δακτύλου μετράται με τις γωνίες A: γωνία βλαισού δακτύλου (hallux valgus angle) και B: γωνία πρώτου – δεύτερου μετατάρσιου (intermetatarsal 1 - 2 angle).

Η δυσμορφία της πρώτης μεταταρσοφαλαγγικής διάρθρωσης έχει συχνά σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας οστεώδους προεξοχής πάνω στην πλάγια όψη της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου, το λεγόμενο κότσι ή διεθνώς “ bunion ”.

Η λέξη “ bunion ” είναι λατινικής προελεύσεως και σημαίνει μεγέθυνση. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιείται για να αναφερθούμε στην μεγέθυνση της πλάγιας όψης του άκρου ποδός κοντά στη βάση του μεγάλου δακτύλου. Η εν λόγω μεγέθυνση οφείλεται σε μία κύστη γεμάτη υγρό (bursa) η οποία βρίσκεται κάτω από το δέρμα στη συγκεκριμένη περιοχή και δείχνει διογκωμένο τον μαλακό ιστό.



Εικόνα 3.1..2: Η ανάπτυξη ενός bunion.

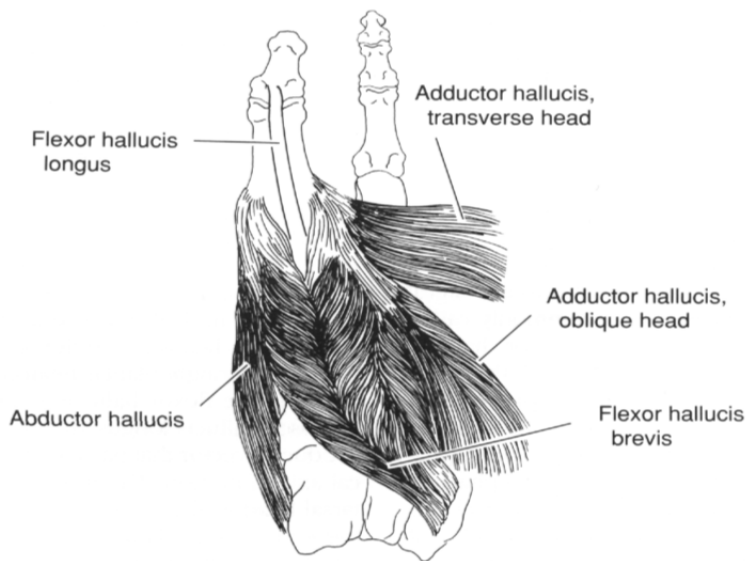
3.2 Ανατομία και λειτουργία υπό φυσιολογικές συνθήκες

Προκειμένου να κατανοήσουμε την προβληματική λειτουργία του μεγάλου δακτύλου θα πρέπει να γνωρίζουμε πώς λειτουργεί όλο το σύστημα γύρω από αυτό.

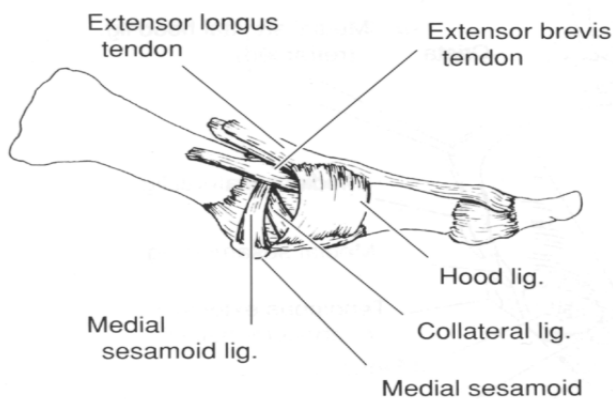
Η πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση αποτελείται στην ουσία από δύο αρθρώσεις οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με μια κοινή κάψουλα, αλληλένδετους μύες και συνδέσμους. Στο περιφερειακό τμήμα της άρθρωσης υπάρχει σύνδεση μεταξύ του κοίλου τμήματος του πρώτου μετατάρσιου και του κυρτού της αντίστοιχης φάλαγγας ενώ το πρώτο μετατάρσιο συνδέεται και με τη ραχιαία επιφάνεια των σησαμοειδών οστών. Τα σησαμοειδή είναι συνδεδεμένα κάθετα με ίνες με την κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου και οριζόντια με ίνες με την πελματιαία επιφάνεια της αντίστοιχης φάλαγγας. Παράλληλα, με το ίδιο μέσο συνδέονται οι κεφαλές των μετατάρσιων με πελματιαίες βάσεις όλων των φαλαγγών. Το πλευρικό σησαμοειδές είναι επίσης ενωμένο με την κεφαλή του δεύτερου μετατάρσιου μέσω ισχυρών συνδέσμων. Η ισχυρή δομή των παραπάνω ενώσεων που μαρτυράται από την ανθεκτικότητα αλλά και τη γεωμετρία των ενδιάμεσων ινών, δείχνει ότι η απόσταση μεταξύ των σησαμοειδών και της πελματιαίας επιφάνειας της κεφαλής του δεύτερου μετατάρσιου φαίνεται να

παραμένει αμετάβλητη. Επιπροσθέτως, τα σησαμοειδή έχουν συνδέσεις με ίνες της πελματικής λωρίδας έτσι ώστε όταν τα σησαμοειδή δέχονται ώθηση προς τα εμπρός αυτές αντιστέκονται διατηρώντας σταθερή τη δομή.

Τα σησαμοειδή είναι επίσης ισχυρά συνδεδεμένα με διάφορους τένοντες όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 3.2.1.: Μυϊκή δομή γύρω από την πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση



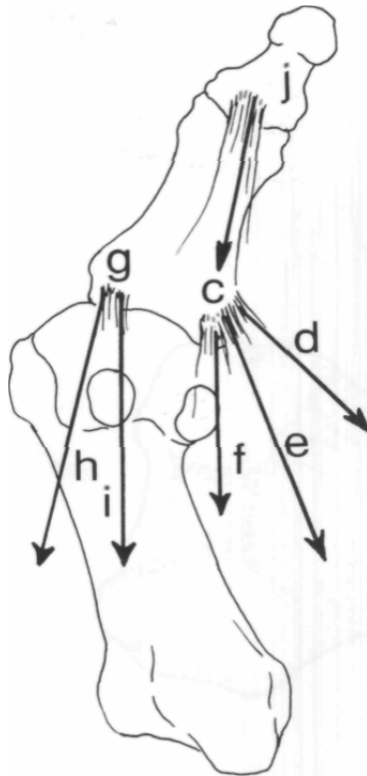
Εικόνα 3.2.2: Πελματιαία πλευρά της πρώτης μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης

Η κύρια κίνηση που εκτελεί η η πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση είναι ραχιαία κάμψη στο τοξοειδές επίπεδο. Η κεφαλή του μετατάρσιου είναι σφαιρική ενώ στο τοξοειδές επίπεδο έχει σπηροειδή μορφή. Η ακτίνα του κυρτώματος της αρθρικής επιφάνειας έχει περίπου το ίδιο πλάτος με την κεφαλή του μετατάρσιου επιτρέποντας έτσι στην αντίστοιχη φάλαγα όχι μόνο ραχιαία κάμψη αλλά προσαγωγή - απαγωγή, inversion - αναστροφή. Αυτές οι κινήσεις συγκρατούνται σε χαμηλό ποσοστό κινητικότητας από συνδέσμους της άρθρωσης αλλά και από τα σησαμοειδή. Προκειμένου λοιπόν να υποστεί απαγωγή το μεγάλο δάκτυλο, θα πρέπει τα σησαμοειδή να υποστούν πλάγια ώθηση που θα τα μετατοπίσει από τις ‘κοιλότητες’ μέσα στις οποίες βρίσκονται. Γι’ αυτό το λόγο αν τα σησαμοειδή είναι ισχυρά δεμένα στη θέση τους η άρθρωση είναι πολύ ισχυρή και το

μεγάλο δάκτυλο είναι δύσκολο να μετακινηθεί από την φυσιολογική θέση του αν δεν υπάρχει μεγάλη δύναμη που ωθεί τα σησαμοειδή.

Όταν το μεγάλο δάκτυλο αρχίζει να κλίνει προς το μέρος των μικρότερων δακτύλων, ο πελματιαίος- πλευρικός σησαμοειδής σύνδεσμος σφίγγει εξαιτίας της συμπίεσης που δέχεται από το πλευρικό σησαμοειδές ενώ ο σύνδεσμος του μεσαίου σησαμοειδούς χαλαρώνει.

Όσον αφορά στην κίνηση της άρθρωσης στο εγκάρσιο επίπεδο, θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα γύρω από το κέντρο της κοιλότητας της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου. Αν πράγματι συμβαίνει αυτό τότε αυτός ο κάθετος άξονας θα πρέπει να περνάει κατευθείαν ανάμεσα από τα σησαμοειδή οστά. Σαν αποτέλεσμα, το έλξη του abductor hallucis (απαγωγός) στην πελματιαία – μεσαία κατεύθυνση συνδιάζεται με ίσου μεγέθους έλξη από τον adductor hallucis (προσαγωγός) στην ίδια κατεύθυνση. Μια έλξη και των δύο κεφαλών από τον flexor hallucis θα παρήγαγε μια πελματιαία κάμψη της άρθρωσης όπως και μια έλξη του flexor hallucis longus (μακρύς καμπτήρας) ή του extensor hallucis longus (μακρύς εκτείνοντας). Τα παραπάνω θα συνέβαιναν διότι όλοι οι παραπάνω τένοντες κατά την κίνησή τους παράγουν μια συνιστώσα δύναμης που περνάει κατευθείαν μέσα από τον κάθετο άξονα της κίνησης.



Όσο πιο στρογγυλευμένη είναι η κεφαλή του πρώτου

μετατάρσιου τόσο πιο κοντά στην επιφάνεια της άρθρωσης βρίσκεται ο κάθετος άξονας . Αυτό όμως σημαίνει ότι μικρές μετατοπίσεις στην μεσαία ή την πλάγια κατεύθυνση στην κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα

μεγαλύτερες γωνιακές αποκλίσεις σε σύγκριση με αυτές που θα είχαμε σε περίπτωση επίπεδης κεφαλής. Σημαίνει επίσης ότι είναι περισσότερο πιθανό να αναπτυχθεί μεγαλύτερη εγκάρσια γωνιακή ροπή βάσει μιας ασκούμενης έλξης είτε από τον adductor ή από τον abductor hallucis.

Εικόνα 3.2.3: Η έλξη που δημιουργούν οι μύες στη φάλαγγα όταν η άρθρωση βρίσκεται σε θέση απαγωγής ενώ υπογραμμίζεται η υπερφόρτωση των μυών στην πλευρική επιφάνεια.

J: δύναμη που ασκεί ο flexor hallucis longus

C: σημείο παρεμβολής συνδεδεμένου τένοντα.

G: σημείο παρεμβολής συνδεδεμένου τένοντα.

H: abductor hallucis

I: τένοντας του flexor hallucis brevis

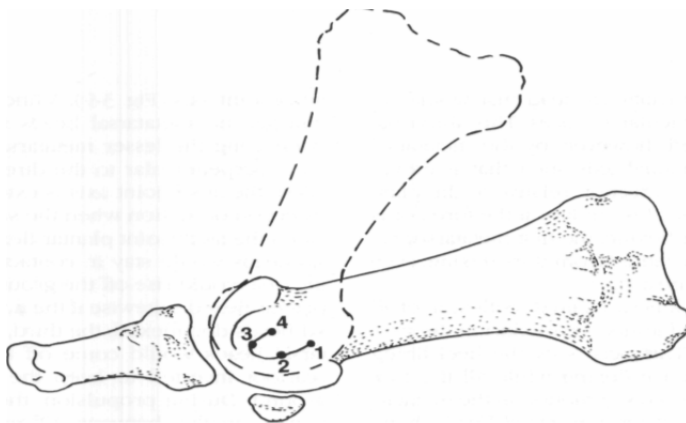
F: τένοντας του flexor hallucis brevis

E: πλάγια άποψη της κεφαλής του adductor hallucis

D: εγκάρσια άποψη της κεφαλής του adductor hallucis.

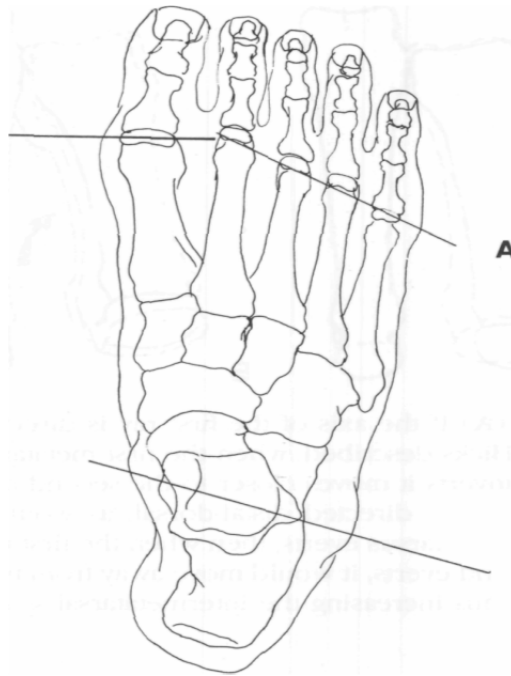
Ως εκ τούτου, η πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση πρέπει να θεωρηθεί σαν ένα κοίλωμα με την βάση της εγγύς φάλαγγας και των σησαμοειδών, με τους αντίστοιχους συνδέσμους να σχηματίζουν ένα μικρότερο κοίλωμα μέσα στο οποίο το πρώτο μετατάρσιο έχει μικρή κινητικότητα καθώς είναι συνδεδεμένο με όλη την περιβάλλουσα δομή. Εξαιτίας του σπηροειδούς σχήματος της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου στο τοξοειδές επίπεδο, ο άξονας ραχιαία κάμψης - πελματιαίας κάμψης δεν μένει σταθερός. Όταν η πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση κάνει ραχιαία κάμψη σε περίπτωση που δεν υφίσταται εξωτερικό βάρος, ο άξονας της κίνησης μετακινείται παράγοντας μια ολισθαίνουσα κίνηση της επιφάνειας της άρθρωσης. Παρ' όλα αυτά, όταν δεν υφίσταται εξωτερικό βάρος (π.χ άρση βαρών) το μεγάλο δάκτυλο παραμένει ακίνητο και ολόκληρο το

μετατάρσιο ανυψώνεται και κινείται πάνω σε ένα τόξο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.2.4

Εξαιτίας αυτής της ολισθαίνουσας κίνησης του μεγάλου δακτύλου πάνω στην φάλαγγα, αν το πρώτο μετατάρσιο κινούνταν αποκλειστικά μόνο πάνω σ' αυτό το τόξο, θα κυλούσε επίσης προς τα εμπρός παράγοντας έτσι μια συμπίεση ανάμεσα στην φάλαγγα και την κεφαλή του μετατάρσιου γεγονός που θα προκαλούσε ζημιά στις εμπλεκόμενες επιφάνειες. Αυτή η πιθανή συμπίεση λοιπόν αποφεύγεται με την περιστρεφόμενη κίνηση του μετατάρσιου γύρω από τον πιο κοντινό άξονα όπως φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα 3.2.6

Όπως φαίνεται η γραμμή που ‘συνδέει’ πρώτο – δεύτερο μετατάρσιο σχηματίζει γωνία με τη γραμμή που ‘ενώνει’ τις κεφαλές των μικρότερων μετατάρσιων και είναι απαραίτητα κάθετη στην κατεύθυνση της κίνησης. Λόγω του ότι ο άξονας της κίνησης της ποδοκνημικής διάρθρωσης έχει την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση του ποδιού κατά τη βάδιση ενώ η υπαστραγαλική μένει ουδέτερη, όταν η ποδοκνημική λυγίζει πελματιαία, οι κεφαλές των μικρότερων μετατάρσιων διατηρούν επαφή με το έδαφος το πρώτο μετατάρσιο ανυψώνεται εκτός κι αν λυγίζει κι αυτό πελματιαία. Κατά τη διάρκεια της ώθησης απ’ το έδαφος οι μεταταρσοφαλαγγικές διαρθρώσεις εκτελούν ραχιαία κάμψη 40° - 60° ενώ την ίδια στιγμή η ποδοκνημική

κάμπτεται περίπου στο μισό. Μετά από όλα αυτά είναι προφανές πως για να διατηρήσουν όλες οι μεταταρσιοφαλαγγικές διαρθρώσεις επαφή με το έδαφος θα πρέπει να συμβούν και οι δύο παραπάνω μηχανισμοί.

Μελετώντας λοιπόν τον μηχανισμό των οστών του άκρου ποδός κατά τη φυσιολογική βάδιση θα πρέπει να τονιστεί ο ιδιαίτερα σημαντικός ρόλος του πρώτου μετατάρσιου. Άλλωστε η ‘αναβάθμιση’ του ρόλου του στη βάδιση αλλά και σε άλλες λειτουργίες της ανθρώπινης κατασκευής είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά εξέλιξης του ανθρώπου. Το πρώτο μετατάρσιο του ανθρώπου των σπηλαίων ήταν πολύ πιο κοντό σε σύγκριση με αυτό του σύγχρονου ανθρώπου κι έφερε μικρότερο ποσοστό του συνολικού βάρους .

Η κίνηση του πρώτου μετατάρσιου μελετήθηκε πρώτη φορά από τον Hicks. Περιέγραψε την σύνθετη κίνηση του πρώτου μετατάρσιου χρησιμοποιώντας ένα μόνο άξονα τον οποίο ονόμασε ‘άξονα πρώτης ακτίνας’ (axis of the first ray) (εικόνα). Αυτός ο άξονας φαίνεται να είναι σχεδόν οριζόντιος και να περνά ανάμεσα από το σκαφοειδές και τη βάση του τρίτου μετατάρσιου.

Ανάλογα πειράματα χωρίς εξωτερικά επιβαλλόμενο βάρος από τον Kelso et al. έδειξαν ότι το πρώτο μετατάρσιο κινείται ανεξάρτητα από το υπόλοιπο πόδι ενώ δημιουργήθηκε η υποψία ότι οι μετρήσεις χωρίς φορτίο ίσως δεν δείχνουν με ακρίβεια την λειτουργία του ποδιού.

3.3 Δημιουργία *hallux abducto valgus*

Όσες μελέτες έχουν γίνει μέχρι σήμερα με σκοπό τη διελεύκανση του μηχανισμού του βλαισού μέγα δακτύλου, καταλήγουν πως το πρόβλημα προκύπτει με την πλευρική μετατόπιση των σησαμοειδών κάτω από την πρώτη μεταταρσοφαλαγγική άρθρωση. Η κίνηση αυτή των σησαμοειδών προκαλεί τον εφελκυσμό των μεσαίων συνδέσμων που συνενώνουν αυτά τα οστά με τα άλλα τμήματα του άκρου ποδός με αποτέλεσμα να αποδυναμώνονται σε σχέση με τους πλευρικούς. Το μεσαίο σησαμοειδές πλησιάζει τον κατακόρυφο άξονα ενώ το πλευρικό σησαμοειδές απομακρύνεται έτσι ώστε σε περίπτωση που ο προσαγωγός μυς του μεγάλου δακτύλου (adductor hallucis), ο μακρύς καμπτήρας του μεγάλου δακτύλου (flexor hallucis brevis) και ο απαγωγός του μεγάλου δακτύλου (abductor hallucis) δράσουν με ίδιου μεγέθους δύναμη, η άρθρωση θα κινηθεί πλευρικά σαν δίχτυ ασφαλείας.

