



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Οδοντιατρική ακτινογράφιση: κατασκευή ομοιώματος και πειραματική διερεύνηση απεικονιστικών χαρακτηριστικών



Φοιτητής: Καλάκος Μιχαήλ
ΑΜ: 17027

Επιβλέπων/ουσα Καθηγητής/τρια

Λιαπαρίνος Παναγιώτης
Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

Diploma Thesis

Dental X-ray: phantom construction and experimental investigation of imaging features



Student: Kalakos Michail
Registration Number: 17027

Supervisor

Liaparinos Panagiotis
Associate Professor

ATHENS-EGALEO, July 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Λιαπαρίνος Παναγιώτης, Αναπληρωτής καθηγητής	Φούντος Γεώργιος, Καθηγητής	Καλύβας Νεκτάριος, Αναπληρωτής καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Όνοματεπώνυμο Φοιτητή/ήτριας),
Μήνας, Έτος**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η υπογράφων/ουσα ΚΑΛΑΚΟΣ ΜΙΧΑΗΛ του ΙΩΑΝΝΗ, με αριθμό μητρώου 48017027 φοιτητής/τρια του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και 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 διπλώματός μου».

Ημερομηνία

27/8/2022

Ο/Η Δηλών/ούσα



Αφιερώσεις

Αυτή την εργασία την αφιερώνω στην οικογένεια μου, στους φίλους μου και σε όλους τους καθηγητές, όπου πίστεψαν σε μένα και με έκαναν να έχω τις κατάλληλες βάσεις για να μπορέσω να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις...

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Διαπαρίνο ως τον επιβλέπων καθηγητή της εργασία, αλλά και τους καθηγητές κ. Γεωργό Φούντο και κ. Νεκτάριο Καλύβα για την τεράστια συμβολή και βοήθεια για την κατασκευή του ομοιώματος και την χρήση του ψηφιακού ανιχνευτή. Επίσης σημαντική βοήθεια πήραμε από τον οδοντίατρο κ. Γεώργιο Φασουλα που μας χορήγησε τα δόντια με παθολογικό και ανατομικό χαρακτηρισμό, αλλά και την Αναστασία Φούντου τελειόφοιτη οδοντιατρικής σχολής Αθηνών όπου βοήθησε στην δημιουργία του ομοιώματος.

Περίληψη

Ιστορικό: Η οδοντική απεικόνιση με ακτίνες X θεωρείται ζωτικής σημασίας λόγω της μοναδικής ικανότητας απεικόνισης παθολογικών ανωμαλιών των δοντιών. Σε αυτή τη μελέτη, αναπτύχθηκε ένα πρωτοποριακό ομοίωμα που αντιπροσωπεύει ρεαλιστικά τις σιαγόνες των δοντιών με σκοπό τη διερεύνηση της ποιότητας εικόνας ακτίνων X υπό διάφορες συνθήκες ακτινοβολίας.

Υλικά και Μέθοδοι: Αυτό το ομοίωμα κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας: (i) θηλυκά καλούπια σιλικόνης για τη δημιουργία σχήματος των γνάθων (ii) ρητίνη που προσομοιώνει τη σκλήρυνση της δέσμης ακτίνων X λόγω της εξασθένησης των μαλακών ιστών και (iii) τα φυσικά πρόσθια και οπίσθια δόντια κάτω γνάθου και άνω γνάθου. Για την υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα υλικά: (α) σιλικόνη δυο συστατικών (βάση και καταλύτης), (β) σιδερένιες φόρμες που χρησίμευαν για τη λήψη και των δύο αποτυπωμάτων της σιαγόνας (πάνω και κάτω) και (γ) και πλαστελίνη που βοήθησαν στην την ενσωμάτωση των δοντιών μέσα στη ρητίνη. Μια ποικιλία δοντιών παρασχέθηκε από την Οδοντιατρική Κλινική μετά τον χαρακτηρισμό τους ως προς την ανατομία και τα αντίστοιχα παθολογικά χαρακτηριστικά τους (τερηδόνα, κατάγματα, σφραγίσματα, σφραγίσματα ριζικού σωλήνα κ.λπ.).

Αποτελέσματα: Το ομοίωμα ακτινοβολήθηκε υπό διάφορες συνθήκες ακτίνων X (τάση ακτίνων X: 60-70 kVp, ρεύμα: 4-8 mA) και η λήψη ιατρικών εικόνων βρέθηκε υψηλής ποιότητας. Συγκεκριμένα, η αντίθεση εικόνας βρέθηκε βελτιωμένη σε υψηλότερες τιμές τάσης ακτίνων X.

Συμπέρασμα: Το παρόν ομοίωμα μπορεί να αναδείξει τις βέλτιστες συνθήκες ακτινοβολίας πολλών οδοντικών ανωμαλιών. Ως μελλοντική αναβάθμιση του ομοιώματος θα είναι: (i) η εξέταση της προσθήκης υδροξυαπατίτη για τη συμμετοχή και της ρεαλιστικής προσέγγισης του κυψελιδικού οστού (δηλαδή, το κράτημα των δοντιών) και (ii) η τυποποίηση των συνθηκών ακτινοβολίας και η εύρεση της βελτιστοποιημένης ακτινοβολίας set-up (βελτιωμένη ποιότητα εικόνας συνοδευόμενη από χαμηλή δόση ασθενούς). Προηγμένες μέθοδοι ακτίνων X, όπως τεχνικές διπλής ενέργειας, θα εξεταστούν επίσης για τη βελτίωση της εικόνας (π.χ. σε περίπτωση ραγίσματος των δοντιών).

Λέξεις – κλειδιά

Ομοίωμα, Ρητίνη εποξειδίου, Δόντια, Οδοντική ακτινογράφιση, Ποιότητα εικόνας .

Abstract

Background: Dental X-ray imaging is considered of crucial importance due to the unique capability to show teeth pathological abnormalities. In this study, a novel phantom was developed representing realistic teeth jaws with purpose to investigate X-ray image quality under several irradiation conditions.

Materials and Methods: This phantom was constructed by using: (i) female silicone molds for the shape creation of the jaws, and (ii) resin which simulates the X-ray beam hardening due to soft tissue attenuation and (iii) natural anterior and posterior teeth of mandible and maxilla. For the implementation the following components were used: (a) two silicone modules (base and catalyst), (b) iron molds that served to obtain of the both jaw imprints (the upper and lower) and (c) and plasticine which helped for the teeth integration within the resin. A variety of teeth were provided by Dental Clinic after their characterization in terms of their anatomy and corresponding pathological features (caries, fractures, fillings, root canal fillings etc).

Results: The phantom was irradiated under various X-ray conditions (X-ray voltage: 60-70 kVp, Current: 4-8 mA) and the acquisition of medical images were found to be of high quality. In particular, image contrast was found improved at higher X-ray voltage values.

Conclusion: The present phantom can enlighten the optimal irradiating conditions of several dental abnormalities. Future prospective deals with: (i) the examination of the hydroxyapatite addition for involving also the realistic approach of the alveolar bone (i.e., the holding of the teeth) and (ii) the standardization of the irradiating conditions and the finding of the optimized irradiating set-up (improved image quality accompanied with low patient dose). Advanced X-ray methods, such as dual energy techniques, will be also examined for image enhancing (e.g., in case of teeth cracking).

Keywords

Phantom, Epoxy Resin, Teeth, Dental X-ray, Image quality .

