

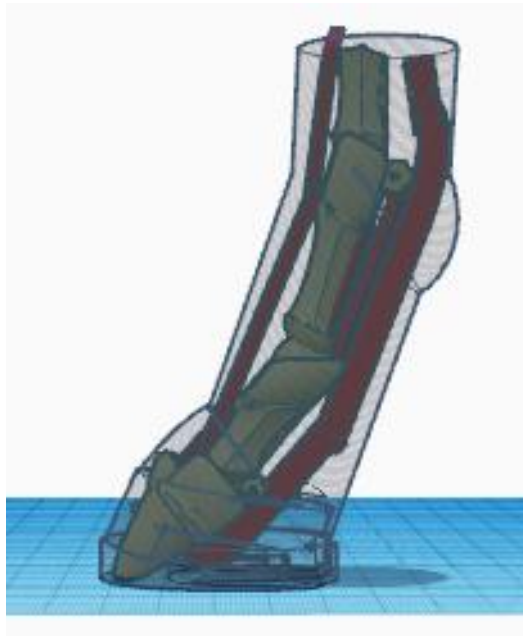


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

**Μελέτη και σχεδιασμός ομοιώματος
ποιότητας εικόνας απεικόνισης άκρων
ιπποειδούς με ακτίνες-Χ**



ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ ΚΟΥΒΕΔΑΚΗ

Αριθμός Μητρώου: 48015054

Επιβλέπων Καθηγητής

Νεκτάριος Καλύβας, Αναπληρωτής καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Μελέτη και σχεδιασμός ομοιώματος ποιότητας εικόνας απεικόνισης άκρων ιπποειδούς με ακτίνες-Χ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΚΑΛΥΒΑΣ
(Επιβλέπων καθηγητής)

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΛΙΑΠΑΡΙΝΟΣ

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΣΚΟΥΡΟΛΙΑΚΟΥ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Κουβεδάκη Σπυριδούλα** του **Εμμανουήλ**, με αριθμό μητρώου **48015054** φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της **Σχολής Μηχανικών** του **Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής** δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διαγνωστική απεικόνιση, η χρήση ομοιωμάτων παίζει καθοριστικό ρόλο για την αξιολόγηση των διάφορων συστημάτων με σκοπό την εύρυθμη λειτουργία τους. Στα ακτινογραφικά συστήματα, η συμβολή των ομοιωμάτων είναι υψίστης σημασίας καθώς έτσι αποφεύγεται ο κίνδυνος έκθεσης του οργανισμού σε περιττή ακτινοβολία. Πλέον, η ψηφιακή ακτινογραφική απεικόνιση απαντάται όλο και πιο συχνά στον τομέα της κτηνιατρικής. Κατά την ακτινογραφική απεικόνιση δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην συγκράτηση και τη σωστή τοποθέτηση των ζώων. Αυτό είναι αναγκαίο ώστε να ληφθούν ποιοτικές ακτινογραφίες χωρίς να γίνουν περιττές ακτινοβολήσεις. Στις περιπτώσεις μεγάλων ζώων, για την ασφάλεια των συνοδών που τα συγκρατούν, ο εξοπλισμός ακτινοπροστασίας είναι απαραίτητος.

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι ο σχεδιασμός ενός ομοιώματος ποιότητας εικόνας για απεικόνιση των άκρων των υποειδών με ακτίνες-Χ. Καθώς οι περισσότεροι τραυματισμοί των υποειδών βρίσκονται στα άκρα τους, η ακριβής ακτινογράφιση τους είναι απαραίτητη. Ο σχεδιασμός του ομοιώματος έγινε με χρήση του προγράμματος τρισδιάστατης (3D) μοντελοποίησης Autodesk Tinkercad. Το αρχικό ομοίωμα που σχεδιάστηκε έχει την μορφή του κάτω μέρους του ποδιού του υποειδούς με τις εσωτερικές δομές να είναι τα οστά, οι τένοντες και οι σύνδεσμοι. Λόγω της πολυπλοκότητας, του μεγέθους και της πολύ ακριβής τεχνικής που θα χρειαζόταν να γίνει η εκτύπωση του, σχεδιάστηκαν άλλα δυο ομοιώματα πιο απλοποιημένα. Οι διαστάσεις και η δομή του τελικού ομοιώματος, διαμορφώθηκαν ανάλογα, ούτως ώστε να μπορούμε να εξετάσουμε την ποιότητα της εικόνας και να είναι οικονομικά δυνατή η τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση του. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκαν εσωτερικά τρεις σφαίρες αέρα διαφορετικών διαστάσεων για την μέτρηση της διακριτικής ικανότητας χαμηλής αντίθεσης και μια εσοχή όπου θα υποδέχεται ένα resolution bar pattern για την μέτρηση της διακριτικής ικανότητας υψηλής αντίθεσης. Το τελικό ομοίωμα που εκτυπώσαμε είναι από PLA και έχει πλάτος 11cm, ύψος 13cm και πάχος 10cm, συμπεριλαμβανομένης μιας εσοχής πλάτους 5cm και πάχους 1cm.

Επίσης, έγινε η κατάλληλη θεωρητική μελέτη αντίθεσης εικόνας ώστε να δούμε πως αναμένεται να είναι η απεικόνιση, κατά την αλληλεπίδραση των ακτίνων-Χ, σε διάφορες μετατοπίσεις από το κέντρο των σφαιρών αέρα δηλαδή στα διαφορετικά πάχη του ομοιώματος. Οι συντελεστές εξασθένησης του PLA και του αέρα υπολογίστηκαν με χρήση του προγράμματος XMUDDAT. Τα αποτελέσματα της θεωρητικής μελέτης δείχνουν ότι υπάρχει διαβάθμιση της αντίθεσης εσωτερικά των σφαιρών αέρα του ομοιώματος, με την αντίθεση να βρίσκεται σε μεγαλύτερες τιμές στο κέντρο τους και σταδιακά να μειώνεται, μέχρι να μηδενιστεί, προς στα τοιχώματα τους. Λόγω αδυναμίας εκτύπωσης μίας συμπαγούς κατασκευής, το ομοίωμα έχει εσωτερικά πλέγμα, που περιλαμβάνει αέρα. Το ομοίωμα αυτό ακτινοβολήθηκε σε ψηφιακό ακτινογραφικό σύστημα όμως οι πειραματικές τιμές διαφέρουν καθώς το ομοίωμα έχει εσωτερικά πλέγμα, πράγμα που καθιστά τα αποτελέσματα μας διαφορετικά από την θεωρητική μελέτη όπου είχε γίνει για συμπαγές υλικό. Επιπλέον η εργασία συνοδεύεται από εγχειρίδιο χρήσης του ομοιώματος για τον έλεγχο ποιότητας της εικόνας και πειραματικές μετρήσεις από την ακτινοβολήση του ομοιώματος.

Λέξεις κλειδιά: Ομοίωμα, ποιότητα εικόνας, κτηνιατρική, άκρα υποειδών, ακτινογραφική απεικόνιση, Tinkercad, 3D εκτύπωση

ABSTRACT

In Diagnostic Imaging, the use of phantoms has a critical role for the evaluation of various radiology systems for their proper functionality. In X-ray systems, the contribution of the phantoms is paramount as this avoids the risk of exposing the body to unnecessary radiation. Nowadays, digital radiography is becoming more and more common in the field of veterinary medicine. During the radiographic examination, special attention is paid to the restraint and the correct positioning of the animals. This is of great importance in order to obtain quality radiographs without unnecessary radiation. In the case of large animals, for the safety of the attendants holding them, radiation protection equipment is necessary.

The aim of this thesis is to design an image quality phantom for X-ray imaging of equidae limbs. As most equine injuries are on their limbs, accurate x-rays are essential. The model of the phantom was designed using the Autodesk Tinkercad 3D modeling program. The original phantom that was designed is in the form of the lower part of the equine foot with the internal structures being bones, tendons and ligaments. Due to the complexity, the size of the phantom and the very precise technique that would need to be printed, two more phantoms were created with simpler design. The dimensions and the structure of the final phantom were adjusted accordingly, so that we can examine the quality of the image and its 3D print to be, economically, feasible. More specifically, three air spheres of different dimensions were designed internally for the measurement of low contrast resolution and an alcove where we can input a resolution bar pattern for the measurement of high contrast resolution. The final phantom that was printed is made of PLA and has a width of 11cm, a height of 13cm and a thickness of 10 cm, including an alcove and 5cm wide and 1cm thick.

Furthermore, the appropriate theoretical Image contrast study was performed to see how the imaging is expected to be, during the X-ray interaction, at different displacements from the centre of the air spheres, ie for the different thicknesses of the phantom. PLA and air attenuation coefficients were calculated using the XMUDAT program. The results of this theoretical study show that there is a degree of contrast inside the air spheres of the phantom, with the contrast being at higher values in their center and gradually decreasing, until zero, towards their walls. Due to the inability of printing a solid construction, the phantom has an internal infill, which includes air. This phantom was irradiated on a digital radiographic system but the experimental values differ as the phantom has an internal infill, which makes our results different from the theoretical study where it was done for solid structure. In addition, the thesis is accompanied by a user manual of the phantom for image quality control and experimental measurements from the irradiation of the phantom.

Keywords: Phantom, Image quality, veterinary, equidae limbs, x-ray imaging, Tinkercad, 3D printing

Ευχαριστίες:

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νεκτάριο Καλύβα για την πολύτιμη καθοδήγηση του καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται, επίσης, στον έμπειρο συνάδελφο κ. Στέφανο Καρατζέτζο ο οποίος είχε όλη την καλή διάθεση και προθυμία να βοηθήσει στην ολοκλήρωση της διπλωματικής και χάρη σε εκείνον έγινε η ακτινοβόληση του ομοιώματος και είχαμε ένα οπτικό αποτέλεσμα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη τους καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1. Ανατομία των άκρων των ιπποειδών.....	9
1.1 Περιοχή δακτύλου.....	9
1.1.1. Οστά.....	9
1.1.2. Μαλακοί ιστοί.....	9
1.1.3. Συνδέσεις και τένοντες.....	9
1.2. Οπλή.....	11
1.2.1. Διαστάσεις οπλής.....	12
2. Διαγνωστική απεικόνιση ιπποειδών.....	13
2.1. Προετοιμασία εξεταζόμενου ζώου.....	13
2.2. Συγκράτηση εξεταζόμενου ζώου.....	13
2.3. Ακτινοπροστασία κατά τη διαγνωστική απεικόνιση σε ζώα.....	14
2.4. Τραυματισμοί ιπποειδών.....	14
2.4.1. Κάταγμα μείζοντος σησαμοειδή οστού.....	14
2.4.2. Κάταγμα 2 ^{ης} φάλαγγας.....	15
2.4.3. Κάταγμα ελάσσοντος σησαμοειδή οστού.....	16
2.4.4. Κάταγμα στο κύριο μετακάρπιο οστό (Third Metacarpal (Cannon) Bone).....	17
2.4.5. Κάταγμα 3 ^{ης} φάλαγγας.....	17
3. Κτηνιατρικά ακτινογραφικά συστήματα.....	18
3.1. Εισαγωγή.....	18
3.2. Απαιτήσεις κτηνιατρικών ακτινογραφικών συστημάτων.....	19
3.2.1. Λυχνία ακτίνων Χ.....	19
3.2.2. Κατευθυντήρας.....	20
3.2.3. Αντιδιαχυτικό διάφραγμα.....	20
3.2.4. Ανιχνευτής ακτινοβολίας.....	20
3.2.5. Διακόπτης και χρονόμετρο έκθεσης.....	21
3.3. Ακτινογραφικός κτηνιατρικός εξοπλισμός.....	21
3.3.1. Φορητή μονάδα.....	22
3.3.1.1. Εμπορικά διαθέσιμο σύστημα φορητής μονάδας.....	22
3.3.2. Κινητή μονάδα.....	25
3.3.2.1. Εμπορικά διαθέσιμο σύστημα κινητής μονάδας.....	25
3.3.3. Μόνιμη μονάδα οροφής.....	26
3.3.3.1. Εμπορικά διαθέσιμο σύστημα μονάδας οροφής.....	27
3.3.7. Συνοδευτικές συσκευές.....	29
4. Ομοιώματα και ποιότητα εικόνας.....	31
4.1. Ομοίωμα απεικόνισης.....	31
4.2. Ποιότητα εικόνας.....	31
4.2.1. Αντίθεση.....	31

4.2.2. Ασάφεια.....	32
4.2.3. Θόρυβος	33
5. Τρισδιάστατη εκτύπωση	34
5.1. Τεχνικές και υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης	34
5.1.1. Στερεολιθογραφία (Stereolithography -SLA) / Φωτοπολυμερισμός (Vat photopolymerization).....	34
5.1.2. Ψεκασμός υλικών (Material Jetting – MJ).....	35
5.1.3. Ψεκασμός συνδετικών υλικών (Binder Jetting - BJ)	35
5.1.4. Σύντηξη κλίνης σε πούδρα (Powder bed fusion – PBF).....	36
5.1.5. Εξώθηση υλικού (Material extrusion)	36
5.1.6. Κατευθυνόμενη εναπόθεση ενέργειας (Directed energy deposition-DED).....	37
5.1.7. Ελασματοποίηση φύλλων (Sheet lamination).....	37
5.2. Τρισδιάστατη εκτύπωση πολλαπλών υλικών	38
6. Προγράμματα για 3D μοντελοποίηση	39
6.1. Tinkercad	40
7. Κατασκευαστικό μέρος.....	42
7.1. Σχεδιασμός ομοιώματος άκρου ιπποειδούς	42
7.1.1. Σχεδιασμός οπλής.....	42
7.1.2. Σχεδιασμός εξωτερικού περιβλήματος.....	43
7.1.3. Σχεδιασμός οστών	45
7.1.4. Σχεδιασμός τενόντων και συνδέσμων.....	47
7.1.5. Ολοκληρωμένο ομοίωμα άκρου ιπποειδούς.....	49
7.2. Σχεδιασμός απλοποιημένου ομοιώματος Ι	51
7.3. Σχεδιασμός απλοποιημένου ομοιώματος ΙΙ	53
7.4. Εκτύπωση ομοιώματος	55
7.5. Θεωρητική μελέτη αντίθεσης εικόνας εκτυπωμένου ομοιώματος	57
7.5.1. Υπολογισμός του φάσματος ενέργειας.....	57
7.5.2. Υπολογισμός του πάχους του ομοιώματος.....	58
7.5.3. Υπολογισμός της συνολικής έκθεσης ακτινοβολίας και της διαπερατότητας του ομοιώματος	59
7.5.4. Υπολογισμός της αντίθεσης	60
7.6. Εγχειρίδιο χρήσης εκτυπωμένου ομοιώματος	63
7.6.1. Προετοιμασία ομοιώματος για ακτινοβολία	63
7.6.2. Έλεγχος ποιότητας εικόνας	63
8. Πειραματικό μέρος	67
9. Συμπεράσματα	78
Αναφορές - Πηγές.....	79
Παράρτημα 1: Πίνακας αντιστοίχισης ελληνικής - αγγλικής ορολογίας της ανατομίας του άκρου του ιπποειδούς.....	85
Παράρτημα 2: Πίνακας δεδομένων γραφικής παράστασης φάσματος ενέργειας 72keV	86

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον τομέα της κτηνιατρικής, η ακτινογραφική απεικόνιση συναντάται όλο και πιο συχνά. Τα ομοιώματα απεικόνισης είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της ποιότητας της εικόνας και κατ'επέκταση της σωστής λειτουργίας του συστήματος. Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός ομοιώματος ποιότητας εικόνας για ακτίνες-Χ που θα αφορά τα ζώα και πιο συγκεκριμένα τα ιπποειδή. Το ομοίωμα αυτό επιλέξαμε να απεικονίζει τα άκρα του ιπποειδούς καθώς οι περισσότεροι τραυματισμοί του αφορούν αυτή την περιοχή. Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας μελέτης περιγράφεται η ανατομία των άκρων των ιπποειδών η οποία απαρτίζεται από τη χώρα του δακτύλου και τη οπλή. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία διαγνωστικής απεικόνισης των ιπποειδών όπου περιλαμβάνει την προετοιμασία και την συγκράτηση των ζώων καθώς και τα μέτρα ακτινοπροστασίας που πρέπει να λαμβάνονται από τους συνοδούς κατά τη διαγνωστική απεικόνιση στα ζώα. Επίσης το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει πληροφορίες για τους διάφορους τραυματισμούς στα άκρα των ιπποειδών. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες για την ακτινογράφιση και οι απαιτήσεις των κτηνιατρικών ακτινογραφικών συστημάτων. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο κτηνιατρικός ακτινογραφικός εξοπλισμός και παραδείγματα εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων. Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρει τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα της εικόνας και την σημασία του ομοιώματος. Το πέμπτο κεφάλαιο περιγράφει αναλυτικά τα βήματα για τη θεωρητική μελέτη της αντίθεσης που έγινε για να δούμε πως αναμένεται να είναι η απεικόνιση, κατά την αλληλεπίδραση των ακτίνων-Χ, σε διάφορες μετατοπίσεις από το κέντρο των σφαιρών αέρα δηλαδή στα διαφορετικά πάχη του ομοιώματος. Το έκτο κεφάλαιο έχει πληροφορίες για την τρισδιάστατη εκτύπωση και τις διάφορες τεχνικές της. Το έβδομο κεφάλαιο περιέχει μια λίστα από διαθέσιμα προγράμματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο πρόγραμμα Tinkercad όπου είναι το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τον σχεδιασμό του ομοιώματος. Στο όγδοο κεφάλαιο αναλύονται με λεπτομέρεια τα βήματα για τον σχεδιασμό όλων των ομοιωμάτων και παρουσιάζεται το εκτυπωμένο ομοίωμα. Επιπλέον παρέχονται οδηγίες χρήσης του ομοιώματος για τον έλεγχο της ποιότητας της εικόνας. Στο ένατο κεφάλαιο περιγράφονται πειραματικές μετρήσεις που πήραμε με την ακτινοβολήση του ομοιώματος σε ψηφιακό ακτινογραφικό σύστημα. Το δέκατο κεφάλαιο αναφέρεται στα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της εργασίας. Τέλος διατίθενται οι αναφορές για την εργασία και τα αντίστοιχα παραρτήματα.

1. Ανατομία των άκρων των ιπποειδών

1.1 Περιοχή δακτύλου

1.1.1. Οστά

Σε όλα τα άκρα του ιπποειδούς η ανατομία του δακτύλου είναι η ίδια (εικόνα 1.1). Στο πρόσθιο άκρο, το δάκτυλο συνδέεται με τα μετακάρπια οστά και συγκεκριμένα με το κύριο μετακάρπιο οστό (cannon bone) και τα δυο πλάγια μετακάρπια οστά (splint bones) τα οποία είναι μικρότερα και βρίσκονται στα πλάγια του κύριου οστού. Στο οπίσθιο άκρο, το δάκτυλο συνδέεται με τα μετατάρσια οστά και συγκεκριμένα με το κύριο μετατάρσιο οστό (cannon bone) και τα δυο πλάγια μετατάρσια οστά (splint bones) τα οποία είναι μικρότερα και βρίσκονται στα πλάγια του κύριου οστού.

Η περιοχή του δακτύλου αποτελείται από τον κυνήποδα, το μεσοκύνιο και την οπλή. Τα οστά του δακτύλου είναι τρεις φάλαγγες και τρία σησαμοειδή οστά. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη φάλαγγα (proximal phalanx) που είναι γνωστή και ως long pastern, η δεύτερη φάλαγγα (distal phalanx) γνωστή και ως short pastern και η τρίτη φάλαγγα (middle phalanx) γνωστή και ως pedal bone η οποία περικλείεται στην οπλή. Οι ζωτικοί σύνδεσμοι και οι τένοντες βρίσκονται τριγύρω από αυτά τα οστά παρέχοντας υποστήριξη και κίνηση.

Στην περιοχή του δακτύλου υπάρχουν τρεις κύριες αρθρώσεις. Μεταξύ του μετακάρπιου ή μετατάρσιου οστού και της 1^{ης} φάλαγγας είναι η άρθρωση του κυνήποδα (fetlock joint). Μεταξύ της 1^{ης} και της 2^{ης} φάλαγγας είναι η άνω μεσοφαλαγγική άρθρωση (pastern joint) και μεταξύ της 2^{ης} και 3^{ης} φάλαγγας που ενσωματώνει το ελάχισον σησαμοειδές οστό είναι η κάτω μεσοφαλαγγική άρθρωση (coffin joint).

Τα έσω και έξω μείζον σησαμοειδή οστά (proximal sesamoids) βρίσκονται στο πίσω μέρος της άρθρωσης του κυνήποδα. Το ελάχισον σησαμοειδές οστό (distal sesamoid) γνωστό και ως οσφυϊκό οστό (navicular bone) το οποίο βρίσκεται στο πίσω μέρος της 3^{ης} φάλαγγας και είναι εγκλεισμένο μέσα στην οπλή και αυτό. Ουσιαστικά τα σησαμοειδή οστά λειτουργούν ως σύστημα τροχαλίας για τους τένοντες που τα περιτριγυρίζουν, μειώνοντας έτσι την τριβή και βελτιώνοντας της αποτελεσματικότητας της κίνησης. [1-2]

1.1.2. Μαλακοί ιστοί

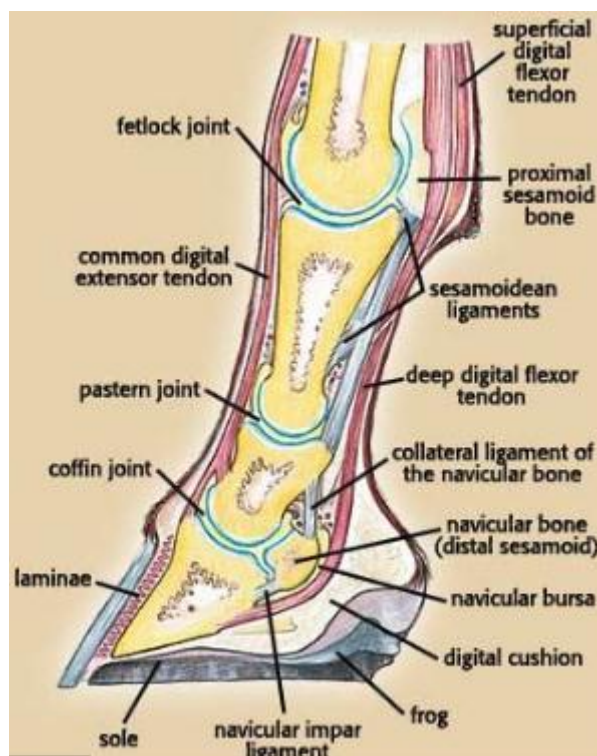
Στο άλογο κάτω από τον καρπό (carpus) και κάτω από τον ταρσό υπάρχει ελάχιστος ή καθόλου μυς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του βάρους στα άκρα του καθώς και τη βελτίωση της ευελιξίας που οδηγεί στην ανάπτυξη της ταχύτητας του αλόγου. Όμως η έλλειψη μυών, που αν υπήρχαν θα είχαν προστατευτικό ρόλο, υποδηλώνει ότι οι δομές θα είναι ευάλωτες στην πίεση και σε τραυματισμούς. [1-2]

1.1.3. Συνδέσεις και τένοντες

Οι τένοντες σχηματίζονται από πυκνό συνδετικό ιστό και συνδέουν τους μυς με τα οστά. Κατά τη συστολή των μυών, αξιοποιούν το τράβηγμα και έτσι γίνεται η κίνηση. Οι τένοντες είναι λιγότερο ελαστικοί από τις μυικές ίνες και έχουν ανεπαρκή παροχή αίματος πράγμα που επηρεάζει την θεραπεία. Σημαντικοί τένοντες του άκρου είναι ο τένοντας του εν τω βάθει καμπτήρα των

φαλάγγων μυός (deep digital flexor tendon) όπου συνδέεται με την 3^η φάλαγγα και η λειτουργία του είναι να κάμπτεται το δάκτυλο, ο τένοντας του πρόσθιου εκτείνοντα τις φάλαγγες μυός (superficial digital flexor tendon) όπου συνδέεται σαν κλαδί και στην 1^η και στην 2^η φάλαγγα και η λειτουργία του είναι να κάμπτει την πρόσθια άρθρωση, ο τένοντας του κοινού εκτείνοντα τις φάλαγγες μυός (common digital extensor tendon) που συνδέεται με όλες τις φάλαγγες και η λειτουργία του είναι να επεκτείνει την άνω μεσοφαλαγγική άρθρωση και το δάκτυλο και ο τένοντας του επιπολής καμπτήρα των φαλάγγων μυός (lateral digital extensor tendon) που συνδέεται με την 1^η φάλαγγα και η λειτουργία του είναι να βοηθήσει στην επέκταση της πρόσθιας άρθρωσης.

Οι σύνδεσμοι έχουν παρόμοια δομή με τους τένοντες, είναι λίγο λιγότερο ελαστικοί και έχουν επίσης κακή παροχή αίματος. Οι σύνδεσμοι και οι τένοντες λειτουργούν σε συνδυασμό με μια ποικιλία μυών για να σχηματίσουν μια ανασταλτική συσκευή. Ουσιαστικά η ανασταλτική συσκευή στηρίζει και αναστέλλει το άκρο και την άρθρωση του κυνήποδα και αποτρέπει την υπερβολική επέκταση και κατάρρευση του μέλους. Αποτελείται από τους πλάγιους και τους άπω σησαμοειδείς σύνδεσμούς, τον αναρτήρα και τον παλαμιαίο δακτυλικό σύνδεσμο. Οι βασικότεροι τένοντες και σύνδεσμοι απεικονίζονται στην εικόνα 1.1. [1-2]



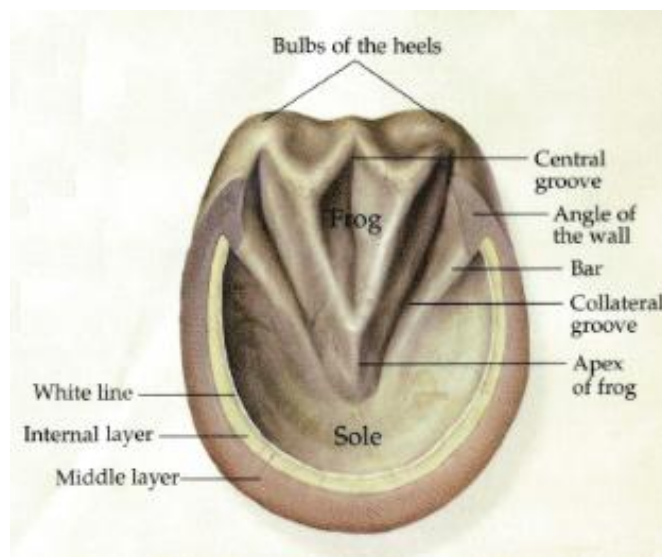
Εικόνα 1.1. Ανατομία των άκρων των ιπποειδών - Περιοχή δακτύλου

1.2. Οπλή

Η οπλή ενός αλόγου (εικόνα 1.2) αποτελείται από το τοίχωμα της οπλής (wall), το σώμα του πέλματος (sole) και την χελιδόνα (frog). Το τοίχωμα της οπλής είναι ουσιαστικά μια κεράτινη στιβάδα που καλύπτει την 3^η φάλαγγα και φαίνεται στην όρθια στάση του αλόγου. Το σώμα του πέλματος και η χελιδόνα φαίνονται όταν υψώνεται το πόδι του αλόγου από το έδαφος. Η χελιδόνα βοηθάει στην απορρόφηση των κραδασμών και στην ροή του αίματος. Το δακτυλικό υπόθεμα (digital cushion) είναι μια δομή γεμάτη αιμοφόρα αγγεία που βρίσκεται στην μέση της οπλής και βοηθάει και αυτό στην ροή του αίματος σε όλο το πόδι. Στα πλάγια της 3^{ης} φάλαγγας, εκτείνονται οι πλευρικοί χόνδροι οι οποίοι είναι εύκαμπτοι όμως οστεοποιούνται όσο μεγαλώνει το άλογο. Ο σησαμοειδής θύλακας είναι ένας σάκος γεμάτος με υγρά που μειώνει την τριβή μεταξύ του οστού και του τένοντα.

Όταν το βάρος τοποθετείται στην οπλή, η πίεση μεταδίδεται στην χελιδόνα όπου και έρχεται πρώτη σε επαφή με το έδαφος και το αίμα ωθείται. Η αύξηση της πίεσης και η αλλαγή του σχήματος του δακτυλικού υποθέματος (μαξιλάρι) οδηγούν στην συμπίεση των φλεβών με αποτέλεσμα το αίμα να ωθείται στο πόδι. Όταν το πόδι ανυψώνεται, η χελιδόνα και άλλες εύκαμπτες δομές επιστρέφουν στην αρχική τους θέση με αποτέλεσμα η συμπίεση να ανακουφίζεται και έτσι το αίμα να ρέει ξανά στις φλέβες. Ουσιαστικά η λειτουργία αυτή δουλεύει σαν μια αντλία. Η αύξηση της άσκησης αυξάνει την κυκλοφορία του αίματος στο πόδι και έτσι η οπλή αναπτύσσεται καλά.

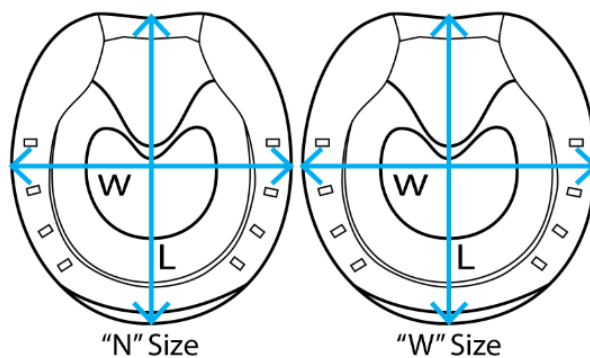
Όταν το άλογο κινείται, η κάτω μεσοφαλαγγική άρθρωση (coffin joint) μεταξύ της 2^{ης} και 3^{ης} φάλαγγας έχει την μεγαλύτερη πίεση που ασκείται σε οποιαδήποτε άρθρωση στο σώμα του υποειδούς. [1-3]



Εικόνα 1.2. Ανατομία οπλής

1.2.1. Διαστάσεις οπλής

Το μέγεθος της οπλής (εικόνα 1.3) εξαρτάται από το μέγεθος του σώματος του αλόγου. Οι διαστάσεις της οπλής, δηλαδή το μήκος και το βάθος της, διαφέρουν από φυλή σε φυλή οπότε οι παράγοντες διαφοροποίησης είναι κυρίως γενετικοί. [4]



Εικόνα 1.3. Διαστάσεις οπλής

Ανάλογα με τις διαστάσεις της οπλής, υπάρχουν διάφορα μεγέθη διαθέσιμων πετάλων στην αγορά. Πιο συγκεκριμένα, το μήκος (Length) της οπλής κυμαίνεται από 117mm – 170mm και το βάθος (Width) της από 108mm – 152mm στην περίπτωση που η οπλή είναι «κάθετη» ενώ αν η οπλή είναι πιο πλατιά το βάθος κυμαίνεται από 112mm -156mm. [5-8]

2. Διαγνωστική απεικόνιση ιπποειδών

Στην κτηνιατρική η ακτινογραφία είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα διαγνωστικά εργαλεία. Η ακτινογραφία χρησιμοποιείται καθώς είναι ανώδυνη διαδικασία και δίνει καλά διαγνωστικά αποτελέσματα με ελάχιστες επαναλήψεις.