Παρατηρώντας από την μπροστινή όψη την πλευρική μετατόπιση των σησαμοειδών διαπιστώνουμε ότι και το μεσαίο σησαμοειδές έχει μετακινηθεί προσεγγίζοντας το κάτω μέρος της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου ενώ το πλευρικό σησαμοειδές έχει επίσης μετακινηθεί στην κοντά στην περιοχή του πρώτου μετατάρσιου. (Εικόνα 3.3.1)



Εικόνα 3.3.1: Πλευρική μετατόπιση του μεγάλου δακτύλου

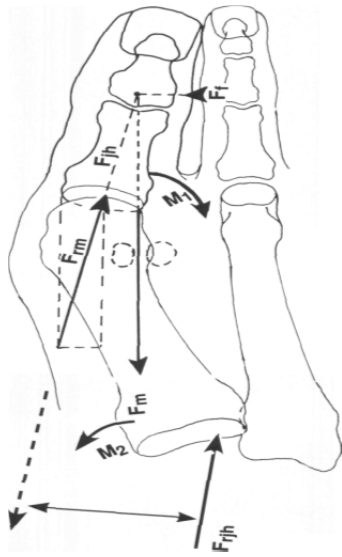
Καθώς το μεσαίο σησαμοειδές κινείται πλευρικά προσκρούει στην περιοχή ανάμεσα στα σησαμοειδή στην πελματιαία όψη της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου γεγονός που οδηγεί σε φθορά των εμπλεκόμενων οστών καθώς και σε δημιουργία νέων χόνδρων στην πλευρική επιφάνεια της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου.

Με το μεγάλο δάκτυλο να έχει μετακινηθεί πλευρικά, η ασκούμενη πίεση μειώνεται στην μεταταρσοφαλαγγική περιοχή και αυξάνεται της φαλαγγικής περιοχής. Συνεπώς, η φάλαγγα ενώ κάνει ραχιαία κάμψη, ασκεί αυξημένη πίεση στην κεφαλή του μετατάρσιου προκαλώντας φθορά και ατροφία στους αρθρικούς χόνδρους και τον σχηματισμό μιας αυλάκωσης στην πλευρική επιφάνεια της κεφαλής του πρώτου

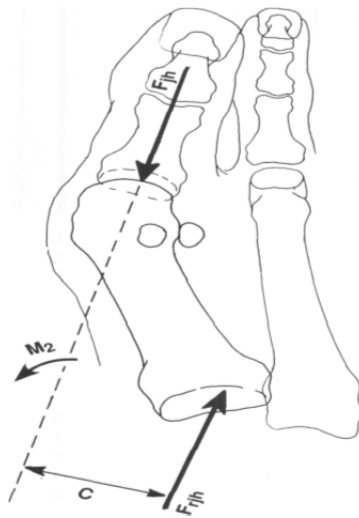
μετατάρσιου. Από τη στιγμή εμφάνισης αυτής της αυλάκωσης, ο αρθρικός χόνδρος που προσανατολίζεται στο εσωτερικό της υφίσταται φθορά και σταδιακά εξαφανίζεται. Αυτή η εικόνα δίνει την εντύπωση υπερτροφίας της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου αλλά αν η μετρηθεί αυτή η προεξοχή θα βρεθεί ότι έχει το ίδιο μέγεθος και σε φυσιολογικό πόδι και σε πόδι με hallux valgus.

Προκειμένου να γίνει πλήρως κατανοητή η μηχανική του ποδιού στην περίπτωση του άκρου πόδα έχουν δημιουργηθεί διάφορα εμβιομηχανικά μοντέλα. Ένα απ' αυτά είναι το μοντέλο του Snijders et al. Σύμφωνα μ' αυτό το μοντέλο, όταν το μεγάλο δάκτυλο απάγεται η έλξη του flexor hallucis longus (F_m) δημιουργεί απαγωγή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα της πρώτης μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης. Ο ίδιος μυς προκαλεί επίσης θλιπτική δύναμη εντός της μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης (F_m) και τριβή με το έδαφος (F_f). (Εικόνα 3.3.2 Α).

Ίση σε μέγεθος με την δύναμη F_m αλλά αντίθετης διεύθυνσης είναι η δύναμη F_{ih} . Η τελευταία σε συνδιασμό με τη θλιπτική δύναμη στη μεταταρσοσφηνοειδή άρθρωση (F_{rjh}) ωθούν σε προσαγωγή το πρώτο μετατάρσιο (M_2). (Εικόνα 3.3.2 Β)

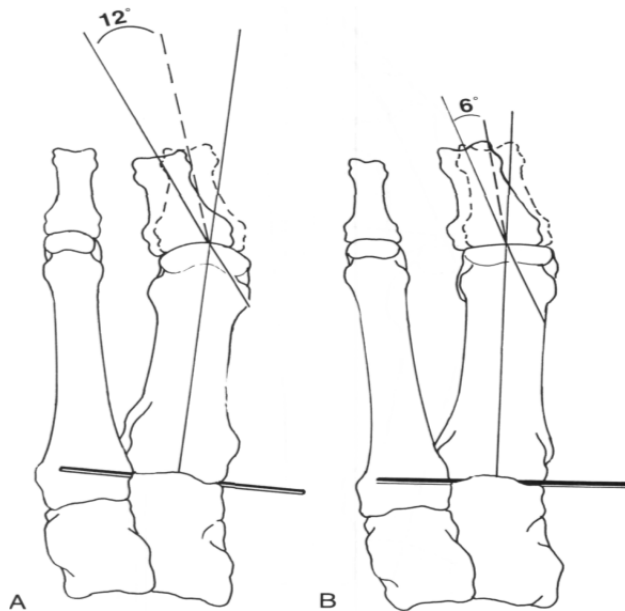


Εικόνα 3.3.2 Α



Εικόνα 3.3.2 Β

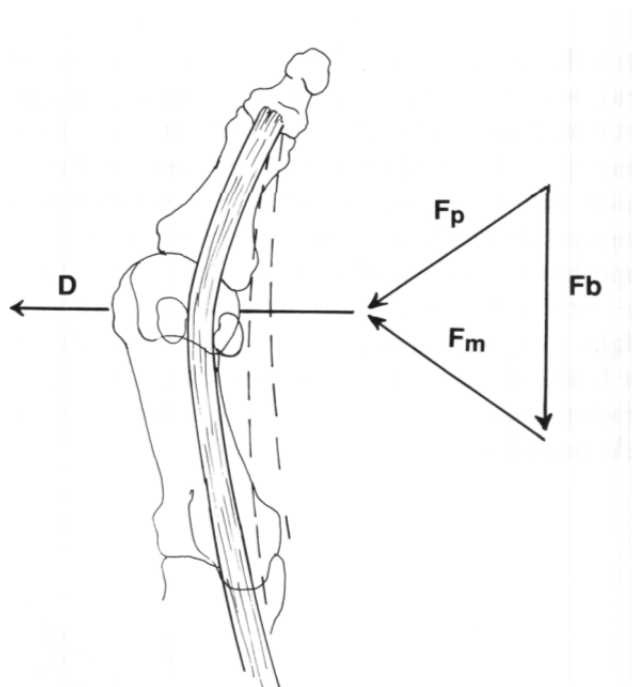
Οι Mann and Coughlin με το μοντέλο τους σύγκριναν το μηχανισμό μετατόπισης του μεγάλου δακτύλου στις περιπτώσεις στρογγυλής κεφαλής πρώτου μετατάρσιου και επίπεδης κεφαλής. Κατέληξαν στο συμπέρασμα πως και στις δύο περιπτώσεις η ίδια γραμμική πλευρική μετατόπιση της βάσης της πρώτης φάλαγγας στην περίπτωση της στρογγυλής κεφαλής δίνει διπλάσια γωνιακή μετατόπιση σε σχέση με αυτή της επίπεδης. (Εικόνα 12).



Εικόνα 3.3.3: A – στρογγυλή κεφαλή πρώτου μετατάρσιου

B - επίπεδη κεφαλή πρώτου μετατάρσιου

Με την έρευνά τους οι Rega and Green έδειξαν πως η λειτουργία του extensor hallucis longus κατά τον σχηματισμό του hallux valgus είναι διαφορετική απ' αυτή που επικρατούσε ως σωστή. Πολλοί ερευνητές ενέπλεξαν τον εν λόγω μυ στο σχηματισμό hallux valgus θεωρώντας ότι παίρνει το ρόλο της ακτίνας ενός τόξου, όπως φαίνεται με τη διακεκομμένη γραμμή στην παρακάτω εικόνα. Στην πραγματικότητα δεν παίρνει αυτό το ρόλο αλλά αντίθετα παραμένει 'δεμένος' πάνω στη μεταταρσοφαλαγγική άρθρωση . (Εικόνα 3.3.4).



Εικόνα 3.3.4

3.4 Σχηματισμοί που συνδέονται με τη δημιουργία Βλαισού Μέγα Δακτύλου

3.4.1 Ενδομετατάρσια γωνία (Intermetatarsal angle)

Ενδομετατάρσια γωνία ή αλλιώς intermetatarsal angle (im) ονομάζεται η γωνία που δημιουργείται εξαιτίας της ‘απομάκρυνσης’ των διαμήκων αξόνων πρώτου και δεύτερου μετατάρσιου. Υπό φυσιολογικές συνθήκες η intermetatarsal angle κυμαίνεται από 0° έως 14°. Όταν ο άκρος πόδας βρίσκεται σε προσαγωγή φυσιολογικές τιμές για την εν λόγω γωνία είναι από 0° έως 12°. Μια ασυνήθιστα αυξημένη ενδομετατάρσια γωνία αναφέρεται με τον όρο metatarsus primus adductus. Ο Scott et al μετά από έρευνες διαπίστωσε ότι η ενδομετατάρσια γωνία μεταξύ πρώτου και δεύτερου μετατάρσιου αποτελεί το καλύτερο μέτρο απόκλισης του πρώτου μετατάρσιου και ως εκ τούτου το πιο αξιόπιστο κριτήριο σοβαρότητας του προβλήματος.

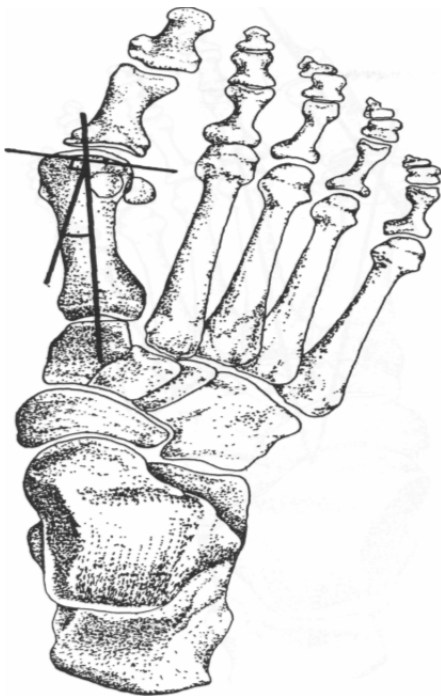
3.4.2 Γωνία Βλαισού Δακτύλου (*Hallux Abductus Angle*)

Γωνία βλαισού μέγα δακτύλου ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από τη τομή του διαμήκους άξονα του πρώτου μετατάρσιου και του διαμήκους άξονα της ανίστοιχης φάλαγγας. Σε φυσιολογική κατάσταση η hallux abductus valgus ή αλλιώς hallux valgus angle δεν ξεπερνά τις 16°. Αν η εν λόγω γωνία κυμαίνεται από 17° έως 25° έχουμε ήπια παραμόρφωση. Η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως σοβαρή όταν η αυτή η γωνία ξεπεράσει τις 35°. Τέλος στην περίπτωση άνω των 35° έχουμε υπεξαρθρημένη άρθρωση.



3.4.3 Proximal Articular Set Angle

Η Proximal Articular Set Angle (pasa) είναι άλλο ένα αξιόπιστο μέτρο σοβαρότητας της δομικής δυσμορφίας. Η συγκεκριμένη γωνία σχηματίζεται από δύο νοητές γραμμές: η μια είναι παράλληλη στο επίπεδο του αρθρικού χόνδρου της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου και η άλλη διχοτομεί το πρώτο μετατάρσιο όπως φαίνεται στην εικόνα.



Εικόνα 3.4.3.1: Proximal Articular Set Angle

Μια αφύσικη αύξηση αυτής της γωνίας είναι πιθανό να υποδεικνύει την ύπαρξη μιας δομικής δυσμορφίας στην κεφαλή του μετατάρσιου η οποία βαθμιαία μπορεί να οδηγήσει στη δομική μεταβολή της επιφάνειας του αρθρικού χόνδρου. Η φυσιολογική τιμή της proximal articular set angle είναι μικρότερη των 8° .

3.4.4 Εφαπτομενική Γωνία στο Δεύτερο Άξονα

(Tangential Angle to the Second Axis)

Η εφαπτομενική γωνία στο δεύτερο άξονα (tasa) σχηματίζεται από τη νοητή γραμμή που διχοτομεί την αρθρική επιφάνεια του χόνδρου του πρώτου μετατάρσιου και τον κάθετο σ'αυτή διαμήκη άξονα του δεύτερου μετατάρσιου. Σε ιδανικές συνθήκες η γωνία αυτή πρέπει να είναι 0° αλλά μια απόκλιση $+5^{\circ}$ ή -5° είναι αποδεκτή. Μια χρήσιμη εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της tangential angle είναι: $tasa = pasa - im$.

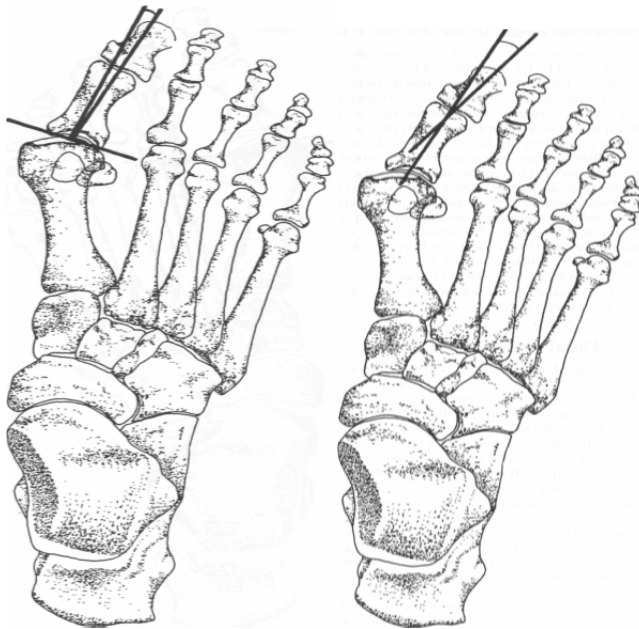
Εικόνα 3.4.4.1: Tangential angle to the second axis.

3.4.5 Distal Articular Set Angle

Η distal articular set angle (Εικόνα 16) είναι η γωνία που προκύπτει από τη διχοτόμηση του άξονα της φάλαγγας του μεγάλου δακτύλου και τη νοητή γραμμή που ‘εκπροσωπεί’ τον αρθρικό χόνδρο της βάσης της φάλαγγας. Υπό φυσιολογικές συνθήκες η εν λόγω γωνία πρέπει να είναι μικρότερη των 8°. Σημαντικός παράγοντας στην μέτρηση της distal articular set angle είναι το μήκος της εγγύς φάλαγγας.

3.4.6 Hallux Abductus Interphalangeus

Η hallux abductus interphalangeus (Εικόνα 17) προκύπτει από τη τομή των διαμήκων αξόνων που διχοτομούν την κάτω και την πάνω αντίστοιχα φάλαγγα του μεγάλου δακτύλου. Θεωρείται ότι κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα όταν βρίσκεται εντός του διαστήματος 0°- 10°. Ενδεχόμενη αύξηση αυτής της γωνίας υποδηλώνει δυσμορφία στη μεσοφαλαγγική διάρθρωση του δακτύλου.



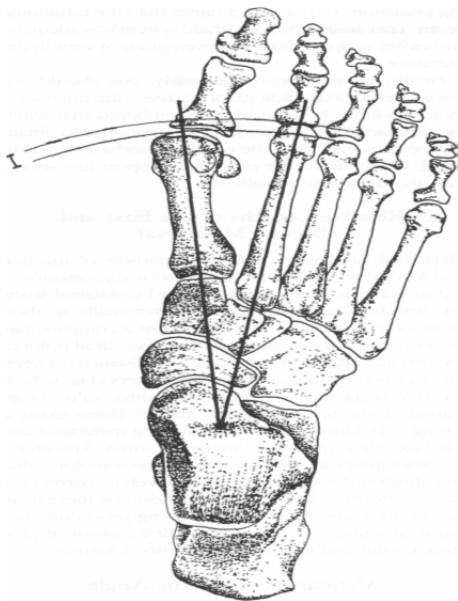
Εικόνα 3.4.6.1

Εικόνα 3.4.6.2

3.4.7 Σχετικό Μήκος Πρώτου και Δεύτερου μετατάριου

Η σύγκριση του μήκους πρώτου και δεύτερου μετατάριου ονομάζεται Μετατάρσια Προεξοχή. Το συνηθισμένο μήκος αυτής της προεξοχής είναι από +2 έως -2 mm. Πρακτικά για τη μέτρηση του σχετικού μήκους ακολουθείται η εξής διακασία: φέρονται οι διαμήκεις άξονες

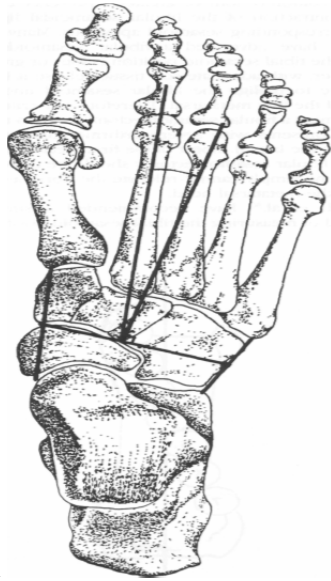
που διχοτομούν τα δύο πρώτα μετατάρσια και επεκτείνονται προς τα κάτω μέχρι το σημείο τομής τους. Στη συνέχεια με τη βοήθεια διαβήτη φέρονται δύο τόξα, το ένα με κέντρο το σημείο τομής των παραπάνω αξόνων και ακτίνα το μήκος μέχρι την κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου και το άλλο με το ίδιο κέντρο αλλά με ακτίνα το μήκος μέχρι την κεφαλή του δεύτερου μετατάρσιου. Τέλος, η απόσταση των δύο τόξων μετριέται σε millimeters. (Εικόνα 3.4.7.1). Αν το μήκος του πρώτου μετατάρσιου είναι μεγαλύτερο το αποτέλεσμα έχει θετικό πρόσημο ενώ αν είναι μικρότερο, αρνητικό. Βάσει μελετών υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ ενός μακρύ πρώτου μετατάρσιου και της εμφάνισης hallux valgus.



Εικόνα 3.4.7.1

3.4.8 Metatarsus Adductus Angle

Προκειμένου να σχηματίσουμε αυτή τη γωνία θα πρέπει αρχικά να βρούμε το μέσο της έσω πλευράς της μεταταρσοσφυνοειδούς και της talonaviculara άρθρωσης. Πρέπει επίσης να βρούμε το μέσο της πλευρικής μεριάς της calcaneocuboid και της τέταρτης μεταταρσοκυβοειδούς άρθρωσης. Όταν τα παραπάνω σημεία συνδιαστούν δίνουν την κάθετο στον άξονα των μικρότερων ταρσών. Η γωνία που δημιουργείται από τη τομή αυτής της κάθετου με τον διαμήκη άξονα του δεύτερου μετατάριου είναι η metatarsus adductus angle (Εικόνα 3.4.8.1). Η γωνία θεωρείται φυσιολογική όταν είναι μικρότερη των 15°. Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διάγνωση της σοβαρότητας του βλαισού δακτύλου καθώς όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι και η hallux abductus angle και τόσο μικρότερη η intermetatarsal angle.