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Πινάκων.....	11
Κατάλογος Εξισώσεων.....	12
Κατάλογος Εικόνων	13
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	16
Σκοπός και στόχοι	16
Καινοτομία	17
Δομή	17
1 1^ο ΜΕΡΟΣ : Θεωρητικό μέρος.....	18
1.1 Ανατομία στοματικής κοιλότητας.....	19
1.1.1 Χείλη	20
1.1.2 Ούλα	21
1.1.3 Δόντια	21
1.1.4 Τύποι μόνιμων οδοντών.....	22
1.2 Κλινικά προβλήματα.....	24
1.2.1 Τερηδόνα	25
1.2.2 Ραγίσματα.....	26
1.2.3 Αιτίες ραγισμάτων	26
1.2.4 Η διάγνωση του ραγίσματος	27
1.3 Οδοντιατρικό ακτινογραφικό.....	28
1.3.1 Κεφαλή οδοντιατρικού ακτινολογικού.....	29
1.3.2 Ηλεκτρολογικά τμήματα.....	30
1.3.3 Χειριστήριο	31
1.4 Τεχνικές λήψης ακτινογραφίας	32
1.4.1 Τεχνική της διχοτόμου.....	33
1.4.2 Παράλληλος τεχνική.....	34
1.4.3 Σύγκριση των δύο τεχνικών.....	35
1.4.4 Ρυθμίσεις λήψης Οδοντιατρικής Ακτινογραφίας.....	35
1.5 Ρητίνη Εποξειδίου	37
1.5.1 Είδη ρητίνης εποξειδίου	38
1.5.2 Σκλήρυνση - Σκληρυντικά	39
2 2^ο ΜΕΡΟΣ: Πειραματική διαδικασία	42
2.1 Μέθοδοι και υλικά.....	43
2.1.1 Δόντια	43
2.1.2 Γενική σύνοψη δημιουργίας ομοιώματος.....	45
2.1.3 Θηλυκά καλούπια.....	46
2.1.4 Δημιουργία Ρητίνης.....	47
2.1.5 Δημιουργία ομοιώματος	49
2.1.6 Ανιχνευτής CDR version 4,5	51
2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
2.2.1 Πειραματική διάταξη.....	56
2.2.2 Πρώτο σετ ακτινοβολήσης	57
2.2.3 Δεύτερο σετ ακτινοβολήσης.....	60
2.2.4 Τρίτο σετ ακτινοβολήσης.....	63
2.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	66
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	73

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Πρότυπες ρυθμίσεις λειτουργίας οδοντιατρικής λυχνίας.	35
Πίνακας 2: Πρότυπες ρυθμίσεις λειτουργίας λυχνίας εταιριών, και χαρακτηριστικά.	36
Πίνακας 3: Ανατομικός και Παθολογικός χαρακτηρισμός δοντιών Άνω γνάθου.....	44
Πίνακας 4: Ανατομικός και παθολογικός χαρακτηρισμός δοντιών Κάτω Γνάθου.	44
Πίνακας 5 : Ακτινογραφίες πρώτου σετ ρυθμίσεων	57
Πίνακας 6: Μετρήσεις μέσω λογισμικού imageJ, ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών.....	58
Πίνακας 7:υπολογισμός τυπικής απόκλισης σε ομογενή περιοχή για το πρώτο σετ μετρήσεων.....	59
Πίνακας 8: Ακτινογραφίες δεύτερου σετ ρυθμίσεων.....	60
Πίνακας 9: Μετρήσεις μέσω λογισμικού imageJ, ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών.....	61
Πίνακας 10: Υπολογισμός τυπικής απόκλισης σε ομογενή περιοχή για το δεύτερο σετ μετρήσεων. ..	62
Πίνακας 11: Ακτινογραφίες τρίτου σετ ρυθμίσεων	63
Πίνακας 12: Μετρήσεις μέσω λογισμικού imageJ, ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών.....	64
Πίνακας 13: Υπολογισμός τυπικής απόκλισης σε ομογενή περιοχή για το δεύτερο σετ μετρήσεων. ..	65

Κατάλογος Εξισώσεων

Εξίσωση 1: Γραμμική εξίσωση απόδοσης για 60 kVp	52
Εξίσωση 2: Γραμμική εξίσωση απόδοσης για 70 kVp	52
Εξίσωση 3: Γενικός τύπος για υπολογισμό DQE.....	53
Εξίσωση 4: Εξίσωση για πειραματικό υπολογισμό DQE	53

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Στοματική κοιλότητα.....	20
Εικόνα 2: Όυλα και Δόντια.....	21
Εικόνα 3: Ανατομική εικόνα Άνω και Κάτω γνάθου.....	22
Εικόνα 4: Ανατομική εικόνα Δοντιού.....	22
Εικόνα 5: Τύποι μόνιμων δοντιών.....	23
Εικόνα 6: Τερηδόνα σε προχωρημένο στάδιο.....	25
Εικόνα 7: Περιπτώσεις ραγισμένων δοντιών.....	26
Εικόνα 8: Οδοντιατρική λυχνία ακτίνων Χ.....	29
Εικόνα 9: Εικόνα ηλεκτρολογικού κυκλώματος. Αύξησης Τάσεως και μείωση ρεύματος,.....	30
Εικόνα 10: χειριστήριο και βραχίονας οδοντιατρικού ακτινολογικού.....	31
Εικόνα 11: Γεωμετρική αποτύπωση της τεχνικής της διχοτόμου.....	34
Εικόνα 12: Γεωμετρική απεικόνιση της παραλλήλου τεχνικής.....	35
Εικόνα 13: Τα δόντια του ομοιώματος.....	43
Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής δημιουργίας ομοιώματος.....	46
Εικόνα 15: α) Το μπλε μπουκάλι είναι η βάση της σιλικόνης , β) το λευκό μπουκάλι είναι ο καταλύτης για την δημιουργία της σιλικόνης.....	47
Εικόνα 16: : Πλαστελίνη και οι φόρμες που χρησιμοποιούν για την λήψη αποτυπώματος της άνω και κάτω γνάθου για την κατασκευή του εκμαγείου.....	47
Εικόνα 17: Τελικό αποτέλεσμα δυο θηλυκών καλουπιών από σιλικόνη.....	47
Εικόνα 18: WWB4 EPOXY HARDENER.....	48
Εικόνα 19: :WVA EPOXY RESIN.....	48
Εικόνα 20: Το καλούπι σιλικόνης με την ρητίνη, που είναι μέσα στον φούρνο κενού.(Φαίνονται οι φυσαλίδες που σκάνε).....	48
Εικόνα 21: Φόρμες δημιουργίας αποτυπώματος Άνω-Κάτω γνάθου, με πλαστελίνη στο εσωτερικό τους, και τα δόντια τοποθετημένα με την μύλη εμφυτευμένη στο εσωτερικό της πλαστελίνης έτσι ώστε να εξέχουν μόνο οι ρίζες τους.....	49
Εικόνα 22: Τοποθέτηση των φορμών με τα δόντια πάνω από τα καλούπια με την ρητίνη.....	49
Εικόνα 23: Τελικό αποτέλεσμα Ομοιωμάτων Άνω - Κάτω γνάθου.....	50
Εικόνα 24: Ανιχνευτής CDR version 4,5.....	51
Εικόνα 25: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ MPV-ESAK.....	52

Εικόνα 26: Διάγραμμα DQE για ενέργειες 60 kVp και 70 kVp	53
Εικόνα 27: Διαγράμματα DQE για ενέργειες 60 kVp και 70 kVp, με διάφορες τιμές ESAK.....	54
Εικόνα 28: Ιστογράμματα πρώτου σετ μετρήσεων	58
Εικόνα 29: Ιστογράμματα δεύτερου σετ μετρήσεων	61
Εικόνα 30 : Ιστογράμματα δεύτερου σετ μετρήσεων	64
Εικόνα 31: Τα εύρη των αποχρώσεων του γκρι στα πειραματικά σετ μετρήσεων	67
Εικόνα 32: Εύρη αποχρώσεων του γκρι και μέση τιμή (1 ^ο σετ μετρήσεων).....	68
Εικόνα 33: Ακτινογραφία με: 70kV & 4mAs	69
Εικόνα 34: Εύρη αποχρώσεων του γκρι και μέση τιμή (2 ^ο σετ μετρήσεων).....	70
Εικόνα 35: Ακτινογραφία με: 60kV & 6,3mAs	70
Εικόνα 36: Εύρη αποχρώσεων του γκρι και μέση τιμή (3 ^ο σετ μετρήσεων).....	71

Αλφαβητικό Ευρετήριο

MPV: Mean Pixel Value.