2.1. Προετοιμασία εξεταζόμενου ζώου

Για την αποφυγή ψευδενδείξεων απαιτείται προσεκτική προετοιμασία του ζώου για εξέταση. Πιο συγκεκριμένα, το τρίχωμα τους πρέπει να βουρτσίζεται ή να πλένεται ούτως ώστε να μην έχουμε επιφανειακές ψευδενδείξεις (surface artifacts) που οφείλονται στις εμφανείς ακαθαρσίες. Επίσης η περιοχή ενδιαφέροντος πρέπει να σκουπίζεται με πετσέτα για να μην παρεμβάλλονται υγρά. Για την ακτινογραφία του κατώτερου μέρους του ποδιού των ιπποειδών απαιτούνται συγκεκριμένα βήματα για να αποφευχθούν ακτινογραφικές σκιές (radiographic shadows) στην υπο εξέταση περιοχή. Το 1^ο βήμα είναι να αφαιρεθεί το πέταλο και να κοπούν ξανά αν χρειαστεί επιπλέον τμήματα της σπλής. Το 2^ο βήμα είναι ο καθαρισμός του σώματος του πέλματος (σόλα) και των σχισμών. Το 3^ο βήμα είναι το γέμισμα της σόλας με ένα ραδιοδιαλυτό υλικό όπως μεθυλοκυτταρίνη, μαλακό σαπούνι ή πλαστελίνη (Play-Doh) για να εμποδίσει την εμφάνιση ψευδενδείξεων αέρα (air artifact) πάνω από τις περιοχές ενδιαφέροντος. [12-13]

2.2. Συγκράτηση εξεταζόμενου ζώου

Οι αρχές της ακτινογραφίας είναι ουσιαστικά ίδιες τόσο στα μικρά όσο και στα μεγάλα ζώα. Οι δυο σημαντικές διαφορές είναι η στάση του σώματος και το μέγεθος των υπό εξέταση ζώων. Στην ακτινογραφία ένα μικρό ζώο μπορεί να τοποθετηθεί σε εξεταστική τράπεζα ακτινογραφίας ενώ στην περίπτωση μεγάλων ζώων η τοποθέτηση τους γίνεται σε όρθια στάση.

Κατά την διάρκεια της εξέτασης, το μεγάλο ζώο είναι περιορισμένο και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος τραυματισμού του προσωπικού και κίνδυνος καταστροφής της λυχνίας ακτίνων Χ καθώς ο καθοδικός σωλήνας πρέπει να τοποθετηθεί κοντά στο πόδι του ζώου και ενδέχεται το ζώο να το κλωτσήσει. Γενικά τα ζώα τρομάζουν όταν βλέπουν άγνωστα αντικείμενα και ειδικότερα όταν τα φέρνουν κοντά στο σώμα τους. Για αυτόν τον λόγο πριν την εξέταση το εξεταζόμενο ζώο εισάγεται στον χώρο εξέτασης για να επεξεργαστεί το μηχάνημα και τον ανιχνευτή έτσι ώστε να εξαλείψει τον φόβο του αγνώστου. Επίσης σημαντικό είναι να αποφεύγονται οι ξαφνικές κινήσεις και οι δυνατοί θόρυβοι για να μην τρομάξει το ζώο.

Για την συγκράτηση του ζώου κατά την εξέταση χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως δεσίματα ή ταινίες για επέκταση των άκρων, αφρώδη υλικά και σφήνες για την διασφάλιση πλευρικών ακτινογραφιών δίχως περιστροφή, σάκοι άμμου διάφορων μεγεθών και νάρκωση. Η νάρκωση είναι μια κοινή μέθοδος κατά την οποία χορηγείται μια μικρή ποσότητα χημικού ηρεμιστικού για την αποφυγή κινήσεων του ζώου. Η χρήση του χημικού μειώνει την ανάγκη για χειροκίνητη συγκράτηση το οποίο οδηγεί σε καλύτερες ακτινογραφίες και συνήθως μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εξέτασης. Αν η νάρκωση δεν είναι αρκετή τότε ο συνοδός σηκώνει το αντίθετο άκρο του ζώου από αυτό που ακτινοβολείται. Σπάνια τίθεται το εξεταζόμενο ζώο σε ολική αναισθησία. Ο κτηνίατρος επιλέγει τον τύπο συγκράτησης που θα εφαρμοστεί. [9-12]

2.3. Ακτινοπροστασία κατά τη διαγνωστική απεικόνιση σε ζώα

Εκτός από τους βασικούς κανόνες ασφάλειας ακτινοβολίας που ισχύουν για όλων των ειδών ακτινογραφίες, υπάρχουν και κάποιοι επιπλέον που αφορούν συγκεκριμένα την ακτινογραφία μεγάλων ζώων λόγω του μεγέθους και της όρθιας στάσης τους καθώς και των υψηλά απαιτούμενων παραγόντων έκθεσης.

Οι συνοδοί που κρατάνε το εξεταζόμενο ζώο και τον ανιχνευτή στην ανατομική περιοχή που πρόκειται να απεικονιστεί πρέπει να φοράνε κατάλληλη ενδυμασία δηλαδή ποδιά με υλικό που απορροφά την ακτινοβολία (πχ μόλυβδο). Συστήνεται επίσης η χρήση γαντιών από μόλυβδο ή ακόμα και προστατευτικών γυαλιών και κολλάρου θυροειδούς. Δεν πρέπει να γίνεται χρήση των γαντιών εντός της πρωτεύουσας δέσμης της λυχνίας ακτίνων Χ. Τα γάντια και οι ποδιές μειώνουν την έκθεση από την ακτινοβολία σκέδασης κατά έναν παράγοντα ~1.000 σε αντίθεση με την έκθεση από την πρωτεύουσα δέσμη που μειώνεται κατά έναν παράγοντα ~10. Τα κολλάρα θυροειδούς χρησιμοποιούνται για ακτινοπροστασία του θυροειδούς αδένα που είναι ευαίσθητος στην ακτινοβολία. Τα ειδικά γυαλιά ακτινοπροστασίας συνιστώνται σε περιπτώσεις που οι εκθέσεις είναι αρκετά υψηλές και ο προσανατολισμός της δέσμης είναι πιο πιθανόν οριζόντιος. Εξετάσεις του άνω μέρους του σώματος του ζώου οδηγούν σε μεγαλύτερη έκθεση του προσωπικού. Ο ακτινολόγος/κτηνίατρος πρέπει να διασφαλίσει ότι το προσωπικό βρίσκεται σε ασφαλή απόσταση από την πρωτεύουσα δέσμη. Επίσης, όλα τα άτομα που συμμετέχουν στην διαδικασία λήψης ακτινογραφικών εικόνων πρέπει να παρακολουθούνται για έκθεση σε ακτινοβολία. [9-12]

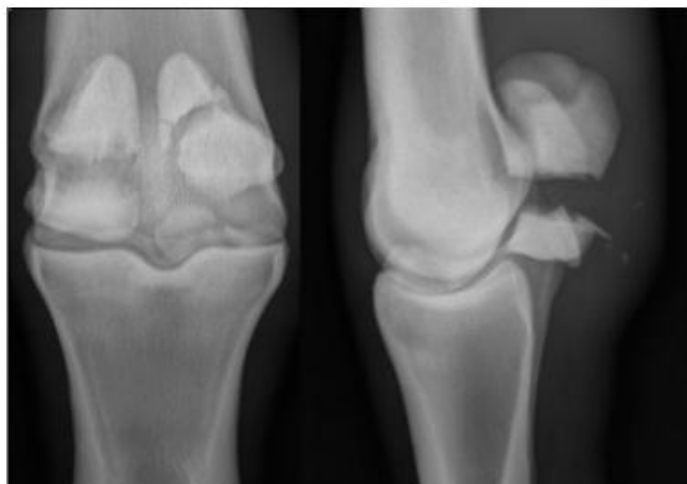
2.4. Τραυματισμοί ιπποειδών

Τα άλογα τραυματίζονται πολύ συχνά στα άκρα τους. Η πίεση που ασκείται στα πόδια τους και το γεγονός ότι δεν έχουν μύες, τα καθιστά ευαίσθητα στους τραυματισμούς. Ανάλογα με την ηλικία και την φυλή των αλόγων οι τραυματισμοί τους διαφέρουν. Αυτό συμβαίνει καθώς διαφέρουν ως προς τον τύπο σώματος καθώς και ως προς τις δραστηριότητες που προορίζονται.

2.4.1. Κάταγμα μείζοντος σησαμοειδή οστού

Υπάρχουν δυο μείζον σησαμοειδή οστά (proximal sesamoids), τα έσω και τα έξω μείζον σησαμοειδή οστά, τα οποία σε περίπτωση υπερβολικής πίεσης μπορεί να σπάσουν με αποτέλεσμα να τραυματιστούν πολλοί σύνδεσμοι που συνδέονται με αυτά. Στην περίπτωση όπου υπάρχει θραύσμα στο πάνω μέρος του οστού, μπορεί να αφαιρεθεί με ελάχιστα χειρουργική επέμβαση με χρήση οπτικής κάμερας (αρθροσκόπηση) όμως αν το σπάσιμο είναι στο κέντρο των οστών είτε στο κάτω μέρος τους τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα καθώς χαλάει η σύνδεση με τους σησαμοειδείς συνδέσμους που ενώνονται με τα οστά αυτά. Οπότε όταν τα σησαμοειδή οστά σπάσουν σε πολλά κομμάτια η αφαίρεση ή επανασυναρμολόγηση τους μπορεί να είναι αδύνατη και πολλές φορές τα άλογα να καταλήγουν σε ευθανασία. Βέβαια μπορεί να σωθούν για θέματα αναπαραγωγής ή για συντροφιά με σύντηξη της άρθρωσης ή δέσιμο της άρθρωσης αλλά δεν θα είναι υγιείς αθλητικά. Δεν θα πονάνε αλλά δεν θα μπορούν να τρέξουν. Υπάρχει επίσης πιθανότητα να αναπτύξουν οστική φλεγμονή ή σησαμοειδίτιδα και να έχουμε στο μέλλον αυξημένη πιθανότητα καταγμάτων. Για παράδειγμα, τα Warmbloods είναι άλογα που

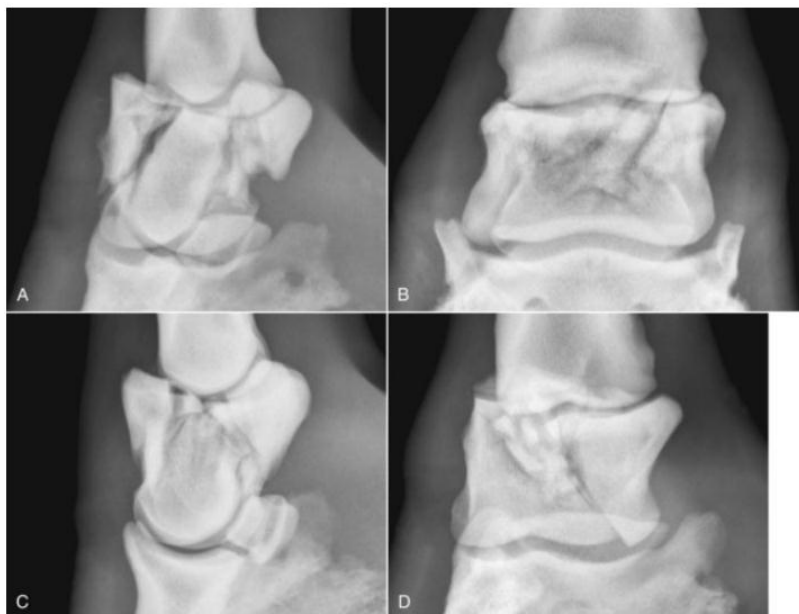
προορίζονται για άλματα οπότε η ποσότητα της πίεσης στο σημείο αυτό είναι τεράστια. Ένα παράδειγμα κατάγματος μείζοντος σησαμοειδή οστού φαίνεται στην εικόνα 2.1.[13]



Εικόνα 2.1. Κάταγμα μείζοντος σησαμοειδή οστού

2.4.2. Κάταγμα 2^{ης} φάλαγγας

Είναι ένα από τα πιο κοινά κατάγματα και οφείλεται κυρίως κατά τις υψηλές ταχύτητες που αναπτύσσει το άλογο σε αγώνες σε σκληρές επιφάνειες και λιγότερο συχνά από κλοτσιές σε σταθερό αντικείμενο όπως κλοτσιά σε συμπαγές τοίχωμα. Το κάταγμα ξεκινάει από διάσειση και προκαλεί χωλότητα η οποία είναι σοβαρή εάν το κάταγμα είναι ενδοαρθρικό καθώς μπορεί να οδηγήσει σε αρθρίτιδα στην άρθρωση αυτή. Συχνότερα εμφανίζεται σε πρόσθιο άκρο αλλά είναι κοινό και σε οπίσθιο άκρο. Κάποιες μέρες μετά τον τραυματισμό, όπου αν είναι κάταγμα θα έχουν φύγει κομματάκια από την γραμμή κατάγματος, η ακτινογραφία είναι απαραίτητη για την επιβεβαίωση του κατάγματος και χρειάζονται περισσότερες από 1 προβολές για τον εντοπισμό του. Επίσης, συστηματικές ακτινογραφίες μετά από αρκετές μέρες είναι απαραίτητες για την ακριβή θέση του κατάγματος και το στάδιο επούλωσης του. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον προσδιορισμό του κατάγματος και αν εκτείνεται στην άνω μεσοφαλαγγική άρθρωση. Σε κατάγματα που δεν περιλαμβάνουν την άρθρωση, η θεραπεία είναι 6-9 μήνες με ινώδη ένωση του οστού και χρήση ειδικού πετάλου που επιτρέπει την επέκταση του ποδιού. Ενώ σε κατάγματα που περιλαμβάνουν άρθρωση ενδείκνυται εισαγωγή στο οστό μιας φλοιώδους βίδας. Πολλά κατάγματα επουλώνονται παρά την παρουσία λοίμωξης όμως η βίδα πρέπει τότε να αφαιρεθεί για να αποκατασταθεί το άλογο. Ένα παράδειγμα κατάγματος 2^{ης} φάλαγγας φαίνεται στην εικόνα 2.2. [14]



Εικόνα 2.2. Κάταγμα μεσαίας (2^{ης}) φάλαγγας σε διάφορες περιπτώσεις

2.4.3. Κάταγμα ελάσσοντος σησαμοειδή οστού

Τα κατάγματα του ελάσσοντος σησαμοειδή οστού (οσφυικού οστού) είναι πιο συχνά στα πρόσθια άκρα των αλόγων και είναι λιγότερο συχνά απο κατάγματα της 2^{ης} φάλαγγας. Συνήθως οφείλονται σε μεγάλη διάσειση ή τραυματισμό στο πόδι. Στην ακτινογραφία το κάταγμα βρίσκεται ενδιάμεσα ή πλευρικά στη μέση γραμμή. Για την αποφυγή ψευδενδείξεων πρέπει να καθαριστεί καλά η περιοχή της χελιδόνας. Η θεραπεία περιλαμβάνει ανάπαυση με χρήση ειδικών πετάλων που δημιουργούν μια ανυψωμένη 'φτέρνα - τακούνια' (έως 12 °). Συνήθως η χειρουργική επέμβαση με υδραυλική βίδα είναι πιο αποτελεσματική από μια οστική ένωση. Ένα παράδειγμα κατάγματος ελάσσοντος σησαμοειδή οστού φαίνεται στην εικόνα 2.3. [13]



Εικόνα 2.3. Κάταγμα ελάσσοντος σησαμοειδή οστού

2.4.4. Κάταγμα στο κύριο μετακάρπιο οστό (Third Metacarpal (Cannon) Bone)

Τα κατάγματα αυτά συνήθως είναι κάθετα στο κύριο μετακάρπιο οστό κοντά στην άρθρωση του κυνήποδα (κονδυλικά κατάγματα) και εμφανίζονται κυρίως σε νέους ιπποδρομείς. Τα περισσότερα κατάγματα βρίσκονται πλευρικά και σπάνια περιστρέφονται στη διάφυση του οστού. Η ακτινογραφία πρέπει να περιλαμβάνει την απεικόνιση ολόκληρης της άρθρωσης του κυνήποδα. Η αντιμετώπιση του κατάγματος βασίζεται στην χρήση βιδών που τοποθετούνται λίγο καθυστερημένα για να αποφευχθεί ή να ελαχιστοποιηθεί η οστεοαρθρίτιδα. Ένα παράδειγμα κατάγματος στο κύριο μετακάρπιο οστό φαίνεται στην εικόνα 2.4. [15]



Εικόνα 2.4. Κάταγμα κύριου μετακάρπιου οστού

2.4.5. Κάταγμα 3^{ης} φάλαγγας

Τα κατάγματα 3^{ης} φάλαγγας (pedal bone) σχετίζονται συχνά με το στρες και εμφανίζονται στα πρόσθια άκρα των αλόγων μετά από κλοτσιά σε συμπαγείς τοίχους και σε άλογα που συμμετέχουν σε ιπποδρομίες σε σκληρές επιφάνειες. Το οστό 3^{ης} φάλαγγας είναι κρυμμένο μέσα στα τοιχώματα της σπλής οπότε η κύρια διάγνωση για την ύπαρξη και έκταση του κατάγματος γίνεται με ακτινογραφία. Σπανιότερα ένα τέτοιο κάταγμα μπορεί να οφείλεται σε διείδυση αιχμηρής πέτρας ή νυχιού. Η ανάρρωση έπειτα από γρήγορη διάγνωση είναι εξαιρετική. [16,17]



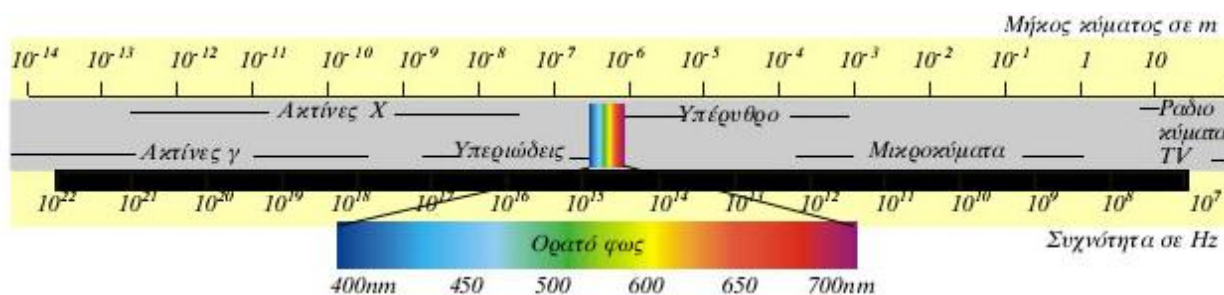
Εικόνα 2.5. Κάταγμα 3^{ης} φάλαγγας

3. Κτηνιατρικά ακτινογραφικά συστήματα

3.1. Εισαγωγή

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (εικόνα 3.1) είναι μια σειρά ενεργειών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ταξιδεύει σε κύματα ή αλλιώς μήκη κύματος. Όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να είναι ραδιοκύματα , μικροκύματα, υπέρυθρο , ορατό, υπεριώδεις, ακτίνες χ ή ακτίνες γ. [18,20]



Εικόνα 3.1. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ακτίνες X

Οι ακτίνες X, γνωστές και ως ακτίνες Röntgen, χρησιμοποιούνται για διαγνωστικούς λόγους στην Ιατρική , αντίστοιχα και στην Κτηνιατρική, μέσω της διαδεδομένης μεθόδου της ακτινογραφίας.

Οι ακτίνες X είναι ουσιαστικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία βρίσκονται έξω από το φάσμα του ορατού φωτός (400nm-700nm) και για αυτό δεν μπορούμε να τις δούμε. Πιο συγκεκριμένα, στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, οι ακτίνες X βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) και των ακτίνων γ. Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί σε μήκη κύματος 10 nm-10 pm , σε συχνότητες 30 PHz - 30 EHz και σε ενέργειες 120 eV - 120 keV. Οι ακτίνες X χωρίζονται σε δυο κατηγορίες τις «Χαμηλές ακτίνες X» με εύρος ενεργειών 120 eV - 12 keV και τις «Υψηλές ακτίνες X» με εύρος ενεργειών 12 - 120 keV. [18,20]

Νόμος εκθετικής εξασθένησης ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της στην ύλη

Όταν η ακτινοβολία ακτίνων X προσπίπτει σε υλικό πάχους x , ένα ποσοστό αυτής αλληλεπιδρά, είτε μέσω απορρόφησης είτε μέσω σκέδασης, και το υπόλοιπο διέρχεται χωρίς να αλληλεπιδράσει.

Η αλληλεπίδραση των φωτονίων X με άτομα της ύλης έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της ακτινοβολίας. Η εξασθένηση αυτή περιγράφεται από τον νόμο εξασθένησης ιοντίζουσας ακτινοβολίας:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (1)$$

Όπου, I_0 είναι η αρχική ένταση της ακτινοβολίας δηλαδή ο αρχικός αριθμός ακτίνων X (αριθμός φωτονίων), μ είναι ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης και x είναι το πάχος του υλικού (mm) δηλαδή το μήκος της διαδρομής που θα διανύσουν οι ακτίνες X. [19,20,21]

Γραμμικός συντελεστής εξασθένησης

Ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης (μ), εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων της δέσμης που προσπίπτουν στο υλικό, τον ατομικό αριθμό (Z) των στοιχείων του υλικού και την πυκνότητα (ρ) του υλικού. Ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης ισούται με το αντίστροφο του μήκους εξασθένησης και έχει μονάδες αντίστροφου μήκους. [19,20,21]

3.2. Απαιτήσεις κτηνιατρικών ακτινογραφικών συστημάτων

3.2.1. Λυχνία ακτίνων X

Η παραγωγή των ακτίνων X επιτυγχάνεται μέσα σε κατάλληλη διάταξη που ονομάζεται λυχνία ακτίνων X ή διαγνωστική λυχνία. Όταν η παραγόμενη δέσμη ηλεκτρονίων με μεγάλη κινητική ενέργεια αλληλεπιδρά με κατάλληλο υλικό, γίνεται μετατροπή ενός μέρους της ενέργειας τους σε χρήσιμη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ακτίνων X (~ 1%). Το υπόλοιπο μέρος της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων, που είναι και το μεγαλύτερο μέρος, μετατρέπεται σε θερμότητα (~99%).

Οι σύγχρονες λυχνίες ακτίνων X αποτελούνται από έναν σωλήνα ακτίνων X ο οποίος είναι γυάλινος και έχει εσωτερική πίεση $10^{-5} - 10^{-7}$ Torr. Εντός του σωλήνα υπάρχουν μια κάθοδος και μία άνοδος. Η κάθοδος αποτελείται από μια πηγή ηλεκτρονίων και μια κοιλότητα εστίασης. Η πηγή ηλεκτρονίων είναι ουσιαστικά ένα ελικοειδές σύρμα (νήμα) από Βολφράμιο και σε πολλές λυχνίες χρησιμοποιείται άλλο ένα νήμα διαφορετικού μήκους. Η κοιλότητα εστίασης είναι ένας κύλινδρος με μια εσοχή που περιβάλλει το νήμα ή τα νήματα Βολφραμίου και ουσιαστικά κατευθύνει την δέσμη ηλεκτρονίων προς τον στόχο. Η άνοδος της λυχνίας περιλαμβάνει τον στόχο Βολφραμίου που είναι η περιοχή όπου προσκρούει η ηλεκτρονιακή δέσμη.

Η λυχνία ακτίνων Χ περιβάλλεται από ένα μεταλλικό περίβλημα κατασκευασμένο από κράμα Αλουμινίου ή Χάλυβα με θωράκιση Μολύβδου για λόγους ακτινοπροστασίας. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, στα κτηνιατρικά ακτινογραφικά συστήματα με τάση λυχνίας μέχρι 70 kVp, πρέπει να γίνεται φιλτράρισμα της δέσμης με τουλάχιστον 1,5 mm αλουμίνιο ή ισοδύναμου και 2 mm αλουμίνιο ή ισοδύναμου στα συστήματα με τάση λυχνίας άνω των 70 kVp. Ενδιάμεσα στο μεταλλικό και το γυάλινο περίβλημα υπάρχει λάδι καθώς είναι απαραίτητο για την ηλεκτρική μόνωση της λυχνίας και για την απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμότητας προς το περιβάλλον. Στο μεταλλικό περίβλημα υπάρχει ένα παράθυρο όπου από εκεί διέρχεται η χρήσιμη-πρωτεύουσα ακτινοβολία. [12,22,23]

3.2.2. Κατευθυντήρας

Ο κατευθυντήρας (διάφραγμα βάθους) είναι μια ορθογώνια διάταξη που διαθέτει έναν εντοπιστή που δείχνει το μέγεθος και την θέση της περιοχής που θα εκτεθεί σε ακτινοβολία Χ. Ο κατευθυντήρας επιτρέπει την προσαρμογή του μεγέθους της δέσμης στο μέγεθος της περιοχής που ακτινογραφείται. Έτσι μειώνεται η ποσότητα ακτινοβολίας σκέδασης που δημιουργείται με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερη αντίθεση και λεπτομέρεια στην εικόνα. Επίσης, με την μείωση της ποσότητας του ιστού που εκτίθεται, μειώνεται η ακτινοβολία σκέδασης που είναι η κύρια πηγή ακτινοβολίας στο προσωπικό. Για τον λόγο αυτό, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. [12,22,23]

3.2.3. Αντιδιαχυτικό διάφραγμα

Για να μειωθεί η σκέδαση χρησιμοποιείται το αντιδιαχυτικό διάφραγμα, το οποίο είναι ένα ειδικό πλέγμα που αποτελείται από εναλλάξ λεπτές λωρίδες Μολύβδου και Αλουμινίου ή πλαστικού και τοποθετείται μεταξύ του ζώου και του ανιχνευτή. Τέτοιο πρόβλημα σκέδασης έχουμε όταν το αντικείμενο που ακτινογραφείται έχει πάχος ≥ 10 cm ή 15cm για ψηφιακά συστήματα.

Η ικανότητα της δέσμης ακτίνων Χ να διαπεράσει το ζώο εξαρτάται από την ενέργεια της. Οι ακτίνες Χ με υψηλότερες ενέργειες, δηλαδή μικρότερο μήκος κύματος, μπορούν να διαπεράσουν το ζώο και να φτάσουν στον ανιχνευτή. Ενώ οι ακτίνες Χ με χαμηλότερες ενέργειες, δηλαδή μεγάλο μήκος κύματος, δεν φτάνουν στον ανιχνευτή καθώς απορροφούνται από τον οργανισμό. Το αντιδιαχυτικό διάφραγμα χρησιμοποιείται για να κόψει τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία. Η αναλογία πλέγματος του αντιδιαχυτικού διαφράγματος περιγράφει την ικανότητα του πλέγματος για τον περιορισμό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Ο λόγος πλέγματος αποτελείται από το ύψος των λωρίδων μολύβδου δια την απόσταση μεταξύ τους. Ένα πλέγμα με αναλογία 8:1 θα κόψει περισσότερη ακτινοβολία σε σχέση με ένα πλέγμα 6:1 εάν και τα δυο έχουν ίδιο αριθμό γραμμών μολύβδου ανα εκατοστό. [12,22,23]

3.2.4. Ανιχνευτής ακτινοβολίας

Η λυχνία ακτίνων Χ συνοδεύεται πάντα από έναν ανιχνευτή ακτινοβολίας ο οποίος άμεσα ή έμμεσα συνδέεται με κάποιο σύστημα ή μηχανισμό σχηματισμού και παρουσίασης της τελικής εικόνας. Η δέσμη φωτονίων, που παράγεται από την λυχνία ακτίνων Χ, διέρχεται από την υπό εξέταση περιοχή και εξασθενεί ανάλογα με το είδος του ιστού που θα αλληλεπιδράσει. Η εξασθενημένη πλέον δέσμη φτάνει στον ανιχνευτή, ο οποίος τοποθετείται πίσω ακριβώς από την

περιοχή που θέλουμε να εξετάσουμε, καταγράφεται και αφού γίνει κατάλληλη επεξεργασία παράγεται η τελική διαγνωστική εικόνα στην οθόνη.

Τα σύγχρονα ακτινογραφικά συστήματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, την υπολογιστική ακτινογραφία (Computed Radiography - CR) και την ψηφιακή ακτινογραφία (Direct Radiography-DR).

Στην υπολογιστική ακτινογραφία το φιλμ της κλασικής ακτινογραφίας αντικαθίσταται από μια πλάκα απεικόνισης (Imaging Plate- IP) και περιέχεται μέσα σε μια κασέτα. Στη συνέχεια, η κασέτα τοποθετείται σε ειδικό αναγνώστη όπου σαρώνεται από μια λεπτή δέσμη laser έτσι ώστε να γίνει διέγερση του φωσφόρου, μέσω του φαινομένου φωτοδιέγερσης, και να δημιουργηθεί εκπομπή φωτός. Η συλλογή του φωτός γίνεται από σύστημα οπτικών ινών και με την χρήση της φωτοκαθόδου παράγεται το ηλεκτρικό σήμα που είναι ανάλογο της έντασης του φωτός. Τέλος, με χρήση αναλογο-ψηφιακού μετατροπέα γίνεται η μετατροπή του σήματος σε ψηφιακό και σχηματίζεται η τελική εικόνα στην οθόνη του υπολογιστή. Η πλάκα απεικόνισης χρησιμοποιείται ξανά αφού εκτεθεί σε ισχυρό φως και σβηστούν οι προηγούμενες πληροφορίες.