Εικόνα 3.4.8.1

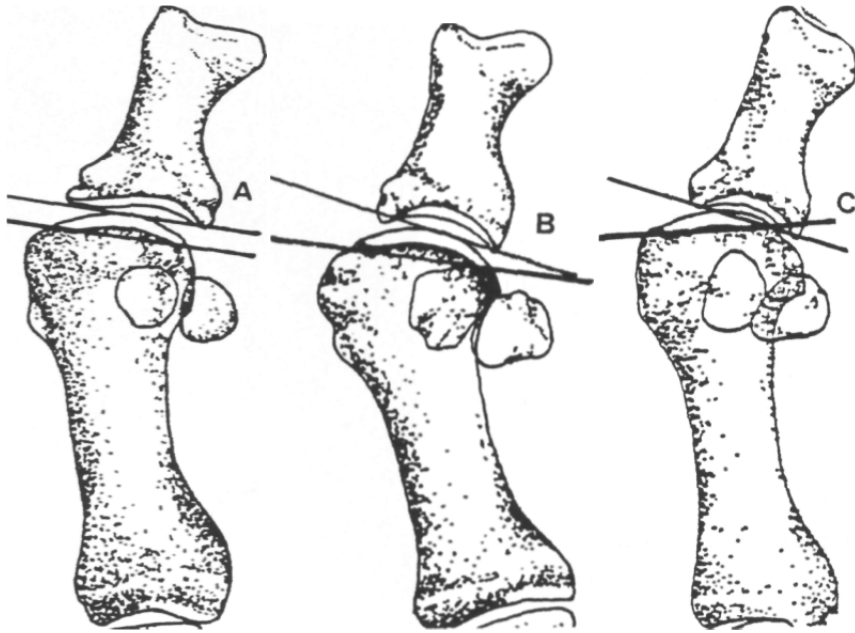
3.4.9 Σύνδεσμοι Πρώτης Μεταταρσοφαλαγγικής Άρθρωσης

Η επιφάνεια επαφής μεταξύ της κεφαλής του πρώτου μετατάριου και της βάσης της αντίστοιχης φάλαγγας στην περίπτωση του hallux abducto valgus μπορεί να χαρακτηριστεί ως αρμονική (congruous), παρεκκλίνουσα (deviated) ή υπεξαρθρημένη. Στην περίπτωση μιας αρμονικής άρθρωσης οι γραμμές που αναπαριστούν τις αρθρικές επιφάνειες της κεφαλής του μετατάριου και της βάσης της αντίστοιχης φάλαγγας είναι παράλληλες. Μια μικρή απόκλιση της

τάξης το 3^ο είναι αποδεκτή. Αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι ενώ σε ένα φυσιολογικό πρώτο μετατάρσιο φυσικά η πρώτη μεταταρσοφαλαγγική άρθρωση είναι αρμονική, υπάρχει περίπτωση να είναι εξίσου φυσιολογική και στην περίπτωση hallux abducto valgus.

Η μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση θεωρείται παρεκκλίνουσα όταν οι γραμμές που αναφέρθηκαν πιο πάνω τέμνονται σε σημείο εξωτερικό της άρθρωσης. Αποδεκτό ποσοστό απόκλισης είναι 4% - 25%.

Τέλος, λέγεται ότι η μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση έχει υποστεί υπεξάρθρημα ή αλλιώς μερική εξάρθρωση όταν οι παραπάνω γραμμές τέμνονται σε σημείο εντός της άρθρωσης. Η σχηματιζόμενη γωνία ξεπερνά συνήθως το 25%. Μια τέτοια άρθρωση υποδηλώνει την ύπαρξη δυσμορφίας που επιδεινώνεται ραγδαία.



Εικόνα 3.4.9.1: Α. Αρμονική άρθρωση, Β. Παρεκκλίνουσα άρθρωση, C. Υπεξαρθρημένη άρθρωση.

3.4.10 Σχήμα Κεφαλής Πρώτου Μετατάρσιου

Το σχήμα της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου μπορεί να χαρακτηριστεί ως στρογγυλό (round), τετράγωνο (square) ή τετράγωνο με κεντρική κορυφή (square with a central ridge). Συχνά η κεφαλή θεωρείται ως ο λιγότερο σταθερός από τους συνδέσμους της μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης.

Μια στρογγυλή κεφαλή αντιπροσωπεύει ένα φυσιολογικό και ομαλό πρότυπο. Η τετράγωνη κεφαλή συναντάται σπάνια σε μια περίπτωση hallux valgus. Είναι συχνά ενδεικτική μειωμένης κινητικότητας του μεγάλου δακτύλου (hallux limitus) ή άκαμπτου μεγάλου δακτύλου (hallux rigidus).

3.4.11 Μεταταρσοσφηνοειδής Άρθρωση

Σημαντική στο σχηματισμό βλαισού μέγα δακτύλου είναι επίσης η μεταταρσοσφηνοειδής άρθρωση. Όπως και η κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου κι αυτή ανάλογα με το σχήμα της μπορεί να χαρακτηριστεί ως στρογγυλή (round), τετράγωνη (square) ή πλάγια (oblique). Η στρογγυλή άρθρωση θεωρείται ως η περισσότερο ευέλικτη ενώ η τετράγωνη είναι αυτή που συναντάται συνήθως στην περίπτωση βλαισού δακτύλου. Τέλος, μια πλάγια μεταταρσοφαλαγγική άρθρωση μπορεί να υποδηλώνει κάποιες δυσμορφίες στο πρώτο μετατάρσιο όπως π.χ metatarsus primus varus.

3.5 Σύγκριση Φυσιολογικού Ποδιού και Ποδιού με Hallux Valgus

Κατά καιρούς έχουν γίνει πολλά πειράματα με σκοπό να συγκρίνουν τη λειτουργία φυσιολογικού ποδιού και ποδιού με hallux valgus. Στην πλειονότητά τους καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η πιο χαρακτηριστική λειτουργική διαφορά είναι η διαφορετική κατανομή βάρους κατά μήκος του πέλματος.

Οι M. Dhanendran, J. Pollard και W. C. Hutton διεξήγαγαν μια τέτοια έρευνα καταλήγοντας πως το δείγμα των ποδιών με hallux valgus εμφάνισε μειωμένη κατανομή βάρους και μειωμένη διάρκεια επαφής με το έδαφος κάτω από την επιφάνεια του μεγάλου δακτύλου ενώ μειωμένο φορτίο παρέλαβε και το δεύτερο δάκτυλο. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει βέβαια να σημειώσουμε ότι το μειωμένο φορτίο κάτω από το δεύτερο δάκτυλο δεν θα αναμενόταν να επηρεάσει σημαντικά την συνολική λειτουργία του άκρου πόδα καθώς υπό φυσιολογικές συνθήκες αυτό το δάκτυλο παραλαμβάνει μικρό ποσοστό του συνολικού βάρους του ανθρώπινου σώματος. Αυτή η μείωση βάρους που εμφανίζεται στην περίπτωση του βλαισού μέγα δακτύλου ίσως προκαλείται από τη μετατόπιση του μεγάλου δακτύλου που ωθεί σε συνωστισμό τα μικρότερα δάκτυλα και έτσι εμποδίζει την απαραίτητη λειτουργία των πελματιαίων καμπτήρων.

Η λειτουργία των βραχέων και των μακρυνών καμπτήρων είναι αυτή που καθορίζει το βαθμό στον οποίο καταπονείται από βάρος το μεγάλο δάκτυλο κατά το εναρκτήριο λάκτισμα. Τα σησαμοειδή οστά ενσωματώνονται στους τένοντες του flexor hallucis brevis καθώς περνούν κάτω από την κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου και ενώ ο flexor hallucis longus περνά ανάμεσα από τις δύο ‘διακλαδώσεις’ του flexor hallucis brevis. Η δυσμορφία του μεγάλου δακτύλου που χαρακτηρίζεται από τον όρο ‘valgus’ συνήθως συνοδεύεται και από μια περιστροφή του μεγάλου δακτύλου. Επιπλέον, τα σησαμοειδή ολισθαίνουν προς τη θέση κάτω από την κεφαλή του μετατάρσιου ,κινούμενα πλαγίως σε σχέση με την κεφαλή. Αυτό σημαίνει ότι τόσο οι μακριοί όσο και οι βραχείς καμπτήρες σταματούν να λειτουργούν ως καμπτήρες και δουλεύουν πλέον σαν προσαγωγοί του μεγάλου δακτύλου. Η όλη παραπάνω αναλύομενη δυσλειτουργία μπορεί να αιτιολογήσει την μειωμένη κατανομή βάρους στο μεγάλο δάκτυλο ενώ προς αυτό το αποτέλεσμα συμβάλλει και η δυσκαμψία της μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης εξαιτίας αρθριτικών αλλαγών.

Οι ερευνητές εξετάζοντας το δείγμα των ποδιών με hallux valgus διαπίστωσαν ότι η πλάγια μεριά των κεφαλών των μετατάρσιων φορτιζόταν σε μεγαλύτερο από το κανονικό βαθμό γεγονός που ίσως αποτελεί αποτέλεσμα της προβληματικά προσαρμοσμένης κίνησής τους για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η νέα ‘πλάγια’ κατανομή βάρους μπορεί να επεξηγηθεί ως προσπάθεια προστασίας της έσω πλευράς

μειώνοντας το ποσοστό πρηνισμού κατά την αρχική φάση της κίνησης, όταν ο άκρος πόδας ακουμπά στο έδαφος.

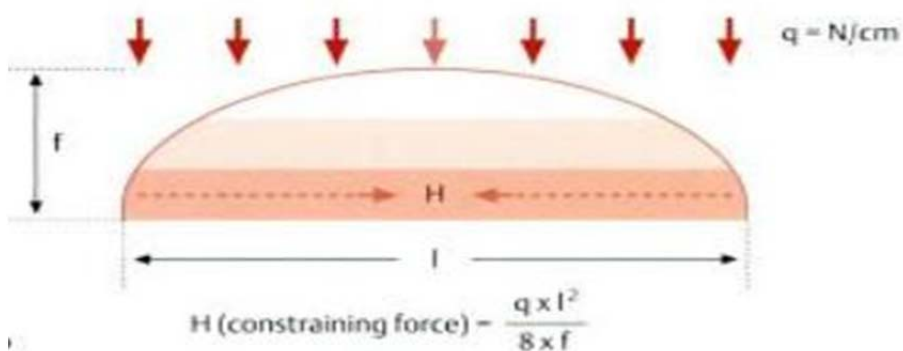
Όσον αφορά στη σύγκριση του χρόνου επαφής με το έδαφος φυσιολογικού και με hallux valgus ποδιού, τα άτομα με hallux valgus ξοδεύουν μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου κίνησης στηριζόμενοι στην πτέρνα, στο μεσαίο τμήμα του πέλματος και στην πλάγια επιφάνεια των κεφαλών των τριών μικρότερων μετατάρσιων. Ίσως αυτός ο τρόπος κίνησης προσπαθεί να ισοσταθμίσει τη μικρότερη διάρκεια επιβάρυνσης όλων των δακτύλων των ατόμων με βλαισό μέγα δάκτυλο.

Σε ένα άλλο σημείο σύγκρισης, μελετήθηκε η σχέση μεταξύ του βάρους που παραλαμβάνει το μεγάλο δάκτυλο και σχηματιζόμενης γωνίας του βλαισού μέγα δακτύλου (hallux valgus angle).

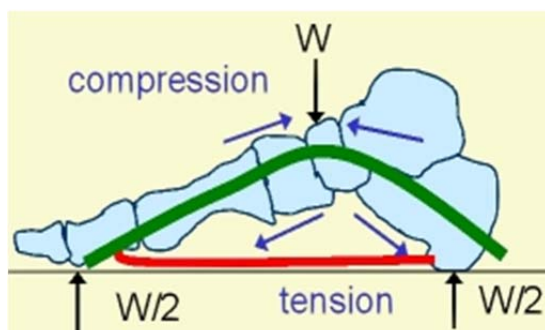
Διαπιστώθηκε λοιπόν πως όσο μικρότερη είναι η hallux valgus angle τόσο μεγαλύτερο είναι το βάρος που πέφτει στο μεγάλο δάκτυλο.

Κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής βάρδισης, στην αρχική φάση επαφής του ποδιού με το έδαφος όταν πτέρνα και το μπροστινό τμήμα του πέλματος επιβαρύνονται ταυτόχρονα, η επιμήκης καμάρα υποστηρίζεται μερικώς από τα συμπιεζόμενα οστά, τους πελματιαίους συνδέσμους και τους μακρείς καμπτήρες μυς. Στην τελευταία φάση, όταν πια η πτέρνα και το μεσαίο τμήμα του πέλματος δεν φορτίζονται, η πελματιαία απονεύρωση στηρίζει την επιμήκη καμάρα. Στο έργο υποστήριξης βοηθούν και τα δάκτυλα. Σ' αυτό το στάδιο το βάρος που

φέρουν οι μεταταρσοφαλαγγικές διαρθρώσεις και τα μετατάρσια αγγίζει το μέγιστο.

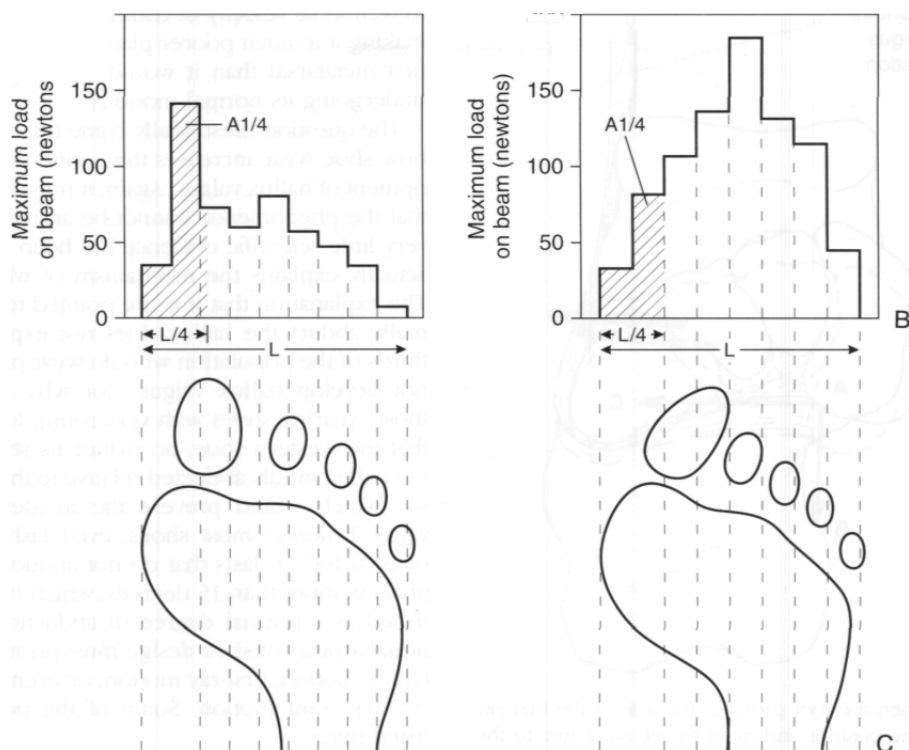


Εικόνα 3.5.1: Ποδική καμάρα και κατανομή δυνάμεων. Με την κόκκινη γραμμή αναπαριστάται η πελματιαία απονεύρωση.



Εικόνα 3.5.2: Σύγκριση διαμήκους καμάρας με παραβολή. Η δύναμη H είναι αυτή πρέπει να εφαρμοστεί για τη διατήρηση της καμάρας. Το μέγεθός της εξαρτάται από το επιβαλλόμενο φορτίο q , το μήκος l και το ύψος f της καμάρας.

Αντίθετα, όταν έχουμε hallux valgus τα δύο μεσαία δάκτυλα φέρουν μικρότερο βάρος από το συνηθισμένο κι έτσι μειώνεται η στήριξη της επιμήκους καμάρας από την πελματιαία απονεύρωση. Τέλος, σαν αποτέλεσμα μειώνεται η πίεση που δέχονται οι πελματιαίοι σύνδεσμοι στη βάση των μετατάρσιων.



Εικόνα3.5.3: Κατανομή μέγιστου φορτίου κατά μήκος ενός φυσιολογικού και ενός πέλματος με βλαισό μέγα δάκτυλο. (A) Στο φυσιολογικό πόδι το πρώτο μετατάρσιο φέρει τουλάχιστον το διπλάσιο μέγιστο φορτίο σε σχέση με τα άλλα μετατάρσια. (B) Στο πόδι με βλαισό μέγα δάκτυλο υπάρχει μείωση του μέγιστου βάρους που φέρει το πρώτο μετατάρσιο και ταυτόχρονη αύξηση για το δεύτερο και τρίτο μετατάρσιο. Αυτό δημιουργεί κάλο κάτω από τις κεφαλές δεύτερου και τρίτου μετατάρσιου. (C) Ο Harris Beath Mat κατέγραψε πειραματικά τη μεταφορά βάρους από την κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου στα μικρότερα. Αυτή η μεταφορά βάρους ερμηνεύτηκε από τον Dudley Morton σαν υπερκινητικότητα του first ray. (Διαγράμματα A και B από Stokes et al., C από Harris and Beath).

3.6 Αίτια Σχηματισμού Hallux Valgus

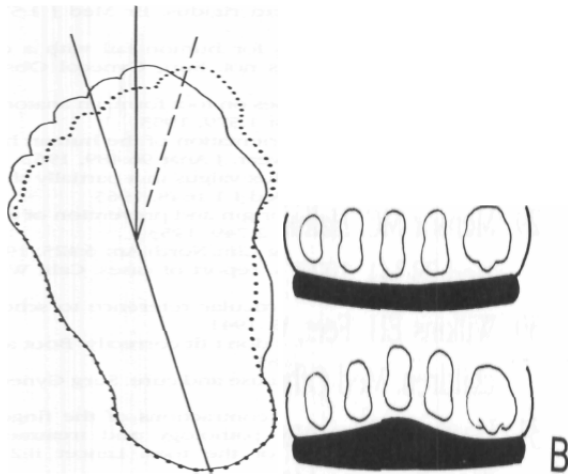
Παρά το γεγονός ότι ο βλαισός μέγας δάκτυλος είναι μια από τις πιο συχνά εμφανιζόμενες δυσμορφίες των κάτω άκρων, ο λόγος σχηματισμού του δεν είναι πλήρως ξεκάθαρος. Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες με την πλέον επικρατούσα εκείνη που παρουσιάζει την λανθασμένη υπόδηση σαν κύρια αιτία. Η συγκεκριμένη άποψη στηρίζεται στο γεγονός ότι το πρόβλημα του βλαισού μέγα δακτύλου εμφανίζεται με μεγάλη συχνότητα στο γυναικείο πληθυσμό της δύσης που προτιμά στενά και ψηλοτάκουνα υποδήματα. Έρευνες που έγιναν σε πληθυσμούς της Αφρικής που δεν φορούν ποτέ υποδήματα έδειξαν πως ο βλαισός μέγας δάκτυλος εμφανίζεται, σε μικρότερο όμως ποσοστό σε σχέση με τις δυτικές χώρες. Μετά από αυτά τα ευρήματα οι νέες υπάρχουσες θεωρίες επαναπροσδιορίστηκαν. Στη σημερινή βάση πλέον, ο hallux valgus πιστεύεται ότι προκύπτει από ένα συνδιασμό τόσο εξωγενών όσο και ενδογενών παραγόντων.

Εξωγενείς Παράγοντες

1. Υπόδηση

Είναι γεγονός ότι τα υποδήματα που προτιμώνται από άντρες και γυναίκες του δυτικού πολιτισμού, ανεξαρτήτως στυλ, κρατούν συνεχώς το μεγάλο δάκτυλο σε θέση απαγωγής. Σε συνδιασμό με την μηχανική διάταξη των μαλακών μορίων στην έσω επιφάνεια της πρώτης μεταταρσιοφαλαγγικής άρθρωσης δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για hallux valgus. Επιπλέον, η συνεχής επιβαλλόμενη πίεση 'τρέφει' και τη γέννηση ενός bunion.