ESAK: Entrance Surface Air Kerma.

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor.

DQE: Detective Quantum Efficiency.

MTF: Modulation Transfer Function.

NNPS: Normalized Noise Power Spectrum.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτήν την διπλωματική θα προσπαθήσουμε να μελετήσουμε την ανθρώπινη στοματική κοιλότητα καθώς και τους τρόπος τους οποίους μπορεί να απεικονιστεί μέσω ακτινογραφίας. Η οδοντική ακτινογραφία είναι από τις πιο διαδεδομένες και πιο συχνά εκτελούμενη ιατρική απεικόνιση. Η στοματική κοιλότητα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα παθολογιών το οποίο αποτελείται από ασθένειες και τραυματισμούς σε δόντια, στα ούλα ή στα οστά της γνάθου, αλλά και τις σχετικές δομές όπως οι σιελογόνοι αδένες και η κροταφογναθική άρθρωση. Πλέον η οδοντιατρική έχει γίνει ένα εξαιρετικά εξειδικευμένο επάγγελμα, όπου πολλές φορές χρειάζεται μια διεπιστημονική ομάδα από γενικούς ιατρούς, ορθοδοντικούς, περιοδοντολόγους, προσθετικούς, ενδοδοντολόγους, στοματοχειρουργούς και γναθοχειρουργούς, παιδοδοντίατρος.

Η ιστορία της ακτινογραφίας των δοντιών ξεκινάει μαζί με την ανακάλυψη της λυχνίας ακτίνων X από το Γερμανό φυσικό Rontgen, για αυτόν τον λόγο υπάρχει αυτή η υψηλή διαγνωστική αποτελεσματικότητα των οδοντικών ακτινογραφιών. Ο Wilhelm Röntgen το 1895, έκανε λόγο για μια καινούργια μορφή φωτός το οποίο δεν ήταν ορατό με το ανθρώπινο μάτι και μπορούσε να διαπεράσει υλικά, όπως και το ανθρώπινο σώμα. Λίγες μέρες μετά την αναφορά του Rontgen για την ύπαρξη αυτού του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, μαζί με τις πρώτες ακτινογραφίες ανθρώπινων χεριών ακολούθησε και η ακτινογραφία δοντιών. Βέβαια η πρώτη καταγεγραμμένη οδοντική ακτινογραφία δεν θεωρήθηκε ότι θα μπορούσε να είχε διαγνωστική αξία ως εικόνα και απαιτούσε τεράστιο χρόνο έκθεσης περίπου 25 λεπτών. Σαφώς για να βελτιωθεί αυτή η εικόνα και να μπορέσουν να έχουν και διαγνωστικό όφελος χρειάστηκαν μερικές μόνο εβδομάδες. Μετά από την επιστημονική επανάσταση και την υπερδιαφήμιστική εκστρατεία της ιατρικής εφαρμογής των ακτίνων X, χρειάστηκαν αρκετά χρόνια μέχρι η ακτινογραφία να γίνει αναπόσπαστο μέρος της οδοντιατρικής πρακτικής. Αφού όμως παγιώθηκε αυτή η μέθοδος και είδανε τα ενδεχόμενα οφέλη που μπορούσαν να έχουν, έγιναν γρήγορες βελτιώσεις σε κάθε πτυχή της ακτινογραφικής απεικόνισης και αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων πρακτικών ή διαγνωστικών προκλήσεων στην οδοντιατρική.

Ο Γερμανός οδοντίατρος Otto Walkhoff, δύο εβδομάδες μετά τη δημοσίευση της ανακάλυψης του Röntgen, απέκτησε μια ακτινογραφία με τα δικά του δόντια με τη βοήθεια του Fritz Giesel. Χρησιμοποιήθηκε χρόνος έκθεσης 25 λεπτών. Οι μετέπειτα προσπάθειες έδειξαν βελτίωση της ποιότητας της διαγνωστικής εικόνας. Το 1896, οι Walkhoff και Giesel ίδρυσαν το πρώτο οδοντιατρικό εργαστήριο ακτίνων X στον κόσμο. Αργότερα, ο Walkhoff παρήγαγε επίσης εξωστοματικές ακτινογραφίες. Ένας Άγγλος οδοντίατρος ονόματι Φρανκ Χάρισον πειραματίστηκε με την οδοντική ακτινογραφία στις αρχές του 1896 και παρουσίασε τα ευρήματά του στην Ετήσια Γενική Συνέλευση του Midland Branch της Βρετανικής Οδοντιατρικής Ένωσης στις 26 Ιουνίου 26, 1896. Ανέφερε ιδιαίτερα τη δυνατότητα εφαρμογής της οδοντικής ακτινογραφίας για ενδοδοντική θεραπεία και προβλήματα εξανθημάτων. Στο Physical Society του Frankfort, τον Μάρτιο του 1896, ο König δημοσίευσε μια επισκόπηση του έργου του, που περιείχε ακτινογραφίες των πρόσθιων δοντιών της άνω και κάτω γνάθου. Η προσαρμογή του σωλήνα Crookes-Hittorf από τον König, που περιείχε έναν γωνιακό δίσκο πλατίνας, επέτρεψε τον χρόνο έκθεσης να μειωθεί σημαντικά.