Στην ψηφιακή ακτινογραφία, υπάρχουν δυο κατηγορίες ανιχνευτών με βάση την λειτουργία τους. Οι ανιχνευτές έμμεσης ανίχνευσης (Indirect Detector) και οι ανιχνευτές άμεσης ανίχνευσης (Direct Detector). Οι ανιχνευτές έμμεσης ανίχνευσης χρησιμοποιούν φθορίζουσα οθόνη που ανήκει στην κατηγορία σπινθηριστών (scintillators) ή φωσφόρων (phosphors), για μετατροπή των ακτίνων Χ σε φως, σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς οπτικούς αισθητήρες (φωτοδιόδοι), για μετατροπή του φωτός σε ρεύμα. Οι συνηθέστεροι έμμεσοι ανιχνευτές βασίζονται σε χημικές ενώσεις όπως το ιωδιούχο καίσιο (CsI) και το θειούχο οξειδίο γαδολινίου (Gd_2O_3). Οι ανιχνευτές άμεσης ανίχνευσης χρησιμοποιούν πλάκες φωτοαγωγιμότητας υλικού όπου μετατρέπουν την ακτινοβολία Χ απευθείας σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτός ο ανιχνευτής ανήκει στην κατηγορία των φωτοαγωγών οι οποίοι στηρίζονται σε φαινόμενα ιονισμού ενός υλικού. Ο πιο συνηθισμένος άμεσος ανιχνευτής είναι το άμορφο σελήνιο (a-Se) το οποίο απορροφάει την ακτινοβολία Χ και τα φορτία που παράγονται συλλέγονται από ηλεκτρονικά στοιχεία. [23,24]

3.2.5. Διακόπτης και χρονόμετρο έκθεσης

Τα ακτινολογικά συστήματα διαθέτουν έναν διακόπτη έκθεσης όπου πρέπει να είναι τύπου deadman. Αυτού του τύπου ο διακόπτης βασίζεται σε έναν μαγνητικό διακόπτη. Το καλώδιο του διακόπτη έκθεσης, χειρός ή ποδός, δεν μπορεί να έχει μήκος μικρότερο από 1,83 m. Πολύ σημαντικό είναι το χρονόμετρο έκθεσης που πρέπει να υπάρχει σε κάθε ακτινογραφικό σύστημα το οποίο έπειτα από προκαθορισμένο χρόνο θα τερματίζει την έκθεση. [12]

3.3. Ακτινογραφικός κτηνιατρικός εξοπλισμός

Τα ακτινογραφικά μηχανήματα για μεγάλα ζώα πρέπει να έχουν επαρκή ισχύ και εύκολη ευελιξία. Ο σωλήνας ακτίνων Χ πρέπει να μπορεί να κινείται οριζόντια γύρω από τον όρθιο εξεταζόμενο και κάθετα για να εκθέτει μια περιοχή τόσο χαμηλή όσο το επίπεδο του δαπέδου. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες μηχανημάτων ακτινογραφίας για μεγάλα ζώα :

- Οι μικρές φορητές μονάδες
- Οι κινητές μονάδες
- Οι μόνιμα τοποθετημένες μονάδες οροφής

3.3.1. Φορητή μονάδα

Η φορητή μονάδα (εικόνα 3.2) είναι μικρή και αρκετά ελαφριά και έτσι μπορεί να μετακινηθεί εύκολα. Συνήθως χρησιμοποιείται από κτηνιάτρους που πραγματοποιούν οικιακές επισκέψεις. Η ισχύς της φορητής μονάδας αποτελείται από μέγιστο ρεύμα 20mA και μέγιστη τάση 100kVp. Επειδή το ρεύμα είναι μικρό απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι έκθεσης από 0,1s, κάτι που συνεπάγεται με μια αυξημένη πιθανότητα κίνησης του ζώου κατά την εξέταση. [9]



Εικόνα 3.2. Διαγνωστική απεικόνιση με χρήση φορητής ακτινογραφικής μονάδας

3.3.1.1. Εμπορικά διαθέσιμο σύστημα φορητής μονάδας

Υπάρχει πληθώρα φορητών μονάδων όπου είναι κατάλληλες για κτηνιατρική χρήση με διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με τις ανάγκες. Ένα εμπορικό σύστημα που χρησιμοποιείται για ιπποειδή είναι το ENDURAS (εικόνα 3.3) της κατασκευαστικής εταιρείας MinXray που περιλαμβάνει την λυχνία ακτίνων Χ και το πάνελ που περιέχει τον ανιχνευτή. Απαραίτητα επίσης είναι το καλώδιο και ο διακόπτης έκθεσης χειρός ή ποδός, ένα laptop, ειδικές θήκες για μεταφορά όλων και ειδικό λογισμικό (MinXray DXR imaging software package). Υπάρχει και βάση διαθέσιμη για στήριξη και προσαρμογή της λυχνίας στο επίπεδο που θα γίνει η ακτινογραφία (εικόνες 3.4 και 3.5). Αναβάθμιση του συστήματος ENDURAS είναι το ENDURAS WIRELESS που ουσιαστικά αλλάζει ο ανιχνευτής και πλέον η επικοινωνία γίνεται ασύρματη οπότε μπορεί να γίνει χρήση tablet αντί για laptop που είναι πιο εύκολο και στην μεταφορά. [25]



Εικόνα 3.3. Φορητή μονάδα ENDURAS WIRELESS



Εικόνα 3.4. Αριστερά: Ειδικές θήκες μεταφοράς Δεξιά: Ειδική βάση για στήριξη και προσαρμογή της λυχνίας



Εικόνα 3.5. Αριστερά: Διακόπτης έκθεσης χειρός Δεξιά: Διακόπτης έκθεσης ποδός

Πίνακας 3.1. Χαρακτηριστικά Μονάδας Λυχνίας (Xray Unit)

	HF8020 ULTRA LIGHT	TR90 TOUGH RAY	TR90B BATTERY POWERED	HF100+ ULTRA LIGHT
Διαθέσιμα kV DC	50-80	40-90	40-90	40-100
Διαθέσιμα mA	16-20	9-30	10-20	20-40
Βάρος μονάδας (Kg)	6,3	6,4	6,8	11

Πίνακας 3.2. Χαρακτηριστικά Ανιχνευτή

Σύστημα	ENDURAS	ENDURAS WIRELESS	
Ανιχνευτής εικόνας	TOSHIBA FDX3543RP IMAGING PANEL	CARERAY 750Cw PANEL	
Σπινθηριστής	CsI: T1 (direct vapor deposition) = reflective coating	Direct Deposit Cesium Iodide (CsI)	
Μέγεθος εικόνας	35 x 43cm	24.4 x 30.7 cm	
Ανάλυση (Pixels)	2448 x 2984	2048 x 2560	
Pixel size	143 μm	120 μm	
Βάθος χρώματος	16 bit	16 bit	
Χρόνος παραγωγής εικόνας	~ 4 sec	4-5 sec	
Έλεγχος έκθεσης	Αυτόματη ανίχνευση έκθεσης ή χειροκίνητη		
Διαστάσεις	38.4 x 46.0 x 1.5 cm	28.2 x 33.3 x 1.5 cm	
Μπαταρία	Δεν έχει	2 επαναφορτιζόμενες Ιόντων Λιθίου	
Βάρος	3 Kg	2.3 Kg (μαζί με την μπαταρία)	
Τάση -Παροχή	100-240V AC	100-205V AC	
Συχνότητα	50/60 Hz	50/60 Hz	
Επικοινωνία	Ενσύρματη Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet ή ασύρματη 2.4/5 GHz, 300Mbps	
Περιβάλλον λειτουργίας	Θερμοκρασία	10-35°C	10-35°C
	Υγρασία	10-85%	30-70%

3.3.2. Κινητή μονάδα

Οι κινητές μονάδες παρέχουν περισσότερη ισχύ. Οι διαθέσιμες τιμές του ρεύματος λυχνίας είναι αρκετά μεγαλύτερες απ'ότι τις φορητές μονάδες και μπορούν να φτάσουν έως και 300 mA και η μέγιστη τάση έως και 120 kVp, ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρεία. Το υψηλότερο ρεύμα επιτρέπει μικρότερους χρόνους έκθεσης. Οι κινητές μονάδες έχουν μεγάλους τροχούς που επιτρέπουν την κίνηση όμως είναι δύσκολη η κίνηση σε ανώμαλες επιφάνειες εδάφους. [9]

3.3.2.1. Εμπορικά διαθέσιμο σύστημα κινητής μονάδας

Οι κινητές μονάδες είναι επίσης διαδεδομένες στην ακτινογραφική απεικόνιση. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τέτοιων συστημάτων που βρίσκουν εφαρμογή στην κτηνιατρική και πιο συγκεκριμένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξέταση μεγάλων ζώων και ιπποειδών. Μια εμπορικά διαθέσιμη κινητή μονάδα ακτινογραφίας είναι η Digital veterinary X-ray system MX101 της κατασκευαστικής εταιρείας SHINOVA (εικόνα 3.6). [26]



Εικόνα 3.6. Κινητή μονάδα Digital veterinary X-ray system MX101

Πίνακας 3.3. Χαρακτηριστικά συστήματος

Digital veterinary X-ray system MX101

Ενέργεια εξόδου (Power Output)	2.5 kW
Κύρια συχνότητα μετατροπέα (Main Inverter frequency)	50 KHz
Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (Power Supply)	220V/50Hz, or 110V/60Hz Inner-resistance $\leq 1.0\Omega$
Μέθοδος Λειτουργίας	Ενσύρματος/Ασύρματος έλεγχος
Βάρος μονάδας (Kg)	200

Πίνακας 3.4. Χαρακτηριστικά Λυχνίας

Σταθερή Εστίαση Ανόδου (fixed anode focus)	1.5
Διαθέσιμα kV DC	40-100
Διαθέσιμα mA	25-50
mAs	1.0~160mAs (45 Steps)

3.3.3. Μόνιμη μονάδα οροφής

Οι μόνιμα τοποθετημένες ακτινογραφικές μονάδες οροφής (εικόνα 3.7) χρησιμοποιούνται συνήθως σε κτηνιατρικές πρακτικές και παρέχουν πολύ μεγάλη ισχύ με ρεύμα που μπορεί να υπερβαίνει τα 1000mA. Αυτές οι μονάδες είναι συνήθως τοποθετημένες στην οροφή από μια σειρά από κάγκελα, οι οποίες επιτρέπουν την κίνηση του σωλήνα της λυχνίας κάθετα και οριζόντια γύρω από το εξεταζόμενο ζώο. Τα μειονεκτήματα της μονάδας οροφής είναι ότι μπορεί να είναι θορυβώδεις και αποσπούν την προσοχή του ζώου. Επίσης το περίβλημα της λυχνίας περιορίζει την χρήση του για μελέτες των άκρων των ζώων καθώς και να βρίσκεται στο πάτωμα η λυχνία, το σημείο εστίασης διαφέρει (6 - 8 ίντσες από το πάτωμα) και έτσι έχουμε κλίση στις προβολές αν δεν υπάρχει σύστημα τοποθέτησης του ποδιού για την ανύψωση του. [9]



Εικόνα 3.7. Διαγνωστική απεικόνιση με χρήση ακτινογραφικής μονάδας οροφής

3.3.3.1. Εμπορικά διαθέσιμο σύστημα μονάδας οροφής

Οι μόνιμα τοποθετημένες μονάδες οροφής επιτρέπουν την έκθεση ακτινοβολίας από το κεφάλι μέχρι και την οπλή του αλόγου. Ένα εμπορικά διαθέσιμο σύστημα είναι το ZooMax Equine Radiographic System της κατασκευαστικής εταιρείας CONTROL-X Medical (εικόνα 3.8). Αυτό το εναέριο σύστημα διαθέτει 2 κολώνες/τηλεσκόπια που η μια συγκρατεί την λυχνία και η άλλη το πάνελ του ανιχνευτή και ρυθμίζεται πολύ εύκολα και αθόρυβα χάρη στα ηλεκτρομαγνητικά φρένα, τα οποία ελέγχουν όλες τις διαμήκεις, εγκάρσιες και κάθετες κινήσεις του συστήματος ανάλογα με την περιοχή που είναι προς εξέταση. Η οριζόντια κίνηση γίνεται χειροκίνητα και η κάθετη κίνηση της κολώνας (τηλεσκόπιο) γίνεται είτε χειροκίνητα είτε μηχανοκίνητα. Η κίνηση αυτή γίνεται με χρήση ηλεκτρικού κινητήρα όπου η ισχύς του μεταδίδεται στο σύστημα μέσω μια συσκευής ηλεκτρομαγνητικής ζεύξης και ενός συμπλέκτη τριβής. Επίσης διαθέτει αυτόματο έλεγχο έκθεσης (ΑΕC), πακέτα λογισμικού και κονσόλα για έλεγχο της γεννήτριας. Αυτό το σύστημα μπορεί να δημιουργήσει εικόνα ψηφιακά ή με χρήση φιλμ. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε κέντρα υγείας για μεγάλα ζώα όπως τα ιπποειδή καθώς επίσης και για ερευνητικούς λόγους σε πανεπιστήμια. [27]



Εικόνα 3.8. Ακτινογραφική μονάδα οροφής ZooMax Equine Radiographic System

Πίνακας 3.5. Χαρακτηριστικά μονάδας οροφής

ZooMax Equine Radiographic System

Γενικά χαρακτηριστικά

Μήκος διαμήκων ραγών	440 cm (προαιρετική επέκταση 140cm)
Μήκος εγκάρσιας γέφυρας για το κύριο τηλεσκόπιο (λυχνία)	300 cm (προαιρετική επέκταση 140cm)
Μήκος εγκάρσιας γέφυρας για το δευτερεύον τηλεσκόπιο (κασέτα με ανιχνευτή)	300cm (προαιρετική επέκταση 140cm)
Κάθετη μετακίνηση τηλεσκοπίων	180cm
Μετακίνηση λυχνίας (μηχανικά φρένα)	32cm
Μηχανοκίνητη κάθετη κίνηση κασέτας ανιχνευτή	
Αυτόματη ευθυγράμμιση του δευτερεύοντος τηλεσκοπίου σε χειροκίνητες κάθετες κινήσεις του κυρίου τηλεσκοπίου	
Και οι 2 κεφαλές έχουν κουτιά ελέγχου για απελευθέρωση φρένων για όλες τις κινήσεις του γερανού και για τις περιστροφικές κινήσεις γύρω από τους οριζόντιους και κάθετους άξονες	
Μπουτόν για άνοιγμα λάμπας κατευθυντήρα	

Χαρακτηριστικά γεννήτριας MS 1050 HF STR

Ισχύς	80kW
Τάση	150kVp
Ρεύμα	1000mA (ελεγχόμενο από μικροεπεξεργαστή) Εκκινητής υψηλής συχνότητας και 100 ανατομικά προγράμματα

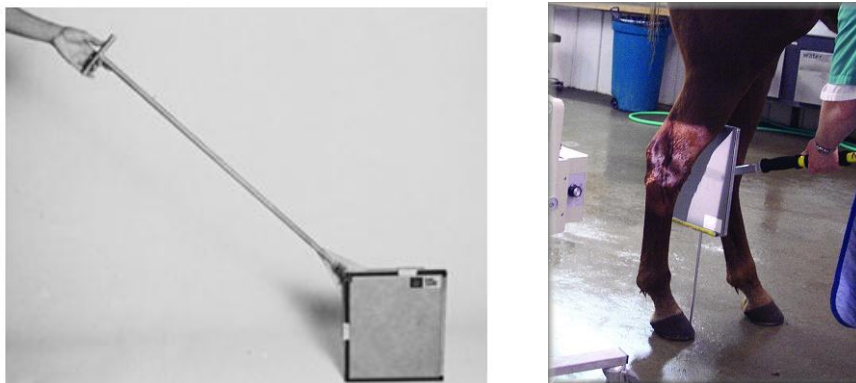
Χαρακτηριστικά λυχνίας

Τάση	150kVp
	400KHU
	0,6/1,2 focal spots
	Υψηλή / Κανονική ταχύτητα

3.3.7. Συνοδευτικές συσκευές

3.3.7.1. Συσκευή συγκράτησης του ανιχνευτή

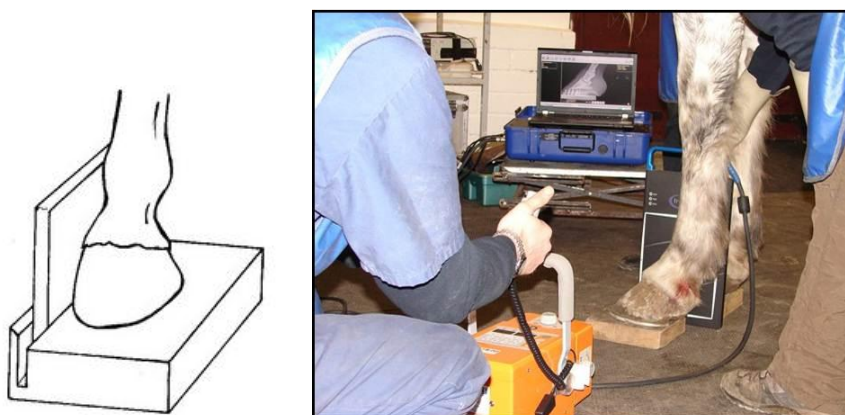
Η συσκευή συγκράτησης (εικόνα 3.9) του ανιχνευτή αποτελείται από έναν σφιγκτήρα και μια μακριά λαβή. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται καθώς συμβάλλει στην μείωση της έκθεσης στους συνοδούς. [9]



Εικόνα 3.9. Συσκευή συγκράτησης του ανιχνευτή

3.3.7.2. Συσκευές τοποθέτησης ποδιού - πάνελ

Συνήθως χρησιμοποιείται συσκευή τοποθέτησης του ποδιού (εικόνα 3.10) για να το ανυψώσει διότι ο σωλήνας ακτίνων Χ δεν μπορεί να πέσει στο επίπεδο του δαπέδου. Αυτή η συσκευή είναι ουσιαστικά ένα μπλοκ τοποθέτησης, συνήθως κατασκευασμένο από ξύλο, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να συγκρατήσει το πάνελ του ανιχνευτή εφόσον δημιουργηθεί μια σχισμή στο ξύλο αυτό. Έτσι το πόδι τοποθετείται απευθείας πάνω στο μπλοκ για να το σηκώσει στο ύψος του πάνελ ή το πάνελ να τοποθετηθεί δίπλα στο μπλοκ. [9]



Εικόνα 3.10. Συσκευή τοποθέτησης

3.3.7.3. Συσκευή σήραγγας κασέτας

Σε περίπτωση που θέλουμε μια κάτω προβολή των οστών του ποδιού, το εξεταζόμενο ζώο πρέπει να στέκεται πάνω στην κασέτα του ανιχνευτή. Μία κασέτα δεν μπορεί να αντέξει τέτοιο βάρος χωρίς να υποστεί ζημιά και για αυτό χρησιμοποιείται συσκευή σήραγγας κασέτας. Η σήραγγα κασέτας (εικόνα 3.11) μπορεί να κατασκευαστεί από ραδιενεργό ξύλο ή σκληρό πλαστικό αλλά πρέπει να είναι ανθεκτικό ώστε να αντέχει το βάρος του ζώου. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει η εξέταση δίχως να καταστραφεί ο εξοπλισμός. [9]



Εικόνα 3.11. Συσκευή σήραγγας κασέτας

4. Ομοιώματα και ποιότητα εικόνας

4.1. Ομοίωμα απεικόνισης

Ένα ομοίωμα απεικόνισης (Imaging Phantom) είναι ένα αντικείμενο που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αξιοπιστίας συστημάτων απεικόνισης. Ουσιαστικά ελέγχεται η απόδοση της απεικόνισης χωρίς να εκτίθεται κάποιος ασθενής ή ζώο σε περιττές δοκιμές αποφεύγοντας έτσι τον άμεσο κίνδυνο. Τα ομοιώματα απεικόνισης χαρακτηρίζονται από ακριβή σχεδιασμό και ανάλογα με τις παραμέτρους του απεικονιστικού συστήματος που θα ελεγχθεί, διαφέρουν ως προς το σχήμα, τις δομές που περιέχουν και τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται.

Τα ανθρωπομορφικά ομοιώματα είναι ομοιώματα που προσομοιώνουν τον ασθενή και κατασκευάζονται από υλικά τα οποία έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με τους βιολογικούς ιστούς. Άλλη μια κατηγορία ομοιωμάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα ομοιώματα βαθμονόμησης τα οποία είναι συνήθως απλά κομμάτια εξωτερικά, σε μορφή πλάκας ή κυλίνδρου, και στο εσωτερικό τους περιέχουν γνωστές πυκνότητες, όπου η διαφορά στις τιμές αυτές υποδηλώνει ότι πρέπει το σύστημα να διορθωθεί.

Η κατασκευή των ομοιωμάτων απεικόνισης μπορεί να είναι δύσκολη καθώς και δαπανηρή. Μια εναλλακτική λύση είναι η δημιουργία του ομοιώματος με την χρήση τρισδιάστατου (3D) εκτυπωτή καθώς οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές αποτελούν πιο εύκολη, ευέλικτη και οικονομική τεχνική. [28-31]

4.2. Ποιότητα εικόνας

Η ποιότητα εικόνας χαρακτηρίζεται από διάφορους παραμέτρους όπως είναι η αντίθεση, η ασάφεια και ο θόρυβος.

4.2.1. Αντίθεση

Η αντίθεση είναι μια από τις βασικότερες παραμέτρους της ποιότητας μιας εικόνας. Διακρίνεται στην αντίθεση θέματος και την αντίθεση ακτινογραφικής εικόνας.

- Αντίθεση θέματος
Η αντίθεση θέματος είναι η ποσοστιαία διαφορά της έντασης των φωτονίων γειτονικών περιοχών. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική εξασθένιση που προκαλούν οι διαφορετικές εσωτερικές δομές.
- Αντίθεση εικόνας
Η αντίθεση εικόνας είναι η διαφορά της οπτικής πυκνότητας μεταξύ δυο περιοχών/ιστών του ανιχνευτή. Αυτές οι περιοχές έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικές ακτινογραφικές αδιαφάνειες και έτσι μια δομή μπορεί να διακριθεί. Ουσιαστικά η ακτινογραφική αντίθεση είναι ο διαφορετικός βαθμός μαυρίσματος. Με αύξηση του ρεύματος(mA) ή μείωση της τάσης (kV) παράγεται ακτινογραφία υψηλής αντίθεσης. Ενώ, στην αντίθετη περίπτωση, με την αύξηση της τάσης (kV) ή μείωση του ρεύματος(mA) παράγεται ακτινογραφία χαμηλής αντίθεσης όμως με ευρύ φάσμα. [29,32,33]

4.2.2. Ασάφεια

Η ασάφεια (unsharpness) είναι η συνολική αλλοίωση της εικόνας με αποτέλεσμα ο προσδιορισμός του υπο εξέταση αντικειμένου να μην είναι ακριβής. Το μέτρο της ασάφειας μετριέται σε μονάδες μήκους και ουσιαστικά είναι η απόσταση όπου το αντικείμενο εκτείνεται και δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν από τον γιατρό τα σαφή όρια του αντικειμένου. Η ασάφεια εξαρτάται από όλα τα στάδια κατά την απεικόνιση. Στην ακτινοδιάγνωση, πριν την δημιουργία της εικόνας η ασάφεια εξαρτάται από την λυχνία ακτίνων Χ, το σώμα του ασθενούς ως προς την γεωμετρία, την απορρόφηση και την σκέδαση των ακτίνων, τον ανιχνευτή και την λογισμική επεξεργασία όπως το μέγεθος του εικονοστοιχείου. Αφού δημιουργηθεί η εικόνα η ασάφεια εξαρτάται από τα φίλτρα και τα παράθυρα που θα χρησιμοποιήσει ο χρήστης. [26,31]

- Ασάφεια λόγω μεγέθυνσης

Ουσιαστικά το αντικείμενο δεν απεικονίζεται στις σωστές του διαστάσεις με αποτέλεσμα να μην έχουμε σωστή πληροφορία για το μέγεθος της ανατομικής δομής που έχει μεγάλη σημασία για την διάγνωση της εικόνας από τον ιατρό. Η μεγέθυνση του αντικειμένου εξαρτάται από την απόσταση του από την πηγή (Source Object Distance -SOD) και από την απόσταση του από τον ανιχνευτή (Source Image Distance - SID) και ορίζεται ως

$$M = \frac{SID}{SOD} \quad (2)$$

- Ασάφεια λόγω παρασκιάς

Αν δεν έχουμε σημειακή πηγή αλλά πεπερασμένη τότε εκτός από μεγέθυνση παρουσιάζεται και παρασκιά (Penumbra). Έτσι δημιουργείται ένα είδος σκέδασης που παραμορφώνει το σχήμα τις ανατομικής δομής. Η ασάφεια αυτή οφείλεται στο μέγεθος της εστίας (Focal spot) και ορίζεται ως

$$U_g = f \frac{M-1}{M} \quad (3)$$

,όπου f είναι το μέγεθος εστίας και M η μεγέθυνση.

Για να έχουν καλή απόδοση τα συστήματα απεικόνισης χρησιμοποιούν λυχνίες με μικρό μέγεθος εστίας. Συνήθως τα ακτινοφραγικά συστήματα έχουν δυο εστίες ακτίνων Χ μια πιο μικρή και μια πιο μεγάλη. Αυτό γιατί η μικρή εστία αν και δίνει καλύτερο αποτέλεσμα, θέλει περισσότερο χρόνο πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε ασάφεια λόγω κίνησης. Σε περίπτωση λουπόν γρήγορης απεικόνισης γίνεται χρήση της μεγάλης εστίας.

- Ασάφεια λόγω σκέδασης

Η μεγαλύτερη πηγή ασάφειας στην απεικόνιση είναι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία. Η ασάφεια λόγω σκέδασης εξαρτάται από την ενέργεια και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (μορφή) του αντικειμένου που ακτινοβολείται όπως είναι το πάχος του. Όταν οι ενέργειες είναι χαμηλές, υπερισχύει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και η ασάφεια απλώνει προς τα πλάγια ενώ όταν οι ενέργειες είναι υψηλές, υπερισχύει το φαινόμενο Compton και η ασάφεια απλώνει προς τα μπροστά.

- Ασάφεια λόγω κίνησης
Οφείλεται στην κίνηση του εξεταζόμενου κατά την διαδικασία λήψης εικόνας. Η κίνηση αυτή μπορεί να είναι είτε ακούσια όπως ο χτύπος της καρδιάς είτε εκούσια. Η εκούσια κίνηση πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο κατά την ακτινογράφιση. Για αυτόν τον λόγο οι ασθενείς πρέπει να αισθάνονται άνετα, να τους έχουν δοθεί σαφείς οδηγίες και η χρήση μικρών χρόνων έκθεσης βοηθάνε στην διασφάλιση της ελάχιστης κίνησης. Στην περίπτωση ζώων χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι για τον περιορισμό της κίνησης τους. Περισσότερες πληροφορίες υπάρχουν στο κεφάλαιο 2.
- Ασάφεια του ανιχνευτή
Ουσιαστικά το σήμα που παίρνουμε στην έξοδο είναι μετατοπισμένο και αυτό οφείλεται στον τρόπο λειτουργίας όλων των ανιχνευτών. Η ασάφεια αυτή μπορεί να μετρηθεί με MTF του ανιχνευτή είτε με μέτρηση της διακριτικής ικανότητας του με εξειδικευμένο ομοίωμα. [29,32,34]

4.2.3. Θόρυβος

Ο θόρυβος είναι άλλη μια παράμετρος που χαρακτηρίζει την ποιότητα μιας εικόνας. Ο θόρυβος μπορεί να είναι ανατομικός δηλαδή να οφείλεται σε ανατομικές δομές στην εικόνα που δεν συνεισφέρουν στην διάγνωση. Μπορεί να οφείλεται στα σκεδαζόμενα φωτόνια που κατάφεραν να φτάσουν στον ανιχνευτή περνώντας από το αντιδιαχυτικό διάφραγμα (bucky). Επίσης μπορεί ο θόρυβος να είναι κβαντικός δηλαδή να οφείλεται σε στατιστική διακύμανση του αριθμού των παραγόμενων φωτονίων κυρίως όμως του αριθμού των φωτονίων που αλληλεπιδρούν με τον ασθενή και τον ανιχνευτή. [29,34]

Για τον καθορισμό της ποιότητας της εικόνας χρησιμοποιείται ο λόγος σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio - SNR). Το σήμα είναι ουσιαστικά οι χρήσιμες πληροφορίες που προέρχονται από τις αλληλεπιδράσεις των φωτονίων εντός του ασθενούς και ο θόρυβος είναι οι “άχρηστες πληροφορίες” που προέρχονται από διάσπαρτα φωτόνια. Όσο ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι κοντά στο 0 , δηλαδή το επίπεδο του σήματος είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με το επίπεδο του θορύβου, τότε οι δομές εντός του σώματος θα φαίνονται πολύ καθαρά. Όσο ο λόγος σήματος προς θόρυβο πλησιάζει το 1 , δηλαδή το επίπεδο του σήματος είναι κοντά συγκριτικά με το επίπεδο του θορύβου, τότε οι δομές εντός του σώματος δεν θα φαίνονται. [29,32,34]

5. Τρισδιάστατη εκτύπωση

Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing- Additive Manufacturing) είναι η εκτύπωση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου με χρήση του υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία της 3D εκτύπωσης ξεκινάει με την δημιουργία ενός 3D σχεδίου του αντικειμένου που θέλουμε να κατασκευάσουμε με χρήση ενός ψηφιακού λογισμικού CAD (Computer Aided Design). Στη συνέχεια επιλέγεται το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί, ανάλογα με τις ιδιότητες που θέλουμε να έχει το αντικείμενο που θα κατασκευαστεί, και προετοιμάζεται ο εκτυπωτής γεμίζοντας τον με τις πρώτες ύλες. Επίσης προετοιμάζεται η πλατφόρμα κατασκευής (καθάρισμα ή πιθανή στερέωση υλικού με κόλλα) και μόλις φορτωθεί το ψηφιακό μοντέλο 3D στον εκτυπωτή αρχίζει η αυτόματη εκτύπωση. Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, γίνεται η μετεπεξεργασία του αντικειμένου και πιο συγκεκριμένα η αποκόλληση του από την πλατφόρμα κατασκευής και άλλες διεργασίες λείανσης, βαψίματος. Η κατασκευή ενός αντικειμένου μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες μέχρι αρκετές μέρες ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. [35]

5.1. Τεχνικές και υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης

Υπάρχουν διάφορες κατασκευαστικές διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης που διαφέρουν ως προς τον τρόπο δημιουργίας των στρωμάτων του αντικειμένου και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Το ISO / ASTM52900-15 ορίζει επτά διαφορετικές κατηγορίες διεργασιών παραγωγής 3D - πρόσθετων αντικειμένων (Additive Manufacturing - AM). [35]

5.1.1. Στερεολιθογραφία (Stereolithography -SLA) / Φωτοπολυμερισμός (Vat photopolymerization)

Η στερεολιθογραφία είναι μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης. Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιείται υγρή ρητίνη φωτοπολυμερούς που τοποθετείται στο δοχείο του εκτυπωτή. Το μοντέλο κατασκευάζεται στρώση προς στρώση με χρήση δέσμης υπεριώδους φωτός (UV laser), η οποία κατευθύνεται κατά μήκος της επιφάνειας της ρητίνης με την βοήθεια καθρεπτών που ελέγχονται από έναν κινητήρα και έρθει σε επαφή με την υγρή ρητίνη, την σκληραίνει. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή και ως διαδικασία φωτοπολυμερισμού (vat photopolymerization). Η πλατφόρμα μετακινεί το αντικείμενο που κατασκευάζεται προς τα κάτω αφού κάθε μια στρώση σκληρύνει. Χρησιμοποιούνται συχνά πρόσθετες δομές στήριξης για να συγκρατήσουν το υγρό κατά την διάρκεια της κατασκευής. Αφού τελειώσει η εκτύπωση, το αντικείμενο αφαιρείται από την πλατφόρμα, ξεπλένεται και τοποθετείται σε φούρνο UV για να αποκτήσει την μέγιστη σταθερότητα του. [31,36,37,43]

Υλικά: Φωτοπολυμερή ρητίνη όπου με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας σκληραίνει. Οι ρητίνες αυτές είναι της σειράς Visijet και έχουν ως βάση το κερί.

5.1.2. Ψεκασμός υλικών (Material Jetting – MJ)

Η τεχνική ψεκασμού υλικών (MJ) ,3D ink-jet Printing, είναι η πιο γρήγορη τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το υλικό ψεκάζεται στην πλατφόρμα, είτε συνεχόμενα είτε σε μεμονομένες σταγόνες (Drop on Demand - DOD), και στερεοποιείται κατασκευάζοντας το αντικείμενο στρώση προς στρώση. Το ακροφύσιο που κινείται οριζόντια στην πλατφόρμα εναποθέτει το υλικό. Ο έλεγχος της εναπόθεσης ποικίλλει από μηχανήμα σε μηχανήμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι στρώσεις του υλικού, οι οποίες στη συνέχεια σκληραίνουν με χρήση υπεριώδους φωτός (UV).

Αυτή η τεχνική παρομοιάζει με την τεχνική του κλασικού εκτυπωτή μελάνης δισδιάστατης εκτύπωσης (2D ink- jet printer). Η διαφορά τους είναι ότι οι εκτυπωτές 2D ink jet εναποθέτουν μόνο μια στρώση σταγονιδίων μελανιού σε αντίθεση με τους εκτυπωτές 3D ink-jet οι οποίοι εναποθέτουν πολλές στρώσεις την μια πάνω στην άλλη μέχρι να κατασκευαστεί το αντικείμενο.