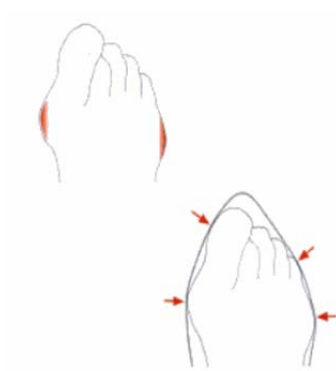
Ο Henderson θεωρεί ότι τα υποδήματα αναστέλλουν την ανάπτυξη των μυών που στηρίζουν την καμάρα του ποδιού. Ο Root et al. υποστήριξε πως αν το οπίσθιο τμήμα του ποδιού βρίσκεται σε προσαγωγή σε σχέση με το μπροστινό τμήμα του τα υποδήματα θα διατηρήσουν το μεγάλο δάκτυλο σε απαγωγή σε σχέση με το πρώτο μετατάρσιο. Αυτή η κατάσταση έχει σαν αποτέλεσμα την πλευρική ώθηση των σιναμοειδών και τη δημιουργία hallux abductus.



Εικόνα 3.6.1: (Α) Το οπίσθιο τμήμα βρίσκεται σε προσαγωγή σε σχέση με το μπροστινό τμήμα του ποδιού. Αυτός ο τύπος άκρου πόδα (ενιαία γραμμή) τοποθετείται σε παπούτσι με ίσιο πάτο όπου πρηνίζεται και έρχεται τελικά στη θέση που απεικονίζεται με τη διακεκομμένη γραμμή. (Β) Πολλά παπούτσια κατασκευάζονται ώστε η εσωτερική επιφάνεια κάτω από τις κεφαλές των πρώτων μετατάρσιων να είναι χαμηλότερη από αυτή κάτω από την κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου. Είναι πιθανό αυτή η διαμόρφωση να προκαλεί την ανώμαλη ραχιαία κάμψη του πρώτου μετατάρσιου μέσα στο παπούτσι (Lindsay).

Γενικά, όταν το πόδι τοποθετείται μέσα σ'ένα στενό υπόδημα τα το μεγάλο και το μικρότερο δάκτυλο συμπιέζονται προς τα 'μεσαία' δάκτυλα με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας εικόνας τριγωνικής μύτης (Εικόνα 3.6.2 Α, Β). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αίσθηση πόνου που είναι συνήθης στην περίπτωση του hallux valgus και έχει βαθμιαία επίδραση στην εσωτερική πλευρά της κεφαλής του πρώτου

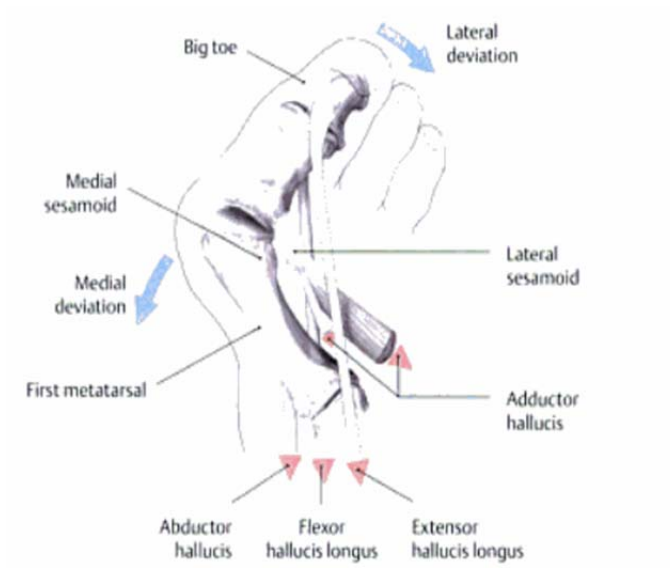
μετατάρσιου με χρόνια ενόχληση στην πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση.



Εικόνα 3.6.2.(Α)



Εικόνα 3.6.2 (B)



Εικόνα 3.6.3: Κίνηση μεγάλου δακτύλου μέσα στο υπόδημα.

Πολλοί ερευνητές ενοχοποιούν συγκεκριμένα τα υποδήματα με ψηλό τακούνι. Υποστηρίζουν πως ανεβάζοντας την πτέρνα ψηλά αυξάνεται το βάρος που κατευθύνεται πλέον προς τα εμπρός, δηλαδή προς τα δάκτυλα κι έτσι οι μεταταρσιοφαλαγγικές διαρθρώσεις αναγκάζονται να βρίσκονται σε ραχιαία κάμψη. Σ' αυτή την κατάσταση προκαλείται πρηνισμός κατά την ώθηση του ποδιού στη βάδιση σε μια προσπάθεια μετακίνησης του βάρους του σώματος στο πίσω μέρος του ποδιού. Ο Phillips et al. υπέθεσε ότι δεν ευθύνεται τελικά το τακούνι αυτό καθαυτό για το πρόβλημα. Το θέμα είναι, σύμφωνα με αυτόν, ο συνδιασμός μικρής επιφάνειας του υποδήματος για τη θέση της πτέρνας με το γεγονός ότι ο πρηνισμός του πόδα ξεκινά ακριβώς πριν την ώθησή του. Αυτό συμβαίνει διότι η μικρή επιφάνεια για την πτέρνα δεν επιτρέπει στον πόδα να κάνει υπτιασμό. Υποστήριξε επίσης, μετά από πειράματα, πως αν το τακούνι μετατοπιζόταν προς το μέσο του πέλματος περίπου 3 - 4 mm θα μειωνόταν ο πρηνισμός.

Έχει αποδειχθεί ότι γυναίκες οι οποίες μεταξύ των ηλικιών 20 - 64 ετών χρησιμοποιούσαν κυρίως σαν υποδήματα ψηλοτάκουνα παπούτσια είχαν αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης hallux valgus εν συγκρίσει με εκείνες οι οποίες δεν χρησιμοποιούσαν σαν κύριο τύπο υπόδησης τα ψηλοτάκουνα. Οι Menz και Morris υπέδειξαν σημαντική συσχέτιση μεταξύ εκτεταμένης χρήσης υποδημάτων με τακούνι μεγαλύτερο των 25 mm και δημιουργίας προβλήματος στο μεγάλο δάκτυλο.

2. Παρατεταμένη ορθοστασία.
3. Συνεχής μεταφορά βαρέων αντικειμένων.

Ενδογενείς Παράγοντες

1.Ραιβό μετατάρσιο

Πρόκειται για την παρέκκλιση του άκρου πόδός προς τα έσω. Είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα στα βρέφη.

2. Γενικευμένη χαλαρότητα αρθρώσεων και ιδιαίτερα αδυναμία των εσωτερικών μεταταρσοφαλαγγικών συνδέσμων.

3. Μεγάλη διαμετατάρσια γωνία.

4. Μήκος πρώτου μετατάρσιου.

Έρευνες έχουν δείξει ότι είτε μακρύ είτε κοντό, το πρώτο μετατάρσιο συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη της δυσμορφίας. Τα αντικρουόμενα αποτελέσματα καταλήγουν στην θεωρία ότι είτε το μήκος του πρώτου μετατάρσιου είναι ανεξάρτητος παράγοντας σε σχέση με τη δυσμορφία ή ότι οι συνέπειες του μήκους είναι σημαντικές μόνο όταν συνδιάζονται με προβληματικά κληρονομικά χαρακτηριστικά.

5. Σχήμα πρώτου μετατάρσιου.

Μια επίπεδη κεφαλή πρώτου μετατάρσιου φαίνεται πως αντιστέκεται σε δυνάμεις παραμόρφωσης σε αντίθεση με μια στρογγυλή κεφαλή θεωρείται περισσότερο εύκολο να επιτρέψει την μετατόπιση του μεγάλου δακτύλου.

6. Νευρομυϊκές διαταραχές (εγκεφαλική παράλυση).

7. Διάφορα είδη αρθρίτιδας.

Η αρθρίτιδα αποδυναμώνει τον αρθρικό ιστό αφήνοντας τις αρθρώσεις που 'σηκώνουν' το σωματικό βάρος στο έλεος εξάρθρωσης. 25% των ατόμων με βλαισό μέγα δάκτυλο και ρευματοειδή αρθρίτιδα εμφανίζουν φθορά της πρώτης μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης.

8. Πλατυποδία (pes planus)

Πρόκειται για την πάθηση του άκρου πόδα όπου η ποδική καμάρα είναι ελαττωμένη με τρόπο ώστε όταν στεκόμαστε το εσωτερικό μέρος του ποδιού εφάπτεται στο έδαφος. Τις περισσότερες φορές είναι κληρονομικής αιτίας αλλά ίσως οφείλεται σε αδυναμία ή σε σύσπαση κάποιων μυών του ποδιού. Ερευνητικά πιστεύεται ότι είναι η βασική αιτία στροφής του μεγάλου δακτύλου κατά τη διάρκεια της βάδισης. Είναι στενά συνδεδεμένη με την εμφάνιση βλαισού μέγα δάκτυλου στους άντρες αλλά όχι στις γυναίκες.

9. Πρητισμός οπίσθιου μέρους του άκρου πόδα.

10. Κληρονομικότητα

Μεγαλύτερο ποσοστό από το 60% των ατόμων με βλαισό μέγα δάκτυλο εμφανίζει οικογενειακό ιστορικό μ' αυτή την οστική δυσμορφία. Σύμφωνα με έρευνες, με το hallux valgus φαίνεται πως συνδέονται εκ γενετής νευρολογικές παθήσεις καθώς και χρόνιες φλεγμονές.

11. Ηλικία

Ο hallux valgus συμβαίνει με μεγαλύτερη συχνότητα σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας. Ο Gould et al. εκτίμησε πως η δυσμορφία αφορά έναν στους 45 ενήλικες άνω των 50 ετών. Ωστόσο συμβαίνει και στην διάρκεια της παιδικής ηλικίας.

12. Φύλο

Έρευνες που έχουν γίνει κατά καιρούς δείχνουν ότι η συχνότητα εμφάνισης βλαισού μέγα δακτύλου είναι φανερά μεγαλύτερη σε σύγκριση με αυτή στους άντρες. Σύμφωνα με πρόσφατα αποτελέσματα που μας έδωσαν οι Sheree Nix, Michelle Smith και Bill Vicenzino η συχνότητα εμφάνισης στο γυναικείο φύλο (30%) ήταν 2,3 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό για τους άντρες (13%). Άλλη μια τέτοια μελέτη ατόμων ηλικίας άνω των 30 ετών έδωσε ποσοστό 38% για τις γυναίκες έναντι 21% για τους άντρες.

Μια πιθανή εξήγηση για τα υψηλά ποσοστά των γυναικών είναι πως ως γνωστόν αρέσκονται στα στενά υποδήματα με ψηλό τακούνι. Η έρευνα των Menz και Morris βρήκε ότι οι γυναίκες φορούν συνήθως πολύ μικρότερα σε μήκος και σε πλάτος υποδήματα με αποτέλεσμα η συνολική διαθέσιμη επιφάνεια για το πέλμα να είναι σημαντικά μικρότερη από τις πραγματικές ανάγκες του.

12. Δείκτης Μάζας Σώματος (ΔΜΣ)

Σύμφωνα με την ‘The Mobilize Boston Study’ που διεξήχθη το 2010, ο αυξημένος δείκτης μάζας σώματος συνδέθηκε με μειωμένη πιθανότητα εμφάνισης hallux valgus σε γυναίκες ενώ ο ΔΜΣ συνδέθηκε θετικά με την εμφάνιση βλαισού μέγα δακτύλου στους άντρες. Παρόλο που τα αποτελέσματα ήταν αναπέντεχα, υπάρχουν διάφορες θεωρίες που μπορούν να τα υποστηρίξουν. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι γυναίκες με φυσιολογικό ΔΜΣ φορούν συχνότερα σύγχρονα στενά υποδήματα σε σχέση με τις γυναίκες με μεγαλύτερο ΔΜΣ.

Κεφάλαιο 4

Διόρθωση του βλαιοσύ μέγα δακτύλου

4.1 Εισαγωγή

Τα συμπτώματα της παραμόρφωσης του βλαισού μέγα δακτύλου περιλαμβάνουν διόγκωση και ερυθρότητα στην περιοχή της πρώτης μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης καθώς και εμφάνιση κάλων στην κεφαλή του δεύτερου μετατάρσιου. Ωστόσο, η κύρια και πιο ενοχλητική συνέπεια του hallux valgus είναι η αίσθηση του πόνου στη μεταταρσοφαλαγγική άρθρωση τόσο κατά τη στάση του σώματος όσο και κατά τη βόδιση. Αυτή είναι και η αιτία που ωθεί στην λύση του προβλήματος μέσω εγχείρισης. Οι παράγοντες που αξιολογούν την ανάγκη να γίνει χειρουργείο είναι η γωνία του βλαισού μέγα δακτύλου (hallux valgus angle) και η ενδομετατάρσια γωνία πρώτου και δεύτερου μετατάρσιου(intermetatarsal angle). Η κατάταξη των διαφόρων περιπτώσεων βλαισού μέγα δακτύλου σε ήπια (mild) ,μέτρια εντός ορίων (moderate) και σοβαρή (severe) γίνεται μέσω ακτινογραφικών μετρήσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο συνδιασμός γωνίας βλαισού μέγα δακτύλου μεγαλύτερης των 15° και ενδομετατάρσιας γωνίας μεγαλύτερης των 9° είναι αυτός που οδηγεί σε εγχειρητική λύση. Άλλοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την τεχνική αυτή αποκατάσταση του μεγάλου δακτύλου είναι πιθανή αρθρίτιδα στην πρώτη μεταταρσοφαλαγγική άρθρωση καθώς και ενδεχόμενη υπερκινητικότητα αυτής, η θέση των σησαμοειδών οστών κι η ισορροπημένη λειτουργία μυών – τενόντων.

4.2 Χειρουργικές Τεχνικές

Οι χειρουργικές τεχνικές που εφαρμόζονται στο πρόβλημα του hallux valgus διαχωρίζονται στη τεχνική μαλακών ιστών (soft tissue procedure), στις οστεοτομίες μετατάρσιων και φαλαγγών, σε τεχνικές που συνδιάζουν τις δύο παραπάνω διαδικασίες και σε αρθροδεσίες.

Το κύριο αντικείμενο των οστεοτομιών είναι να μειωθεί η γωνία του βλαισού μέγα δακτύλου (hallux valgus angle) και αυτή μεταξύ πρώτου και δεύτερου μετατάρσιου (intermetatarsal angle), να γίνει περισσότερο λειτουργική η πρώτη μεταταρσιοφαλαγγική άρθρωση με ευθυγράμμιση των σησαμοειδών, να γίνει εκτομή του bunion (κότσι) και συντήρηση της σωστής κατανομής βάρους στον άκρο πόδα.

Ανάλογα με τον τύπο της οστεοτομίας, η μετατάρσια οστεοτομία μπορεί να χαρακτηρίζεται ως άπω (distal), ακτινική (shaft) ή εγγύς (proximal). Γενικά, η distal οστεοτομία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που το πρόβλημα θεωρείται ήπιας ή ανεκτής μορφής. Στην περίπτωση σοβαρής κατάστασης χρησιμοποιείται proximal οστεοτομία.

Η οστεοτομία μετατάρσιου ακτινικής μορφής (metatarsal shaft osteotomy) είναι αναγνωρισμένη από το 1923. Τότε, ο Silver υπογραμμίζοντας την σημασία της εξισορρόπησης της μυικής λειτουργίας, την όρισε ως εκτομή της έσω προεξοχής και απελευθέρωση του προσαγωγού τένοντα. Το 1928 ο McBride

τροποποίησε την μέθοδο του Silver και πρότεινε την εκτομή του πλευρικού σησαμοειδούς, απελευθέρωση του απαγωγού τένοντα και εκ νέου συρραφή του τένοντα στην κεφαλή του πρώτου μετατάρσιου. Ο McBride εξέλιξε και τελειοποίησε τη μέθοδό του το 1935 και τελικά το 1954. Από τότε πολλές τροποποιήσεις έχουν γίνει πάνω στην τεχνική που εισήγαγε. Ο DuVries πρόσθεσε μια εσωτερική τομή και σύρραψε τον προσαγωγό τένοντα στις κεφαλές του πρώτου και του δεύτερου μετατάρσιου αφού πρώτα ένωσε τα δύο μετατάρσια μεταξύ τους. Οι Mann, Couglin και Pheffinger θεωρώντας κάποια στοιχεία της McBride τεχνικής προβληματικά, αποφάσισαν να μην προχωρήσουν σε περικοπή του πλευρικού σησαμοειδούς αλλά να προσθέσουν μια εγγύ μετατάρσια οστεοτομία σχήματος ημισελήνου (proximal crescentic osteotomy).

Παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις πιο γνωστές οστεοτομίες για την διόρθωση του βλαισού μέγα δακτύλου.

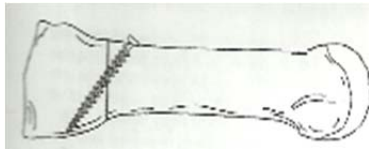
Proximal Crescentic Osteotomy (Εικόνα 4.2.1): Η συγκεκριμένη τεχνική παρουσιάστηκε από τον Mann et al. Σύμφωνα μ' αυτήν δημιουργείται μία τρύπα διαμέτρου περίπου 3.5 mm υπό γωνία 45° σε σχέση με τη ραχιαία επιφάνεια του οστού, 1cm πάνω από την σχεδιαζόμενη θέση της οστεοτομίας. Στη συνέχεια, με ειδική κυρτή λεπίδα γίνεται η οστεοτομία 1cm πάνω από τη μεταταρσοσφηνοειδή άρθρωση. Μετά την περιστροφή του μετατάρσιου, χρησιμοποιείται ειδικό τρυπάνι με άκρη διαμέτρου 2.5mm και τέλος η οστεοτομία διασφαλίζεται με σπογγώδη βίδα (cancellous lag screw).

Proximal Chevron Osteotomy (Εικόνα 4.2.2): Αυτή η οστεοτομία γίνεται με μικρο - τοξοειδές τρυπάνι υπό γωνία 80° σε σχέση με την κορυφή του μετατάρσιου και η τομή κατευθύνεται περιφερικά και πελματιαία σε απόσταση 1.5 cm από την ταρσομετατάρσια άρθρωση. Πρίν την δημιουργία της τομής, από την κορυφή του μετατάρσιου και μέσω τομής, περνάει σύρμα 0.062-inch K-wire. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του σύρματος το μετατάρσιο μετατοπίζεται 5 mm πλαγίως και συγκρατείται σ' αυτή τη θέση με βίδα που μπορεί να συστρέφεται.

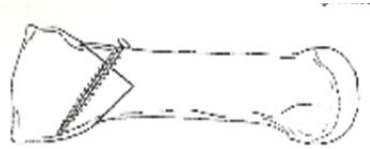
Ludloff Oblique Osteotomy (Εικόνα 4.2 3): Η οστεοτομία γίνεται 5mm μακριά από την μεταταρσοσφηνοειδή άρθρωση, επεκτείνεται άπω και πελματιαία και τελειώνει 1cm μακριά από τα σησαμοειδή. Για τοποθέτηση βίδας που μπορεί να συστρέφεται 'προσφέρονται' μόνο τα 2/3 της τομής, ώστε αυτή να έχει κατεύθυνση από κάτω προς την πελματιαία επιφάνεια του μετατάρσιου. Μετά την τοποθέτηση της βίδας το μετατάρσιο περιστρέφεται κατά 8° . Ενώ η πρώτη βίδα δεν έχει συστραφεί εντελώς, μια δεύτερη τοποθετείται με αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή από την πελματιαία επιφάνεια προς τα κάτω, 1cm πάνω από την πρώτη βίδα.

Mau Oblique Osteotomy (Εικόνα 4.2.4): Η οστεοτομία αυτή μοιάζει με την προηγούμενη, εκτός από το γεγονός ότι κατευθύνεται από τη ραχιαία επιφάνεια της άπω κοιλότητας του μετατάρσιου και κάνει πελματιαία γωνία προς την βάση του μετατάρσιου.

Scarf Osteotomy (Εικόνα 4.2.5): Αυτή η οστεοτομία είναι οριζόντια Z – σχήματος στο επίπεδο της διάφυσης. Δύο σύρματα 0.045 - inch K-wires τοποθετούνται με κατεύθυνση από τα έσω και πλάγια προς την κορυφή του εγγύς και του άπω άκρου της οστεοτομίας. Το άπω άκρο της οστεοτομίας στη συνέχεια επεκτείνεται κατά 45° σε σχέση με το οριζόντιο - μεσαίο μέρος της οστεοτομίας ενώ το εγγύς άκρο επεκτείνεται πελματιαία με την ίδια γωνιακή απόκλιση. Η οριζόντια τομή είναι περίπου 3cm σε μήκος και με πελματιαία γωνιακή απόκλιση 20°. Τέλος η οστεοτομία ασφαρίζεται με δύο 3.5mm βίδες που συστρέφονται.