Στην Αμερική ο οδοντίατρος C. Edmund Kells , ήταν ενημερωμένος για την ανακάλυψη του Röntgen στις 6 Ιανουαρίου 1896, παρακολουθώντας μια πρωτοποριακή παρουσίαση για την ανακάλυψη του Röntgen από τον φυσικός Brown Ayres, στο Πανεπιστήμιο Tulane. Ο Kells ενθουσιασμένος από αυτά που άκουσε ανέλαβε αμέσως δράση για τη διερεύνηση της πιθανής χρήσης των ακτίνων X στην οδοντιατρική, προμηθεύοντας εξοπλισμό για τη δημιουργία ακτίνων X με τη βοήθεια του Ayres και τη λήψη ενδοστοματικής ακτινογραφίας ενός ζωντανού υποκειμένου (δηλ. βοηθός οδοντιάτρου). Αργότερα, χρησιμοποίησε μια θήκη φιλμ που ανέπτυξε ο ίδιος και το τοποθέτησε εντός του στόματος και εκθέτοντας το για 15 λεπτά. Επιπλέον, για να σταθεροποιηθεί το κεφάλι, τοποθετήθηκε μια λεπτή σανίδα μεταξύ της λυχνίας και του προσώπου, που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μία από τις πρώτες χρήσεις του φιλτραρίσματος των ακτίνων X. Ο Kells άρχισε να επιδεικνύει την τεχνική που είχε δημιουργήσει, σε πρόθυμο κοινό, στην οποία ανήκε και η πρώτη κλινική στην οποία έγινε η οδοντιατρική ακτινογραφία σε ασθενή. Δίνοντας έμφαση στην ανάγκη για παράλληλη τοποθέτηση φιλμ καθώς και για ελάχιστη απόσταση αντικειμένου-φιλμ μπορεί να θεωρηθεί ως ο πρώτος πρωτοπόρος της παραλλήλου τεχνικής που περιγράφεται αρκετά χρόνια αργότερα από τους Price και McCormick. Υποστήριξε επίσης τη χρήση των κατόχων για σωστή τοποθέτηση φιλμ και σχεδίασε μια βάση μεμβράνης με βάση το αλουμίνιο/καουτσούκ.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική αυτή θα προσπαθήσει να δημιουργήσει ένα ομοίωμα άνω και κάτω γνάθου το οποίο θα προσομοιάζει της ανθρώπινες ιδιότητες κατά την ακτινοβολία. Είναι ένα πρωτοποριακό εγχείρημα που δεν έχει δημιουργηθεί ξανά κάτι αντίστοιχο για ομοίωμα ακτινοβολίας. Μέσα από αυτή την κατασκευή θα μπορέσουν να δοκιμαστούν καινούργιες διαγνωστικές τεχνικές, προ κλινικά ώστε να έχουν ένα πρώτο πόρισμα με αρκετά κοντινή απόσταση μεταξύ των μετρήσεων. Αφού τα ομοιώματα θα είναι δημιουργημένα από κατάλληλη ρητίνη με μελλοντική προσθήκη υδροξυαπατιτη για την καλύτερη εξομοίωση του συντελεστή εξασθένηση του κροταφογναθικού οστού. Επίσης η εργασία θα προσπαθήσει να εξάγει και ποιοτικά χαρακτηριστικά για τις εικόνες που θα ληφθούν δοκιμάζοντας διάφορες τιμές ρυθμίσεων.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός είναι η κατασκευή του ομοιώματος, το οποίος θα προσεγγίζει τόσο στην όψη όσο και στην εξασθένηση της ακτινοβολίας την ανθρώπινο στόμα. Στόχοι της διατριβής είναι να δημιουργηθεί ένα λειτουργικό ομοίωμα, αλλά και χρησιμοποιώντας το ομοίωμα να εξάγουμε ποιοτικά χαρακτηριστικά της εικόνας, διερευνώντας ποιες συνθήκες ακτινοβολίας είναι κατάλληλες για να έχουμε γρήγορη και έγκυρη διάγνωση. Μελλοντικός στόχος είναι να γίνει το ομοίωμα εργαλείο στα χέρια ερευνητών με σκοπό την δοκιμή καινούργιων διαγνωστικών πρωτοκόλλων, για την ανάπτυξη της οδοντιατρικής ακτινογραφίας.

Καινοτομία

Η δημιουργία ενός ομοιώματος άνω και κάτω γνάθου, που προσομοιάζει και την εμφάνιση αλλά και την εξασθένηση της ακτινοβολίας ακτίνων X για την διεξαγωγή ακτινογραφιών και την ερέυνα καινούργιων διαγνωστικών προτύπων

Δομή

Η δομή της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνει δυο κύρια μέρη.

Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο χρειάζεται για την δημιουργία του ομοιώματος. Περιλαμβάνει 5 ενότητες όπου η κάθε μία περιέχει και 3 με 4 υποενότητες. Συγκεκριμένα η πρώτη ενότητα σχετίζεται με την ανατομία στοματικής κοιλότητας και εμπεριέχει 4 υποενότητες. Η πρώτη υποενότητα αναλύει τα χείλη, η δεύτερη τα ούλα και τέλος η τρίτη με την τέταρτη τα δόντια. Στην συνέχεια η επόμενη ενότητα αναλύει τα κλινικά προβλήματα και χωρίζεται σε τέσσερις υποενότητες στις οποίες αναλύεται η τερηδόνα και τα ραγίσματα. Επόμενη ενότητα αναφέρεται στο οδοντιατρικό ακτινολογικό και χωρίζεται σε τρεις υποενότητες όπου αναλύουν την λυχνία, τα ηλεκτρολογικά κυκλώματα και το χειριστήριο του ακτινολογικού αντίστοιχα. Η τέταρτη ενότητα αναφέρεται στις τεχνικές λήψης οδοντικής ακτινογραφίας και απαρτίζεται από τέσσερις υποενότητες που περιλαμβάνουν την τεχνική της διχοτόμου, την παράλληλο τεχνική, την σύγκριση τους και τέλος κάποιες ενδεικτικές τιμές για ρυθμίσεις ακτινοβολήσεων. Η τελευταία ενότητα έχει τίτλο εποξειδική ρητίνη και χωρίζεται με τρεις υποενότητες. Σε αυτές αναλύονται τα είδη της ρητίνης εποξειδίου και τα σκληρυντικά.

Το δεύτερο μέρος αποτελεί και το πειραματικό κομμάτι της εργασίας, το οποίο χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει την μέθοδο και τα υλικά για την κατασκευή του ομοιώματος, αλλά και την πειραματική διάταξη ακτινοβολήσης. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται αρχικά στα δόντια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν. Μετά αναφέρεται στις μεθόδους δημιουργίας καλουπιών και ρητίνης με τελικό αποτέλεσμα την τελική δημιουργία του ομοιώματος. Η πρώτη ενότητα κλείνει με την αναφορά στον ανιχνευτή CMOS τον οποίο χρησιμοποιήθηκε στις ακτινογραφήσεις. Στην δεύτερη ενότητα σημειώνονται τα αποτελέσματα από την ακτινογράφιση του ομοιώματος ανά σετ ρυθμίσεων. Τέλος στην τρίτη ενότητα σημειώνονται τα συμπεράσματα από τις μετρήσεις.

Στο τέλος της εργασίας υπάρχει η βιβλιογραφία και οι αναφορές.

1 1° ΜΕΡΟΣ : Θεωρητικό μέρος

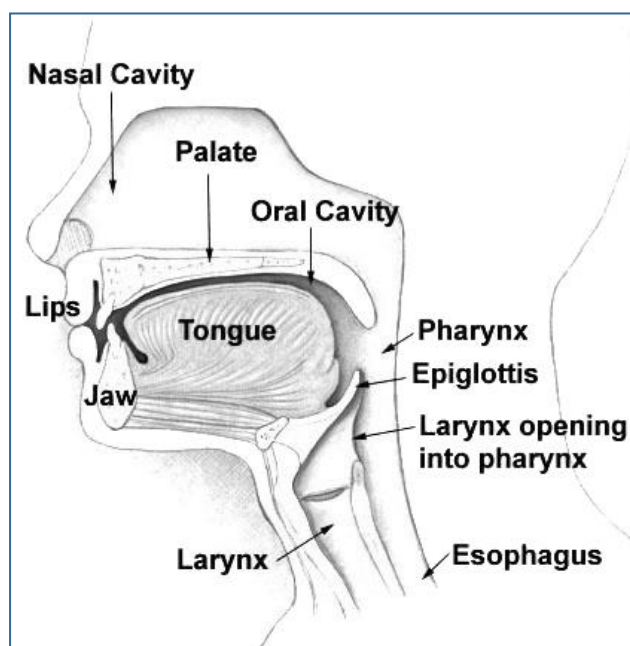
1.1 Ανατομία στοματικής κοιλότητας

Η ανθρώπινη στοματική κοιλότητα, αποτελεί το πρώτο τμήμα του πεπτικού συστήματος, όπου έχει την ευθύνη να λαμβάνει και να επεξεργάζεται αρχικά την τροφή, εκκρίνοντας σάλιο, αλλά και σε περιπτώσεις δυσκολίας αναπνοής μπορεί να διευκολύνει την αναπνοή. Επίσης στους ανθρώπους το στόμα λαμβάνει σημαντικό ρόλο και στη ομιλία για την επικοινωνίας μεταξύ τους. Αφού οι κύριοι ήχοι της φωνής παράγονται σε πρώτο βαθμό στον λαιμό, στη συνέχεια από την γλώσσα, τα χείλη, τα δόντια και τη γνάθο γίνεται η τελική διαμόρφωση για την παραγωγή ποικίλων ήχων που έχουν σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη ομιλία. Το στόμα ακόμη βοηθάει στη γεύση και την αφή.