Επίσης, η τεχνική MJ μοιάζει με την τεχνική στερεολιθογραφίας (SLA) καθώς χρησιμοποιείται υπεριώδες φως για την σκλήρυνση της ρητίνης. Η διαφορά τους είναι ότι οι εκτυπωτές SLA έχουν ολόκληρο δοχείο από την υγρή ρητίνη ενώ οι εκτυπωτές MJ εκχύουν κάθε φορά εκατοντάδες σταγονίδια. [31,38,43]

Υλικά: Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή την τεχνική πρέπει να εναποτίθενται σε σταγόνες. Συνήθως τα πολυμερή και τα κερία είναι κατάλληλα λόγω της ιξώδους φύσης τους και της ικανότητας τους να σχηματίζουν σταγόνες.

Πολυμερή: PS, PMMA, PC, ABS, HIPS, EDP HDPE, Πολυπροπυλένιο

5.1.3. Ψεκασμός συνδετικών υλικών (Binder Jetting - BJ)

Σε αυτή την τεχνική γίνεται χρήση δυο υλικών και πιο συγκεκριμένα ένα που έχει ως βάση την πούδρα και ένα συνδετικό παράγοντα. Το συνδετικό υλικό το οποίο είναι συνήθως σε υγρή μορφή χρησιμοποιείται για να συγκολλήσει τα στρώματα πούδρας μεταξύ τους. Κατά την κατασκευή, η κεφαλή του μηχανήματος τοποθετεί εναλλασσόμενα στρώματα από τα δυο υλικά. Η πλατφόρμα κατεβαίνει προς τα κάτω μόλις ολοκληρωθεί ένα επίπεδο στρώσης. Η τεχνική αυτή είναι αρκετά γρήγορη όμως χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία μετά την κατασκευή πράγμα που προσθέτει χρόνο για να ολοκληρωθεί η όλη διαδικασία. Το υπό κατασκευή αντικείμενο είναι αυτουποστηριζόμενο μέσα σε μια κλίση πούδρας και αφού ολοκληρωθεί αφαιρείται από εκεί. Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή και ως τεχνολογία 3DP. [31,39]

Υλικά:

Μέταλλα: Ανοξείδωτο ατσάλι

Κεραμικά: Γυαλί

Πολυμερή: ABS, PA, PC

5.1.4. Σύντηξη κλίνης σε πούδρα (Powder bed fusion – PBF)

Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει αρκετές τεχνικές εκτύπωσης όπως: Επιλεκτική σύντηξη λέιζερ (Selective Laser Sintering - SLS), Άμεση σύντηξη λέιζερ μετάλλων (direct metal laser sintering - DMLS), Επιλεκτική τήξη λέιζερ (Selective Laser Melting - SLM), τήξη δέσμης ηλεκτρονίων (Electron beam melting - EBM) και Επιλεκτική θερμοσυσσώματωση (SHS). Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούν ακτίνα λέιζερ ή ηλεκτρονίων για τήξη και σύντηξη των κόκκων της πούδρας υλικού σε συνθήκες αδρανούς αερίου (αζώτου ή αργό). Όλες οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την εξάπλωση του υλικού πούδρας σε προηγούμενα επίπεδα με διάφορους μηχανισμούς με χρήση μιας λεπίδας ή ενός κυλίνδρου. Κάτω από την κλίνη υπάρχει μια χοάνη που παρέχει το υλικό. Καθώς η πούδρα μετάλλου είναι πολύ πιο βαριά χρειάζεται υποστηρικτική δομή για να συγκρατηθεί το αντικείμενο. Η τήξη δέσμης ηλεκτρονίων (EBM) μοιάζει με την τεχνική επιλεκτικής σύντηξης με λέιζερ αλλά αντί για λέιζερ έχουμε μια δέσμη ηλεκτρονίων και το υλικό είναι αγωγίμο και όχι θερμοπλαστικό πολυμερή. Η επιλεκτική θερμοσυσσώματωση (SHS) διαφέρει από τις άλλες τεχνικές καθώς χρησιμοποιείται θερμενόμενη θερμική κεφαλή για την συγχώνευση της πούδρας. Πολύ συχνά, το αντικείμενο χρειάζεται να επεξεργαστεί μετά την εκτύπωση του καθώς η επιφάνεια του είναι τραχιά και πορώδης. [31,40,41,43]

Υλικά: Η μέθοδος σύντηξης κλίνης σε πούδρα χρησιμοποιεί οποιαδήποτε υλικά με βάση την πούδρα.

SLS: πλαστικά υλικά

DMLS, SLM: Ανοξείδωτο ατσάλι, τιτάνιο, αλουμίνιο, χρώμιοκοβάλτιο, χάλυβα

EBM: τιτάνιο, κοβάλτιο χρώμιο, ss, αργίλιο και χαλκός (αγωγίμο υλικά)

SHS: Nylon

5.1.5. Εξώθηση υλικού (Material extrusion)

Η πιο συνηθισμένη τεχνική εξώθησης υλικού που χρησιμοποιείται είναι η κατασκευή μοντέλων μέσω εναπόθεσης (Fuse deposition modelling -FDM) ή αλλιώς γνωστή ως σύντηξη διαδικτικών στρώσεων (Fused Filament Fabrication- FFF) . Κατά την μέθοδο αυτή, το υλικό ,που είναι σε μορφή τυλιγμένου νήματος, προστίθεται μέσω ενός ακροφυσίου, του οποίου η κίνηση είναι οριζόντια, υπό σταθερή πίεση και συνεχή ροή. Για να είναι το αποτέλεσμα ακριβές πρέπει επίσης η ταχύτητα να είναι σταθερή καθόλη την διάρκεια της εκτύπωσης. Στη συνέχεια το υλικό θερμένεται και τοποθετείται στρώση προς στρώση. Αυτά τα στρώματα υλικών συντηκονται μαζί και δημιουργείται το αντικείμενο. Μία εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση χημικών παραγόντων για την σύνδεση των στρωμάτων του υλικού. Μετά την δημιουργία κάθε νέας στρώσης, η πλατφόρμα κινείται πάνω και κάτω κάθετα. Αυτή η τεχνική είναι η πιο κοινή διαδικασία εκτύπωσης σε πολλούς τρισδιάστατους εκτυπωτές καθώς είναι ο πιο φθηνός και αρκετά αποτελεσματικός τρόπος τρισδιάστατης εκτύπωσης. [31,42,43]

Υλικά : Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πλαστικά και πολυμερή.

Πολυμερή: ABS, Nylon, PC, AB

5.1.6. Κατευθυνόμενη εναπόθεση ενέργειας (Directed energy deposition-DED)

Είναι μια πολύπλοκη τεχνική εκτύπωσης που χρησιμοποιείται κυρίως για την επισκευή ή την προσθήκη πρόσθετου υλικού σε ήδη υπάρχοντα εξαρτήματα. Αποτελείται από ένα ακροφύσιο που μπορεί να κινηθεί σε πολλαπλές κατευθύνσεις , το οποίο εναποθέτει λιωμένο υλικό στην καθορισμένη επιφάνεια όπου και στερεοποιείται. Το υλικό θερμαίνεται από δέσμη λέιζερ ή ηλεκτρονίων που έχει ως αποτέλεσμα να λιώσει. [31,44]

Υλικά: Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι πολυμερή , κεραμικά αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται μέταλλα με τη μορφή σκόνης ή σύρματος.

5.1.7. Ελασματοποίηση φύλλων (Sheet lamination)

Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την κατασκευή υπερηχητικών πρόσθετων (ultrasonic additive manufacturing -UAM) και την κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων (laminated object manufacturing -LOM).

Η κατασκευή υπερηχητικών πρόσθετων (UAM) χρησιμοποιεί φύλλα ή λωρίδες από μέταλλο τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με υπερηχητική συγκόλληση. Κατά την συγκόλληση, η διαδικασία απαιτεί προσθετική και αφαιρετική κατεργασία του μη δεσμευμένου μετάλλου. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την δημιουργία εσωτερικών γεωμετριών. Επίσης είναι διαδικασία χαμηλής θερμοκρασίας και απαιτεί σχετικά χαμηλή ενέργεια αφού το μέταλλο δεν λιώνει.

Η κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων (LOM) είναι παρόμοια με την προηγούμενη μέθοδο απλά χρησιμοποιεί χαρτί για υλικό και κόλλα αντί για συγκόλληση. Χρησιμοποιείται θερμενόμενος κύλινδρος , ο οποίος λιώνει την κόλλα που καλύπτει το φύλλο υλικού και στην συνέχεια το πιέζει για να σχηματιστεί η στρώση. Στη συνέχεια, το αντικείμενο θα κοπεί στο επιθυμητό σχήμα με χρήση λέιζερ ή λεπίδας. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να σχηματιστεί ολόκληρο το αντικείμενο. Συνήθως χρησιμοποιείται για αισθητικά και οπτικά μοντέλα. [31,45]

Υλικά:

Η τεχνική UAM χρησιμοποιεί μέταλλα όπως αλουμίνιο, χαλκό, ανοξείδωτο ατσάλι και τιτάνιο σε μορφή φύλλων ικανά να τυλίγονται.

Η τεχνική LOM χρησιμοποιεί χαρτί όλων των τύπων αρκεί να μπορεί να τυλιχτεί σε ρολό. Το χαρτί A4 είναι το πιο χρησιμοποιούμενο υλικό από όλα.

5.2. Τρισδιάστατη εκτύπωση πολλαπλών υλικών

Η τρισδιάστατη εκτύπωση πολλαπλών υλικών (Multi-material 3D printing) έδωσε λύση στο βασικό μειονέκτημα των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης που ήταν η εκτύπωση με χρήση ενός μόνο υλικού. Η τεχνολογία αυτή δίνει την δυνατότητα κατασκευής ενός αντικειμένου διαφορετικού χρώματος αλλά και διαφορετικών πολλαπλών υλικών ταυτόχρονα. Η κατασκευή του αντικειμένου μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης όπως FFF, SLA και InkJet. Ο πρώτος εκτυπωτής πολλαπλών υλικών Fab @ Home κυκλοφόρησε το 2006. Μια σημαντική διαφορά είναι ότι το κόστος τρισδιάστατης εκτύπωσης πολλαπλών υλικών ξεπερνά κατά πολύ το κόστος τρισδιάστατης εκτύπωσης ενός υλικού. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή στην ιατρική και χρησιμοποιείται συχνά για την κατασκευή προσθετικών μελών, την κατασκευή δομών τεχνικού οστού και την δημιουργία τυπωμένων φαρμάκων. [35,46]

6. Προγράμματα για 3D μοντελοποίηση

Τα προγράμματα για 3D μοντελοποίηση ποικίλουν και η επιλογή τους είναι ανάλογη της κατασκευής που θέλουμε να κάνουμε. Τα λογισμικά αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως για τη δημιουργία 3D εκτυπώσιμων μοντέλων καθώς προσφέρουν πολλές δυνατότητες όσον αφορά την σχεδίαση. Πιο συγκεκριμένα, κατά την σχεδίαση παρέχονται σημαντικά δεδομένα όπως οι διαστάσεις του αντικειμένου και σε κάθε στάδιο μπορούμε να δούμε απο όλες τις γωνίες του προς εκτύπωση αντικειμένου.

Η αποθήκευση ενός 3D εκτυπώσιμου μοντέλου μπορεί να γίνει στη μορφή αρχείου στερεολιθογραφίας (STL) που βασίζεται σε τριγωνισμούς την επιφάνειας.

Πίνακας 6.1. Διαθέσιμα λογισμικά για 3D printing [47-49]

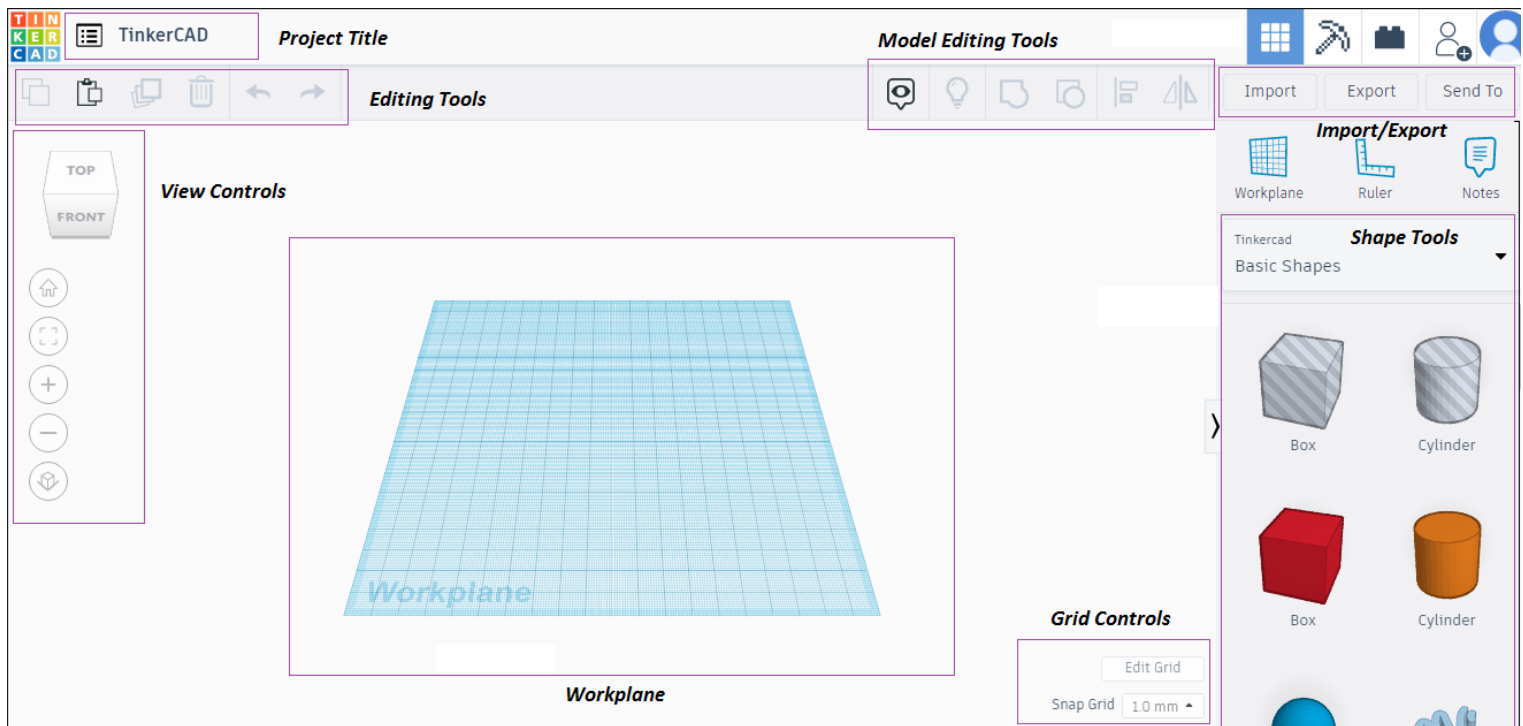
Λογισμικό	Χαρακτηριστικά	Πρόσβαση
Ultimaker Cura	Εργαλεία προσαρμογής για κλιμάκωση του μοντέλου, εκτύπωση σε πολλά δίκτυα και παρακολούθηση όλων των εργασιών σε μια διεπαφή, λειτουργεί με μορφές αρχείων STL, OBJ, X3D και 3MF	Εντελώς δωρεάν (open-source system)
Meshlab	3D ανακατασκευή, 3D χρωματική χαρτογράφηση και υφή, 3D εκτύπωση, 3D αντιστάθμιση	Εντελώς δωρεάν (open-source system)
TinkerCAD	Δημοσίευση σχεδίων από τους χρήστες, εύκολη χρήση, έτοιμη βιβλιοθήκη σχεδίων	Εντελώς δωρεάν διαδικτυακά
Meshmixer	Ανάμιξη πλέγματος μεταφοράς και απόθεσης, αυτόματη βελτιστοποίηση προσανατολισμού κλίσης εκτύπωσης και διάταξης	Εντελώς δωρεάν εγκατάσταση (Windows, Mac)
Repetier-Host	Εκτύπωση πολλαπλών τμημάτων, εκτίμηση τιμών εκτύπωσης, υποστήριξη πολλαπλών slicer (4)	Εντελώς δωρεάν εγκατάσταση (Windows, Linux, Mac)
3DprinterOS	Απομακρυσμένη παρακολούθηση, δυνατότητα ανεβάσματος και εκτύπωσης G-codes, προβολή G-code και κώδικα εργαλείων, STL editor	Δωρεάν τα βασικά χαρακτηριστικά
OctoPrint	Πλήρης απομακρυσμένος έλεγχος και παρακολούθηση(Wi-Fi), οπτικοποιητής G-code, επεξεργασία αρχείων STL	Δωρεάν δοκιμή 14 ημερών (open-source system)
Netfabb	Βελτιστοποίηση σχεδιασμού, επεξεργασία και επισκευή μοντέλων, προσομοίωση εκτύπωσης	Δωρεάν για 30 ημέρες και για φοιτητές δωρεάν για 3 χρόνια
Autodesk Fusion 360	Σχεδιασμό,προσομοίωση και αποδόσεις αντικειμένου, αποθήκευση ιστορίας σχεδίασης στο cloud	0-60 ευρώ μηνιαία συνδρομή ανάλογα την χρήση
Blender	Καλύπτει όλο το φάσμα τεχνικών 3D μοντελοποίησης , προσομοίωση, διόρθωση χρώματος, κινούμενη εικόνα, παρακολούθηση κίνησης, επεξεργασία βίντεο ακόμα και ψηφιακή γλυπτική	Εντελώς δωρεάν (open-source system)
Onshape	Μοντελοποίηση πολλαπλών τμημάτων, τυποποιημένες βιβλιοθήκες περιεχομένου, επεξεργασία περιβάλλοντος, αποθήκευση σε cloud	Αρχική τιμή 104.85€ μηνιαίως
AstroPrint	Αποθήκευση σε cloud, παρακολούθηση εκτύπωσης μεσω ειδοποιήσεων από διαθέσιμη εφαρμογή στο κινητό	Αρχική τιμή 8.30€ μηνιαίως

ideaMaker (Raise3D)	Προετοιμασία G-code για εκτύπωση, αυτόματη προσαρμογή επιπέδου εκτύπωσης, επεξεργασία και επισκευή μοντέλου, ανοιχτή βιβλιοθήκη αρχείων εκτύπωσης	Δωρεάν εκδοχή
Qlone (EyeCue Vision Technologies)	Σάρωση αντικειμένου, εξαγωγή σε διαδικτυακή υπηρεσία 3D εκτύπωσης (i.materialise)	Δωρεάν (Κόστος της εκτύπωσης μόνο)
SelfCAD	Εύκολο στην εκμάθηση, δυνατότητα μοντελοποίησης, ψηφιακή γλυπτική, slicer 3D εκτύπωσης	Δωρεάν εκδοχή
FreeCAD	Σχεδίαση αντικειμένων, 3D εκτύπωση, τροποποίηση ιστορικού σχεδιασμού, εργαλείο εκπαίδευσης, πολλές ενότητες που προσφέρουν διάφορες δυνατότητες	Δωρεάν

6.1. Tinkercad

Είναι από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα 3D μοντελοποίησης. Είναι μια εντελώς δωρεάν διαδικτυακή εφαρμογή τρισδιάστατου σχεδιασμού και για πρώτη φορά έγινε διαθέσιμη το 2011. Σκοπός της δημιουργίας της ήταν να κάνει την τρισδιάστατη εκτύπωση προσβάσιμη στο ευρύ κοινό και να επιτρέπει στους χρήστες να δημοσιεύουν τα σχέδια τους. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε καθώς μέσα σε ένα χρόνο από την κυκλοφορία του, δημοσιεύτηκαν περισσότερα από 100.000 τρισδιάστατα σχέδια από τους χρήστες. Είναι αρκετά εύκολη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αρχάριους που δεν έχουν καμία εμπειρία. Το 2013, η Autodesk εξαγόρασε το Tinkercad και το 2017 συγχώνευσε τα χαρακτηριστικά του προγράμματος 123D Circuits “ Electronics Lab” στο Tinkercad.

Το Tinkercad βασίζεται σε μια απλοποιημένη γεωμετρία για την κατασκευή μοντέλων. Αποτελείται από ένα σύνολο βασικών σχημάτων όπως κύβοι, κύλινδροι ή πιο πολύπλοκα σχήματα. Συνδυάζοντας τα στερεά σχήματα μαζί με οπές με διάφορους τρόπους, μπορούν να δημιουργηθούν νέα σχήματα για την ανάπτυξη των μοντέλων. Υπάρχουν πολλά έτοιμα σχήματα στην διαδικτυακή βιβλιοθήκη της εφαρμογής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να επεξεργαστούν από τον χρήστη. Ο χρήστης επίσης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει κάποιο νέο σχήμα που θα δημιουργήσει στην προσωπική του συλλογή. Το Tinkercad επίσης μας δίνει την δυνατότητα εξαγωγής τρισδιάστατων μοντέλων στο Minecraft Java Edition και σχεδιασμού δομών χρησιμοποιώντας τουβλάκια Lego. Το Tinkercad, εξάγει μοντέλα σε μορφή STL ή OBJ τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες, αφού ολοκληρώσουν το 3D σχέδιο τους, να το εκτυπώσουν. [50,51]



Εικόνα 6.1. Περιβάλλον εργασίας Tinkercad

Το περιβάλλον εργασίας του Tinkercad (εικόνα 6.1) αποτελείται από:

- **Project Title:** Ο τίτλος που παίρνει το σχέδιο αρχικά είναι τυχαίος και απλά με ένα πάτημα πάνω του μπορεί να αλλάξει σε ότι επιθυμεί ο χρήστης.
- **Editing Tools:** Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν στον χρήστη να κάνει κάποιες βασικές τροποποιήσεις όπως αντιγραφή, επικόλληση, διαγραφή και αναίρεση/επανάληψη.
- **View Controls:** Οι επιλογές αυτές δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να δει το υπο κατασκευή αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες καθώς επίσης και να το μεγενθύνει
- **Workplane:** Είναι το μέρος που τοποθετείται και κατασκευάζεται το αντικείμενο το οποίο μπορεί να περιστραφεί και να μετακινηθεί.
- **Grid Controls:** Επιτρέπει στον χρήστη να αλλάξει το μέγεθος του πλέγματος (0,1mm – 5,0mm) και του επιπέδου εργασίας (προτεινόμενο μέγεθος 200mm × 200mm).
- **Model Editing Tools:** Χρησιμοποιείται για την άμεση επεξεργασία του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα: Ομαδοποίηση, κατάργηση ομαδοποίησης, ευθυγράμμιση και καθρέφτης.
- **Shape Tools:** Είναι η βιβλιοθήκη με τα σχήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των αντικειμένων. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά σχήματα διαθέσιμα εκτός των βασικών γεωμετρικών σχημάτων όπως είναι τα γράμματα, οι αριθμοί κ.α.
- **Import/Export:** Επιτρέπει στον χρήστη την εισαγωγή αρχείων και την εξαγωγή αρχείων σε διάφορες μορφές. [50,51]

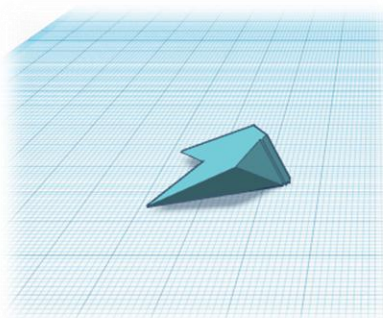
7. Κατασκευαστικό μέρος

Ο σχεδιασμός του ομοιώματος έγινε με την χρήση του προγράμματος Tinkercad. Τα βήματα περιγράφονται αναλυτικά στις εικόνες που ακολουθούν: [50,51]

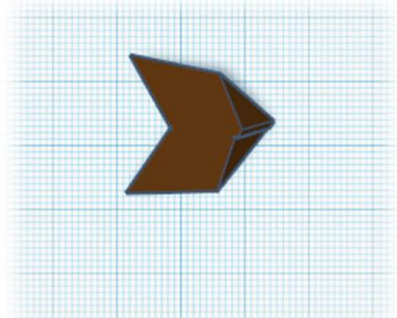
7.1. Σχεδιασμός ομοιώματος άκρου υποειδούς

7.1.1. Σχεδιασμός σπλής

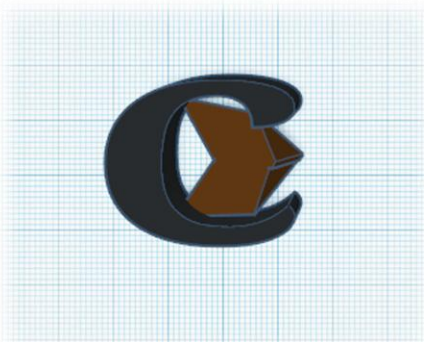
Αρχικά έγινε η δημιουργία της σπλής δηλαδή του κατώτατου μέρους του άκρου του υποειδούς (εικόνες 7.1 – 7.10).



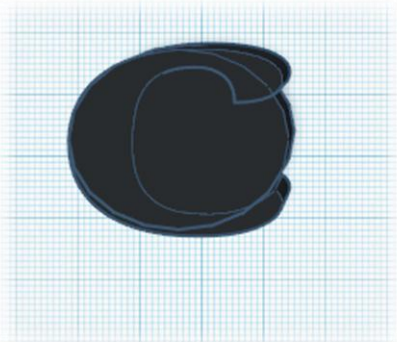
Εικόνα 7.1. Χελιδόνα - Πλάγια όψη



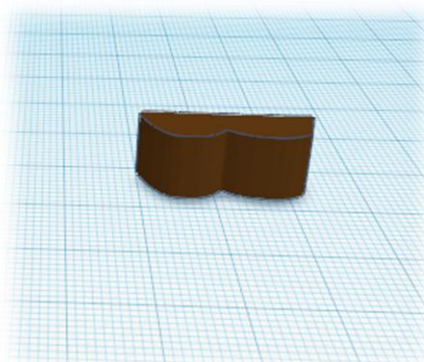
Εικόνα 7.2. Χελιδόνα - Άνω όψη



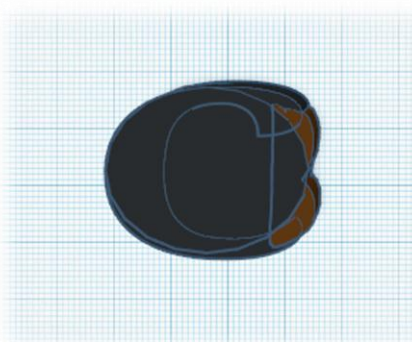
Εικόνα 7.3. Τοίχωμα της σπλής



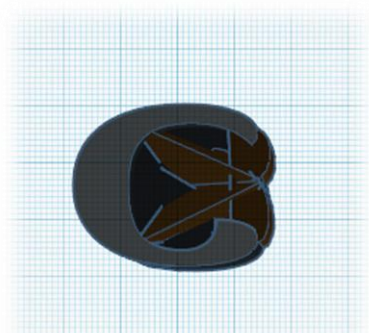
Εικόνα 7.4. Σώμα της σπλής



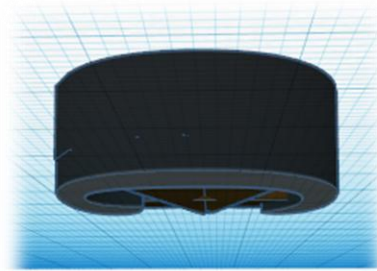
Εικόνα 7.5. Βολβοί της σπλής (τακούνια)



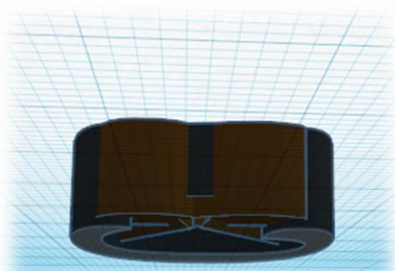
Εικόνα 7.6. Σπλή - Άνω όψη



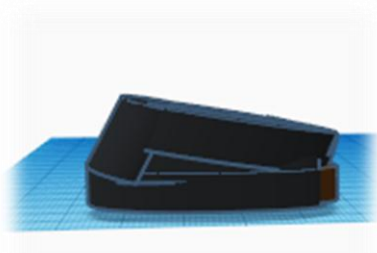
Εικόνα 7.7. Οπλή – Κάτω όψη



Εικόνα 7.8. Οπλή – Εμπρόσθια όψη



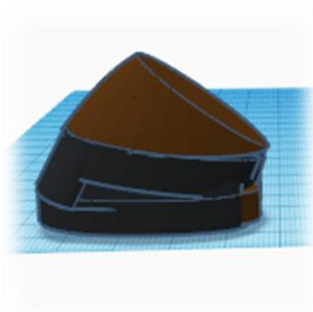
Εικόνα 7.9. Οπλή – Οπίσθια όψη



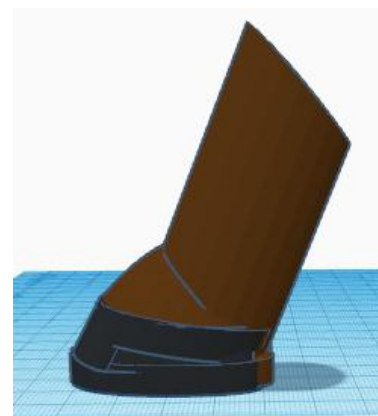
Εικόνα 7.10. Οπλή – Πλάγια όψη

7.1.2. Σχεδιασμός εξωτερικού περιβλήματος

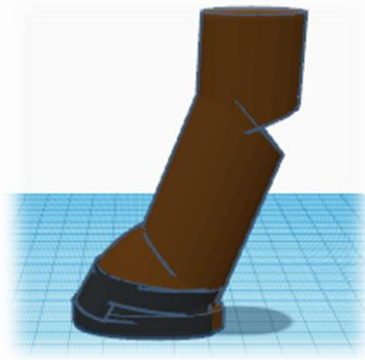
Στην συνέχεια έγινε η δημιουργία του εξωτερικού περιβλήματος της χώρας του ποδιού του ιπποειδούς (εικόνες 7.11 – 7.17).