Εικόνα 4.2.1



Εικόνα 4.2.2



Από πάνω προς τα κάτω Εικόνα 4.2.3: Ludloff , Εικόνα 4.2.4: Mau , Εικόνα 4.2.5: Scarf, Εικόνα 4.2.6: Offset V osteotomy(σστεοτομία τύπου V), Εικόνα 4.2.7: New Mau modification (Εξελιγμένη τεχνική Mau) .

Κεφάλαιο 5

Πειραματική Μελέτη

5.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα που διεξήχθη από τον Pinney et al σε χειρουργούς με ειδικευση το άκρο πόδι, η μέθοδος Ludloff φαίνεται να είναι αυτή που χρησιμοποιείται συχνότερα. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως επιτυγχάνει ικανοποιητική διόρθωση της γωνίας του βλαισού μέγα δακτύλου. Αντίθετα, πιθανά προβλήματα που προκύπτουν είναι η αστάθεια του μέγα δακτύλου μετά την εγχείριση και η καθυστερημένη συνένωση των δύο τμημάτων του οστού που προέκυψαν από την τομή.

Όπως περιγράφηκε παραπάνω, η κλασσική Ludloff περιλαμβάνει μια τομή και δύο βίδες. Στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκε επιπλέον και η τροποποιημένη από τον Stamatis et al. τεχνική Ludloff. Η τροποποίηση έγκειται στην εισαγωγή ενός ένθετου βοηθητικού μεταλλικού πλακιδίου με στόχο να εξακριβωθεί η πιθανότητα να παρέχει μεγαλύτερη σταθερότητα στο μέγα δάκτυλο σε σχέση με την απλή μέθοδο των δύο βιδών μόνο.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν 20 πανομοιότυπα συνθετικά προσομοιώματα αριστερού μέγα δακτύλου Sawbone models (Pacific Research Laboratories, Vashon, WA). Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι σύνθετα φλοιώδη μοντέλα οστού (fourth generation) κατασκευασμένα έτσι ώστε να προσομοιώνονται με τον

καλύτερο δυνατό τρόπο οι ιδιότητες του πραγματικού οστού όπως η αντοχή σε θραύση, η δύναμη εφελκυσμού, το μέτρο ελαστικότητας και η θερμική σταθερότητα. Κάθε μοντέλο αποτελείται από έναν σπογγώδη πυρήνα γύρω από τον οποίο υπάρχει μείγμα γυάλινων ινών και εποξικής ρητίνης με αποτέλεσμα να έχουμε μια αρκετά καλή προσομοίωση της ανατομίας ενός αριστερού πρώτου μετατάρσιου.

Στα 10 από τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα (Ομάδα Α΄) εφαρμόστηκε από εξειδικευμένο ορθοπαιδικό η απλή τεχνική Ludloff ως εξής: δημιουργήθηκε τομή στη ραχιαία επιφάνεια του οστού που ξεκινούσε 2 mm πάνω από το επίπεδο της μεταταρσοσφηνοειδούς άρθρωσης και κατέληγε σε τέτοιο σημείο ώστε να σχηματίζει γωνία 30° με τον κύριο άξονα του μετατάρσιου. Μετά την ολοκλήρωση των 2/3 της ραχιαίας οστεοτομίας, εισήχθη μια ΑΟ βίδα 2,7 mm η οποία όμως δεν περιστράφηκε πλήρως προκειμένου να είναι δυνατή η ολοκλήρωση του 1/3 της οστεοτομίας στο πελματιαίο επίπεδο. Στη συνέχεια, με την πλήρη ολοκλήρωση της τομής, το πάνω αποκομμένο τμήμα του οστού περιστράφηκε γύρω από τον άξονα της βίδας (ευθυγραμμίστηκε). Έπειτα μια δεύτερη βίδα τύπου Barouk-DePuy International (double threaded cannulated headless) εισήχθη με κατεύθυνση από το πελματιαίο προς το ραχιαίο επίπεδο και οι δύο βίδες περιστράφηκαν πλήρως έως ότου να είναι σταθερή η σύνδεση των δύο τμημάτων του μετατάρσιου («κλείδωμα» οστεοτομίας).



Εικόνα 5.1.1: Μοντέλα μετατάρσιου της πρώτης ομάδας

Στα υπόλοιπα 10 μοντέλα (Ομάδα Β') εφαρμόστηκε και πάλι από εξειδικευμένο ορθοπαιδικό η τροποποιημένη από τον Stamatis et al. μέθοδος Ludloff. Η διαδικασία ήταν ίδια με τη διαφορά ότι μετά την ολοκλήρωση και τη διόρθωση όπως στην ομάδα Α' μια μικρή πλάκα τεσσάρων οπών και μήκους 2,4 mm (AO, Synthes, Europe)

εφαρμόστηκε στην πελματιαία επιφάνεια του οστού με τέτοιο τρόπο ώστε οι πάνω βίδες να εισέρχονται στο ραχιαίο τμήμα του οστού και οι κάτω στο πελματιαίο.

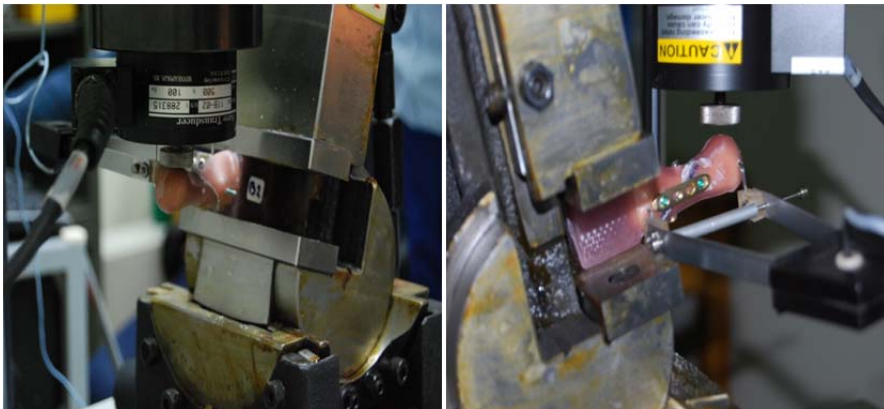
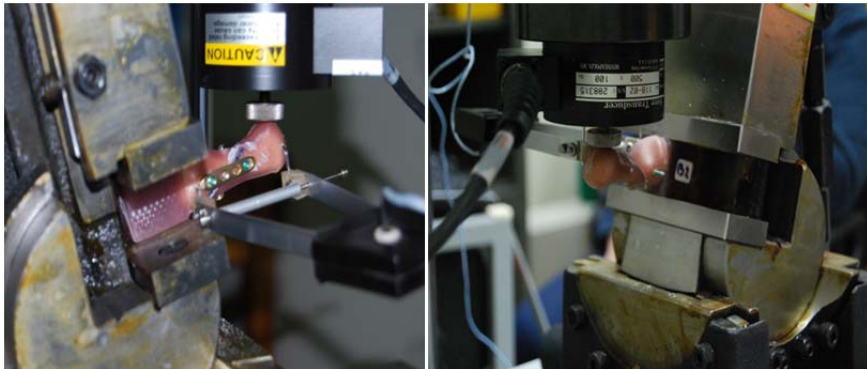


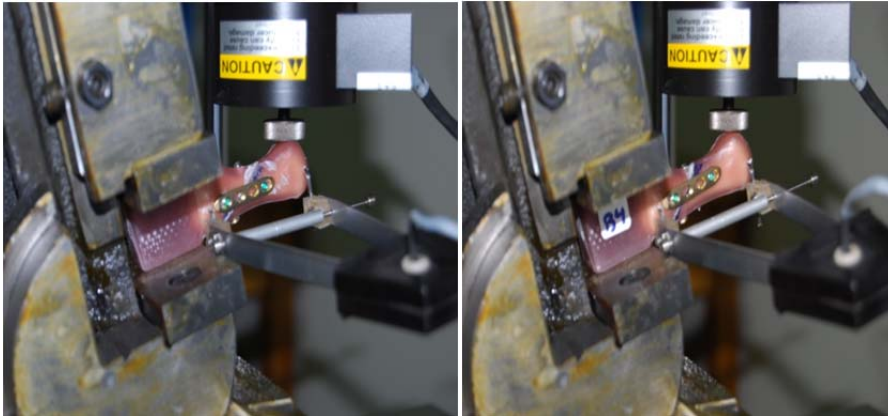
Εικόνα 5.1.2: Μοντέλα μετατάρσιου της δεύτερης ομάδας

Μετά από τις παραπάνω διαδικασίες τα μοντέλα και των δύο ομάδων υποβλήθηκαν σε μηχανικές δοκιμές.

Αρχικά σε κάθε μοντέλο δημιουργήθηκαν δύο οπές στην πελματιαία επιφάνεια των δύο αποκομμένων τμημάτων του οστού και με ένα μηκυσιόμετρο 50 mm (Instron G51-14-M-A, Instron Ltd, High Wycombe, Bucks, UK) τοποθετημένο μεταξύ των δύο οπών μετρήθηκε το χάσμα θραύσης (απόκλιση) στην οστεοτομία κατά την επιβολή μετατόπισης στην κεφαλή του μετατάρσιου. Στη συνέχεια η

βάση του μετατάρσιου ακινητοποιήθηκε στις αρπάγες μηχανής τύπου Earth chain model EY-4 (Earth Chain Inc, Indianapolis, USA) με τρόπο ώστε το μετατάρσιο να έχει κλίση 15° από το οριζοντιο επίπεδο (με σκοπό να προσομοιώνεται η φυσιολογική θέση του μετατάρσιου κατά τη στάση του σώματος) και με την πελματιαία επιφάνεια προς τα πάνω. Στην πελματιαία επιφάνεια της κεφαλής του πρώτου μετατάρσιου επιβλήθηκε μετατόπιση με τη βοήθεια σερβοϋδραυλικής MTS Mini Bionix 858 test frame (MTS Systems Corp., Eden Prairie, MN). Ο ρυθμός επιβολής μετατόπισης ήταν 1mm/min. Το φορτίο συνέχιζε να επιβάλλεται μέχρι την αποτυχία της οστεοτομίας δηλαδή μέχρι τη θράυση του οστού , την έξοδο κάποιας βίδας ή της πλάκας από το οστό, την μετατόπιση της οστεοτομίας κατά 2 mm ή μέχρι τη μείωση της επιβαλλόμενης μετατόπισης στο 75% της μεγαλύτερης δυνατής επιβεβλημένης μετατόπισης που είχε καταγραφεί. Η επιβαλλόμενη πίεση μετρήθηκε με χρήση load cell (MTS 661.11 Force transducers, 500 N capacity, Eden Prairie, MN). Τα δεδομένα συλλέγονται με ρυθμό 1 Hz από την αρχική στιγμή επιβολής φορτίου και μέχρις αστοχίας της κατασκευής. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται στάδια του πειράματος για τις δύο ομάδες των μοντέλων.





5.2 Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα αριθμητικά δεδομένα του πειράματος (ακριβή σημεία εφαρμογής τομών, εισόδου - εξόδου των βιδών και της τοποθέτησης της πλάκας) τα οποία συλλέχθηκαν με την βοήθεια μηκυσιόμετρου όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Πίνακας 1

A/A	H_1_IN	H_1_OUT	H_2_IN	H_2_OUT	CUT_UP	CUT_DOWN	PLAKA_1	PLAKA_2
A01	32,05	29,61	43,94	48,05	21,58	54,05		
A02	29,33	27,70	34,38	36,68	21,53	45,51		
A03	26,99	23,94	30,87	33,41	18,67	43,47		
A04	29,61	27,42	34,46	43,97	23,31	48,27		
A05	23,93	24,59	32,97	34,24	13,07	44,46		
A06	31,20	29,26	35,56	39,56	24,77	48,39		
A07	26,94	24,67	32,57	37,12	20,88	46,69		
A08	28,10	24,22	33,52	38,73	19,27	46,58		
A09	28,31	26,49	33,85	37,00	23,11	47,12		
A10	31,79	27,56	34,18	40,07	28,67	49,81		
B01	32,52	30,88	42,77	46,62	24,54	53,25	33,67	55,22
B02	27,50	24,22	33,58	40,08	21,31	47,08	43,85	64,63
B03	29,44	25,81	37,96	44,65	22,63	49,19	45,52	63,77
B04	29,54	25,36	35,13	40,12	25,49	49,53	43,33	64,19
B05	27,82	23,40	34,78	40,60	21,12	47,44	44,13	64,55
B06	29,25	27,74	36,51	40,46	20,28	47,74	44,02	65,56

B07	29,87	26,94	37,76	43,32	18,93	49,39	41,99	63,36
B08	28,61	24,88	36,23	40,52	22,40	48,77	43,84	65,26
B09	27,21	23,44	35,19	47,82	21,05	45,30	42,54	63,57
B10	31,64	26,57	37,94	44,05	23,33	49,93	41,54	63,10

ΣΗΜΕΙΩΣΗ!!!

Τα μεγέθη H_1_IN ,H_1_OUT, H_2_IN , H_2_OUT αντιπροσωπεύουν τα σημεία εισόδου και εξόδου της πρώτης και της δεύτερης βίδας αντίστοιχα πάνω στο πειραματικό προσομοίωμα οστού. Σημείο αναφοράς για τις συγκεκριμένες μετρήσεις θεωρήθηκε οπή που υπάρχει και βρίσκεται στο ίδιο σημείο πάνω σε κάθε προσομοίωμα.

Τα μεγέθη CUT_UP και CUT_DOWN αναφέρονται στο σημείο που ξεκινά η τομή και στο σημείο που σταματά, αντίστοιχα.

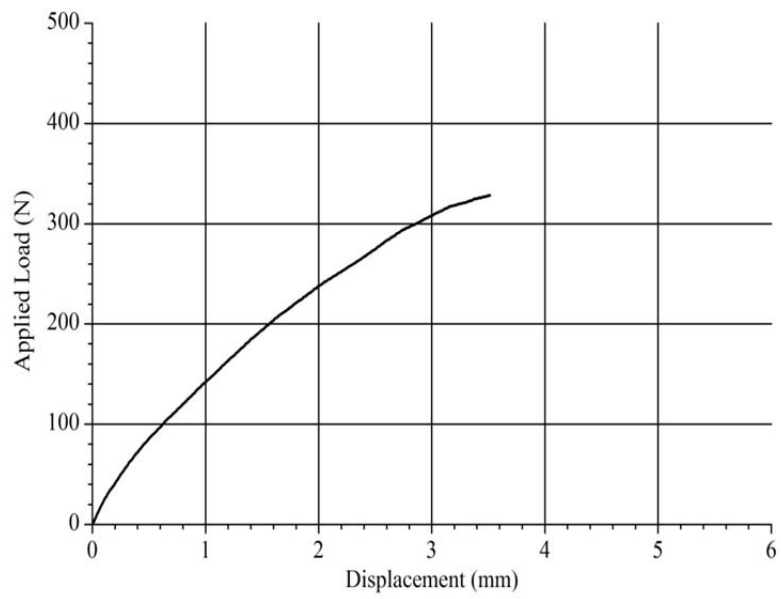
Τα μεγέθη PLAKA_1 και PLAKA_2 που αφορούν στην δεύτερη ομάδα μοντέλων αντιπροσωπεύουν τα σημεία στήριξης της βοηθητικής πλάκας πάνω στο οστό.

Οι φυσικές μονάδες μέτρησης όλων των παραπάνω είναι mm.

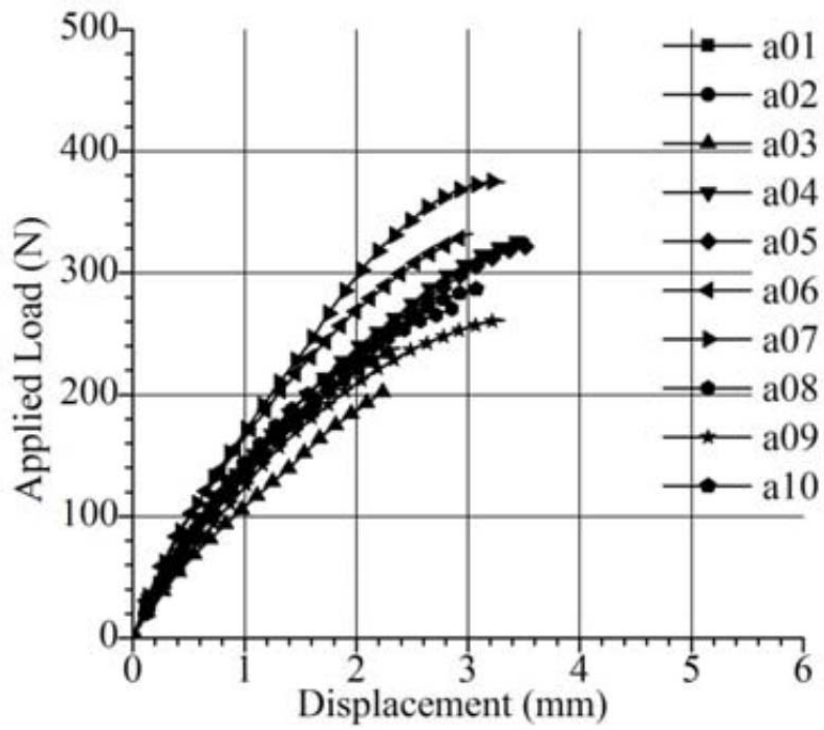
Πριν την παρουσίαση της πειραματικής συμπεριφοράς της κατασκευής οστό – βίδες - πλάκα αξίζει να παρατεθούν οι μηχανικές ιδιότητες αυτής :

	Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)	Λόγος Poisson ν
Εσωτερικό οστού (σπογγώδες τμήμα)	155	0,2
Φλοιός οστού	16e3	0,2
Βίδες (τιτάνιο)	110e3	0,3
Πλάκα (τιτάνιο)	110e3	0,3

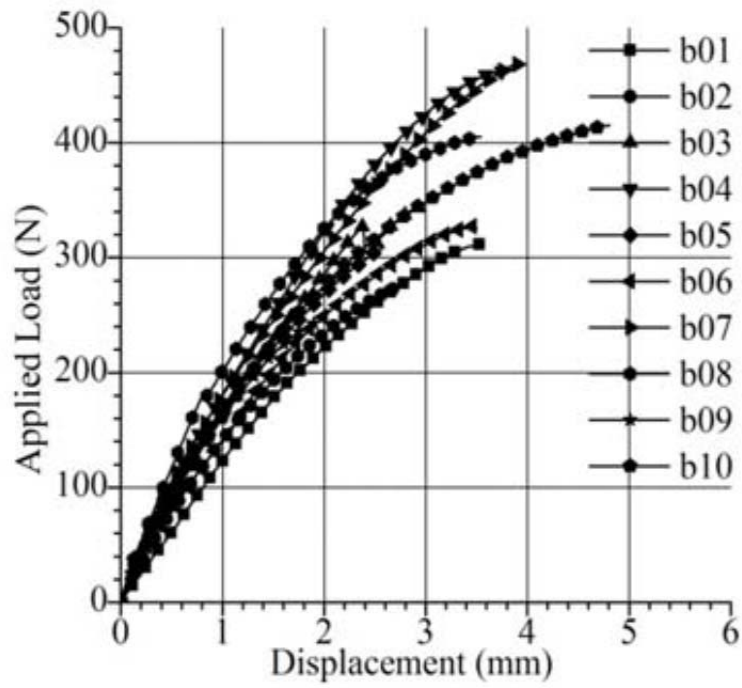
Η συλλογή των αποτελεσμάτων έγινε με Multipurpose Testware (MTS Systems, Eden Prairie, MN) και η στατιστική ανάλυση παρουσιάστηκε με Microsoft Excel (Microsoft Corp, Bellevue, WA) και OriginPro (Origin Lab Corp). Βάσει των αποτελεσμάτων σχεδιάστηκαν τα γραφήματα φορτίου – μετατόπισης και φορτίου – χάσματος για τις δύο ομάδες δοκιμών.