Το στόμα αποτελείται από δύο μέρη, το προστόμιο και την κυρίως κοιλότητα του στόματος. Κατά την ακτινογράφηση τα μέλη του στόματος που λαμβάνουν χώρα στην εξέταση είναι στο προστόμιο. Πιο συγκεκριμένα είναι αρχικά τα χείλια στην συνέχεια τα ούλα, η γνάθος και τα δόντια. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερθούν συνοπτικά κάποια ανατομικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των παραπάνω μελών.

1.1.1 Χείλη

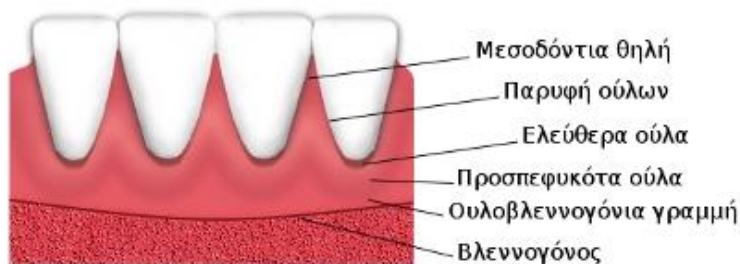
Τα χείλη είναι μυοϊνώδεις πτυχές οι οποίες περιβάλλουν τη στοματική κοιλότητα και είναι ιδιαίτερα ευκίνητες. Λαμβάνουν τον χώρο από τις ρινοχειλικές αύλακες και τους ρώθωνες προς τα έξω και προς τα πάνω και καταλήγουν μέχρι τη γενναιοχειλική αύλακα προς τα κάτω. Στα χείλη εμπεριέχεται ο σφιγκτήρας του στόματος καθώς και οι άνω – κάτω χειλικοί μυς, νεύρα και αγγεία. Τα χείλη αποτελούνται από βλεννογόνο στο εσωτερικό τους και περιβάλλονται εξωτερικά από δέρμα. Οι παρειές έχουν την ίδια δομή με τα χείλη, όπου αποτελούν και τη συνέχεια τους. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζουν τα κινητικά τοιχώματα της στοματικής κοιλότητας. Οι κύριοι μύες που υπάρχουν στην παρεία είναι οι βυκανητές και ανάμεσα στον βλεννογόνο και των βακανητών μυών βρίσκονται αρκετοί μικροί παρειικοί αδένες.



Εικόνα 1: Στοματική κοιλότητα

1.1.2 Ούλα

Το κύριο συστατικό το οποίο αποτελούνται τα ούλα είναι ο ινώδης ιστός, ο οποίος καλύπτεται από βλεννογόνο. Τα ίδια ούλα προφύονται στερεά στις φατνιακές αποφύσεις της άνω και κάτω γνάθου και καταλήγουν στους αυχένες των οδόντων.



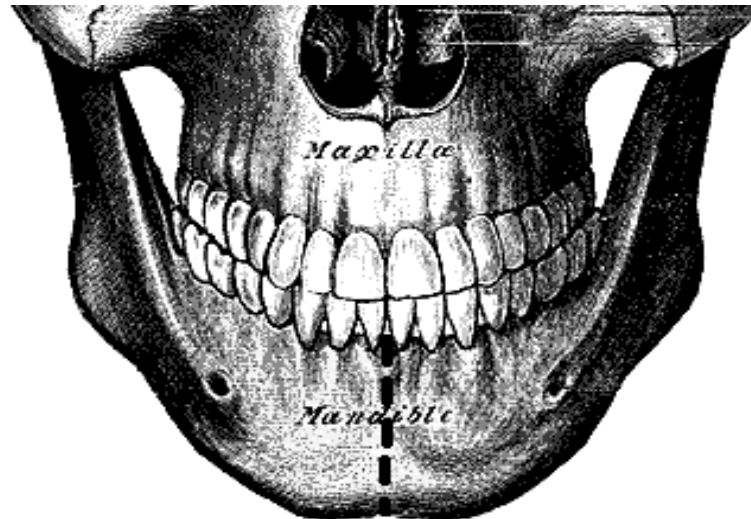
Εικόνα 2: Όουλα και Δόντια

1.1.3 Δόντια

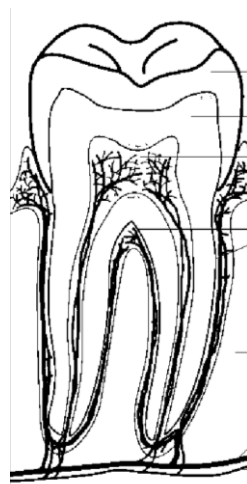
Οι ανθρώπινοι οδόντες έχουν δημιουργηθεί για να συντελούν κύριες λειτουργίες οι οποίες είναι αναγκαίες για την ανθρώπινη επιβίωση.

Αρχική λειτουργία τους είναι κατά τη μάσηση της τροφής, όπου καλούνται να τέμνουν, να κομματιάζουν και να αναμιγνύουν τη τροφή με το σίελο ώστε να είναι πιο ευκολά διαχειρίσιμη κατά την διαδικασία της πέψης.

Επίσης βοηθάνε στην άρθρωση του λόγου αλλά και τη διάπλαση και προστασία των ιστών που τα υποστηρίζουν εντός των φατνίων. Οι οδόντες ανάλογα με την ανθρώπινη ηλικία χαρακτηρίζονται ως νεογιλοί ή μόνιμοι. Στην παιδική ηλικία έχουμε 20 νεογιλούς οδόντες όπου στην πορεία της ενηλικίωσης φτάνουμε να έχουμε 32 μόνιμους. Ένα δόντι χωρίζεται σε τρεις τομές, τη μύλη, τον αυχένα και τη ρίζα. Η μύλη είναι το εξωτερικό κομμάτι του δοντιού το οποίο είναι ορατό. Ο αυχένας βρίσκεται μεταξύ της μύλης και της ρίζας, και τέλος η ρίζα ενσωματώνεται εντός των φατνιακών οστών. Ο αριθμός των ριζών ποικίλει ανάλογα με το δόντι αλλά και τον άνθρωπο. Το μεγαλύτερο κομμάτι του δοντιού αποτελείται από οδοντίνη, η οποία περιβάλλεται από αδαμαντίνη στην περιοχή της μύλης και από οστεΐνη στο κομμάτι της ρίζας. Ο ριζικός σωλήνας έχει τον ρόλο να επικοινωνεί αμφίδρομα τα αγγεία αλλά και τα νεύρα από την πολφική κοιλότητα.