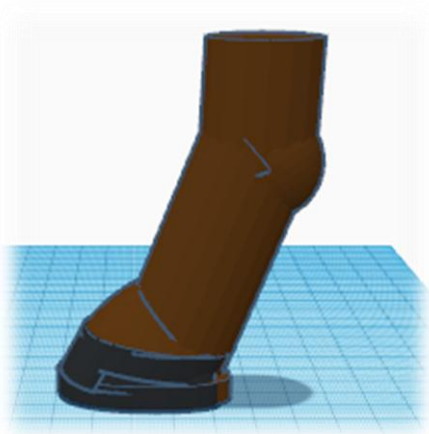
Εικόνα 7.11. Κατασκευή της χώρας του δακτύλου



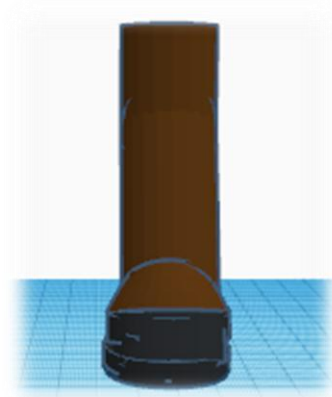
Εικόνα 7.12. Περαιτέρω κατασκευή της χώρας του δακτύλου



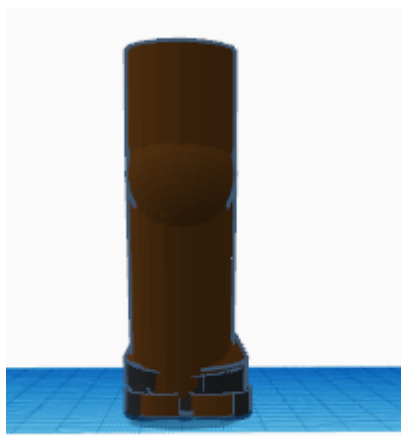
Εικόνα 7.13. Χώρα του μετακαρπίου (εμπρόσθιο άκρο)/ μεταταρσίου (οπίσθιο άκρο)



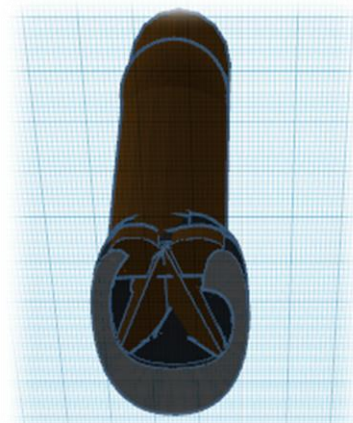
Εικόνα 7.14. Κάτω άκρο ιπποειδούς – Πλάγια όψη



Εικόνα 7.15. Κάτω άκρο ιπποειδούς - Εμπρόσθια όψη



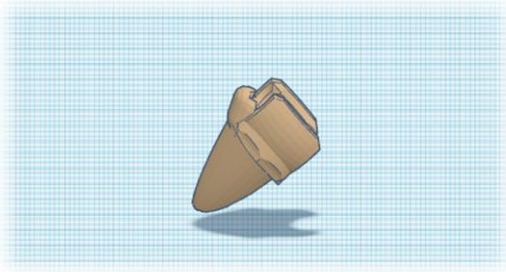
Εικόνα 7.16. Κάτω άκρο ιπποειδούς – Οπίσθια όψη



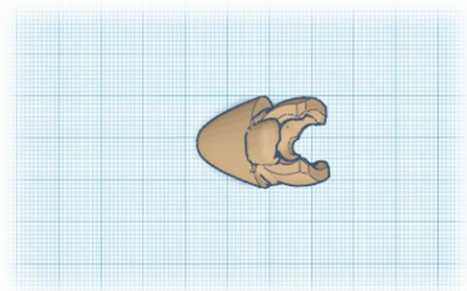
Εικόνα 7.17. Κάτω άκρο ιπποειδούς – Κάτω όψη

7.1.3. Σχεδιασμός οστών

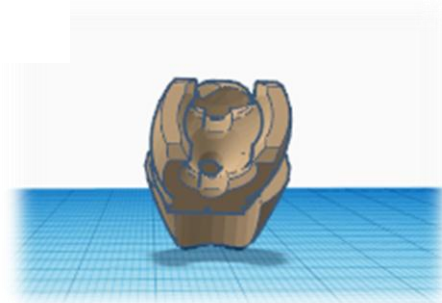
Στην συνέχεια έγινε η κατασκευή του εσωτερικού του άκρου του ιπποειδούς ξεκινώντας από τα οστά (εικόνες 7.18 – 7.33).



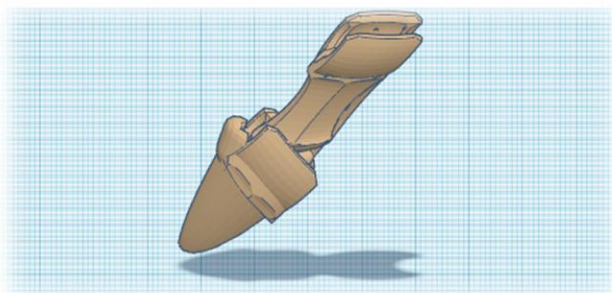
Εικόνα 7.18. 3η φάλαγγα – Πλάγια όψη



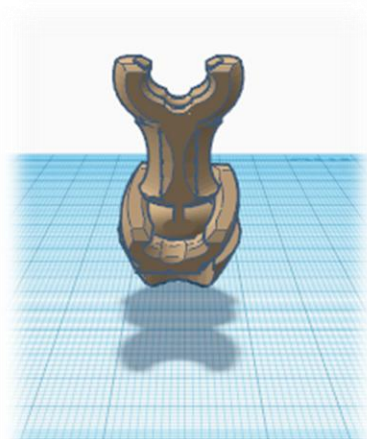
Εικόνα 7.20. 3η φάλαγγα – Άνω όψη



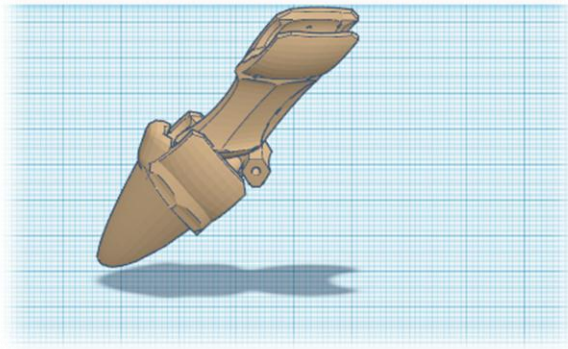
Εικόνα 7.21. 3η φάλαγγα – Οπίσθια όψη



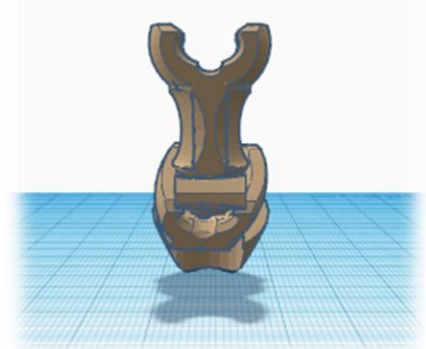
Εικόνα 7.22. Προσθήκη 2ης φάλαγγας – Πλάγια όψη



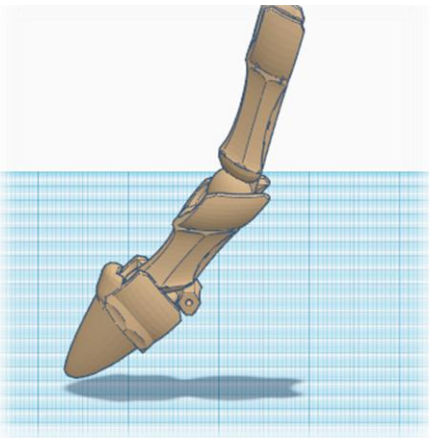
Εικόνα 7.23. 2η φάλαγγα – Οπίσθια όψη



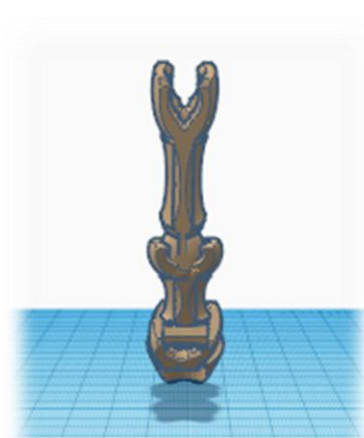
Εικόνα 7.24. Προσθήκη ελάσσον σησαμοειδές οστού – Πλάγια όψη



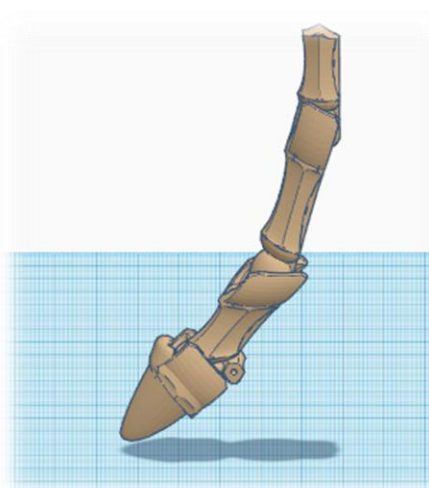
Εικόνα 7.25. Ελάσσον σησαμοειδές οστό – Οπίσθια όψη



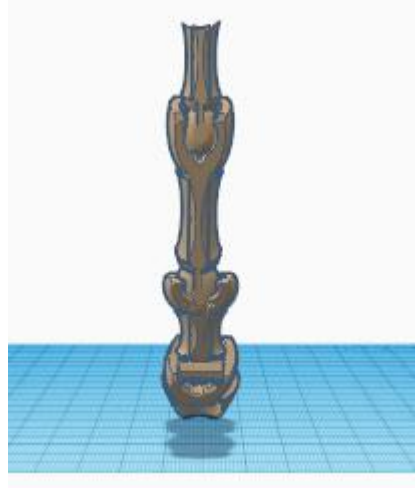
Εικόνα 7.26. Προσθήκη 1ης φάλαγγας – Πλάγια όψη



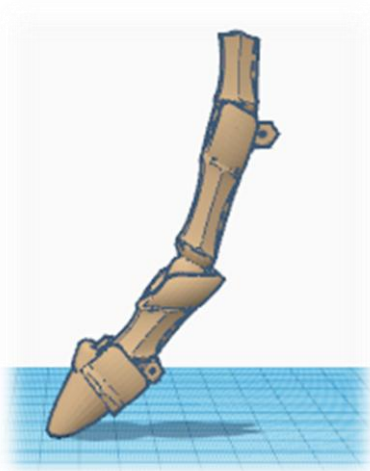
Εικόνα 7.27. 1η φάλαγγα – Οπίσθια όψη



Εικόνα 7.28. Προσθήκη κύριου μετακάρπιου οστού – Πλάγια όψη



Εικόνα 7.29. Κύριο μετακάρπιο οστό – Οπίσθια όψη



Εικόνα 7.30. Προσθήκη μείζον σησαμοειδών οστών – Πλάγια όψη



Εικόνα 7.31. Μείζον σησαμοειδή οστά – Οπίσθια όψη



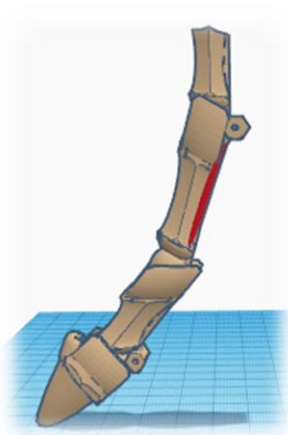
Εικόνα 7.32. Οστά άκρου ιπποειδούς – Εμπρόσθια όψη



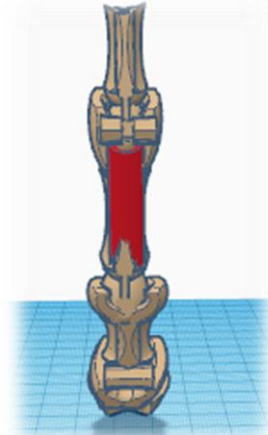
Εικόνα 7.33. Οστά άκρου ιπποειδούς – Οπίσθια όψη

7.1.4. Σχεδιασμός τενόντων και συνδέσμων

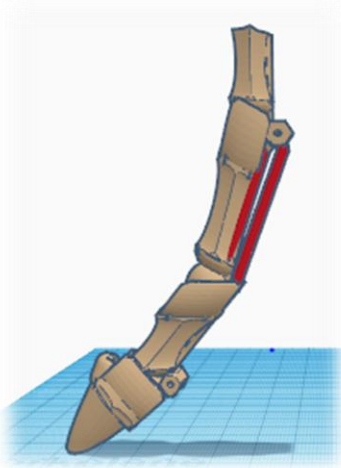
Η κατασκευή του εσωτερικού του άκρου του ιπποειδούς συνεχίστηκε με την κατασκευή των τενόντων και συνδέσμων (εικόνες 7.34 – 7.42). Τόσο χαμηλά στο πόδι του ιπποειδούς είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν υπάρχουν μύες.



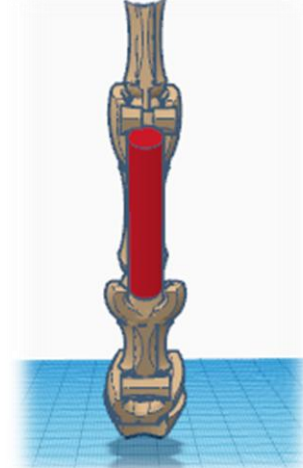
Εικόνα 7.34. Άπω σησαμοειδής σύνδεσμος 1 – Πλάγια όψη



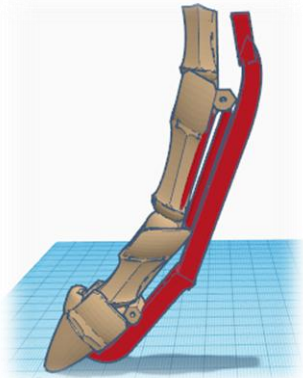
Εικόνα 7.35. Άπω σησαμοειδής σύνδεσμος 1 – Οπίσθια όψη



Εικόνα 7.36. Άπω σησαμοειδής σύνδεσμος 2 – Πλάγια όψη



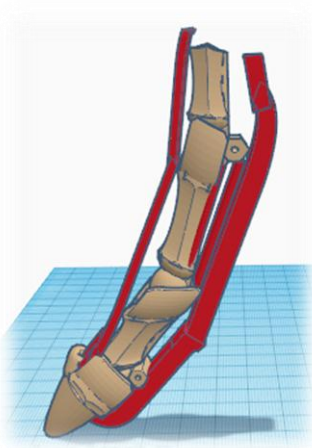
Εικόνα 7.37. Άπω σησαμοειδής σύνδεσμος 2 – Οπίσθια όψη



Εικόνα 7.38. Τένοντας του εν τω βάθει καμπτήρα των φαλάγγων μους – Πλάγια όψη



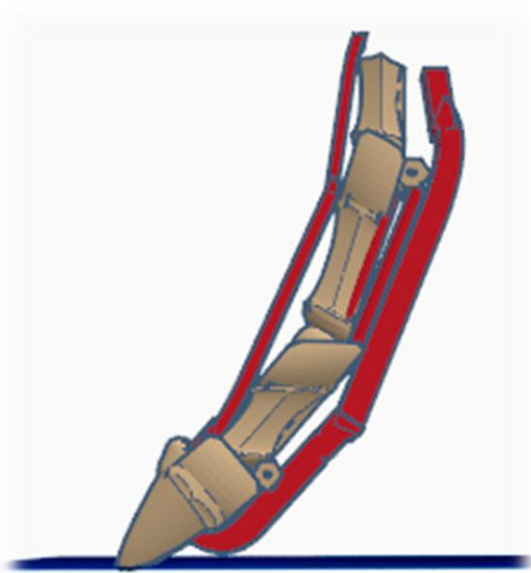
Εικόνα 7.39. Τένοντας του εν τω βάθει καμπτήρα των φαλάγγων μους – Οπίσθια όψη



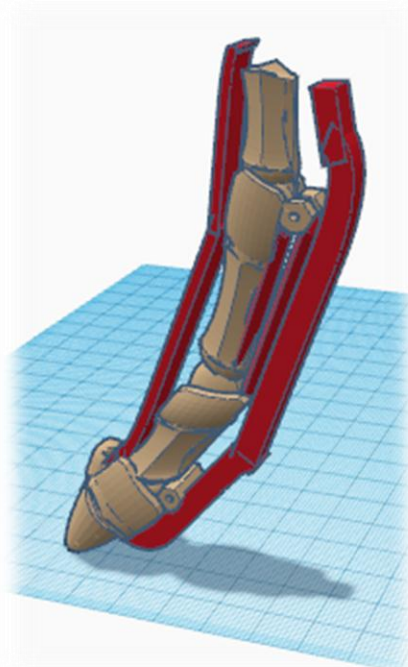
Εικόνα 7.40. Τένοντες του κοινού εκτείνοντα των φαλάγγων μυός- Πλάγια όψη



Εικόνα 7.41. Τένοντες του κοινού εκτείνοντα των φαλάγγων μυός- Εμπρόσθια όψη

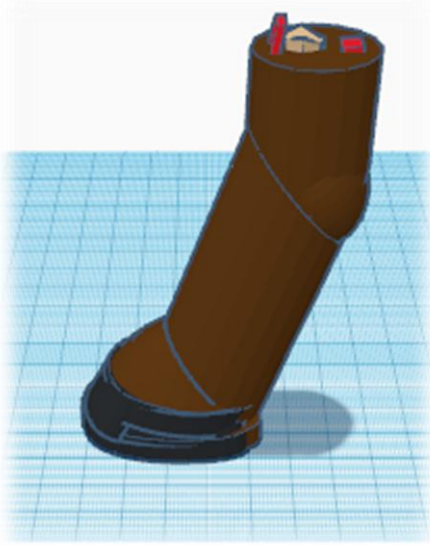


Εικόνα 7.42: Σύνδεμοι και τένοντες του κάτω άκρου

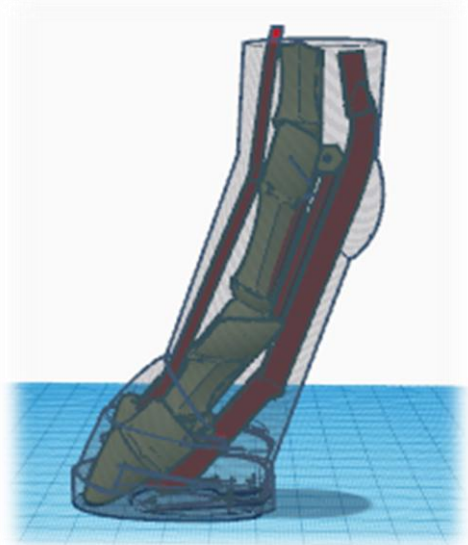


7.1.5. Ολοκληρωμένο ομοίωμα άκρου ιπποειδούς

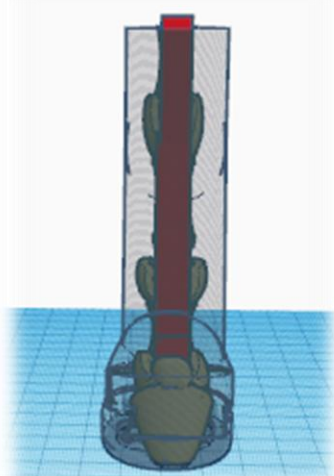
Τέλος έγινε η σύνδεση όλων των παραπάνω κομματιών για την ολοκλήρωση του ομοιώματος του άκρου του ιπποειδούς. Πιο συγκεκριμένα, τα οστά, οι τένοντες και οι σύνδεσμοι εντάχθηκαν στο εσωτερικού του άκρου (εικόνες 7.43 – 7.48).



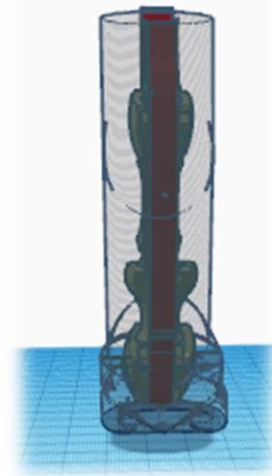
Εικόνα 7.43. Τελικό σχέδιο ομοιώματος άκρου ιπποειδούς – οστά, τένοντες και σύνδεσμοι εντός του περιβλήματος



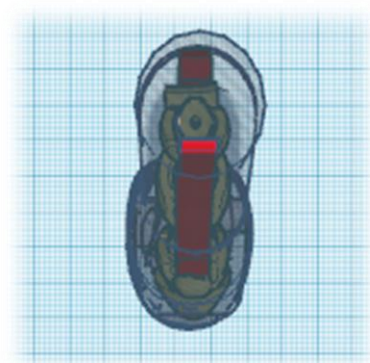
Εικόνα 7.44. Εσωτερικό του τελικού σχεδίου ομοιώματος άκρου ιπποειδούς– Πλάγια όψη



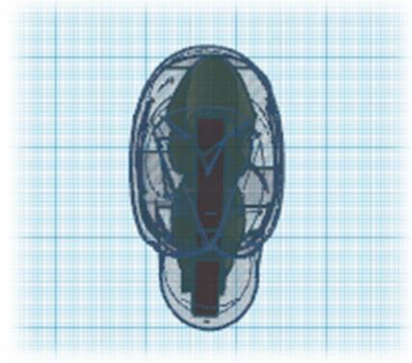
Εικόνα 7.45. Εσωτερικό του τελικού σχεδίου ομοιώματος άκρου ιπποειδούς– Εμπρόσθια όψη



Εικόνα 7.46. Εσωτερικό του τελικού σχεδίου ομοιώματος άκρου ιπποειδούς– Οπίσθια όψη



Εικόνα 7.47. Εσωτερικό του τελικού σχεδίου ομοιώματος άκρου ιπποειδούς– Άνω όψη

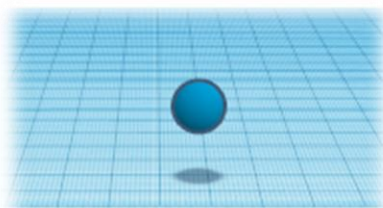


Εικόνα 7.48. Εσωτερικό του τελικού σχεδίου ομοιώματος άκρου ιπποειδούς – Κάτω όψη

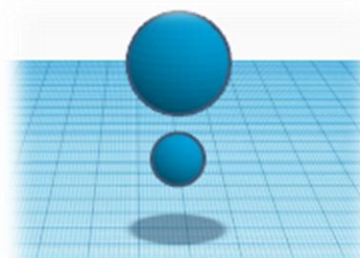
7.2. Σχεδιασμός απλοποιημένου ομοιώματος I

Το αρχικό ομοίωμα του άκρου του υποειδούς θα θέλαμε να εκτυπωθεί με πολλαπλά υλικά. Όμως αυτό ήταν αδύνατο λόγω της πολυπλοκότητας και της τιμής που θα χρειαζόταν για να εκτυπωθεί. Για αυτό σχεδιάστηκε 2^ο ομοίωμα αρκετά πιο απλό με σκοπό την εκτύπωση του με ένα υλικό για να είναι και πιο οικονομικό. Το ομοίωμα αυτό είναι ένα κομμάτι του άκρου του υποειδούς σε φυσική διάσταση.

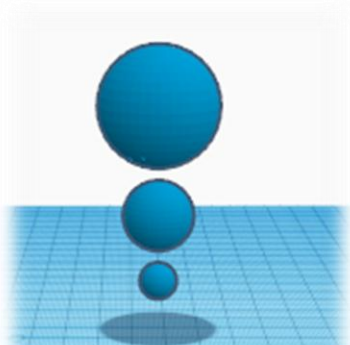
- Αρχικά σχεδιάστηκαν κατάλληλες σφαίρες αέρα για μέτρηση διακριτικής ικανότητας χαμηλής αντίθεσης (εικόνες 7.49 – 7.53) :



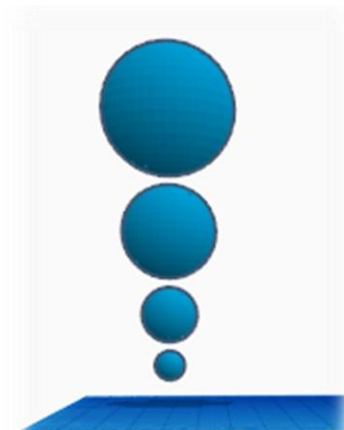
Εικόνα 7.49. Σφαίρα αέρα διαμέτρου 1cm



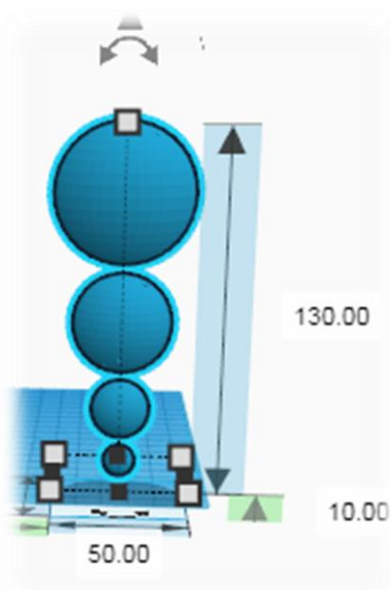
Εικόνα 7.50. Προσθήκη σφαίρας αέρα διαμέτρου 2cm



Εικόνα 7.51. Προσθήκη σφαίρας αέρα διαμέτρου 3,5cm



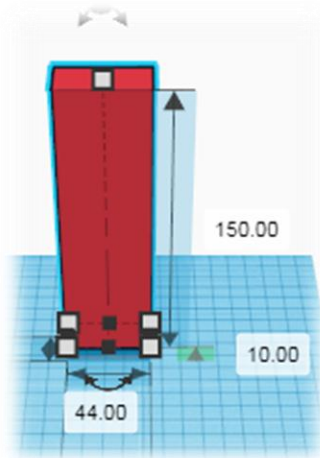
Εικόνα 7.52. Προσθήκη σφαίρας αέρα διαμέτρου 5cm



- Απόσταση επιπέδου με 1^η σφαίρα = 10 mm
- Απόσταση 1^η με 2^{ης} σφαίρας = 5 mm
- Απόσταση 2^η με 3^{ης} σφαίρας = 5 mm
- Απόσταση 3^η με 4^{ης} σφαίρας = 5 mm
- Απόσταση εδάφους με 4^η σφαίρα = 130 mm

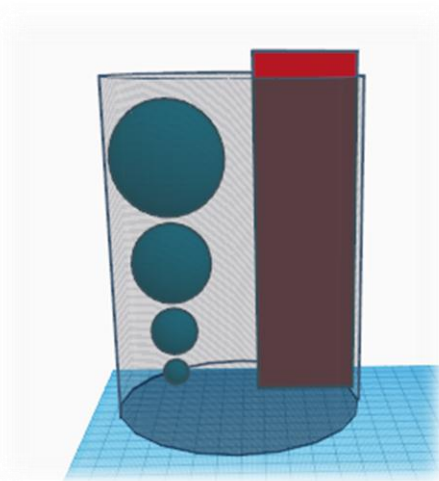
Εικόνα 7.53. Σφαίρες αέρα

- Στην συνέχεια σχεδιάστηκε κατάλληλο παραλληλόγραμμο με σκοπό να γίνει εσοχή όπου θα εισαχθεί το resolution bar pattern για την μέτρηση της διακριτικής ικανότητας υψηλής αντίθεσης (εικόνες 7.53 – 7.59):

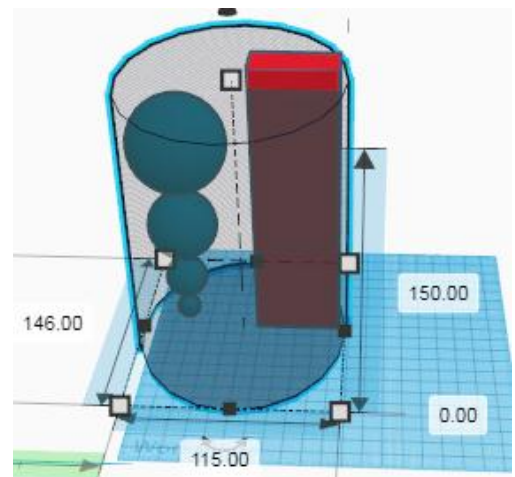


- Απόσταση εδάφους με ράβδο = 10 mm
- Πάχος ράβδου = 10mm
- Πλάτος ράβδου = 44mm
- Ύψος ράβδου = 150mm

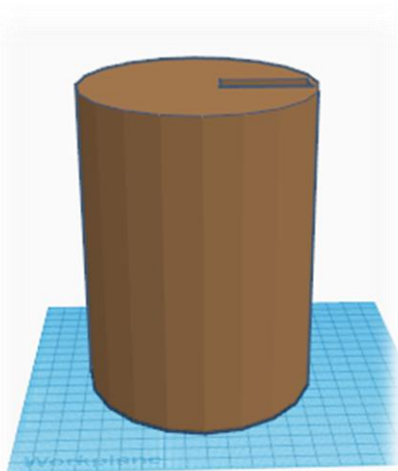
Εικόνα 7.54. Παραλληλόγραμμο /Εσοχή



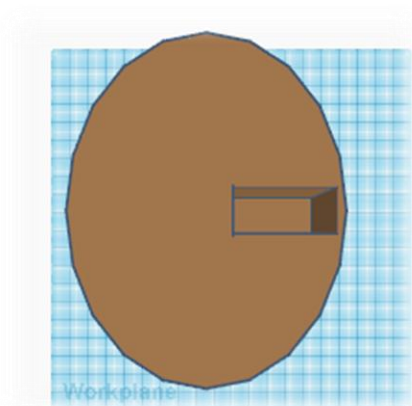
Εικόνα 7.55. Σφαίρες αέρα και παραλληλόγραμμο - Απόσταση μεταξύ τους = 15mm



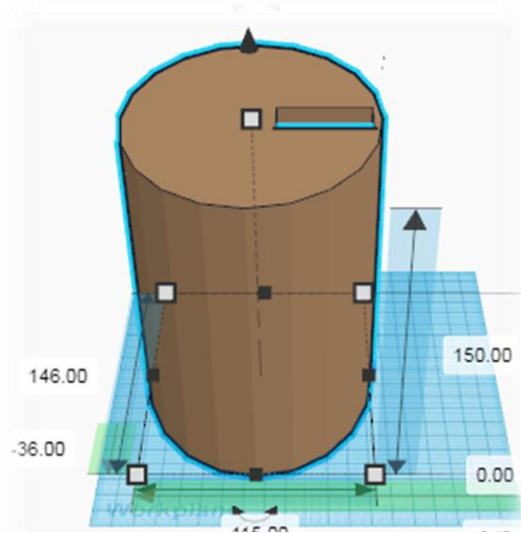
Εικόνα 7.56. Εσωτερικό ομοιώματος με διαστάσεις: Πλάτος 115mm x Ύψος 150mm x Πάχος 146mm



Εικόνα 7.57. Τελικό απλοποιημένο ομοίωμα Εμπρόσθια όψη



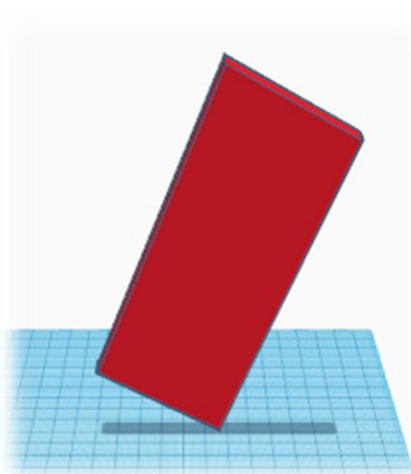
Εικόνα 7.58. Τελικό απλοποιημένο ομοίωμα - Άνω όψη



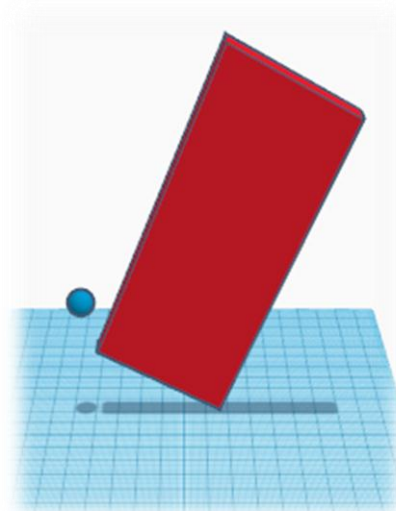
Εικόνα 7.59. Τελικό απλοποιημένο ομοίωμα με διατάσεις: Πλάτος 115mm x Ύψος 150mm x Πάχος 146mm

7.3. Σχεδιασμός απλοποιημένου ομοιώματος II

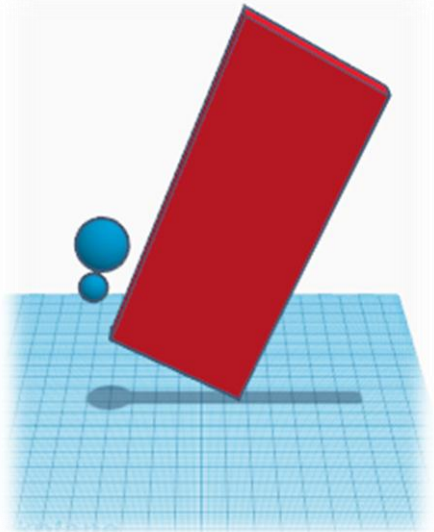
Για να γίνει εφικτή η εκτύπωση έγινε σχεδιασμός 3^{ου} ομοιώματος με ακόμα πιο μικρό μέγεθος άρα και πιο οικονομικό (εικόνες 7.60 – 7.66).