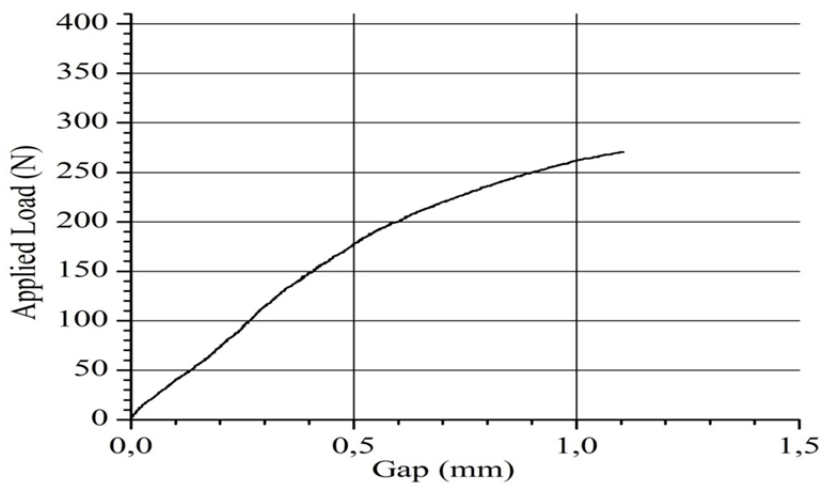
Εικόνα 5.2.1: Τυπική καμπύλη επιβαλλόμενου φορτίου – μετατόπισης



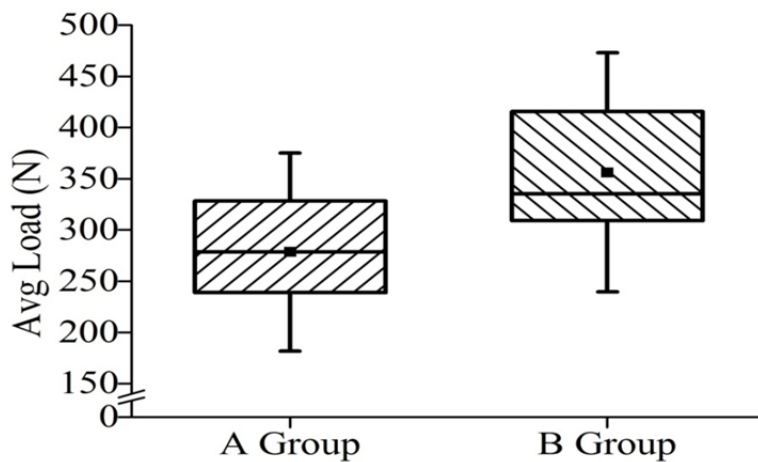
Εικόνα 5.2.2: Επιβαλλόμενο φορτίο – μετατόπιση οστεοτομίας για την Α' ομάδα δοκιμίων



Εικόνα 5.2.3: Επιβαλλόμενο φορτίο – μετατόπιση οστεοτομίας για την Β' ομάδα δοκιμίων.



Εικόνα 5.2.4: Τυπική καμπύλη επιβαλλόμενου φορτίου – χάσματος οστεοτομίας



Εικόνα 5.2.5: Μέσο φορτίο αστοχίας για τις δύο ομάδες

Στη συνέχεια μετρήθηκε η ακαμψία (stiffness) της οστεοτομίας ως η κλίση του αρχικού γραμμικού τμήματος της καμπύλης δύναμη – μετατόπισης μεταξύ 0 και 100 N. Προσδιορίστηκε επίσης η απορροφούμενη ενέργεια (energy) μέχρις αστοχίας της οστεοτομίας υπολογίζοντας το εμβαδόν της περιοχής στο διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης. Μετρήθηκε επίσης η μέγιστη επιβαλλόμενη δύναμη (max force) μέχρις αστοχίας της οστεοτομίας. Σημειώνεται ότι οι μέσες τιμές του φορτίου αστοχίας, ακαμψίας και απορροφούμενης ενέργειας αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας Student t- tests ($p \leq 0.05$). Οι τιμές των παραπάνω φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2

A/A	Max Force	Stiffness	Energy
A01	238,6	168,3	344,6
A02	165,6	162,5	119,6
A03	202,4	132,3	259,3
A04	328,4	191,7	711,4
A05	322,5	170,1	679,2
A06	332,5	226,1	627,2
A07	375,6	219,6	745,5

A08	270,4	168,9	493,6
A09	261,3	134,1	552,4
A10	286,5	153,4	533,8
B01	311,5	122,4	654,5
B02	272,7	152,7	439,5
B03	343,4	174,1	601,3
B04	463,8	209,0	1112,4
B05	309,1	249,2	487,8
B06	327,3	180,1	711,1
B07	468,6	220,2	1105,3
B08	405,4	242,1	960,2
B09	245,3	192,3	296,8
B10	415,4	190,8	1329,1

ΣΗΜΕΙΩΣΗ!!!

Max Force: Μονάδα μέτρησης Newton (N).

Για την ακαμψία ισχύει: $\text{stiffness} = \text{force} / \text{displacement}$ (δύναμη / μετατόπιση). Μονάδα μέτρησης MPa.

Energy: Μονάδα μέτρησης N * mm.

Παρατηρείται πως η μέση τιμή ακαμψίας για την Α΄ Ομάδα είναι ~172 N/mm και ~193 N/mm για την Β΄ Ομάδα. Οπότε δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων στις τιμές ακαμψίας. Επιπλέον, η μέση μετατόπιση μέχρις αστοχίας για την Α΄ Ομάδα είναι ~278 N και ~356 N για την Β΄ Ομάδα. Όσον αφορά στην τοποθέτηση της ένθετης βοηθητικής πλάκας, φαίνεται ότι συνεισφέρει στην αύξηση του μέσου μέγιστου φορτίου μέχρις αστοχίας σε ποσοστό 28%. Οι παρατηρούμενες τιμές μέσης απορροφούμενης ενέργειας για την Α΄ Ομάδα είναι ~506 N*mm και ~769 N*mm. Αυτό δηλώνει πως η ένθετη πλάκα αυξάνει τη μέση απορροφούμενη ενέργεια σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%.

Κεφάλαιο 6

Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων

6.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ) είναι μια από τις πιο δυναμικές διαδικασίες στην αριθμητική προσεγγιστική λύση των προβλημάτων στην Μηχανική.

Ο μαθηματικός Courant έκανε την πρώτη δημοσίευση πάνω στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων το 1940, η οποία όμως πέρασε απαρατήρητη ίσως γιατί ήταν δύσκολη η εφαρμογή της χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με την εφεύρεσή του η μέθοδος άρχισε να εξελίσσεται ταχύτατα. Ουσιαστικά οι πρώτες ιδέες της Μ.Π.Σ αναπτύχθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του '50. Σύμφωνα με αυτές ,προτάθηκε ο χωρισμός της κατασκευής σε μικρότερα τμήματα - στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους με συγκεκριμένο αριθμό σημείων - κόμβους. Ιστορικά, η μέθοδος προέκυψε από την εξέλιξη των μητρωϊκών μεθόδων της στατικής των γραμμικών φορέων, οι οποίες αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '50 από τους Argyris J.H και άλλων πολλών επιστημόνων. Ύστερα παρατηρούμε ταχύτατη εξέλιξη της μεθόδου και ιδιαίτερα στο χώρο των Πανεπιστημίων. Στην πρώτη φάση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων παρατηρήθηκε προσήλωση στις στατικές αντιλήψεις, ενώ κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60 άρχισε μια έντονη μαθηματικοποίηση της μεθόδου και συνεχής θεωρητική διερεύνηση που οδήγησε στην ισχυρότερη θεμελίωσή της.

Ο Courant για την εφαρμογή της ιδέας του υποδιαιρούσε το σώμα σε υποπεριοχές, με την βοήθεια διαχωριστικών επιφανειών. Αυτές οι υποπεριοχές ονομάστηκαν πεπερασμένα στοιχεία.

Τα πεπερασμένα στοιχεία είναι μια προσεγγιστική μέθοδος που στηρίζεται στην αντίστοιχη των μεταβολών. Βασίζονται σε αναπτυγμένες μαθηματικές σχέσεις και αποτελούν μια ισχυρότατη μέθοδο της αριθμητικής ανάλυσης για την επίλυση οριακών προβλημάτων (boundary value problems). Μια από τις δυσκολίες της είναι η ανάγκη εισαγωγής ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων, συσχετισμένων με την τοπολογία ενός πλέγματος.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιούνταν αρχικά κυρίως για επιστημονική έρευνα, ενώ τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται ευρέως στου περισσότερους κλάδους της τεχνολογίας.

6.2 Βασική Μεθοδολογία Εφαρμογής των Πεπερασμένων Στοιχείων

6.2.1 Περιγραφή Προβλήματος και Εισαγωγή Γεωμετρίας Φορέα

Το βασικό στοιχείο για την επίλυση ενός προβλήματος είναι ο ακριβής ορισμός του. Άρα, πρώτα πρέπει να εντοπιστεί το πρόβλημα, να καθοριστούν οι παράμετροί του, τα σταθερά στοιχεία που αποτελούν τα δεδομένα του προβλήματος καθώς και τα ζητούμενα που αποτελούν τις άγνωστες μεταβλητές.

Στη συνέχεια πρέπει να δημιουργηθεί το γεωμετρικό μοντέλο της κατασκευής. Για να γίνει αυτό απαιτείται η περιγραφή των χαρακτηριστικών σημείων της, ορισμός δηλαδή των καμπύλων που καθορίζουν τα όριά της (γραμμικό μοντέλο) και η δημιουργία των επιφανειών του φορέα (επιφανειακό μοντέλο), από τα οποία συντίθεται ο όγκος της κατασκευής (χωρικό μοντέλο).

6.2.2 Διακριτοποίηση Φορέα

Η υποδιαίρεση ενός σώματος σε πεπερασμένα στοιχεία είναι μια διαδικασία κατά την οποία η μελετητής καλείται να αποφασίσει σχετικά με τον αριθμό, το σχήμα, το μέγεθος και τη διάταξη των στοιχείων που θα χρησιμοποιήσει προκειμένου το σώμα προς μελέτη να αναπαρασταθεί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Ο αριθμός των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν είναι καθοριστικός. Αρχικός σκοπός είναι η διακριτοποίηση να γίνει έτσι ώστε το σώμα να διαιρείται σε αρκετά μικρά στοιχεία για να προσεγγίζει όσο το δυνατό καλύτερα την πραγματικότητα. Πρέπει όμως να λαμβάνεται εξίσου υπόψη ότι όσο καλύτερη υποδιαίρεση έχουμε τόσο πιο δύσκολο γίνεται το υπολογιστικό μοντέλο.

Η διακριτοποίηση είναι η διαδικασία μετατροπής ενός φυσικού προβλήματος σε διακριτά γεωμετρικά δεδομένα με σκοπό την ανάλυση. Αφορά στη διαίρεση του φορέα σε τμήματα με πεπερασμένο αριθμό και μέγεθος στοιχείων τα οποία ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία (finite element). Ανάλογα με τις δυνατότητες παραμόρφωσης που προσδίδονται στα στοιχεία και τις μορφές τους, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες όπως στοιχεία ράβδου, δοκού, επίπεδα τριγωνικά ή τετραγωνικά κ.λ. Επομένως η επιλογή του τύπου των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν βασίζεται στη δυνατότητά τους να περιγράψουν την μηχανική συμπεριφορά της κατασκευής με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ο ορισμός των στοιχείων γίνεται αρχικά με την τοποθέτηση των κόμβων (nodes). Σε κάθε κόμβο αντιστοιχούν οι βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom) του μέσω των οποίων ορίζεται η δυνατότητά του να μετακινηθεί ή να περιστραφεί. Σε κάθε κόμβο στοιχείου αντιστοιχεί επίσης και ένας αριθμός κομβικών παραμέτρων, οι οποίες αποτελούν τις γενικευμένες μετατοπίσεις (οι μετατοπίσεις και οι παράγωγοί τους). Οι παραμορφώσεις σ' ένα στοιχείο συνδέονται με τις μετατοπίσεις. Οι μετατοπίσεις σε κάθε σημείο του στοιχείου εκφράζονται συναρτήσει των μετατοπίσεων των κόμβων με τη βοήθεια κάποιας συνάρτησης παραβολής ή συνάρτησης μορφής. Συνήθως για αυτή την παρεμβολή χρησιμοποιούνται πολυώνυμα. Μια διακριτοποίηση είναι ένα πλέγμα κόμβων και στοιχείων.

Οι πιο σημαντικές θέσεις για τους κόμβους ή για τις κομβικές γραμμές και τα κομβικά επίπεδα είναι οι θέσεις όπου συμβαίνουν σημαντικές μεταβολές στη γεωμετρία, τη φόρτιση και τις ιδιότητες του υλικού. Αντίστοιχα στις περιοχές εκείνες που έχουμε ασυνέχειες στη γεωμετρία θα πρέπει να προβλέπονται κομβικές γραμμές (οι γραμμές εκείνες που συνδέουν δύο οποιουσδήποτε κόμβους).

Η διακριτοποίηση του φορέα μιας κατασκευής πρέπει να γίνεται προσεκτικά έτσι ώστε να περιγράψει, όσο το δυνατό καλύτερα την πραγματική κατασκευή και τις γεωμετρικές ιδιότητες του φορέα. Ο αριθμός των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν είναι καθοριστικός στην αξιοπιστία του μοντέλου. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιούνται

διαδοχικές επιλύσεις με διαδοχική πύκνωση του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων ελέγχοντας τη σύγκλιση ή την απόκλιση των αποτελεσμάτων για τον εντοπισμό του τελικού μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση.

Ένας ακόμα παράγοντας που επιδρά σημαντικά στην ταχύτητα σύγκλισης είναι η μορφή των στοιχείων που χρησιμοποιούνται. Έτσι, αν για παράδειγμα χρησιμοποιούνται τριγωνικά στοιχεία έχει σημασία αν και πόσο κανονικά είναι. Μια κατάλληλη παράμετρος για επίπεδα στοιχεία είναι ο λόγος της μεγαλύτερης διάστασης του στοιχείου προς τη μικρότερη.

Ιδιαίτερα χρήσιμοι είναι και οι έλεγχοι ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του μοντέλου με στοιχεία από μετρήσεις και πειράματα. Στην παραγωγή τρισδιάστατου κανάβου σχηματίζεται ένας κánaβος που αποτελείται είτε από τετραεδρικά είτε εξαεδρικά στοιχεία.

6.2.3 Επιλογή Τύπου Στοιχείων

Η επιλογή του είδους των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν βασίζεται σε κριτήρια όπως:

- Η διάσταση του προβλήματος (δισδιάστατο ή τρισδιάστατο)

- Η γεωμετρία της κατασκευής
- Το είδος του υλικού
- Το είδος και ο τρόπος της φόρτισης
- Ο τρόπος επίλυσης
- Το είδος των επιθυμητών αποτελεσμάτων

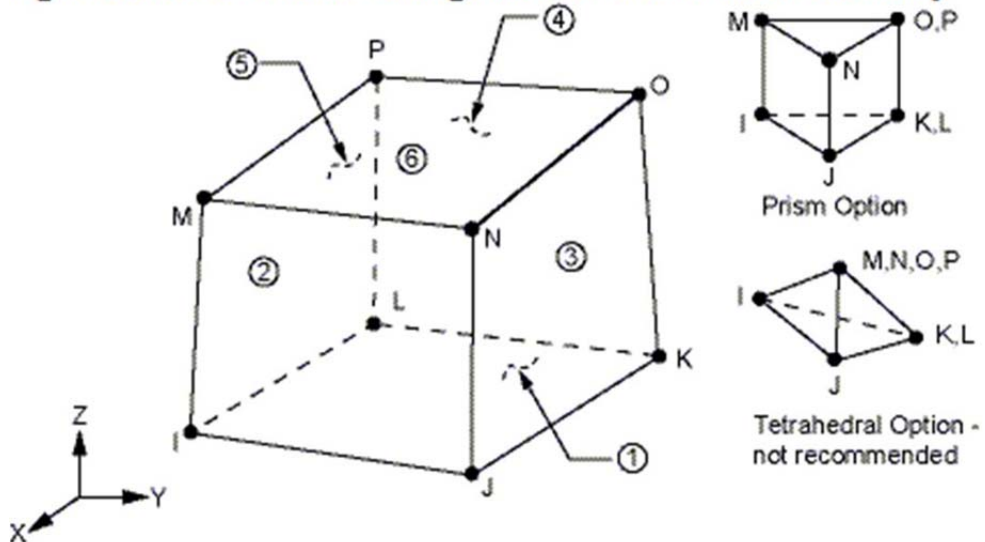
Οι οικογένειες των στοιχείων που βασίζονται στα τριγωνικά, ορθογωνικά και τετραεδρικά στοιχεία, εν γένει δεν μπορούν να παραστήσουν ικανοποιητικά τα όρια ενός σώματος. Δηλαδή οι συντεταγμένες των στοιχείων μπορούν να μετασχηματιστούν σε νέα συστήματα στον καρτεσιανό χώρο (στοιχεία μονοδιάστατα, δισδιάστατα ή τρισδιάστατα απεικονίζονται σε παράγωγες μορφές στον καρτεσιανό χώρο). Ισοπαραμετρικά στοιχεία είναι αυτά που ο αριθμός των κόμβων σε κάθε πλευρά των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των συντεταγμένων συμπίπτει με τον αριθμό των κόμβων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των μετακινήσεων .

Το στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το SOLID185 3 - D 8 - Node Structural Solid.

6.2.4 Περιγραφή του Στοιχείου *SOLID185*

Το στοιχείο *SOLID185* χρησιμοποιείται για την τρισδιάστατη αναπαράσταση μοντέλων στερεάς δομής. Χαρακτηρίζεται από 8 κόμβους έχοντας τρεις βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο. Μπορεί να μεταβληθεί και στις τρεις κατευθύνσεις x , y , z . Το συγκεκριμένο στοιχείο ανταποκρίνεται σε ελαστικότητα, υπερελαστικότητα, μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό, στρέψη και πίεση. Επιπλέον έχει δυνατότητες προσαρμογής προκειμένου να προσεγγίζονται όσο το δυνατό καλύτερα οι μεταβολές των σχεδόν ασυμπίεστων ελαστοπλαστικών υλικών και των πλήρως ασυμπίεστων υπερελαστικών υλικών.

Figure 185.1: SOLID185 Homogeneous Structural Solid Geometry



6.2.5 Αριθμητική Επίλυση

Εφόσον επιλεγεί ο τύπος των στοιχείων, πρέπει να καθοριστούν οι ιδιότητες του υλικού και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του με σκοπό την ακριβή προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του φορέα.

Τα περισσότερα προβλήματα μηχανικής είναι δυνατό να προσομοιωθούν θεωρώντας γραμμική ελαστική συμπεριφορά. Στην πραγματικότητα όμως, όλα σχεδόν τα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι μη γραμμικά. Η διαφορά μεταξύ γραμμικής και

μη γραμμικής λύσης καθορίζει το βαθμό στον οποίο η επιλογή της γραμμικής συμπεριφοράς είναι ικανή να δώσει σωστά αποτελέσματα για το πρόβλημα. Όταν η απόκλιση μεταξύ γραμμικής και μη γραμμικής λύσης είναι μικρή, τότε είναι δυνατή ή γραμμική προσομοίωση του προβλήματος. Είναι όμως αρκετές οι περιπτώσεις στις οποίες το πρόβλημα είναι έντονα μη γραμμικό οπότε δεν είναι εφικτή η σωστή επίλυση με γραμμικά μοντέλα.