Εικόνα 3: Ανατομική εικόνα Άνω και Κάτω γνάθου



Εικόνα 4: Ανατομική εικόνα Δοντιού

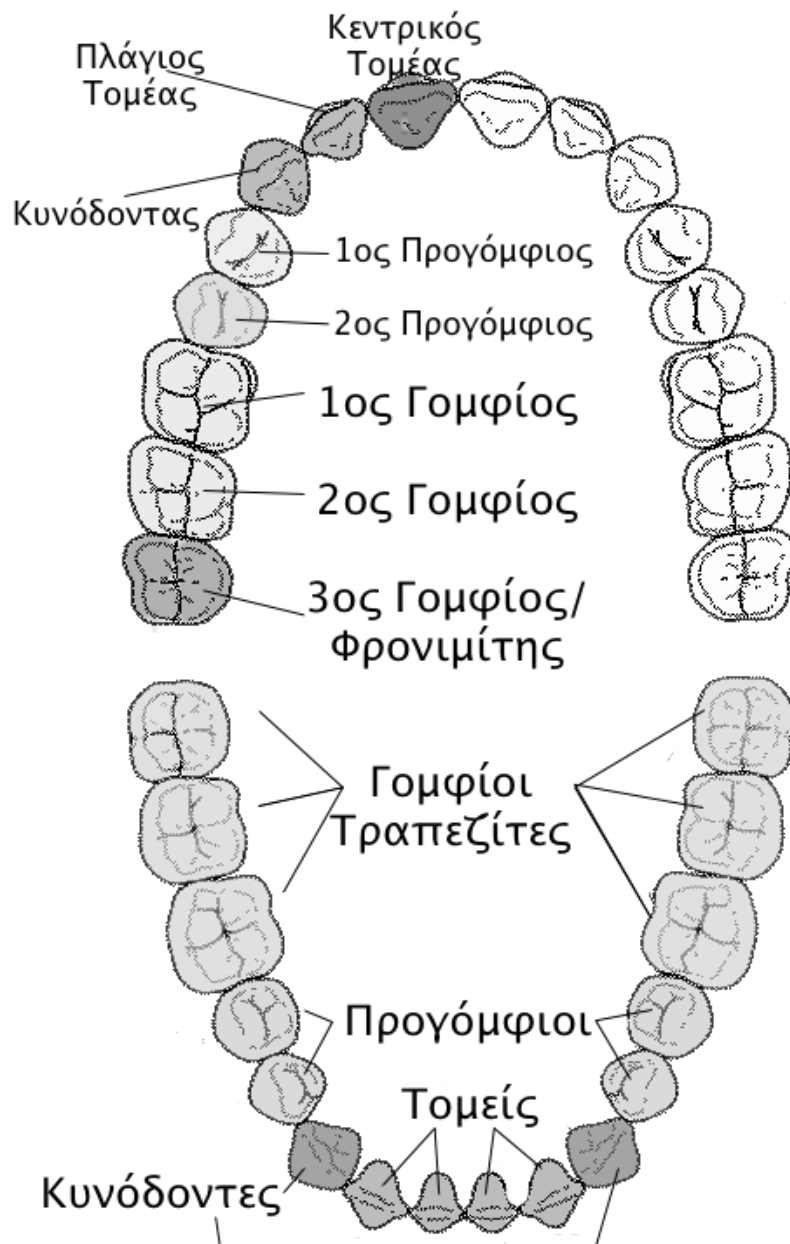
1.1.4 Τύποι μόνιμων οδοντών

Κεντρικοί και πλάγιοι Τομείς: είναι τα μπροστινά δόντια που συνήθως έχουν μία ρίζα, και έχουν το ρόλο της κοπής της τροφής αλλά έχουν σημαντικό ρόλο και στην άρθρωση της ομιλίας.

Κυνόδοντες: είναι διπλά στους πλάγιους τομείς και πήραν το όνομα τους επειδή μοιάζουν με δόντια σκύλου. Είναι τα πιο καυτερά δόντια και επιτρέπουν στον άνθρωπο να τρώει σκληρές τροφές (π.χ. κρέας).

Προγόμφιοι και Γομφίοι: Οι προγόμφιοι έχουν από 1 έως και 2 ρίζες ενώ οι γομφίοι έχουν από 2 έως και 4 ρίζες. Η λειτουργία τους είναι να αναμιγνύουν τη τροφή με σιέλο κατά τη διάρκεια της μάσησης. Στην άνω γνάθο έχουμε δυο κεντρικούς άνω τομείς, δυο πλάγιους άνω τομείς, δυο άνω κυνόδοντες, δύο άνω προγομφίους και τρεις άνω γομφίους. Αντίστοιχα και

στην κάτω γνάθο έχουμε δυο κεντρικούς κάτω τομείς, δυο πλάγιους κάτω τομείς, δυο κάτω κυνόδοντες, δυο κάτω προγομφίους και τρεις κάτω γομφίους.



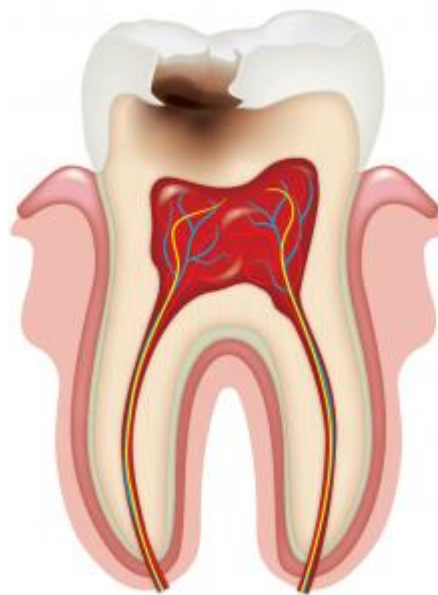
Εικόνα 5: Τύποι μόνιμων δοντιών

1.2 Κλινικά προβλήματα

Όπως όλα τα ανθρώπινα όργανα έτσι και τα δόντια εμφανίζουν κλινικά προβλήματα που καλούνται οι οδοντίατροι να τα αντιμετωπίζουν. Τα πιο συχνά προβλήματα που έχει να διαχειριστεί ένα οδοντίατρος είναι η τερηδόνα και τα ραγίσματα. Πολύ σημαντικό για την διάσωση του δοντιού είναι η έγκαιρη και σωστή διάγνωση. Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθούμε στα δύο πιο συχνά κλινικά προβλήματα, τους τρόπους με τους οποίους δημιουργούνται και τους τρόπους διάγνωσης με σκοπό την εξοικείωση μας με τέτοιου τύπου παθολογίες, ώστε να μπορέσουμε μελλοντικά να βοηθήσουμε με πρωτοποριακές μεθόδους διάγνωσης μέσω ακτινογράφησης.