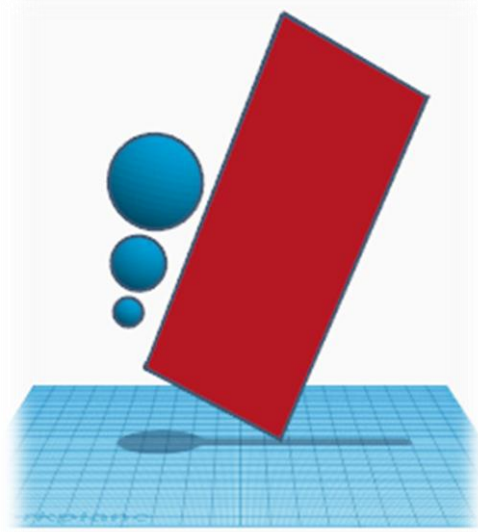
Εικόνα 7.60. Παραλληλόγραμμο πάχους 1 cm και πλάτους 5cm με κλίση.



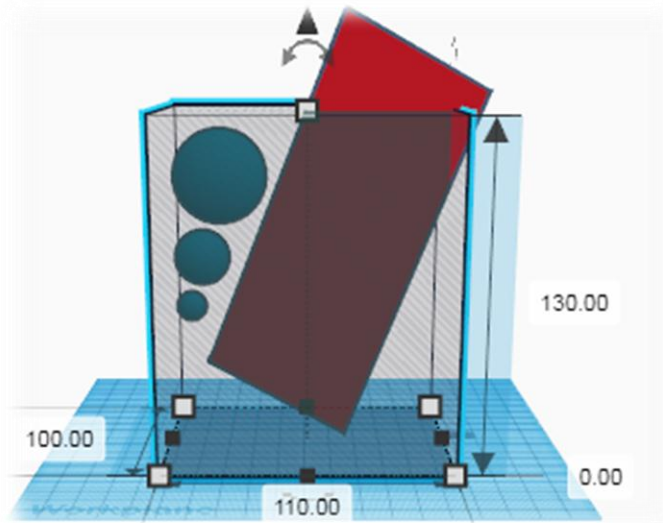
Εικόνα 7.61. Σφαίρα αέρα διαμέτρου 1 cm



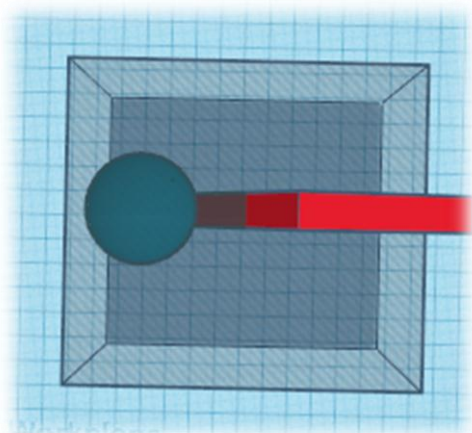
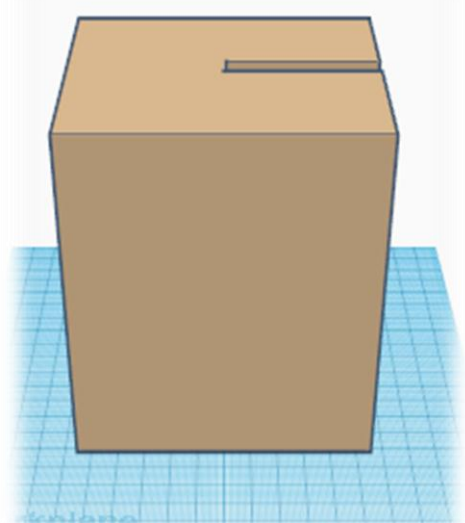
Εικόνα 7.62. Προσθήκη σφαίρας αέρα διαμέτρου 2 cm



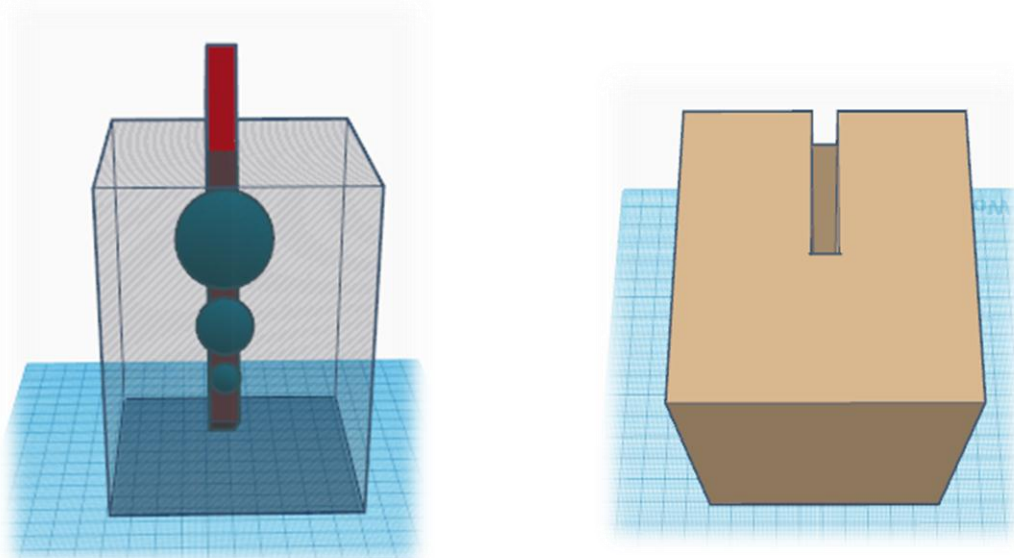
Εικόνα 7.63. Προσθήκη σφαίρας αέρα διαμέτρου 3,5 cm



Εικόνα 7.64. Τελικό ομοίωμα πλάτους 11cm x ύψος 13cm x πάχος 10cm – Εμπρόσθια όψη. Αριστερά φαίνονται οι εσωτερικές δομές και δεξιά το ενοποιημένο σχέδιο



Εικόνα 7.65. Τελικό ομοίωμα πλάτους – Άνω όψη. Αριστερά φαίνονται οι εσωτερικές δομές και δεξιά το ενοποιημένο σχέδιο



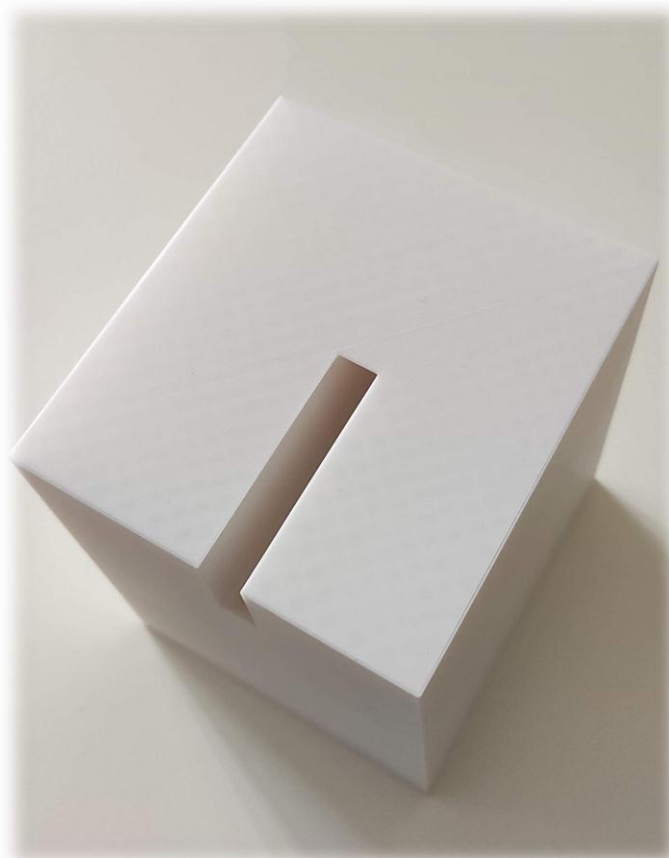
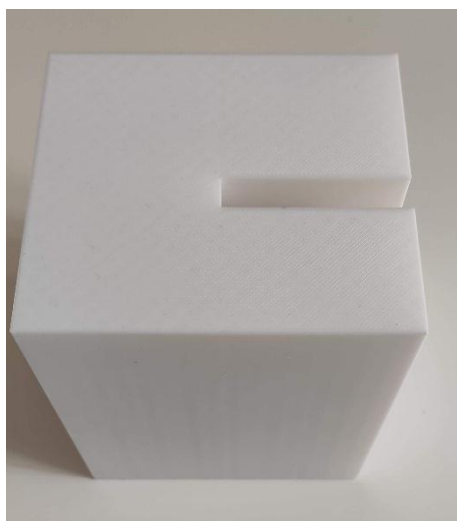
Εικόνα 7.66. Τελικό ομοίωμα πλάτους– Πλάγια όψη. Αριστερά φαίνονται οι εσωτερικές δομές και δεξιά το ενοποιημένο σχέδιο

7.4. Εκτύπωση ομοιώματος

Τελικά εκτυπώθηκε το ομοίωμα που φαίνεται στις εικόνες 7.64 –7.66 (εικόνα 7.67). Το ομοίωμα στο εσωτερικό του δεν είναι συμπαγές αλλά έχει πλέγμα. Αναλυτικά τα στοιχεία της εκτύπωσης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 7.1. Χαρακτηριστικά εκτύπωσης ομοιώματος

Εκτυπωτής	CREALITY – ENDER 3 PRO
Μέθοδος εκτύπωσης	Εξώθηση υλικού (Fuse deposition modelling - FDM)
Υλικό εκτύπωσης	PLA (θερμοπλαστικό)
Μέγεθος ακροφυσίου (Nozzle)	0,04mm
Θερμοκρασία ακροφυσίου (Nozzle temp)	210 °C
Θερμοκρασία κρεβατιού (Bed temp)	60 °C
Ταχύτητα εκτύπωσης (Print speed)	40mm/sec
Χρόνος εκτύπωσης (Print time)	~68 hrs
Ύψος στρώσης (Layer Height)	0,100 mm
Top (solid) layers	10 (1mm)
Bottom (solid) layers	10 (1mm)
Perimeter Shells	2 (0,8 mm)
Πλέγμα ομοιώματος (Infill)	20%
Βάρος ομοιώματος	350 gr
Διαστάσεις ομοιώματος	11cm (Π) x 13cm (Υ) x 10cm (Π)



Εικόνα 7.67. Εκτυπωμένο ομοίωμα.

7.5. Θεωρητική μελέτη αντίθεσης εικόνας εκτυπωμένου ομοιώματος

Στην ιατρική απεικόνιση με ιοντίζουσες ακτινοβολίες, η χρήση ομοιωμάτων προϋποθέτει την ακτινοβόληση τους με ακτίνες-Χ. Κατά την ακτινοβόληση του, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από το ομοίωμα ενώ το υπόλοιπο το διαπερνά με αποτέλεσμα να προσπίπτει σε κατάλληλο ανιχνευτή ιοντιζουσών ακτινοβολιών.

Σημαντικό είναι να εκτιμηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που θα προσπέσει στον ανιχνευτή. Αυτό εξαρτάται από το πάχος του ομοιώματος, την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και το υλικό της κατασκευής.

Το υλικό που χρησιμοποιείται στα ομοιώματα είναι συνήθως υλικό που έχει ισοδύναμη απορροφητικότητα στην ακτινοβολία με τον ανθρώπινο ιστό ή το πολυμεθυλμεθακρυλικό (PMMA) , γνωστό και ως plexiglass, όπου είναι ένα διαφανές θερμοπλαστικό πολυμερές.

Στην τρισδιάστατη εκτύπωση υπάρχει μια πληθώρα υλικών διαφορετικής πυκνότητας αλλά ισοδύναμου πάχους που έχουν την ίδια απορρόφηση με τον ανθρώπινο ιστό ή το PMMA.

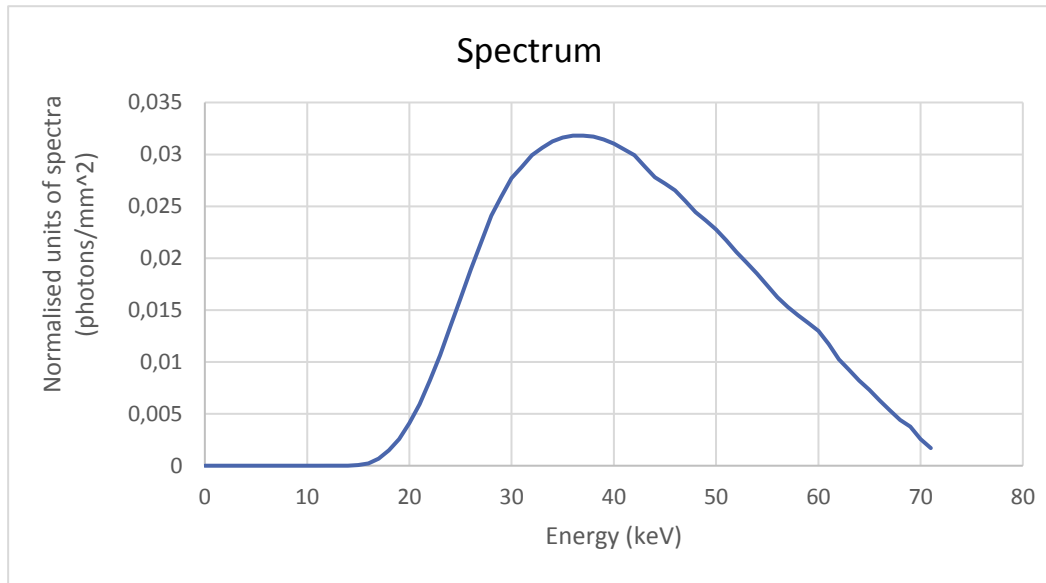
Στην προκειμένη περίπτωση, το υλικό της 3D εκτύπωσης που θα μελετηθεί είναι το πολυλακτίδιο (PLA) που είναι ένας θερμοπλαστικός πολυεστέρας. Τα χαρακτηριστικά του PLA ακολουθούν στον παρακάτω πίνακα. [52]

Πίνακας 7.2. Χαρακτηριστικά PLA

PLA : (C ₃ H ₄ O ₂) _n	PLA phantom
Ατομικά Βάρη	Μοριακά Βάρη
C: 12,0107 u ± 0,0008u	PLA: 72u
H: 1u	
O: 15,999u	
Πυκνότητα PLA	
0,567 g/cm ³	

7.5.1. Υπολογισμός του φάσματος ενέργειας

Για ενήλικα ιπποειδή (500 Kg), στην περιοχή του ποδιού, η προτεινόμενη τάση λυχνίας είναι τα 72 kVp. Με χρήση του Αλουμινίου ως υλικό φιλτραρίσματος και πάχος του φίλτρου 1.5mm, το φάσμα ενέργειας, με χρήση έτοιμου προγράμματος (online διαθέσιμο), υπολογίστηκε ως εξής: [53,54]



Εικόνα 7.68. Διάγραμμα ενεργειακού φάσματος

7.5.2. Υπολογισμός του πάχους του ομοιώματος

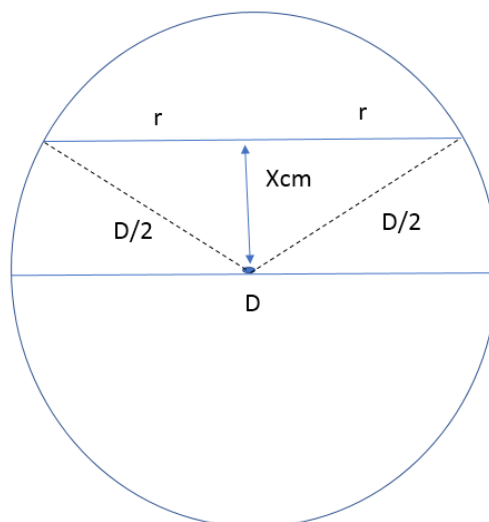
Το πάχος του ομοιώματος σε κάθε μετατόπιση από το κέντρο της σφαίρας αέρα υπολογίστηκε ως εξής:

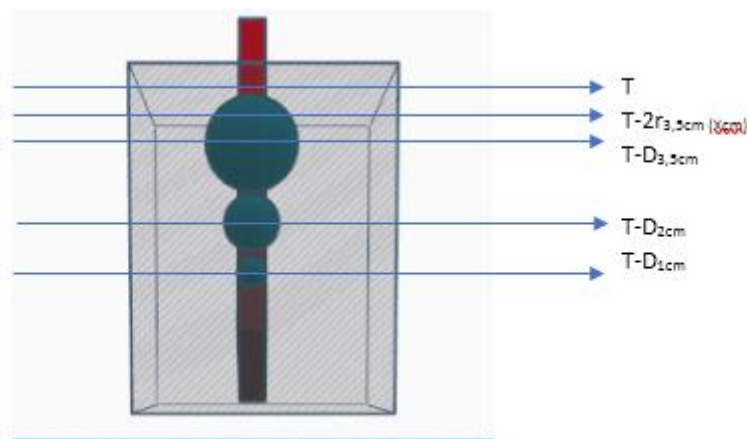
Θεωρώντας ότι έχουμε σφαίρα αέρα με διάμετρο D σε υλικό πάχους T, τότε στην ευθεία που περνάει από το κέντρο του κύκλου το πάχος του θα είναι T-D.

Ενώ σε κάθετη απόσταση X από το κέντρο του κύκλου, το πάχος της σφαίρας αέρα θα είναι

$$2r = 2 * \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - (X)^2} \quad (4)$$

,άρα το πάχος του ομοιώματος θα είναι τελικά T-2r (εικόνα 7.69).





Εικόνα 7.69. Υπολογισμός του πάχους της σφαίρας σε κάθετη απόσταση X από το κέντρο.

7.5.3. Υπολογισμός της συνολικής έκθεσης ακτινοβολίας και της διαπερατότητας του ομοιώματος

Αρχικά υπολογίστηκε η συνολική έκθεση ακτινοβολίας για ολόκληρο το ομοίωμα, συμπαγές χωρίς κενά αέρα, με χρήση του παρακάτω τύπου:

$$XD \text{ αρχική}_{(T)} = \sum_{E_{min}}^{E_{max}} 1,83 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot N(E) \cdot \left[\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right]_{air} \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}(E) \cdot \rho \cdot T} \quad (5)$$

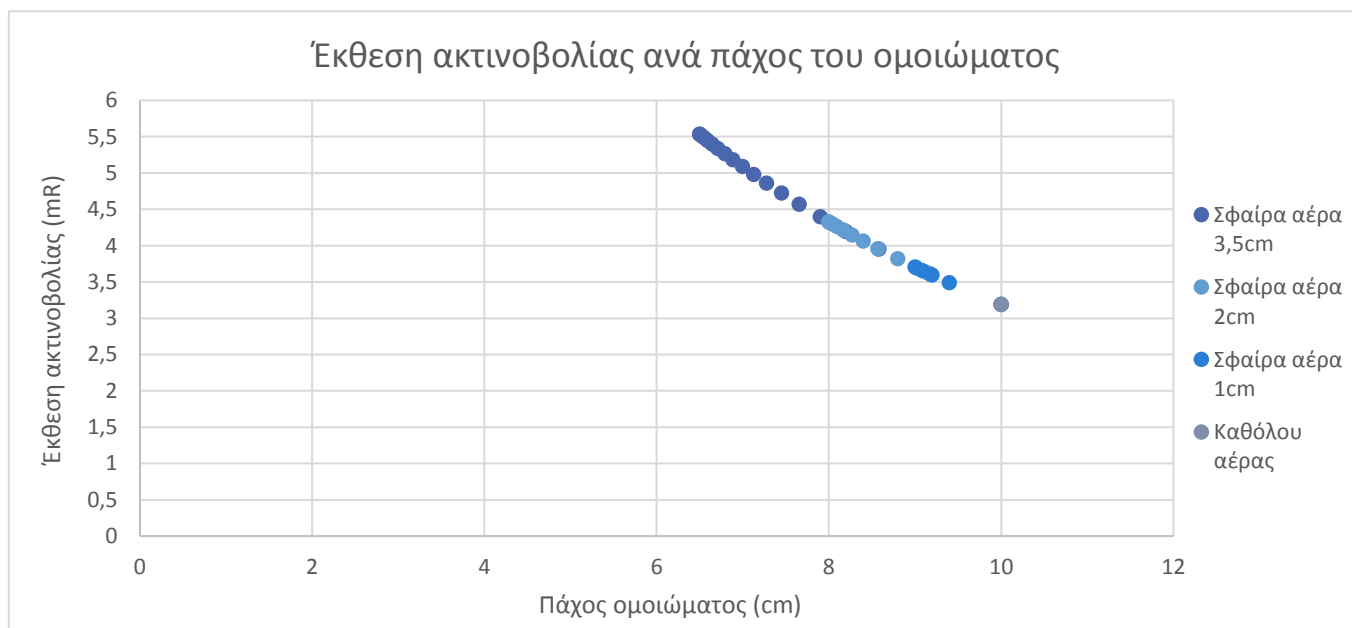
Όπου $N(E)$ είναι τα φωτόνια ενέργειας E , ρ_{PLA} είναι η πυκνότητα του υλικού του ομοιώματος και T είναι το πάχος του ομοιώματος. Η E_{min} και E_{max} είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ενέργεια του φάσματος της ακτινοβολίας των ακτίνων-Χ. Τέλος, $\left[\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right]_{air}$ είναι ο μαζικός συντελεστής απορρόφησης ενέργειας του αέρα και $\frac{\mu}{\rho}(E)$ ο μαζικός συντελεστής εξασθένησης της ακτινοβολίας για υλικό PLA που διαφέρουν ανάλογα με την ενέργεια. Οι συντελεστές αυτοί υπολογίστηκαν στο πρόγραμμα X MUTAD.

Οπότε, στην περίπτωση υλικού PLA, όπου έχουμε $\rho_{PLA} = 0,567 \text{ g/cm}^3$, $N(E) = 50000 \text{ photons/mm}^2$, φάσμα ακτινοβολίας 72 keV ($E_{min} = 1 \text{ keV}$, $E_{max} = 71 \text{ keV}$) όπου διέρχεται από υλικό πάχους $T = 10 \text{ cm}$ (πάχος ομοιώματος), η συνολική αρχική έκθεση της ακτινοβολίας μετά την απορρόφηση από το υλικό PLA είναι $XD_{αρχική}_{(T)} = 3,19$.

Στην συνέχεια υπολογίστηκε η συνολική έκθεση ακτινοβολίας για κάθε δυνατό πάχος του ομοιώματος:

$$XD \text{ τελική}_{(T-2r)} = \sum_{E_{min}}^{E_{max}} 1,83 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot N(E) \cdot \left[\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right] \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}(E) \cdot \rho \cdot (T-2r)} \quad (6)$$

Οπότε, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, υπολογίστηκε η συνολική τελική έκθεση της ακτινοβολίας μετά την απορρόφηση από το υλικό PLA σε σφαίρες αέρα 3,5 cm ,2cm και 1cm. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:



Εικόνα 7.70. Διάγραμμα έκθεσης ακτινοβολίας ανά πάχος του ομοιώματος

7.5.4. Υπολογισμός της αντίθεσης

Η αντίθεση (διαφορά σήματος) υπολογίστηκε από τον εξής τύπο για κάθε μετατόπιση εκατέρωθεν του κέντρου της κάθε σφαίρας:

$$C_{(T-2r)} = \left| \frac{XD \text{ αρχική}_{(T)} - XD \text{ τελική}_{(T-2r)}}{XD \text{ αρχική}_{(T)}} \right| \cdot 100 \% \quad (7)$$

Για την σφαίρα αέρα διαμέτρου 3,5cm, η αντίθεση υποκειμένου από το κέντρο της μέχρι και τα άκρα της ($\pm 1,75\text{cm}$) είναι:

Πίνακας 7.3. Αντίθεση υποκειμένου από το κέντρο της σφαίρας αέρα διαμέτρου 3,5cm

Απόσταση από το κέντρο (cm)	Αντίθεση (%)
0	73,40165
0,1	73,2326
0,2	72,72512
0,3	71,87817
0,4	70,68988
0,5	69,15731
0,6	67,27605
0,7	65,03973
0,8	62,43914
0,9	59,46101
1	56,0861
1,1	52,286
1,2	48,01777
1,3	43,21376
1,4	37,7605
1,5	31,44711
1,6	23,80196
1,7	13,18217
1,75	0

Για την σφαίρα αέρα διαμέτρου 2cm, η αντίθεση υποκειμένου από το κέντρο της μέχρι και τα άκρα της (± 1 cm) είναι:

Πίνακας 7.4. Αντίθεση υποκειμένου από το κέντρο της σφαίρας αέρα διαμέτρου 2cm

Απόσταση από το κέντρο (cm)	Αντίθεση (%)
0	35,59419895
0,1	35,37942463
0,2	34,73114626
0,3	33,63678792
0,4	32,07273918
0,5	29,99915544
0,6	27,34909062
0,7	24,00371366
0,8	19,72446729
0,9	13,88827864

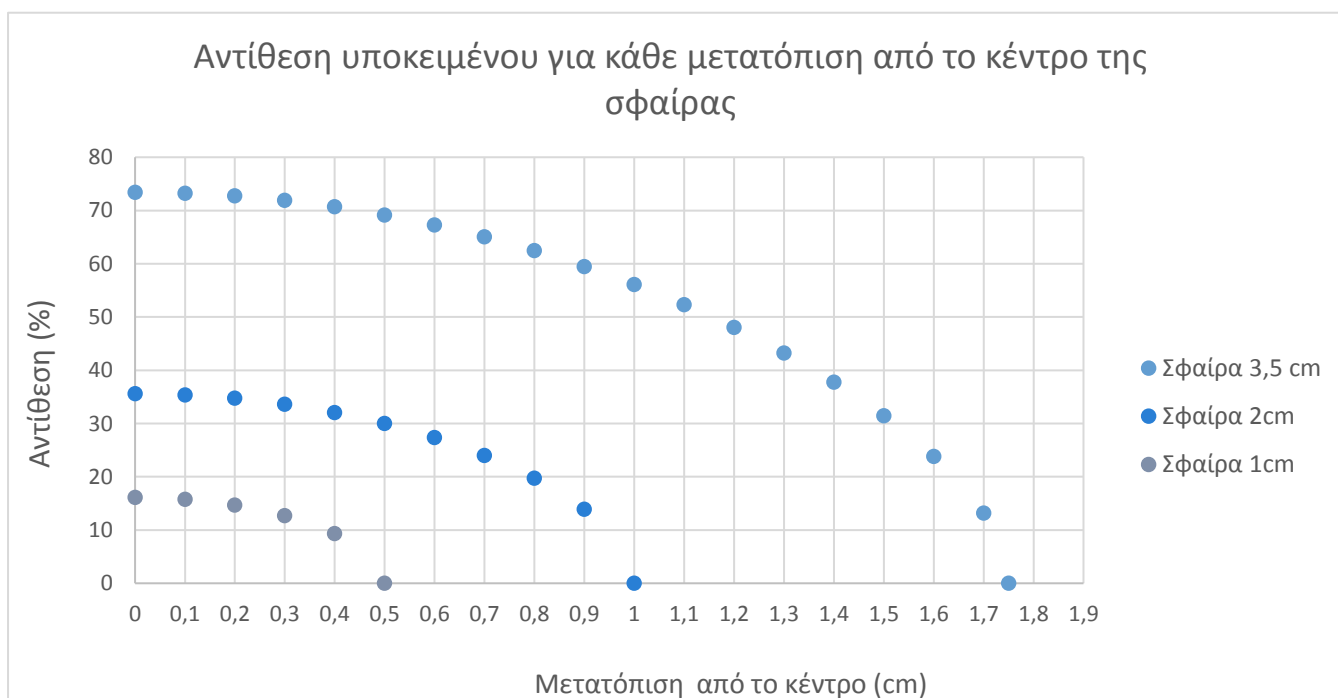
1	4,38E-07
---	----------

Για την σφαίρα αέρα διαμέτρου 1cm, η αντίθεση υποκειμένου από το κέντρο της μέχρι και τα άκρα της ($\pm 0,5\text{cm}$) είναι:

Πίνακας 7.5. Αντίθεση υποκειμένου από το κέντρο της σφαίρας αέρα διαμέτρου 1cm

Απόσταση από το κέντρο (cm)	Αντίθεση (%)
0	16,12538
0,1	15,76929
0,2	14,6627
0,3	12,65911
0,4	9,319246
0,5	0

Συνολικά οι αντιθέσεις του υποκειμένου για κάθε σφαίρα αέρα σε κάθε μετατόπιση από το κέντρο ακολουθούν στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 7.71. Αντίθεση υποκειμένου για κάθε μετατόπιση από το κέντρο της σφαίρας αέρα 3,5cm, της σφαίρας αέρα 2cm και της σφαίρας αέρα 1cm

7.6. Εγχειρίδιο χρήσης εκτυπωμένου ομοιώματος

7.6.1. Προετοιμασία ομοιώματος για ακτινοβολήση

Η προετοιμασία του ομοιώματος για την ακτινοβολήση αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- Γίνεται εισαγωγή του resolution bar pattern στην εσοχή του ομοιώματος.
- Το ομοίωμα τοποθετείται ξαπλωμένο στην τράπεζα εξέτασης, πάνω από τον ανιχνευτή, με προσανατολισμό τέτοιο ώστε η εσοχή να βρίσκεται στα δεξιά ή τα αριστερά.
- Η απόσταση του ομοιώματος από την λυχνία ακτινοβολίας ρυθμίζεται έτσι ώστε να είναι 150cm (Source-to-image-distance (SID) = 150cm)
- Το ομοίωμα ακτινοβολείται με τάση λυχνίας 70-72 kV, όπου είναι η προτεινόμενη τάση λυχνίας για ακτινοβολήση άκρων των υποειδών.

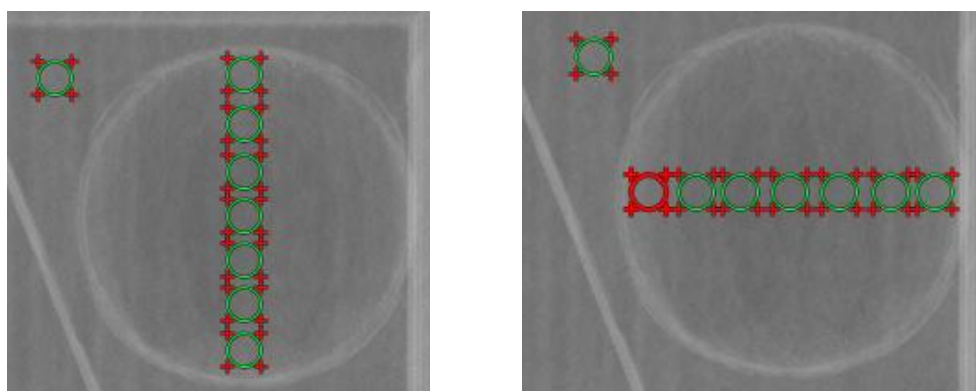
7.6.2. Έλεγχος ποιότητας εικόνας

I. Διακριτική ικανότητα χαμηλής αντίθεσης

Για κάθε σφαίρα που βλέπουμε στην εικόνα, θα πάρουμε αντίστοιχα ROIs , ίδιου μεγέθους, κατα μήκος της διαμέτρου του κύκλου και θα υπολογίσουμε την μέση τιμή συγκριτικά με το περιβάλλον. Σκοπός είναι να υπολογίσουμε την αντίθεση με τα δεδομένα αυτά. Αυτή η μέτρηση μπορεί να γίνει με πρόγραμμα Dicom Viewer.