Παρακάτω περιγράφονται τα είδη μη γραμμικών προβλημάτων που επιλυονται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα προβλήματα μη γραμμικής συμπεριφοράς υλικού. Το πρώτο στάδιο μιας μη γραμμικής ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός της αιτίας της μη γραμμικότητας του προβλήματος και κατ'επέκταση ο προσδιορισμός του είδους της μη γραμμικής συμπεριφοράς.

Στη μηχανική κάποιο πρόβλημα θεωρείται μη γραμμικό στην περίπτωση που το μητρώο ακαμψίας ή το διάνυσμα φόρτισης εξαρτώνται από το διάνυσμα της μετατόπισης. Η μη γραμμικότητα σε στατικά προβλήματα μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες.

- Μη γραμμική συμπεριφορά υλικού: η συμπεριφορά του κυμαίνεται μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων (π.χ ελαστική και πλαστική).
- Γεωμετρική μη γραμμική συμπεριφορά: σχετίζεται με τη μεγάλη αλλαγή της αρχικής γεωμετρίας

- Μη γραμμική συμπεριφορά λόγω συνοριακών συνθηκών: εμφανίζεται σε προβλήματα επαφής (contact) καθώς επίσης και σε προβλήματα με επακόλουθες δυνάμεις (follower forces).

6.2.6 Μη Γραμμική Συμπεριφορά

Η μη γραμμική συμπεριφορά του υλικού εμφανίζεται πριν από το όριο διαρροής του. Η μετάπτωση ενός υλικού από τη μια κατάσταση γίνεται σταδιακά. Τα περισσότερα υλικά παρουσιάζουν σημαντική μη γραμμική ελαστική συμπεριφορά αρκετά πριν προσεγγίσουν το σημείο διαρροής.

Δεν υπάρχει σαφές όριο διαχωρισμού μεταξύ των διαφορετικών συμπεριφορών του υλικού. Το όριο διαρροής που ουσιαστικά καθορίζει τη μετάβαση από την ελαστική στην πλαστική περιοχή είναι μια προσεγγιστική ποσότητα η οποία προκύπτει γραφικά .

Όταν εξετάζεται η εντατική κατάσταση κάποιου σώματος προκειμένου να διευκρινιστεί αν θα μεταβεί από γραμμική σε μη γραμμική συμπεριφορά, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην έκταση της περιοχής όπου παρουσιάζεται υψηλή εντατική κατάσταση. Είναι αρκετά πιθανό, σε μικρές περιοχές κάποιου σώματος να παρουσιάζονται τάσεις μεγαλύτερες από το όριο διαρροής. Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το υλικό βρίσκεται στη μη γραμμική περιοχή

συμπεριφοράς του αλλά είναι δυνατό να υποστηρίζεται από κάποιο γειτονικό υλικό, οπότε η συνολική συμπεριφορά του σώματος παρουσιάζει γραμμική μορφή.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω αρχικά εκτελείται ελαστική ανάλυση του προβλήματος ώστε να διευκρινιστεί αν αυτό ξεπερνά την ελαστική περιοχή και εισέρχεται στην πλαστική. Σ' αυτή την ανάλυση δεν πρέπει να ελέγχονται μόνο οι μέγιστες τάσεις που παρουσιάζονται στο σώμα, και η έκταση της περιοχής στην οποία αυτές παρουσιάζονται.

Η σωστή μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων με αμφίβολη συμπεριφορά είναι η αρχική επίλυση για γραμμική συμπεριφορά και αφού εξεταστού τα αποτελέσματα και γίνει αντιληπτό ότι το πρόβλημα δεν ανταποκρίνεται στη γραμμική περιοχή, ακολουθεί επανάληψη της επίλυσης για μη γραμμική συμπεριφορά.

6.2.7 Στάδια Φόρτισης

Ο κύριος μηχανισμός που επιτρέπει την επίλυση μη γραμμικών προβλημάτων στη στατική με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, είναι η δυνατότητα εφαρμογής του ολικού φορτίου σε περισσότερα από ένα στάδια. Έτσι γίνεται δυνατός ο υπολογισμός των ενδιάμεσων σταδίων με γραμμικό τρόπο, οπότε τελικά ένα μη γραμμικό πρόβλημα επιλύεται με κάποιο αριθμό γραμμικών σταδίων. Ο αριθμός των γραμμικών αυτών σταδίων εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος και την επιθυμητή ακρίβεια της λύσης. Τέλος, ο καθορισμός των σταδίων εξαρτάται και από τα στάδια φόρτισης.

Τα στάδια φόρτισης ορίζουν το μέγεθος του βαθμού της μη γραμμικότητας για το συγκεκριμένο στάδιο που η επαναλαμβανόμενη μέθοδος επίλυσης πρέπει να προσεγγίσει. Αν τα στάδια φόρτισης είναι αρκετά μεγάλα τότε η μέθοδος επίλυσης που έχει επιλεγεί είναι δυνατό να αποτύχει να τροποποιήσει τη διαδικασία επίλυσης ώστε να προκύψει σωστή λύση. Αν τα στάδια φόρτισης είναι πολύ μικρά τότε η επίλυση του ολικού προβλήματος ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Στην ιδανική περίπτωση, τα στάδια φόρτισης είναι ιδανικά μικρά ώστε η λύση του προβλήματος να συγκλίνει. Το πρώτο στάδιο φόρτισης δεν πρέπει να ξεπερνά το όριο διαρροής του υλικού και να μεταβαίνει από την ελαστική στην πλαστική ή άλλου είδους συμπεριφορά. Το μέγεθος του σταδίου

φόρτισης που απαιτείται για να ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη βρίσκεται ως εξής: επιλύεται το πρόβλημα στη γραμμική περιοχή και από αυτή την επίλυση βρίσκεται κατά προσέγγιση ο αριθμός των σταδίων που πρέπει να διαιρεθεί το ολικό φορτίο ώστε κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου να μη ξεφύγει το πρόβλημα από τη γραμμική συμπεριφορά.

Μια άλλη συνθήκη που επίσης εφαρμόζεται είναι η κατανομή των σταδίων φόρτισης σε μη κανονικά βήματα, δηλαδή σε στάδια που αναμένεται απότομη μεταβολή κάποιας μεταβλητής τα στάδια φόρτισης πυκνώνουν. Αντίθετα, σε περιπτώσεις ομαλής ή σταθερής μεταβολής των μεταβλητών, τα στάδια φόρτισης αραιώνουν.

Περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται πύκνωση των σταδίων φόρτισης είναι τα προβλήματα επαφής και αυτά στα οποία παρουσιάζονται απότομες μεταβολές στην καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης .

Σε περιπτώσεις όπου το πρόβλημα δεν συγκλίνει κατά τη μη γραμμική ανάλυση αλλά έχει επιλυθεί σε γραμμική, η πρώτη κίνηση βελτίωσής του είναι η αναδιάρθρωση των σταδίων φόρτισης.

6.2.8 Ακρίβεια της Μεθόδου

Η θεωρητική ακρίβεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τον τύπο του στοιχείου, δηλαδή τον αριθμό των κόμβων και των βαθμών ελευθερίας ανά κόμβο, τον αριθμό των κομβικών παρεμβολών και τον βαθμό του πολυωνύμου.
- Τον τύπο του κανάβου (αραιός ή πυκνός)
- Την ύπαρξη ανωμαλιών στο πρόβλημα (π.χ ρωγμές)
- Τον τρόπο υπολογισμού των κομβικών φορτίων και γενικά τον τρόπο εισαγωγής των συνοριακών συνθηκών.

Κεφάλαιο 7

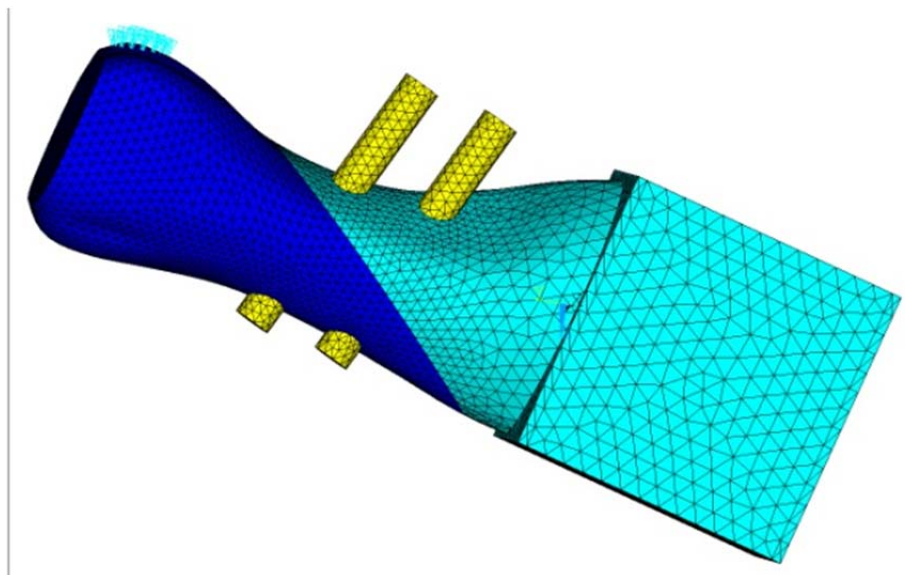
Αριθμητική Προσομοίωση

7.1 Κατασκευή αριθμητικού προσομοιώματος

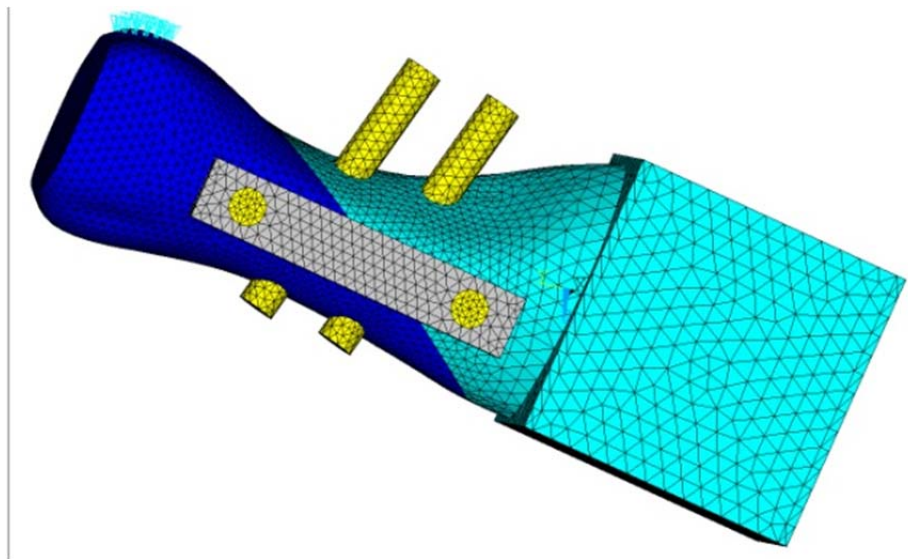
Για την περαιτέρω παραμετρική ανάλυση του προβλήματος (και λόγω του απαγορευτικού κόστους επιπλέον πειραμάτων) σχεδιάστηκε ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων που βαθμονομήθηκε με βάση τα αποτελέσματα των ανωτέρω πειραμάτων. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην ακριβή προσομοίωση της γεωμετρίας του πρώτου μετατάρσιου. Για τον σκοπό αυτό ένα δοκίμιο πανομοιότυπο με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, κόπηκε σε 20 λεπτές φέτες 3 mm πάχους η καθεμία και κάθε τμήμα του φωτογραφήθηκε με digital camera. Με τη βοήθεια του Solidworks (software for computer aided design) αναδομήθηκαν οι φωτογραφίες των παραπάνω κομματιών τμήματος του οστού. Η συνολική γεωμετρία του πρώτου μετατάρσιου δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του Ansys software. Σημειώνεται πως οι ιδιότητες του υλικού προσομοιώθηκαν σύμφωνα με τις κατασκευαστικές ενδείξεις. Στη συνέχεια το μετατάρσιο κόπηκε με τη χρήση κεκλιμένου επιπέδου με σκοπό να προσομοιωθεί η τεχνική Ludloff. Όσον αφορά στις δύο επιφάνειες του οστού που δημιουργήθηκαν με την τομή, θεωρήθηκε ότι βρίσκονται σε απλή επαφή και υπάρχει τριβή μεταξύ τους. Τα δύο τμήματα που προέκυψαν μετά την τομή, στην περίπτωση της Α΄ Ομάδας ενώθηκαν με 2 βίδες ενώ στην περίπτωση της Β΄ Ομάδας ενώθηκαν με 4 βίδες και ένα πλακίδιο. Οι χρησιμοποιούμενες βίδες προσομοιώθηκαν σαν

κύλινδροι με ακτίνα $r = 2\text{mm}$. Σαν πρώτη προσέγγιση οι βίδες θεωρήθηκαν άρρηκτα συνδεδεμένες με το συνθετικό οστό. Κάθε όγκος του οστού ‘κόπηκε’ με χρήση εξαεδρικού 3D δομικού στοιχείου 8 κόμβων.

7.2 Αποτελέσματα αριθμητικής προσομοίωσης



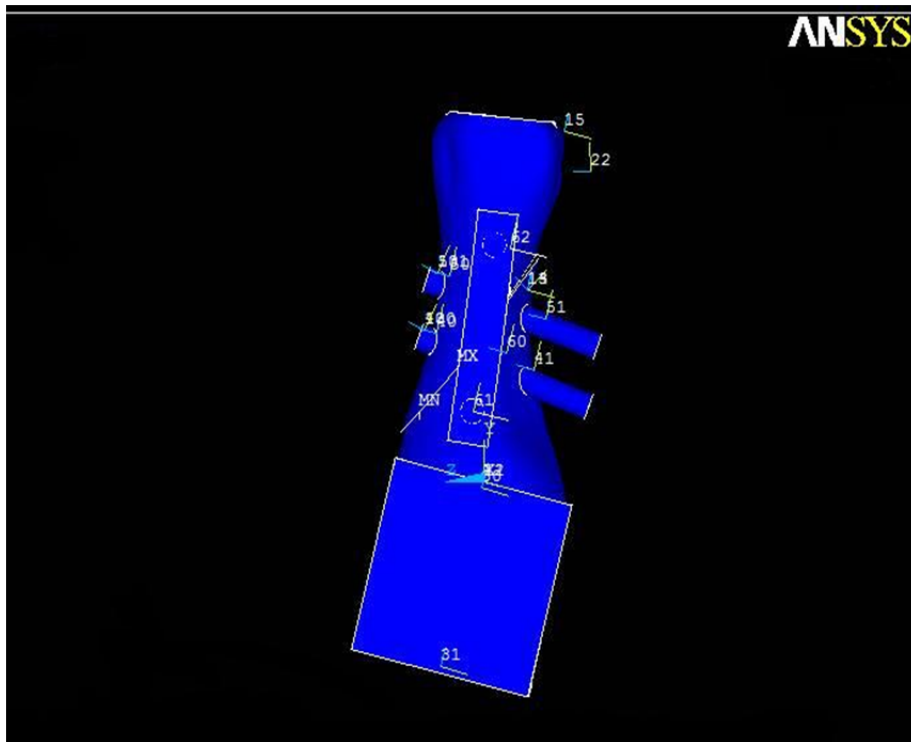
Εικόνα 7.2.1: Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για την Α΄ Ομάδα



Εικόνα 7.2.2: Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για την Β' ομάδα.



Εικόνα 7.2.3: Προσομοίωση οστού

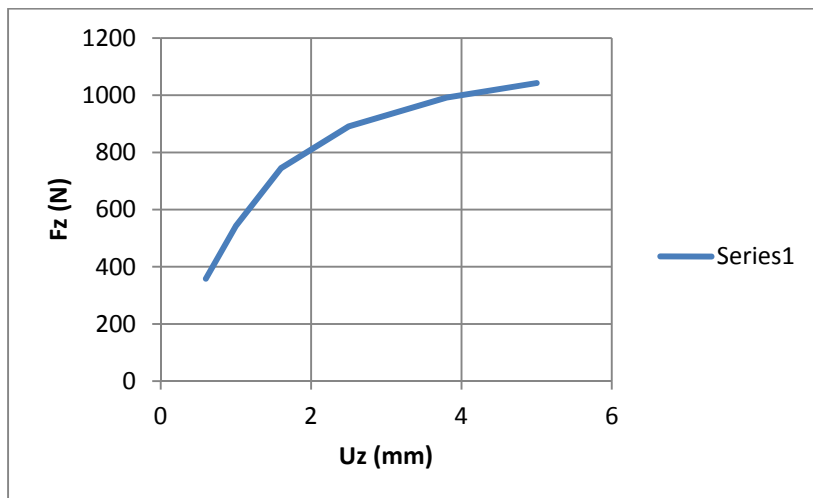


Εικόνα 7.2.4: Διαφορετική άποψη προσομοιώματος

Με τη βοήθεια του αριθμητικού προσομοιώματος επιχειρήθηκε να μελετηθεί η δύναμη και η πίεση που ασκείται μεταξύ των δύο επιφανειών του οστού σε συνάρτηση με μετατόπιση της μεταλλικής ένθετης πλάκας. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συμπεριφορά - μετατόπιση της πλάκας κατά την επιβολή διαφορετικού μέτρου δύναμης κάθε φορά.

Time (sec)	Uz (mm)	Fz (N)
0,12	0,6	358
0,2	1,0	543
0,32	1,6	745
0,5	2,5	891
0,76	3,8	992
1,0	5,0	1043

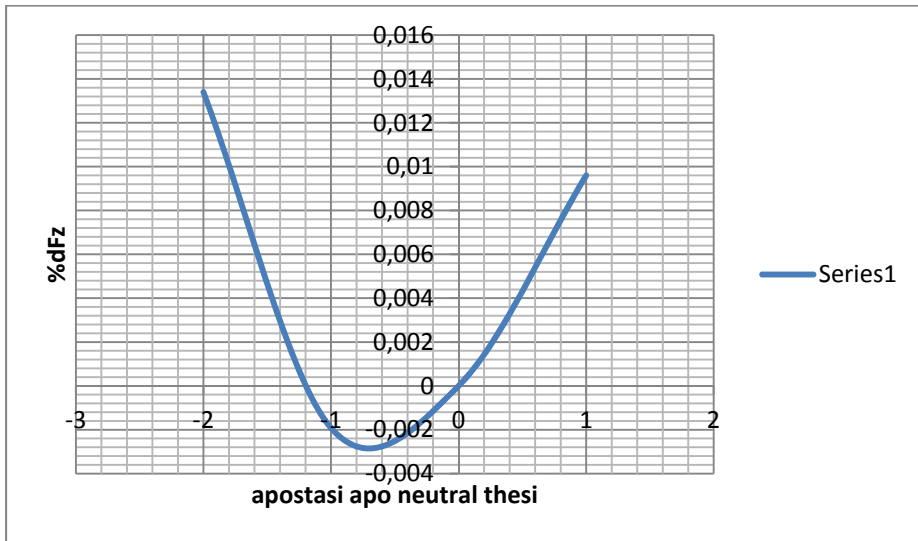
Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν τα παρακάτω γραφήματα.



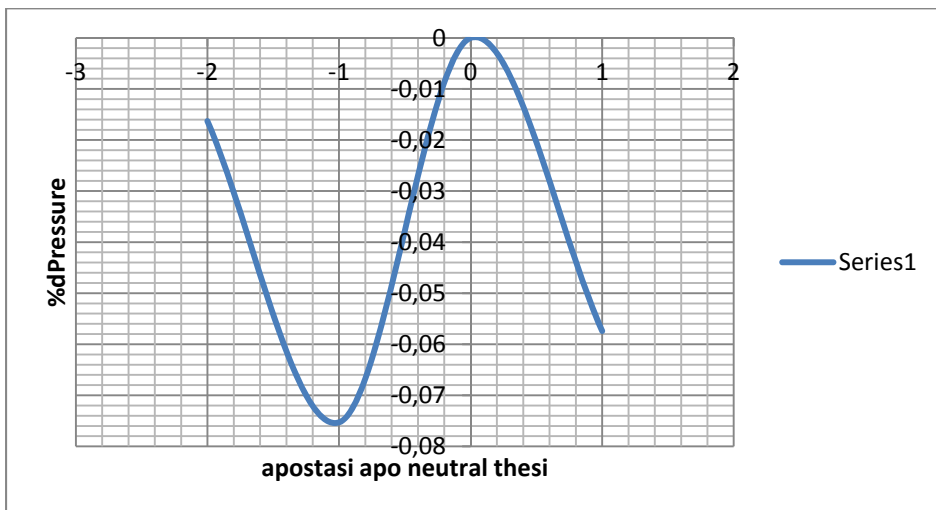
Εικόνα 7.2.5: Γραφική παράσταση της σχέσης εφαρμοζόμενης δύναμης-μετατόπισης της πλάκας. Στον οριζόντιο άξονα x - έχουμε τις διάφορες τιμές της μετατόπισης ενώ στον κάθετο y - της δύναμης. Η μετατόπιση της πλάκας πειραματικά γίνεται στον άξονα των z .