1.2.1 Τερηδόνα

Η νόσος που προσβάλλει τους σκληρούς οδοντικούς ιστούς και δημιουργείται από ειδικούς μικροοργανισμούς, ονομάζεται οδοντική τερηδόνα. Αυτοί οι μικροοργανισμοί συνυπάρχουν αρμονικά μέσα στην στοματική κοιλότητα και έχουν την ικανότητα να ζυμώνουν υδατάνθρακες που παγιδεύονται στο στόμα και να παράγουν οξέα, τα οποία καταστρέφουν σε πρώτο στάδιο την αδαμαντίνη (ICDAS) και στη συνέχεια την οδοντίνη επηρεάζοντας και τις ρίζες. Κύρια πηγή των μικροοργανισμών είναι η οδοντική μικροβιακή πλάκα (ΟΜΠ), όπου δημιουργείται με την πάροδο του χρόνου μέσα από μια φυσιολογική διαδικασία παραγωγής βιοϋμενίου (Biofilm) το οποίο αποτελεί την κοινωνία των μικροοργανισμών με τα δόντια. Συγκεκριμένα τα ενεργά μεταβολικά μικρόβια που βρίσκονται στο βιοϋμένιο είναι ικανά να μεταβολίσουν υδατάνθρακα προκαλώντας μεταβολή στο pH εντός της οδοντικής πλάκας μέσα σε λίγα λεπτά (1 min - 3 min). Αυτές η επαναλαμβανόμενες πτώσεις του pH έχουν ως αποτέλεσμα την απομεταλλικοποίηση της οδοντικής επιφάνειας. Η ύπαρξη του σάλιου ουδετεροποιεί τον όξινο χαρακτήρα της πλάκας με αποτέλεσμα να αυξάνεται το pH και τα ιόντα μετάλλων που είχαν αποδεσμευτεί από τους σκληρούς οδοντικούς ιστούς να επανακτώνται. Η συνεχής απομεταλλικοποίηση και επαναμεταλλικοποίηση οδηγεί σε απώλεια μεταλλικών ιόντων, και έτσι δημιουργείται η τερηδόνα.



Εικόνα 6: Τερηδόνα σε προχωρημένο στάδιο

1.2.2 Ραγίσματα

Ένα ραγισμένο δόντι είναι ένα σύνηθες περιστατικό στο οποίο καλείται ο οδοντίατρος να το καταπολεμήσει. Συνήθως συνοδεύεται με έντονο οξύ πόνο και τη μάσηση. Οι ρωγμές σε ένα δόντι μπορεί να είναι μυλικές, δηλαδή πάνω από την γραμμή των ούλων το οποίο είναι συνήθως ορατό από το ανθρώπινο μάτι ή από ακτινογραφία. Αλλά υπάρχει και περίπτωση να συμβεί στο κομμάτι της ρίζας του δοντιού στο οποίο μερικές φορές καθιστά πολύ δύσκολο τον εντοπισμό του. Είναι πάρα πολύ σημαντικό ο εντοπισμός του κατάγματος να γίνεται νωρίς, ώστε να μην ταλαιπωρείται ο ασθενής αλλά και για να μην καταστραφεί ολοκληρωτικά το δόντι. Αφού αν η ρωγμή αγγίζει το πολφό του δοντιού, τότε υπάρχει περίπτωση μόλυνσης από μικρόβια της στοματικής κοιλότητας όπου εισέρχονται από τη ρωγμή στο εσωτερικό δημιουργώντας πολφίτιδα. Αν δεν γίνει θεραπεία η πολφίτιδα οδηγεί σε νέκρωση του πολφού και του νεύρου οδηγώντας τον οδοντίατρο στην απονεύρωση και στην συνέχεια την εξαγωγή του δοντιού.



Εικόνα 7: Περιπτώσεις ραγισμένων δοντιών.

Διαθέσιμο στο: <https://www.dontiastrima.gr/path/teeth/ragismeno-donti.htm>

1.2.3 Αιτίες ραγισμάτων

Ένα δόντι είναι πιθανό να πάθει ράγισμα αφού δέχεται τεράστιες καταπονήσεις καθ' όλη την ζωή ενός ανθρώπου. Ένας ακόμα παράγοντας ο οποίος αυξάνει κατά πολύ τον κίνδυνο ραγίσματος είναι ο αριθμός επεμβάσεων ο οποίος έχει δεχτεί το δόντι. Οι πιο συχνοί λόγοι ραγίσματος είναι:

- a. Φυσική φθορά. Όπως προαναφερθήκαμε στην προηγούμενη παράγραφο τα δόντια δέχονται επαναλαμβανόμενες καθημερινές καταπονήσεις και το δάγκωμα – μάσηση της τροφής, που είναι ικανό να προκαλέσει μικρορωγμές.
- b. Βρουξισμός. Κάποιες ανατομικές ανωμαλίες ή και οι γρήγοροι ρυθμοί ζωής που προκαλούν στρες, δημιουργώντας ένα σφίξιμο ή τρίζιμο στα δόντια το οποίο είναι ένα από τους κύριους λόγους ενός ραγίσματος, αφού ασκούνται στο δόντι τεράστια μεγέθη δυνάμεων.
- c. Τραυματισμοί του στόματος. Σε περίπτωση ατυχήματος - κρούσης του στόματος είναι άλλη μια αιτία κατάγματος δοντιών.

- d. Τερηδόνα. Κατά την τερηδόνα το δόντι χάνει την στατικότητα του, και αν δεν σφραγιστεί γρηγορά κινδυνεύει να ραγίσει.
- e. Πολύχρονα σφραγίσματα και επιπλοκές ενδοδοντικής θεραπείας.

Δόντια με εκτεταμένα πολύχρονα σφραγίσματα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα κατάγματος. Η πίεση που δέχεται ένα δόντι κατά την απονεύρωση μπορεί να προκαλέσει ράγισμα ή κάταγμα. Επίσης όπως και με τα σφραγίσματα έτσι και με την απονεύρωση τα δόντια γίνονται πιο εύθραυστα.

1.2.4 Η διάγνωση του ραγίσματος

Ο προσδιορισμός ενός ραγίσματος σε έναν οδοντικό άξονα συχνά παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία, αφού κάποιες ρωγμές ενδέχεται να μην είναι ορατές. Το σύνδρομο του ραγισμένου δοντιού χαρακτηρίζεται από εκδήλωση πόνου χωρίς να μπορεί να διαπιστώσει ο οδοντίατρος κάποιο πρόβλημα στο δόντι κατά την κλινική εξέταση, αλλά ακόμα και από τις ακτινογραφίες. Για να βοηθηθεί ο γιατρός ζητάει λεπτομερή περιγραφή του οδοντιατρικού ιστορικού του ασθενούς, για τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά που μπορούν να δημιουργήσουν σε κατάγματα ώστε να μπορέσει να κρίνει αν πρόκειται για τέτοιου τύπου συνδρόμου. Στην συνέχεια ο οδοντίατρος αφού εντοπίσει το δόντι το οποίο ενδέχεται να έχει ρωγμή, αφού βεβαιωθεί ότι δεν πρόκειται για περίπτωση περιακρορριζικής παθολογίας από ακτινογραφία, ούτε πάσχει από τερηδόνα τότε δια της άτοπου απαγωγής καταλήγει στην διάγνωση. Πολλές φορές οι ακτινογραφίες βοηθούν σε αυτό το συμπέρασμα αφού οι μεγάλες ρωγμές φαίνονται σε μορφή σκιάς, όμως οι μικρές ρωγμές είναι σχεδόν αδύνατο να αποτυπωθούν και είναι αυτές που πολλές φορές προκαλούν έντονο πόνο.

1.3 Οδοντιατρικό ακτινογραφικό

Όπως όλα τα ακτινολογικά μηχανήματα έτσι και το οδοντιατρικό ακτινολογικό αποτελείται από 3 σημαντικά κύρια μέρη. Αρχικά την λυχνία η οποία είναι αυτή που παράγει τις ακτίνες X χρησιμοποιώντας την αρχή λειτουργίας του Rontgen, μέσω πέδησης ηλεκτρονίων. Στην συνέχεια σημαντικό ρόλο έχουν τα ηλεκτρολογικά κυκλώματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την παραγωγή των ηλεκτρονίων, την επιτάχυνση τους αλλά και την στόχευση τους. Τέλος ο σκελετός και το χειριστήριο όπου πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές για την καλύτερη και σωστότερη λειτουργία και ασφάλεια του εξεταζόμενου αλλά και του προσωπικού που το χειρίζεται. Στις παρακάτω ενότητες θα αναλύσουμε περισσότερο αυτά τα μέρη του ακτινολογικού μηχανήματος, τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και τη λειτουργικότητά τους.