Πιο συγκεκριμένα:

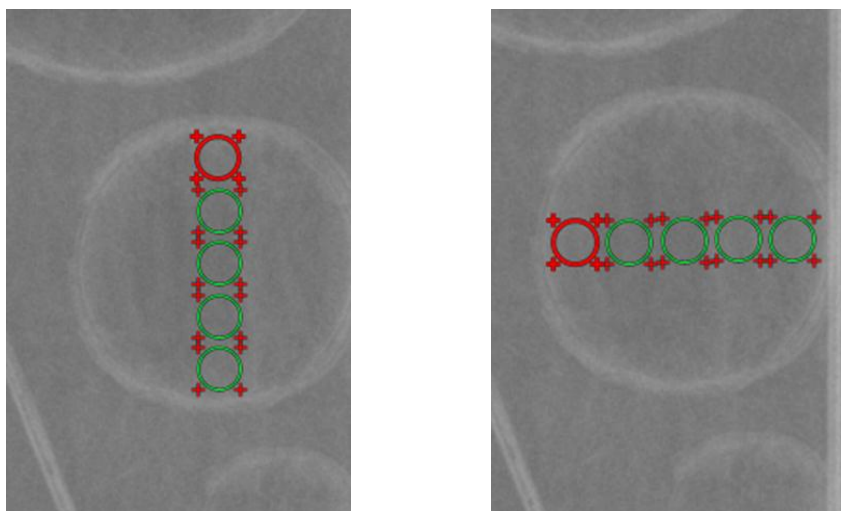
- Αρχικά παίρνουμε μια περιοχή ενδιαφέροντος ROI στο υπόβαθρο (background) της εικόνας. Το υπόβαθρο θεωρείται η περιοχή εκτός της σφαίρας και της εσοχής.
- Στην μεγάλη σφαίρα διαμέτρου 3,5 cm θα πάρουμε 7 περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs) κατά μήκος της διαμέτρου, κάθετα και οριζόντια (εικόνα 7.72).



Εικόνα 7.72. Υπολογισμός μέσης τιμής κατα μήκος της διαμέτρου της μεγάλης σφαίρας (3,5cm). Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε 7 ROIs κατά μήκος της διαμέτρου ,κάθετα, και 1 ROI στο

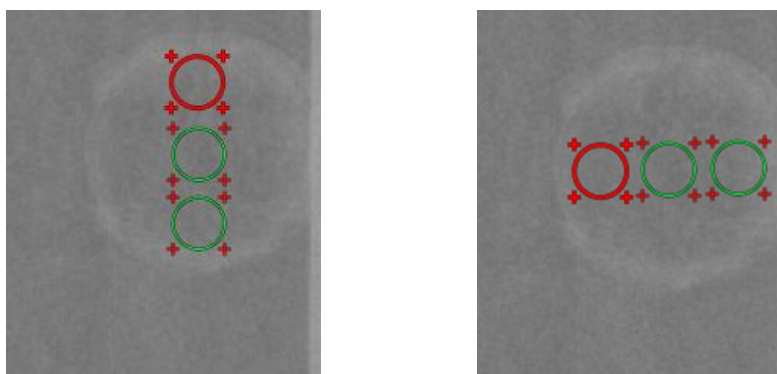
περιβάλλον. Στην δεξιά εικόνα βλέπουμε 7 ROIs κατά μήκος της διαμέτρου, οριζόντια, και 1 ROI στο περιβάλλον.

- Στην μεσαία σφαίρα διαμέτρου 2 cm θα πάρουμε 5 περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs) κατά μήκος της διαμέτρου, κάθετα και οριζόντια (εικόνα 7.73).



Εικόνα 7.73. Υπολογισμός μέσης τιμής κατα μήκος της διαμέτρου της μεσαίας σφαίρας (2cm). Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε 5 ROIs κάθετα κατά μήκος της διαμέτρου. Στην δεξιά εικόνα βλέπουμε 5 ROIs οριζόντια κατά μήκος της διαμέτρου.

- Στην μικρή σφαίρα διαμέτρου 1 cm θα πάρουμε 3 περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs) κατά μήκος της διαμέτρου, κάθετα και οριζόντια (εικόνα 7.74).



Εικόνα 7.74. Υπολογισμός μέσης τιμής κατα μήκος της διαμέτρου της μικρής σφαίρας (1cm). Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε 3 ROIs κάθετα κατά μήκος της διαμέτρου. Στην δεξιά εικόνα βλέπουμε 3 ROIs οριζόντια κατά μήκος της διαμέτρου.

Μελέτη και σχεδιασμός ομοιώματος ποιότητας εικόνας απεικόνισης άκρων υποειδούς με ακτίνες-Χ

Η μέση τιμή υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα Dicom Viewer και με βάση αυτά τα δεδομένα θα υπολογιστεί η αντίθεση κατά μήκος των διαμέτρων των σφαιρών με τον παρακάτω τύπο:

$$C = \frac{m_{\text{υπ}} - m_{\text{σφ}}}{m_{\text{υπ}}} \times 100\% \quad (8)$$

, όπου $m_{\text{υπ}}$ είναι η μέση τιμή του υποβάθρου και $m_{\text{σφ}}$ είναι η μέση τιμή της σφαίρας.

Συμπληρώνονται οι πίνακες με τις πρότυπες τιμές αναφοράς:

ΥΠΟΒΑΘΡΟ

	Μέση τιμή
1	

ΜΕΓΑΛΗ ΣΦΑΙΡΑ

	Κάθετα		Οριζόντια	
	Μέση τιμή	Αντίθεση	Μέση τιμή	Αντίθεση
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

ΜΕΣΑΙΑ ΣΦΑΙΡΑ

	Κάθετα		Οριζόντια	
	Μέση τιμή	Αντίθεση	Μέση τιμή	Αντίθεση
1				
2				
3				
4				
5				

ΜΙΚΡΗ ΣΦΑΙΡΑ

	Κάθετα		Οριζόντια	
	Μέση τιμή	Αντίθεση	Μέση τιμή	Αντίθεση
1				
2				
3				

Μελέτη και σχεδιασμός ομοιώματος ποιότητας εικόνας απεικόνισης άκρων ιπποειδούς με ακτίνες-Χ

Η αντίθεση κάθε περιοχής ενδιαφέροντος (ROI) δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 4% των τιμών αναφοράς για τις ίδιες συνθήκες ακτινοβολήσης. [55]

II. Διακριτική ικανότητα υψηλής αντίθεσης

Παρατηρούμε το resolution bar pattern και εντοπίζουμε μέχρι ποιο ζεύγος γραμμών (lp/mm) μπορούμε να διακρίνουμε ξεκάθαρα. Η χωρική συχνότητα που αντιστοιχεί σε αυτό το ζεύγος γραμμών (lp/mm) αναπαριστά την διακριτική ικανότητα του συστήματος. Σε κάθε περίπτωση 1) το όριο δεν πρέπει να είναι χειρότερο από την τιμή αναφοράς και 2) η διακριτική ικανότητα δεν πρέπει να αντιστοιχίζεται σε διάσταση μεγαλύτερη από το διπλάσιο του pixel size του ανιχνευτή.

III. Μεγέθυνση

Μετράμε την διάμετρο της κάθε σφαίρας σε συνθήκες υψηλής αντίθεσης με κατάλληλο λογισμικό. Σε περίπτωση μεγάλης μεταβολής από την πρότυπη, πρέπει να ελεγχθεί το μέγεθος της εστίας, η γεωμετρία ακτινοβολήσης και ο ανιχνευτής.

8. Πειραματικό μέρος

Η ακτινοβόληση του ομοιώματος έγινε στο Νοσοκομείο Ευαγγελισμός στο ακτινογραφικό σύστημα της Philips, DigitalDiagnost (εικόνα 8.3) από τεχνικό της εταιρείας PHILIPS στα πλαίσια επίσκεψης συντήρησης.

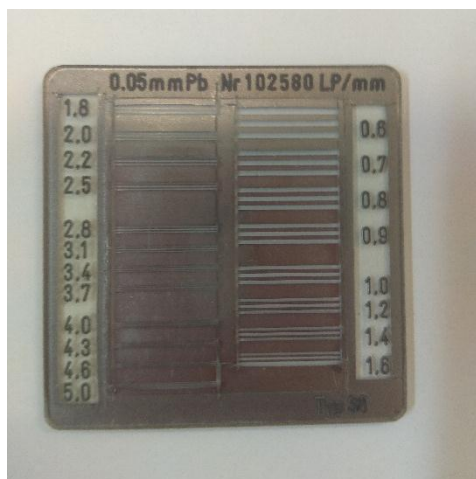
Διαδικασία ακτινοβόλησης:

- Αρχικά έγινε είσοδος του resolution bar pattern (εικόνα 8.1) με κωδικό 07-535 στην εσοχή του ομοιώματος. [56]

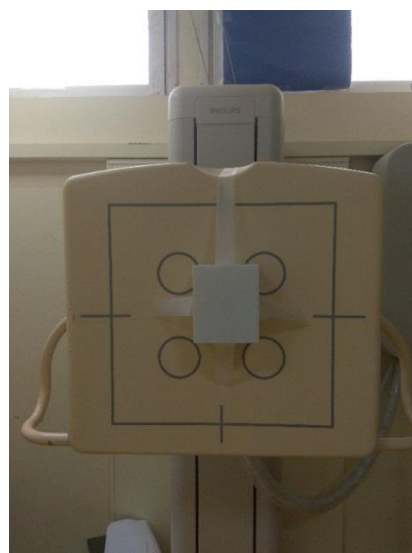
Πίνακας 8.1. Χαρακτηριστικά resolution bar pattern

Μοντέλο	Εύρος διακριτικής ικανότητας (LP/mm)	Αριθμός ζευγών	Πάχος φύλλου μολύβδου (mm)	Διαστάσεις (mm)
07-535	0.6 – 5.0	20	0.05	50 × 50

- Στη συνέχεια τοποθετήσαμε το ομοίωμα. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αυτό είχε όρθιο bucky οπότε το ομοίωμα στηρίχθηκε στην κατάλληλη θέση με χρήση ταινίας. Ο προσανατολισμός του ομοιώματος ήταν όρθιος με την εσοχή να είναι στα αριστερά. (εικόνα 8.2)
- Έπειτα ρυθμίσαμε την απόσταση ακτινοβόλησης στα 150cm (SID = 150cm). (εικόνα 8.5)
- Το ακτινογραφικό σύστημα Digital Diagnost διαθέτει αυτόματο έλεγχο ακτινοβόλησης (AEC). Έγινε επιλογή του κεντρικού θαλάμου ιονισμού από τους 5 που είχαμε διαθέσιμους. (εικόνα 8.4)



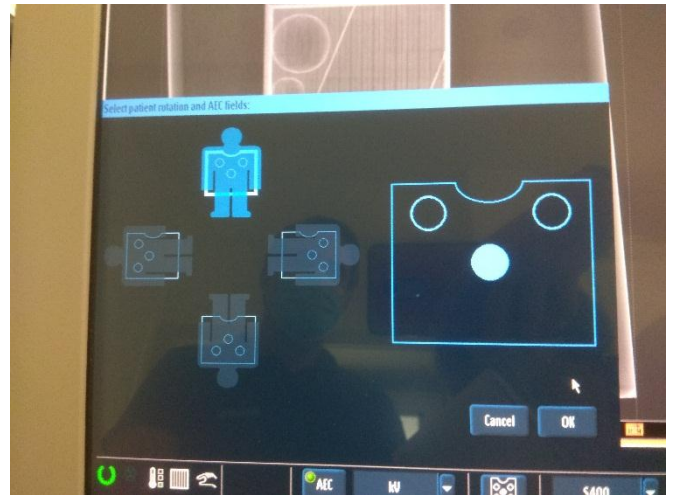
Εικόνα 8.1. Resolution bar pattern



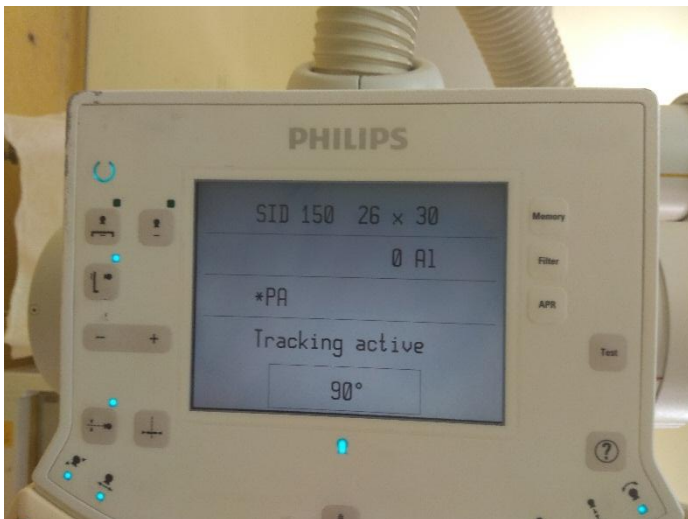
Εικόνα 8.2. Τοποθέτηση ομοιώματος στο όρθιο bucky



Εικόνα 8.3. Philips DigitalDiagnost System Eleva



Εικόνα 8.4. Επιλογή κεντρικού θαλάμου ιονισμού



Εικόνα 8.5. Ρύθμιση απόστασης λυχνίας από το ομοίωμα

- Στην συνέχεια ακολουθούν οι παρακάτω πειραματικές μετρήσεις:

Πίνακας 8.2. Μετρήσεις

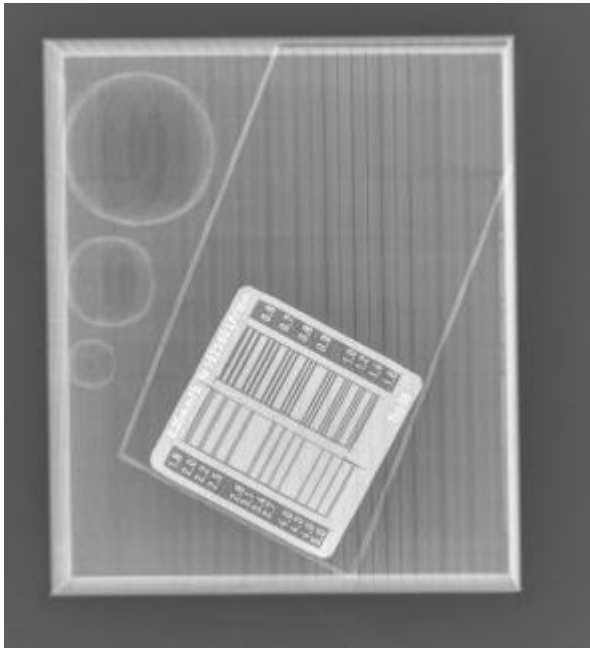
	Τάση λυχνίας (kV)	Αντιδιαχυτικό διάφραγμα (Grid)	mAs	Δόση (μGym^2)	Εστία	Φίλτρο 1	Φίλτρο 2	Εικόνα
1	45	Out	19,7	3,11	Μικρή	-	-	8.8
2	50	In	3,3	2,56	Μικρή	-	-	8.9
3	70	In	1,6	5,14	Μικρή	-	-	8.10
4	70	In	1,1	3,77	Μεγάλη	-	-	8.11
5	80	In	0,6	2,67	Μικρή	-	-	8.12
6	70	In	6,9	23,33	Μικρή	20mm Al	-	8.13
7	90	In	19,2	106,94	Μικρή	20mm Al	2mm Cu	8.14



Εικόνα 8.6. Φύλλα Χαλκού και Αλουμινίου σε διάφορα πάχη

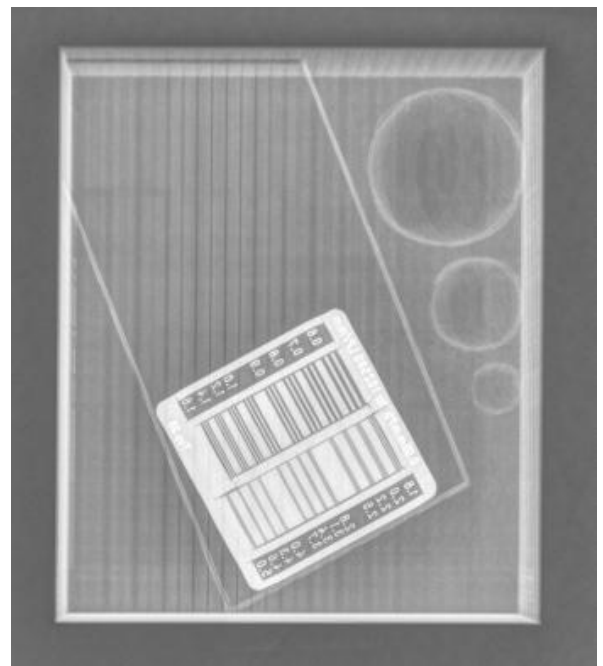
Εικόνα 8.7. Τοποθέτηση φύλλου Αλουμινίου στην λυχνία ακτινοβολήσης



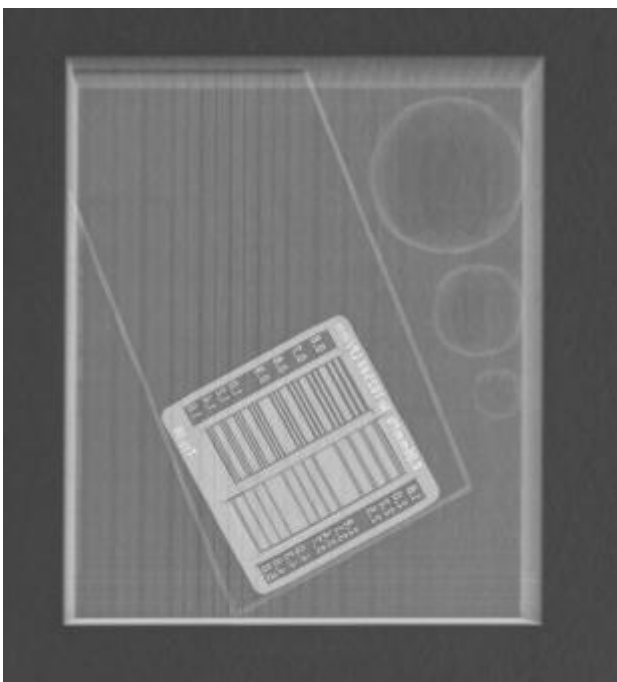


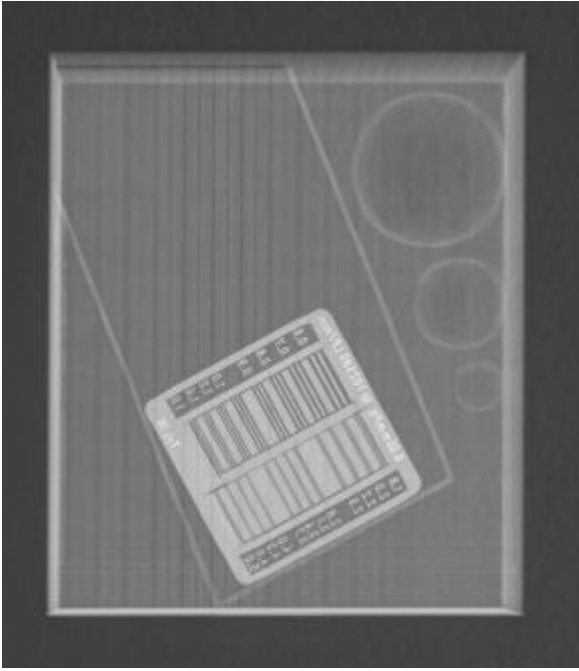
Εικόνα 8.9. Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης με τάση λυχνίας 45kV

Εικόνα 8.9. Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης με τάση λυχνίας 50kV



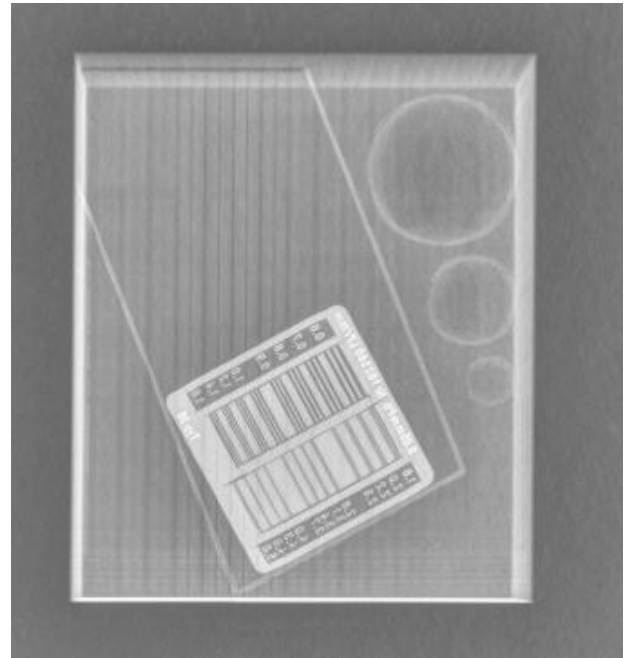
Εικόνα 8.10. Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης με τάση λυχνίας 70kV με μικρή εστία



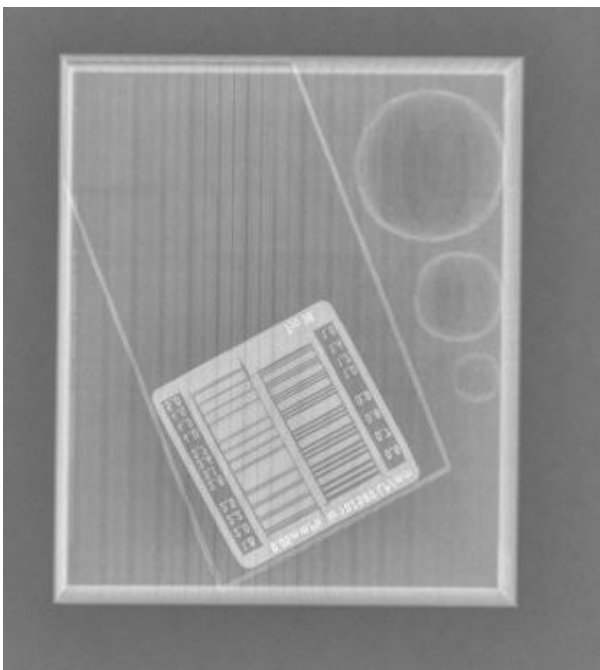


Εικόνα 8.11. Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης με τάση λυχνίας 70kV με μεγάλη εστί

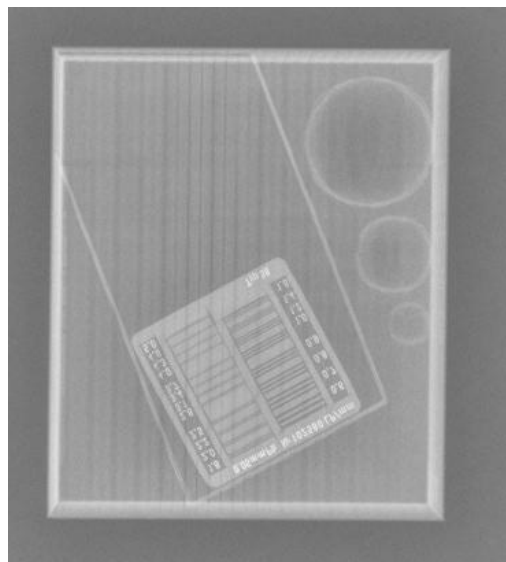
Εικόνα 8.12. Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης με τάση λυχνίας 80kV



Εικόνα 8.13. Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης με τάση λυχνίας 70kV με χρήση φύλλου Αλουμινίου



Εικόνα 8.14. Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης με τάση λυχνίας 90kV με χρήση φύλλου Αλουμινίου και Χαλκού



Διαδικασία ελέγχου της ποιότητας εικόνας:

Για όλες τις μετρήσεις εφαρμόζεται το πρωτόκολλο που υπάρχει στο κεφάλαιο 7.6.

- Παράδειγμα ελέγχου διακριτικής ικανότητας χαμηλής αντίθεσης (εικόνες 8.15 – 8.18):

Η αντίθεση υπολογίστηκε με τον εξής τύπο:

$$C = \frac{m_{\nu\pi} - m_{\sigma\varphi}}{m_{\nu\pi}} \times 100\% \quad (8)$$

Πίνακας 8.3. Μέτρηση υποβάθρου

ΥΠΟΒΑΘΡΟ

	Μέση τιμή
1	15.865,58

Πίνακας 8.4. Μετρήσεις μεγάλης σφαίρας

ΜΕΓΑΛΗ ΣΦΑΙΡΑ

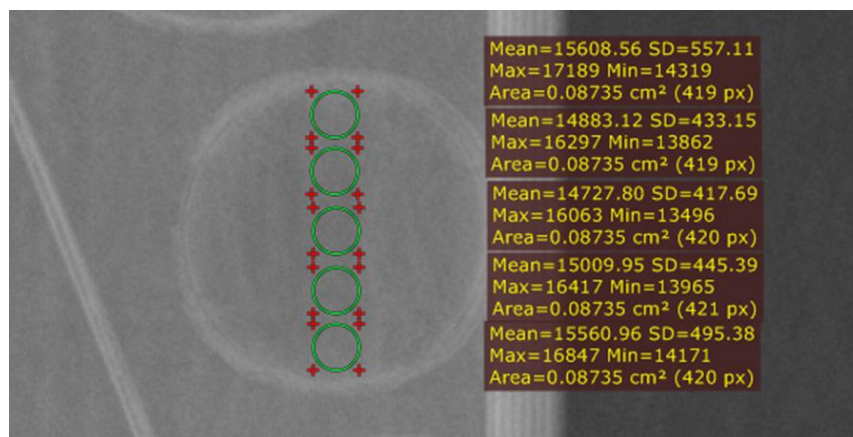
	Κάθετα		Οριζόντια	
	Μέση τιμή	Αντίθεση(%)	Μέση τιμή	Αντίθεση(%)
1	15.156,53	4,469109	15.294,95	3,596654
2	14.419,51	9,114511	14.148,15	10,82488
3	13.891,88	12,44014	13.744,97	13,3661
4	13.847,72	12,71848	13.821,34	12,88475
5	14.010,39	11,69317	14.197,35	10,51477
6	14.346,09	9,577274	14.458,97	8,865796
7	15.183,22	4,300883	15.276,76	3,711305

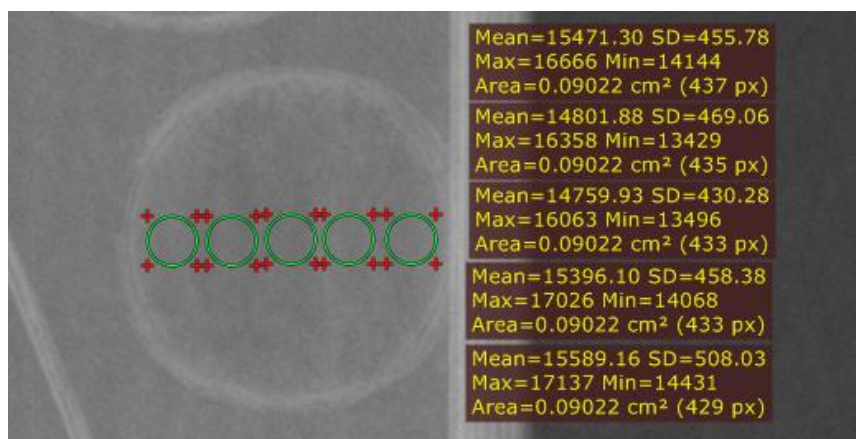


Εικόνα 8.15. Υπολογισμός μέσης τιμής κατά μήκος της διαμέτρου της μεγάλης σφαίρας (3,5cm). Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε 7 ROIs κατά μήκος της διαμέτρου ,κάθεται, και 1 ROI στο περιβάλλον. Στην δεξιά εικόνα βλέπουμε 7 ROIs κατά μήκος της διαμέτρου, οριζόντια, και 1 ROI στο περιβάλλον.

Πίνακας 8.5. Μετρήσεις μεσαίας σφαίρας

	Κάθεται		Οριζόντια	
	Μέση τιμή	Αντίθεση(%)	Μέση τιμή	Αντίθεση(%)
1	15.608,56	1,619985	15.471,30	2,485128
2	14.883,12	6,192399	14.801,88	6,704451
3	14.727,80	7,171374	14.759,93	6,96886
4	15.009,95	5,392995	15.396,10	2,95911
5	15.560,96	1,920005	15.589,16	1,742262



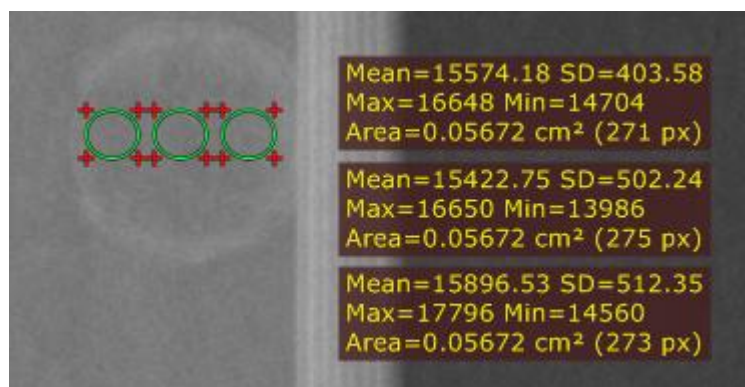
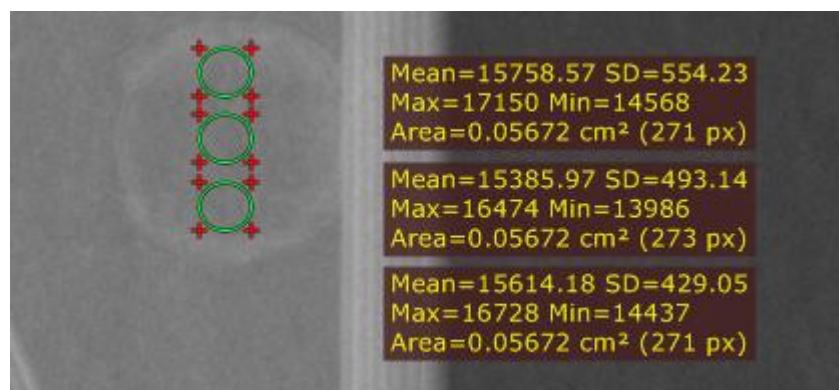


Εικόνα 8.16. Υπολογισμός μέσης τιμής κατα μήκος της διαμέτρου της μεσαίας σφαίρας (2cm). Στην πάνω εικόνα βλέπουμε 5 ROIs κάθετα κατά μήκος της διαμέτρου. Στην κάτω εικόνα βλέπουμε 5 ROIs οριζόντια κατά μήκος της διαμέτρου.