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος οστό-βίδες-πλάκα μετακινώντας τη θέση της πλάκας ελάχιστα κάθε φορά σε σχέση με μια θέση αναφοράς. Θεωρήθηκε μια ουδέτερη θέση (neutral position) τοποθέτησης της πλάκας πάνω στο οστό. Σκοπός μας ήταν η παρατήρηση της επίδραση της αλλαγής θέσης της πλάκας στην ποσοστιαία μεταβολή της δύναμης και της πίεσης που δέχεται η κατασκευή.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται η συσχέτιση μετακίνησης της πλάκας από την ουδέτερη θέση με την ποσοστιαία μεταβολή της επιβαλλόμενης δύναμης και η συσχέτιση της πρώτης με την ποσοστιαία μεταβολή της ασκούμενης πίεσης. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η εκάστοτε μετακίνηση της πλάκας γινόταν σε μια διεύθυνση, αυτή του διαμήκους άξονα της πλάκας – οστού και ήταν 1- 2 mm μακριά από την ουδέτερη θέση.

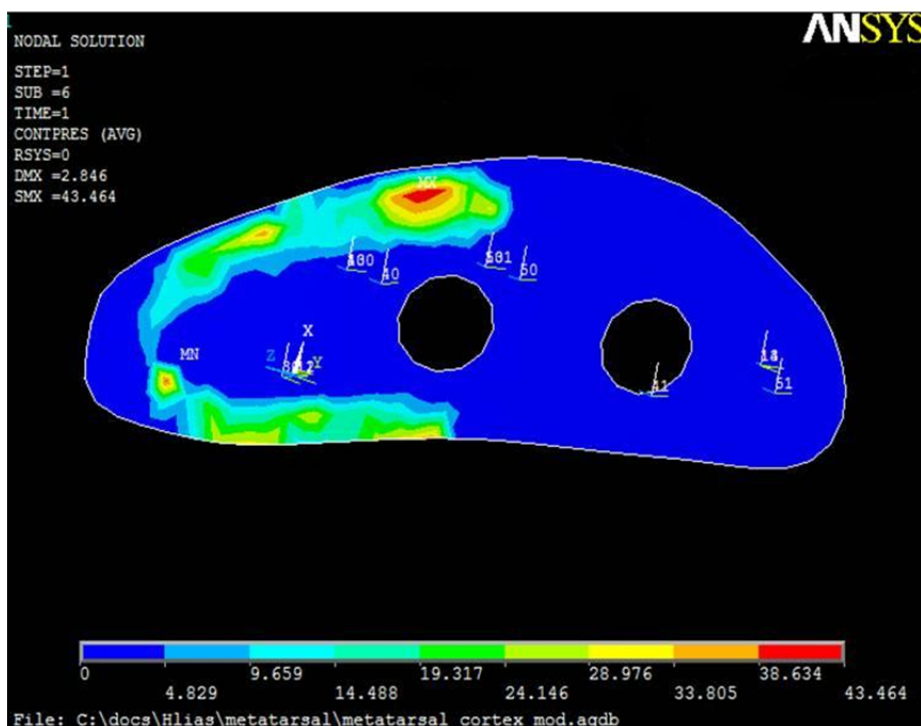


Εικόνα 7.2.6: Μετακίνηση πλάκας από ουδέτερη θέση – ποσοστιαία μεταβολή επιβαλλόμενης δύναμης

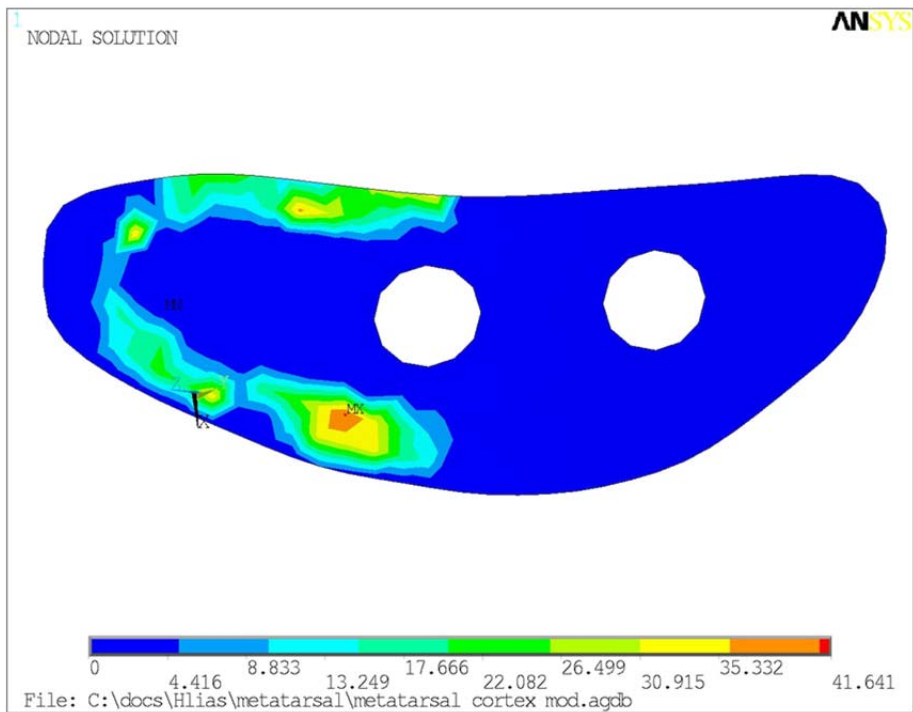


Εικόνα 7.2.7: Μετακίνηση πλάκας από ουδέτερη θέση – ποσοστιαία μεταβολή ασκούμενης πίεσης μεταξύ των δύο επιφανειών του οστού

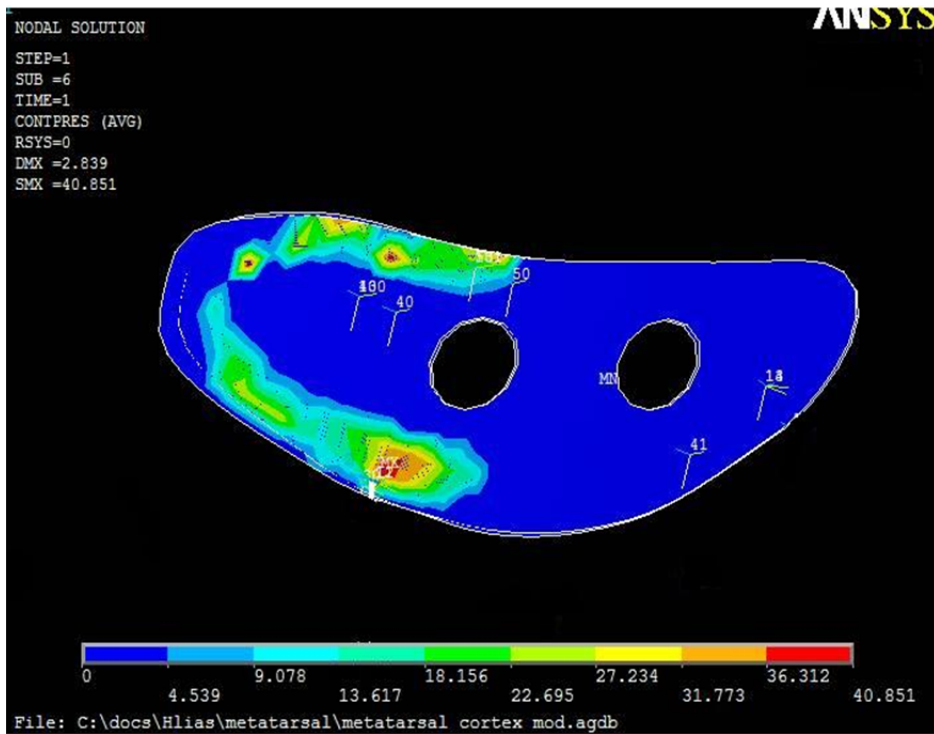
Με τη βοήθεια του προγράμματος ANSYS έχουμε την γραφική απεικόνιση των διαφοροποιήσεων της ασκούμενης πίεσης πάνω στην επιφάνεια επαφής οστού-βιδών-πλάκας.



Εικόνα 7.2.8: Οι διάφοροι χρωματισμοί δείχνουν το ‘φάσμα’ τιμών της ασκούμενης πίεσης όταν η πλάκα έχει μετατοπιστεί κατά 2 mm αριστερά από την αρχική-συνδεδεμένη θέση.



Εικόνα 7.2.9: Η πλάκα έχει μετατοπιστεί κατά 1 mm δεξιά από την neutral position.



Εικόνα 7.2.10: Η πλάκα έχει μετατοπιστεί κατά 1mm αριστερά από την neutral position..

Κεφάλαιο 8

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Η πειραματική διαδικασία με την χρήση μοντέλων οστού και η προσομοίωση της εγχειρητικής διαδικασίας με τη βοήθεια του ANSYS είχαν σαν στόχο:

- να διευκρινιστεί η επίδραση του τύπου εγχειρητικής διαδικασίας (οστεοτομία-βίδες ή οστεοτομία-βίδες-πλάκα) στις παρατηρούμενες max force, stiffness, energy
- να προσδιοριστούν η βέλτιστη θέση για την οστεοτομία όσο και για τις βίδες
- να προσδιοριστεί η βέλτιστη θέση για την τοποθέτηση της πλάκας αλλά και η επίδραση της μετατόπισης της στην αναπτυσσόμενη δύναμη και πίεση στις επιφάνειες του οστού.

Όσον αφορά στις δύο ομάδες μοντέλων οστού , για την πρώτη ομάδα παρατηρείται πως τα σημεία της οστεοτομίας φαίνονται να είναι τα πιο ενδιαφέροντα. Φαίνεται πως η ενέργεια αυξάνεται με την ‘απομάκρυνση’ του τέλους της οστεοτομίας ,δηλαδή με αύξηση του Cut_down , ενώ μειώνεται με αύξηση στο Cut_up. Οπότε , όσο πιο χαμηλά , κοντά στη βάση του μετατάρσιου τελειώνει η οστεοτομία τόσο μεγαλύτερη είναι η παρατηρούμενη ενέργεια ενώ όσο πιο χαμηλά ξεκινάει η οστεοτομία (πιο κοντά στη βάση του μετατάρσιου) τόσο μειώνεται.

Συμπεραίνεται πως στην πρώτη ομάδα κυρίαρχο παίζει η θέση της οστεοτομίας σε αντίθεση με τη δεύτερη όπου όσον αφορά στην max

force και την energy οι σημαντικότερες μεταβλητές είναι αυτές της θέσης των βιδών και της πλάκας.

Αναφερόμενοι στα σημεία τοποθέτησης των βιδών στα μοντέλα των δύο ομάδων μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στη δεύτερη ομάδα η δεύτερη βίδα (δεύτερη θεωρούμε τη βίδα που εισάγεται στην κυρτή επιφάνεια του οστού) εισάγεται πιο χαμηλά (πιο κοντά στη βάση του οστού) και εξάγεται εξίσου χαμηλά. Επιπλέον, η οστεοτομία τελειώνει επίσης χαμηλά και σε αρκετές περιπτώσεις είναι μεγαλύτερης έκτασης εν συγκρίσει με την πρώτη ομάδα. Πιθανά αυτό να συμβαίνει έτσι ώστε το μήκος της πλάκας να μην υπερβαίνει το μήκος της οστεοτομίας.

Μελετήθηκε, επίσης η ενδεχόμενη σχέση μεταξύ μετατόπισης του άκρου του μετατάρσιου, όταν η πλάκα είναι τοποθετημένη σε μια θεωρούμενη ουδέτερη θέση, και της δύναμης που αναπτύσσεται ανάμεσα στις δύο επιφάνειες του οστού που προκύπτουν μετά την οστεοτομία. Επιβάλλοντας μετατόπιση στο ελεύθερο άκρο του μετατάρσιου παρατηρήθηκε μεταβολή της εν λόγω δύναμης. Η σχέση των δύο εξεταζόμενων μεγεθών φαίνεται στην εικόνα 7.2.5. Καθώς επιβάλλεται μετατόπιση πάνω στον άξονα των z η δύναμη αυξάνεται ωστόσο η εξάρτηση δεν είναι γραμμική.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια συσχέτισης της μετακίνησης της πλάκας από την αρχική –ουδέτερη θέση (neutral position) με την ποσοστιαία μεταβολή της εμφανιζόμενης δύναμης και της πίεσης

μεταξύ των επιφανειών του οστού. Παρατηρώντας το γράφημα που συνδέει μετακίνηση - δύναμη συμπεραίνεται πως με μετατόπιση της πλάκας δεξιά της neutral position έχουμε αύξηση της ποσοστιαίας μεταβολής της δύναμης. Αντίθετα, με μετατόπιση έως 1mm αριστερά της ουδέτερης θέσης έχουμε μείωση και με μετατόπιση άνω του 1mm αριστερά έχουμε πάλι αύξηση. Όσον αφορά στη σχέση μετατόπιση - πίεση, από το αντίστοιχο γράφημα φαίνεται περιοδική.

Η αριθμητική προσομοίωση αποκάλυψε ότι η χρήση της ένθετης πλάκας μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη σταθερότητα της επέμβασης, μειώνει το μέγιστο φορτίο μέχρις αστοχίας και μειώνει την αναπτυσσόμενη δύναμη μεταξύ των δύο επιφανειών του οστού.

Τέλος, θα πρέπει να σημειώσουμε πως η επανάληψη των πειραμάτων που διεξήχθησαν για την παρούσα εργασία, μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερα και πιο σημαντικά αποτελέσματα αν αυξηθεί το μέγεθος του δείγματος των μοντέλων. Εξίσου ενδιαφέρουσα θα ήταν η επανάληψη των πειραμάτων με εισαγωγή των βιδών σε 'λάθος' σημεία έτσι ώστε να φανερωθεί η λεπτομερέστερη επίδρασή τους στη μέγιστη δύναμη μέχρις αστοχίας, στην ακαμψία και στην απορροφούμενη ενέργεια.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Radiographic correlates of hallux valgus severity in older people, Paul R D'Arcangelo, Karl B Landorf, Shannon E Munteanu, Gerard V Zammit and Hylton B Menz, Copyright 2010 D'Arcangelo et al; licence Biomed Central Ltd.
2. Incidence of hallux valgus in a Partially Shoe-wearing Community, I.B. Shine, 1965
3. Hallux Valgus and the First Metatarsal Arch Segment: A Theoretical Biomechanical Perspective, Ward M. Glasoe, David J. Nuckley, Paula M. Ludewig, 2010 American Physical Therapy Association
4. Hallux Valgus Angle as main predictor for correction of hallux valgus, Axel R Deenik, Enrico de Visser, Jan – Willem K Louwerens, Maarten de Waal Malefijt, Frits F Draijer and Rob de Bie, BMC Musculoskeletal Disorders 2008

5. Prevalence of hallux valgus in the general population : a systematic review and meta – analysis, Sheree Nix , Michelle Smith and Bill Vicenzino, Copyright 2010 Nix et al ; licence Biomed Central Ltd.
6. Increased hallux angle in children and its association with insufficient length of footwear: A community based cross – sectional study, Christian Klein, Elisabeth Groll – Knapp, Michael Kundi and Wieland Kinz, Copyright 2009 Klein et al; licence Biomed Central Ltd.
7. Preoperative Assessment in Hallux Valgus, David M.Laporta, Thomas V. Melillo, Vincent J. Hetherington
8. Biomechanics of the Foot and Ankle, G.James Sammarco, Ross Todd Hockenbury
9. Treatment of hallux valgus by modified McBride procedure : a 6 –year follow –up, Istemi Yucel, Yuksel Tenekecioglu, Tahir Ogut, and Hayrettin Kesmezacar, Copyrigh The Authors 2010
10. Hallux valgus deformity treated with the extensor longus tendon transfer by dynamic correction, Zhang Feng

qi, Wang Hui-juan, Zhang Qi, Liu Ya – ling, Zhang Ying – ze, Chinese Medical Journal, 2010

11. Mechanics of the Hallux Valgus Foot and the effect of Keller's operation, M. Dhanendran, J.P. Pollard & W.C. Hutton, Polytechnic of Central London and Middlesex Hospital, U.K, 1980 Munksgaard, Copenhagen

12. The etiology of hallux valgus or the intermetatarsum, James K. Young, M. D. , Philadelphia

13. Factors Associated with Hallux Valgus in a Population – Based Study of Older Women and Men: The MOBILIZE Boston Study, Uyen – Sa D. T. Nguyen, D. Sc., M. H., Howard J. Hillstrom, Ph. D., Wenjun Li, Ph. D., Alyssa B. Dufour, M. A., Douglas P. Kiel, M. D., M.P.H., Elizabeth Procter – Gray, Ph.D., M.P.H., Margaret M. Gagnon, R.N and Marian T. Hannan, D. Sc., M.P.H, Osteoarthritis Cartilage 2010 January

14. Comparison and prediction of pullout strength of conical and cylindrical pedicle screws within synthetic bone, Wen – Chi Tsai, Po – Quang Chen, Tung – Wu Lu, Shing- Sheng

Wu, Kao – Shang Shin and Shang – Chin Lin, BMC
Musculoskeletal Disorders 2009

15. Comparison of screw – fixation stabilities of first
metatarsal shaft osteotomies: a biomechanical study, A.
Meric Unal, Onder Baran, Bora Uzun, Ahmet C. Turan,
2010 Turkish Association of Orthopaedics and
Traumatology

16. The Hallux Valgus Complex, Antal P. Sanders

17. Mechanical Comparison of Cyclic Loading in Five
Different First Metatarsal Shaft Osteotomies, Jorge I.
Acevedo, MD; V. James Sammarco, MD; Henry R.
Boucher, MD; Brent G.Parks, MSc; Lew C. Schon, MD;
Mark S. Myerson, MD, Baltimore, MD

18. A densitometric analysis of the human first metatarsal
bone, Carol Muehleman, Daniel Bareither and Bruce L.
Manion, Department of Basic Biomedical Sciences ,Scholl
College of Podiatric Medicine, Chicago, IL, USA, 1999

19. Mechanical Comparison of two types of fixation for
Ludloff Oblique First Metatarsal Osteotomy, Stavros P.

Tsilikas, MD; Emmanouil D. Stamatis, Lt Col, MD,
FHCOS, FACS, Phd ; Stavros K. Kourkoulis ,Phd;
Athanasios S. Mitousoudis, Phd; Panayiotis E.
Chatzistergos, MSc; Panayiotis J. Papagelopoulos, MD, Phd,
2010

20. Atlas of Anatomy: general anatomy and
musculoskeletal, Michael Shunke, Lawrence M. Ross, Erik
Schulte, Edward D. Lamperti, Udo Schumacher, Thieme
Publications

21. Biomechanics of the Musculoskeletal System Second
Edition, Benno M. Nigg & Walter Herzog, Wiley
Publications

22. <http://www.pubmed.gov>

23. Εγχειρίδιο ανατομικής του ανθρώπου με έγχρωμο
άτλαντα, Μυοσκελετικό σύστημα, Werner Platzer

24. Mechanical Testing of Bone and the Bone – Implant
Interface, Yuehuei H An, Robert A. Draughn

25. Hallux Valgus and Forefoot Surgery