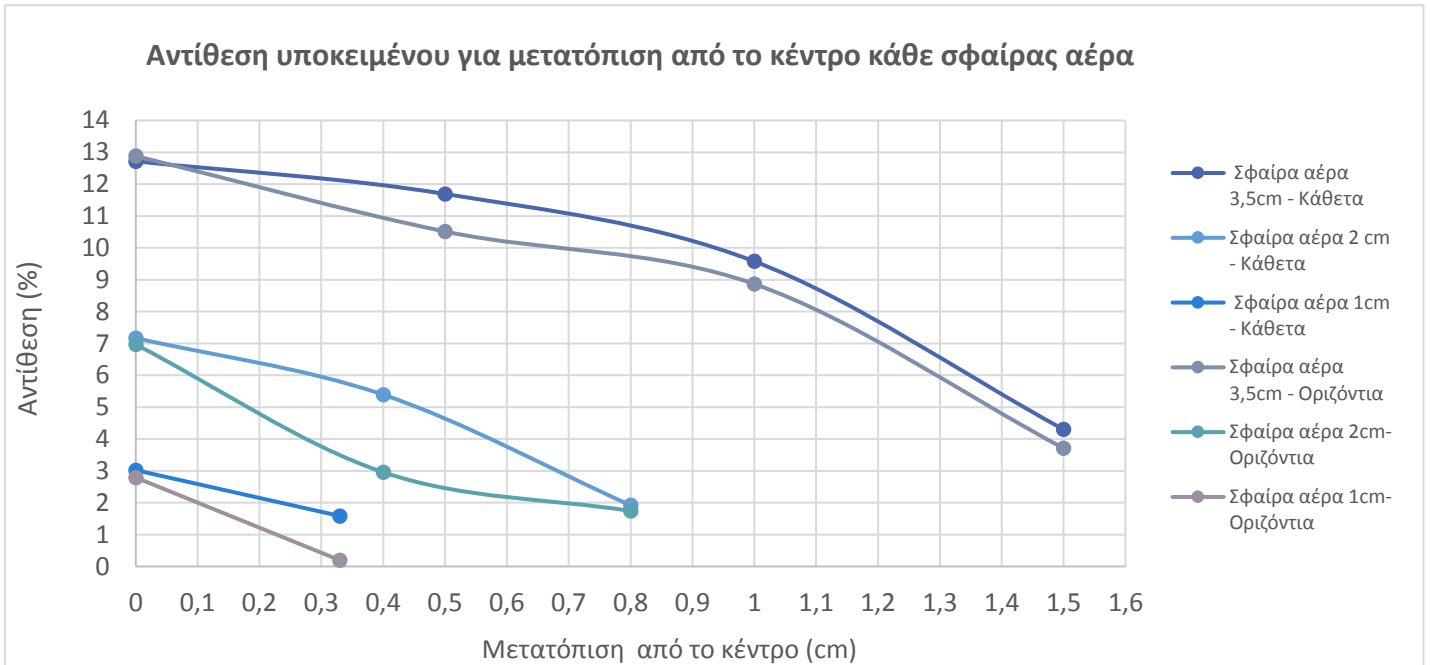
Πίνακας 8.6. Μετρήσεις μικρής σφαίρας

ΜΙΚΡΗ ΣΦΑΙΡΑ

	Κάθετα		Οριζόντια	
	Μέση τιμή	Αντίθεση(%)	Μέση τιμή	Αντίθεση(%)
1	15.758,57	0,674479	15.574,18	1,83668
2	15.385,97	3,022959	15.422,75	2,791137
3	15.614,18	1,584562	15.896,53	0,195076

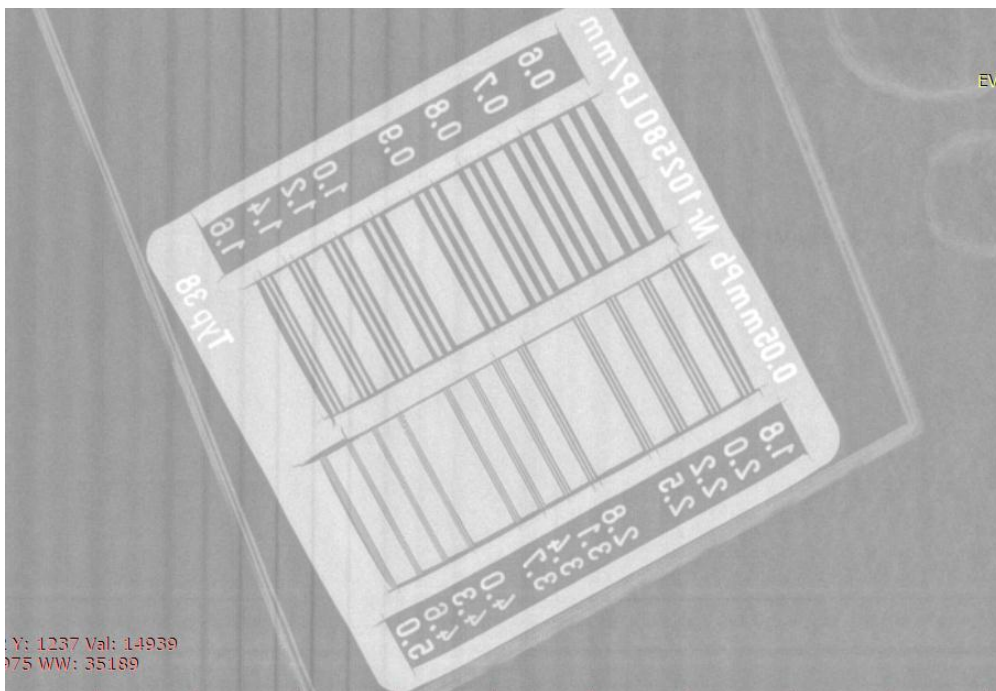


Εικόνα 8.17. Υπολογισμός μέσης τιμής κατα μήκος της διαμέτρου της μικρής σφαίρας (1cm). Στην πάνω εικόνα βλέπουμε 3 ROIs κάθετα κατά μήκος της διαμέτρου. Στην κάτω εικόνα βλέπουμε 3 ROIs οριζόντια κατά μήκος της διαμέτρου.

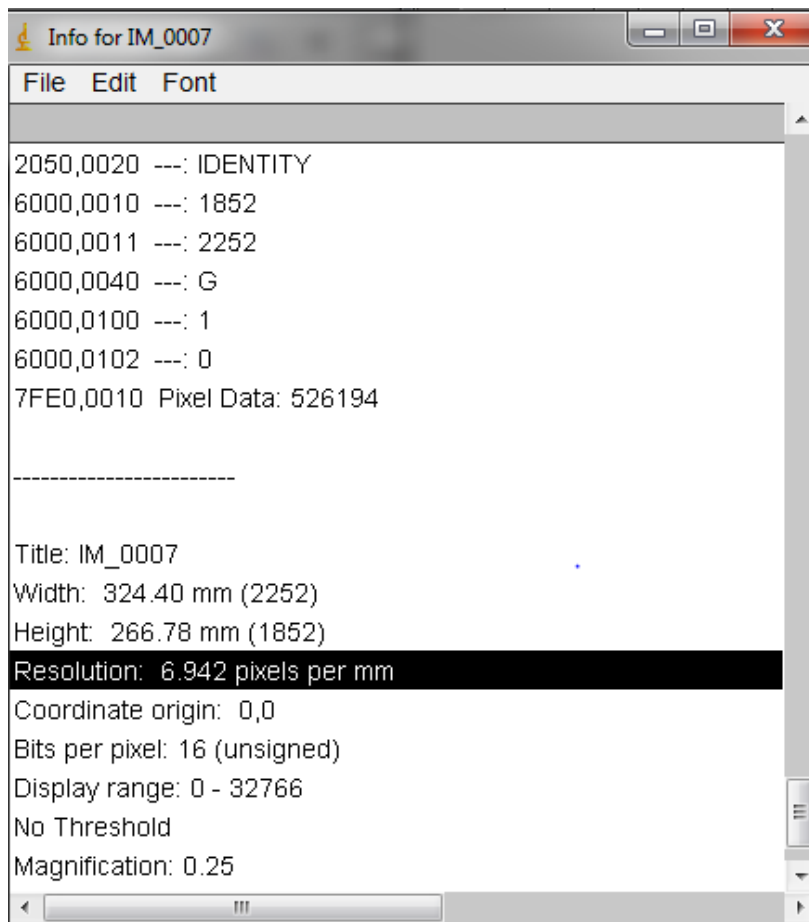


Εικόνα 8.18. Διάγραμμα με τις αντιθέσεις σε κάθε μετατόπιση από το κέντρο των σφαιρών αέρα

➤ Παράδειγμα ελέγχου διακριτικής ικανότητας υψηλής αντίθεσης (εικόνες 8.19 -8.20):



Εικόνα 8.19. Resolution bar pattern και βρίσκουμε μέχρι ποιο ζεύγος γραμμών (lp/mm) μπορούμε να διακρίνουμε ξεκάθαρα τις 3 γραμμές.



Εικόνα 8.20. Πληροφορίες για την ακτινογραφία μέσω του προγράμματος Image J

Η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή, όπως φαίνεται στην εικόνα, είναι 6,942 pixels / mm.

Οπότε το pixel size του ανιχνευτή είναι $1/6,942 = 0,144\text{mm}$

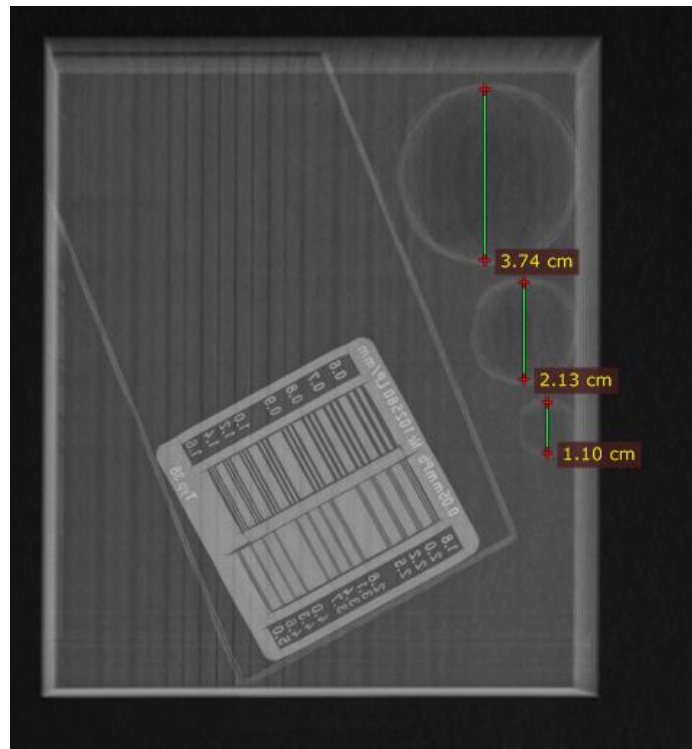
Από το resolution bar μπορούμε να διακρίνουμε τις 3 γραμμές καθαρά στο ζεύγος γραμμών 3.1 lp/mm.

- Παράδειγμα ελέγχου μεγέθυνσης (εικόνα 8.21):

Για κάθε σφαίρα μετρήσαμε την διάμετρο και τα αποτελέσματα ακολουθούν στον πίνακα παρακάτω:

Πίνακας 8.7. Μετρήσεις

	Διάμετρος σφαιρών	
	Μετρήσιμη (cm)	Πραγματική (cm)
Μεγάλη σφαίρα	3,74	3,5
Μεσαία σφαίρα	2,13	2,0
Μικρή σφαίρα	1,10	1,0



Εικόνα 8.21. Παράδειγμα μέτρησης διαμέτρου της κάθε σφαίρας σε συνθήκες υψηλής αντίθεσης για τον εντοπισμό της μεγέθυνσης.

9. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε ένα ομοίωμα ποιότητας εικόνας άκρων ιπποειδούς με ακτίνες-Χ. Αυτό το ομοίωμα αναπαριστούσε το άκρο ενός ιπποειδούς και περιείχε εσωτερικά τα οστά, τους τένοντες και τους συνδέσμους. Ο σχεδιασμός του ομοιώματος έγινε με χρήση του προγράμματος τρισδιάστατου μοντελισμού Autodesk Tinkercad. Το ομοίωμα αυτό, δυστυχώς, δεν ήταν εφικτό για εκτύπωση για διάφορους λόγους. Για να ήταν δυνατή η μελέτη του συγκεκριμένου ομοιώματος και η χρήση του αποτελεσματική θα έπρεπε να εκτυπωθεί με πολλαπλά υλικά. Η τεχνική αυτή είναι μια πολύ ακριβή τεχνική καθώς ο τρισδιάστατος εκτυπωτής κατασκευάζει το μοντέλο ταυτόχρονα με την χρήση πολλών υλικών σε αντίθεση με τους κλασικούς εκτυπωτές που σε κάθε εκτύπωση χρησιμοποιούν ένα υλικό.

Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκαν δυο ακόμα ομοιώματα πιο απλοποιημένα. Τα ομοιώματα αυτά ήταν έτσι διαμορφωμένα ώστε να ήταν εφικτή η εκτύπωση με ένα υλικό. Το τελευταίο ομοίωμα ήταν πιο μικρό στο μέγεθος για να είναι και πιο οικονομικό. Το ομοίωμα αυτό εκτυπώθηκε με υλικό PLA, με εσωτερικό πλέγμα, και είχε διαστάσεις 11cm πλάτος, 13cm ύψος και 10cm πάχος.

Επίσης στην εργασία έγινε θεωρητική μελέτη αντίθεσης εικόνας για συμπαγές ομοίωμα PLA πάχους 10cm σε φάσμα ενεργειών 72 keV που προβλέπεται για τα άκρα των ιπποειδών. Εσωτερικά του ομοιώματος υπήρχαν σφαίρες αέρα και η μελέτη έγινε για να εξετάσουμε την αντίθεση που θα είχαμε σε διάφορες αποστάσεις από το κέντρο τους, δηλαδή για τα διαφορετικά πάχη του ομοιώματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο κέντρο των σφαιρών η αντίθεση είναι μεγαλύτερη και σταδιακά μειώνεται όσο πλησιάζουμε στα τοιχώματα τους.

Επιπλέον, γράφτηκε ειδικό εγχειρίδιο χρήσης του ομοιώματος για έλεγχο της ποιότητας της εικόνας ακτινογραφικού όπου εξετάζεται η διακριτική ικανότητα υψηλής αντίθεσης, η διακριτική ικανότητα χαμηλής αντίθεσης και η μεγέθυνση.

Το εκτυπωμένο ομοίωμα στο τέλος καταταφέραμε να ακτινοβοληθεί όμως επειδή δεν ήταν συμπαγές, οι μετρήσεις από την θεωρητική μελέτη διαφέρουν με αποτέλεσμα αυτή η διαβάθμιση της αντίθεσης να μην είναι τόσο αισθητή. Αν το εκτυπωμένο ομοίωμα ήταν συμπαγές οι πειραματικές μετρήσεις θα ήταν πιο κοντά στις θεωρητικές.

Αναφορές - Πηγές

- [1] Μπαλάσκας, Χ. and Μενεγάτος, Ι., 2008. Έγχρωμος Άτλας Ανατομικής Των Παραγωγικών Ζώων. Εκδόσεις Σαββάλας.
- [2] Veterian Key - The Horse. [online] Available at: <<https://veteriankey.com/the-horse/>> [Accessed 3 October 2020].
- [3] McClure, R., 1999. Functional Anatomy Of The Horse Foot. MU Extension, University of Missouri-Columbia.
- [4] Stachurska, A., Kolstrung, R., Pięta, M. and Silmanowicz, P., 2011. Hoof Size As Related To Body Size In The Horse (Equus Caballus).
- [5] Eponashoe - Sizing Chart. [online] Available at: <<https://eponashoe.mybigcommerce.com/eponashoe-pair-as-low-as/>> [Accessed 15 October 2020].
- [6] Randy B. Eggleston, DVM, Diplomate. Value of Quality Foot Radiographs and Their Impact on Practical Farriery
- [7] Monique Craig. The Epona Institute. This originally appeared in TrailBlazer Magazine, 2008. The Value of Measuring the Hoof. Equine Publications - Veterinary and Farrier Journals
- [8] Sherlock, C. and Parks, A., 2013. Radiographic and radiological assessment of laminitis. *Equine Veterinary Education*, 25(10), pp.524-535.
- [9] Veterian Key - Large Animal Radiography. [online] Available at: <<https://veteriankey.com/large-animal-radiography/>> [Accessed 6 October 2020].
- [10] MERCK MANUAL - Veterinary Manual. 2019. Diagnostic Imaging Of Animals - Clinical Pathology And Procedures. [online] Available at: <<https://www.merckvetmanual.com/clinical-pathology-and-procedures/diagnostic-imaging/diagnostic-imaging-of-animals>> [Accessed 13 October 2020].
- [11] Vettimes.co.uk. [online] Available at: <<https://www.vettimes.co.uk/app/uploads/wp-post-to-pdf-enhanced-cache/1/avoiding-radiography-pitfalls-to-obtain-the-perfect-image.pdf>> [Accessed 16 October 2020].
- [12] 2012. Radiation Safety Relating to Veterinary Medicine and Animal Health Technology in California. Sacramento, CA.: California Veterinary Medical Board and Registered Veterinary Technician Committee. Available at: < https://www.vmb.ca.gov/forms_pubs/radguide.pdf > [Accessed 25 October 2020].
- [13] Sesamoid Injuries in Horses: Diagnosis, Treatment, And Prevention – The Horse. [online] Available at: <<https://thehorse.com/13425/sesamoid-injuries-in-horses-diagnosis-treatment-and-prevention/>> [Accessed 3 November 2020].
- [14] Nixon, A., 2019. *Equine fracture repair*. Chapter 17, Fractures of the Middle Phalanx
- [15] Matthew T. Brokken, DVM, The Ohio State University. 2015. Fracture of The Third Metacarpal (Cannon) Bone in Horses - Musculoskeletal System - Veterinary Manual. [online] Available at: <<https://www.msdrvmanual.com/musculoskeletal-system/lameness-in-horses/fracture-of-the-third-metacarpal-cannon-bone-in-horses?query=injuries%20and%20fractures%20equine>> [Accessed 5 November 2020].

- [16] Pedal Bone Fracture | Equimed - Horse Health Matters. [online] Available at: <<https://equimed.com/diseases-and-conditions/reference/pedal-bone-fracture>> [Accessed 4 November 2020].
- [17] Fracture of Distal Phalanx in Horses - Musculoskeletal System - Veterinary Manual. [online] Available at: <<https://www.msdtvetmanual.com/musculoskeletal-system/lameness-in-horses/fracture-of-distal-phalanx-in-horses?query=leg%20injuries%20and%20fractures%20equine>> [Accessed 5 November 2020].
- [18] Chandra.harvard.edu. Chandra: Resources: Glossary: Electromagnetic Radiation & Electromagnetic Spectrum. [online] Available at: <https://chandra.harvard.edu/resources/em_radiation.html> [Accessed 17 February 2021].
- [19] Eclass.uoa.gr. [online] Available at: <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED1114/Διαλέξεις%20ακαδημαϊκού%20έτους%202019-2020/Διαλέξεις%20Π.%20Παπαγιάννη/Διάλεξη_4.pdf> [Accessed 19 February 2021].
- [20] Users.uoi.gr. 2013. [online] Available at: <http://users.uoi.gr/danagno/TXY/EX_08_2013.pdf> [Accessed 25 February 2021].
- [21] Eclass.duth.gr. 2021. [online] Available at: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMA489/Βιοϊατρική_Μάθημα3.pdf> [Accessed 22 February 2021].
- [22] Eclass.upatras.gr. Φυσική Της Ακτινοδιαγνωστικής Σημειώσεις. [online] Available at: <<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/PHY1916/Φυσική%20της%20Ακτινοδιαγνωστικής%20%28Σημειώσεις%29.pdf>> [Accessed 24 October 2020].
- [23] Κανδαράκης Ι. Ιατρική Φυσική-Βιοϊατρική Τεχνολογία: Ακτινοδιαγνωστική. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις "Αράκυνθος", έκδοση 2008, σελίδες 352, ISBN: 978-960-89768-1-8.
- [24] Medisp.bme.uniwa.gr. 2017. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ. [online] Available at: <<https://medisp.bme.uniwa.gr/eclass/modules/document/file.php/ΤΙΟ230/Επιστήμη%20της%20Εικόνας%20-%20Ιατρική%20Απεικόνιση%20α.%20Μέρος-09.2017-i.pdf>> [Accessed 25 October 2020].
- [25] Minxray | Portable X-Ray and Digital Veterinary Radiography. [online] Available at: <<https://www.minxray.com/equine>> [Accessed 17 October 2020].
- [26] Mobile Veterinary X-Ray Shinova Vet. [online] Available at: <<http://www.shinovavet.com/product/detailp/50mA-HF-Mobile-X-ray-MX101>> [Accessed 17 October 2020].
- [27] Cxmed.com. Equine DR System - Control-X Medical. [online] Available at: <<https://cxmed.com/equine-dr.html>> [Accessed 17 October 2020].
- [28] En.wikipedia.org. Imaging Phantom. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging_phantom> [Accessed 10 November 2020].
- [29] Καλύβας Ν. Σημειώσεις μαθήματος Επιστήμης Δημιουργίας Εικόνας 2020. Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

- [30] Bieniosek, M., Lee, B. and Levin, C., 2015. Technical Note: Characterization of custom 3D printed multimodality imaging phantoms. *Medical Physics*, 42(10), pp.5913-5918.
- [31] Αναγνώστου Ηλίας, (2021) " ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ", Τμήμα Μηχανικών Βιοιατρικής, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Νεκτάριος Καλύβας
- [32] Παντελής, Ε., 2020. ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ. [online] Eclass.uoa.gr. Available at:
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED808/Ευάγγελος%20Παντελής/Κεφάλαιο_6_Ακτινογραφία.pdf> [Accessed 4 April 2021].
- [33] Veterian Key - The Radiograph. [online] Available at: <<https://veteriankey.com/the-radiograph/>> [Accessed 2 November 2020].
- [34] Radiology Key - Image Quality. [online] Available at: <<https://radiologykey.com/image-quality/>> [Accessed 6 November 2020].
- [35] En.wikipedia.org. 3D Printing. [online] Available at:
<https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing> [Accessed 25 November 2020].
- [36] ISO/ASTM 52900:2015. [online] Available at: <<https://www.iso.org/standard/69669.html>> [Accessed 25 November 2020].
- [37] Lboro.ac.uk - VAT Photopolymerisation | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at:
<<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/>> [Accessed 1 December 2020].
- [38] Lboro.ac.uk - Material Jetting | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at:
<<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialjetting/>> [Accessed 1 December 2020].
- [39] Lboro.ac.uk - Powder Bed Fusion | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at:
<<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/>> [Accessed 1 December 2020].
- [40] Lboro.ac.uk - Powder Bed Fusion | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at:
<<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/>> [Accessed 1 December 2020].
- [41] Anima.gr - 3D Printer Μετάλλου | Anima - The 3D Printer Experts. [online] Available at:
<<https://www.anima.gr/metal-3d-printing>> [Accessed 2 December 2020].
- [42] Lboro.ac.uk. - Material Extrusion | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at:
<<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/>> [Accessed 1 December 2020].
- [43] Anima.gr. 3D Printer Πλαστικού. [online] Available at:
<<https://www.anima.gr/πλαστικού>> [Accessed 14 May 2021].

- [44] Lboro.ac.uk - Directed Energy Deposition | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at: <<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/>> [Accessed 1 December 2020].
- [45] Lboro.ac.uk - Sheet Lamination | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at: <<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>> [Accessed 1 December 2020].
- [46] Lboro.ac.uk - Directed Energy Deposition | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at: <<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/>> [Accessed 1 December 2020].
- [47] Sourceforge.net - Best Free 3D Printing Software -Reviews & Comparison. [online] Available at: <<https://sourceforge.net/software/3d-printing/free-version/>> [Accessed 6 December 2020].
- [48] Bitfab - The Best 3D Design And 3D Printing Software - Bitfab. [online] Available at: <<https://bitfab.io/blog/3d-printing-design-software/>> [Accessed 6 December 2020].
- [49] Gigante, M., 2019. 8 Best Free 3D Printing Software To Try In 2019. [online] Learn.g2.com. Available at: <<https://learn.g2.com/free-3d-printing-software>> [Accessed 6 December 2020].
- [50] Tinkercad | From mind to design in minutes. [online] Available at: <<https://www.tinkercad.com>> [Accessed 12 March 2021].
- [51] Libguides.uthscsa.edu. 2021. LibGuides: Introduction to 3D Modeling & Design: Workplane & Menus. [online] Available at: <<https://libguides.uthscsa.edu/c.php?g=832157&p=7340599>> [Accessed 11 May 2021].
- [52] Κατσιγιάννης Ανδρέας, (2019) "Σύγκριση Ομοιωμάτων Χαμηλής Αντίθεσης", Τμήμα Μηχανικών Βιοιατρικής, Διπλωματική Εργασία, Επιβλέπων Νεκτάριος Καλύβας
- [53] Dolly, S. TASMIP Spectra Calculator - Calculate X-ray Imaging Spectra. [online] Solutioinsilico.com. Available at: <<http://solutioinsilico.com/medicalphysics/applications/tasmip-app.php?ans=0>> [Accessed 19 April 2021].
- [54] IMV imaging - Equine exposure chart | IMV imaging. [online] Available at: <<https://www.imv-imaging.co.uk/veterinary-learning/equine-learning/general-imaging-techniques/equine-exposure-chart/>> [Accessed 26 April 2021].
- [55] Eeae.gr. [online] Available at: <<https://eeae.gr/files/KO/KA-EEAE-KO-112019-03.pdf>> [Accessed 9 June 2021].
- [56] CSP Medical. *FLUKE X-Ray Test Patterns*. [online] Available at: <<https://cspmedical.com/fluke-x-ray-test-patterns/>> [Accessed 24 May 2021].

Αναφορές εικόνων

Εικόνα 1.1: Pinterest. 2021. *Pin on VET*. [online] Available at:
<<https://www.pinterest.com/pin/internal-breakover--397794579563959503/?d=t&mt=login>>

Εικόνα 1.2. Vet in Emerald - Gray Street Veterinary Clinic. 2021. *Normal Anatomy of the Lower Limb - Vet in Emerald - Gray Street Veterinary Clinic*. [online] Available at:
<<https://www.emeraldvet.com/laminitis-not-just-a-risk-for-fat-ponies/hoof/>>

Εικόνα 1.3. *EponaShoe (Pair) as low as*. [online] *EponaShoe*. Available at:
<<https://eponashoe.mybigcommerce.com/eponashoe-pair-as-low-as/>>

Εικόνα 2.1. Tracy Gantz. Sesamoid Injuries in Horses: Diagnosis, Treatment, And Prevention – The Horse. [online] Available at: <<https://thehorse.com/13425/sesamoid-injuries-in-horses-diagnosis-treatment-and-prevention/>>

Εικόνα 2.2. Elizabeth A. Riedesel. *The Equine Phalanges*. [online] *Veterian Key*. Available at:
<<https://veteriankey.com/the-equine-phalanges/>>

Εικόνα 2.3. James K. Belknap. *Veterinary Manual*. 2021. *Fracture of Navicular Bone in Horses - Musculoskeletal System - Veterinary Manual*. [online] Available at:
<<https://www.msdrvmanual.com/musculoskeletal-system/lameness-in-horses/fracture-of-navicular-bone-in-horses>>

Εικόνα 2.4. Matthew T. Brokken, DVM, The Ohio State University. 2015. *Fracture of The Third Metacarpal (Cannon) Bone in Horses - Musculoskeletal System - Veterinary Manual*. [online] Available at: <https://www.msdrvmanual.com/musculoskeletal-system/lameness-in-horses/fracture-of-the-third-metacarpal-cannon-bone-in-horses?query=injuries%20and%20fractures%20equine>

Εικόνα 2.5. Horse Side Vet Guide. 2021. *Radiograph, Foot or Hoof, Coffin Bone (P3) Fracture in Foal*. [online] Available at: <<https://horsesidevetguide.com/drv/Media/949/radiograph-foot-or-hoof-coffin-bone-p3-fracture-in-foal/>>

Εικόνα 3.1. Ebooks.edu.gr. 3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΥΚΟΥ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΑ. [online] Available at:
<http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2682/Fysiki_B-Lykeiou-GP_html-empl/index3_4.html>

Εικόνα 3.2. Or-technology.com. *Digital X-ray | Acquisition and diagnostic software VET*. [online] Available at: <<https://www.or-technology.com/en/products/vet/dicompacs-dx-r-acquisition-and-diagnostic-software.html>>

Εικόνα 3.3 – 3.5 : Minxray | Portable X-Ray and Digital Veterinary Radiography. [online] Available at: < <https://www.minxray.com/equine>

Εικόνα 3.6: Mobile Veterinary X-Ray Shinova Vet. [online] Available at:
<<http://www.shinovavet.com/product/detailp/50mA-HF-Mobile-X-ray-MX101>>

Εικόνα 3.7- 3.8. Cxmed.com. *Equine DR System - Control-X Medical*. [online] Available at:
<<https://cxmed.com/equine-dr.html>>

Εικόνες 3.9-3.11:

- Veterian Key - Large Animal Radiography. [online] Available at: <<https://veteriankey.com/large-animal-radiography/>>
- TOMAHAWK Portable Cassette / CR- Plate Holder/ Positioner Digital Image [online] Available at: <<http://www.pnwx.com/Accessories/Cassettes/Holders/Veterinary/>>
- Dr. Julia Hecking, C., 2021. *Osphos And Tildren Are Now FDA Approved And Available In The U.S. – BREC*. [online] Blueridgeequine.com. Available at: <<https://www.blueridgeequine.com/tildren-and-osphos-are-now-fda-approved-and-available-in-the-u-s/>>

Παράρτημα 1: Πίνακας αντιστοίχισης ελληνικής - αγγλικής ορολογίας της ανατομίας του άκρου του ιπποειδούς

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	ΑΓΓΛΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ
Κύριο μετακάρπιο οστό (πρόσθιο άκρο)	Canon bone
Κύριο μετατάρσιο οστό (οπίσθιο άκρο)	Canon bone
Πλάγιο μετακάρπιο οστό (πρόσθιο άκρο)	Split bone
Πλάγιο μετατάρσιο οστό (οπίσθιο άκρο)	Split bone
1η φάλαγγα	Proximal phalanx – Long pastern
2η φάλαγγα	Distal phalanx
3η φάλαγγα	Middle phalanx – Pedal bone
Άρθρωση του κυνήποδα	Fetlock joint
Άνω μεσοφαλαγγική άρθρωση	Pastern joint
Κάτω μεσοφαλαγγική άρθρωση	Coffin joint
Σησαμοειδή οστά	Proximal sesamoids
Ελάσσον σησαμοειδές οστό - Οσφυϊκό οστό	Distal sesamoid bone - Navicular bone
καρπό (carpus)	
Ο τένοντας του εν τω βάθει καμπτήρα των φαλάγγων μυός	Deep digital flexor tendon
Ο τένοντας του πρόσθιου εκτείνοντα τις φάλαγγες μυός	Superficial digital flexor
Ο τένοντας του κοινού εκτείνοντα τις φάλαγγες μυός	Common digital extensor tendon
Ο τένοντας του επιπολής καμπτήρα των φαλάγγων μυός	Lateral digital extensor tendon
Τοίχωμα της σπλής	Wall
Σώμα του πέλματος	Sole
Χελιδόνα	Frog

Παράρτημα 2: Πίνακας δεδομένων γραφικής παράστασης φάσματος ενέργειας 72keV

Ενέργεια (keV)	Spectra (photons/mm ²)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	1,19E-10
11	8,39E-09
12	1,51E-07
13	2,05E-06
14	1,30E-05
15	6,86E-05
16	0,000224
17	0,000666
18	0,001497
19	0,002569
20	0,004102
21	0,005923
22	0,008206
23	0,010631
24	0,013422
25	0,016147
26	0,018919
27	0,021492
28	0,024104
29	0,02592
30	0,027703
31	0,028796
32	0,02992
33	0,030631
34	0,031263
35	0,031611
36	0,031793
37	0,031806

38	0,031717
39	0,031425
40	0,031024
41	0,030475
42	0,029921
43	0,028857
44	0,027789
45	0,02719
46	0,026529
47	0,025498
48	0,02444
49	0,023629
50	0,02276
51	0,021723
52	0,020578
53	0,019562
54	0,01851
55	0,017365
56	0,016218
57	0,015306
58	0,014485
59	0,013772
60	0,013001
61	0,011734
62	0,010228
63	0,009242
64	0,008214
65	0,007315
66	0,006291
67	0,005332
68	0,00441
69	0,003772
70	0,00257
71	0,001689