1.3.1 Κεφαλή οδοντιατρικού ακτινολογικού

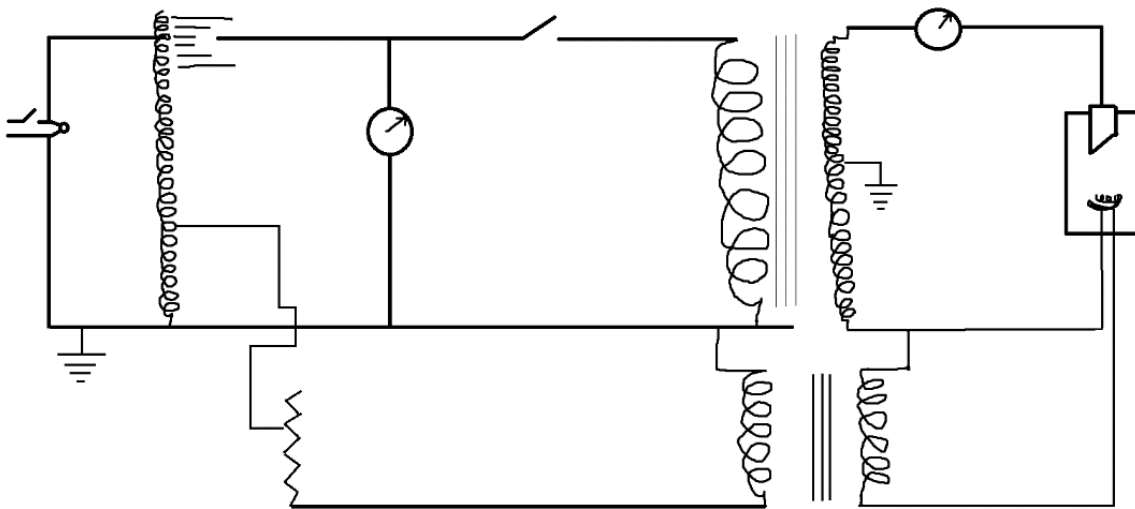
Το οδοντιατρικό ακτινολογικό αποτελείται από μια κεφαλή, έναν βραχίονα που έχει αρκετούς βαθμούς ελευθερίας για τη λυχνία, τα ηλεκτρικά κυκλώματα και το χειριστήριο. Πιο συγκεκριμένα η κεφαλή περιέχει τη λυχνία ακτίνων X, η οποία έχει την κλασική διάταξη ενός ακτινολογικού. Δηλαδή, μια κάθοδο η οποία αποτελείται από νήμα βολφραμίου, το οποίο έχει το ρόλο της γεννήτριας ηλεκτρονίων εκμεταλλευόμενη το φαινόμενο της θερμονικής εκπομπής και μια άνοδο κατασκευασμένη από βολφράμιο, ώστε τα ηλεκτρόνια εξαιτίας του φαινομένου της πεδήσεως να παράγουν φωτόνια X. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι η άνοδος με την κάθοδο βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού, για την ακρίβεια η κάθοδος είναι φορτισμένη αρνητικά ενώ η άνοδος θετικά. Αυτή τη διαφορά δυναμικού την δημιουργούμε για τον προσανατολισμό – στόχευση των ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο. Όλη αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσα σε ένα γυάλινο περίβλημα κενού (Torr: 10-5 – 10-7) για να μην υπάρχουν εμπόδια στη διαδρομή των ηλεκτρονίων. Τέλος υπάρχει και η εξωτερική θωράκιση που περιβάλλει τη λυχνία για την όσο το δυνατόν ελεγχόμενη έξοδο των φωτονίων X από την κεφαλή.



Εικόνα 8: Οδοντιατρική λυχνία ακτίνων X

1.3.2 Ηλεκτρολογικά τμήματα

Τα ηλεκτρικά κυκλώματα διαχωρίζονται σε δύο διαφορετικά κυκλώματα που το κάθε ένα έχει διαφορετικό ρόλο στην διάταξη της λυχνίας. Για την ακρίβεια υπάρχει ένα κύκλωμα χαμηλής τάσης για την θέρμανση του νήματος και ένα κύκλωμα υψηλής τάσης για την δημιουργία διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στην κάθοδο - άνοδο. Συγκεκριμένα η κεντρική παροχή ρεύματος συνδέεται με έναν αυτομετασχηματιστή ο οποίος με την σειρά του τροφοδοτεί τον μετασχηματιστή μείωσης και αύξησης. Ο μετασχηματιστής μείωσης ή αλλιώς μετασχηματιστής καθόδου μειώνει την τάση στα επίπεδα των 10 Volts έτσι ώστε να έχουμε ένα ρεύμα στο νήμα της τάξης των 5mA - 10 mA. Αντίθετα ο μετασχηματιστής αύξησης ή αλλιώς μετασχηματιστής ανόδου, αυξάνει την τάση από τα 220Volts στα 50.000-70.000 Volts (kV). Το ρεύμα που διαρρέει το νήμα είναι υπεύθυνο για τον αριθμό των ακτινών X που θα παραχθούν, ενώ η διαφορά τάσης είναι υπεύθυνη για την ενέργεια την οποία θα έχουν τα φωτόνια. Σημαντικό ρόλο στο ηλεκτρικό κύκλωμα έχει ο χρονοδιακόπτης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την χρονική στιγμή την οποία θα λειτουργήσει η λυχνία, έτσι ώστε να ρυθμίζονται τα mAs και κατά συνέπεια η δόση που θα παραχθεί.



**Εικόνα 9: Εικόνα ηλεκτρολογικού κυκλώματος.
Αύξησης Τάσεως και μείωση ρεύματος,**

1.3.3 Χειριστήριο

Το τελευταίο κομμάτι που αποτελεί ένα οδοντιατρικό ακτινολογικό είναι το χειριστήριο. Το χειριστήριο επιτρέπει στον οδοντίατρο να κάνει τις ρυθμίσεις του ρεύματος επί τον χρόνο (mAs) και τη διαφορά τάσης ανόδου - καθόδου (kV). Το χειριστήριο είναι συνδεδεμένο με το μηχάνημα με καλώδιο το οποίο πρέπει να έχει μήκος μεγαλύτερο από 2m, για θέματα ακτινοπροστασίας. Στα σύγχρονα μηχανήματα το χειριστήριο είναι ασύρματα συνδεδεμένο, χρησιμοποιώντας έναν πομπό και έναν δέκτη για την μεταξύ τους επικοινωνία. Οι κύριες ρυθμίσεις οι οποίες γίνονται είναι: Η επιλογή των δοντιών των οποίων θέλουμε να ακτινοβολήσουμε, όπου συνεπάγονται οι επιλογές για τα κατάλληλα kV, mA, αλλά και χρόνο έκθεσης καθώς και η επιλογή της τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί. Διαθέτει ηχητική και φωτεινή ένδειξη για τη στιγμή την οποία βρίσκεται σε λειτουργία η λυχνία.



Εικόνα 10: χειριστήριο και βραχίονας οδοντιατρικού ακτινολογικού

Διαθέσιμο στο: <https://neodent.eu/odontiatrikes-siskeues/>

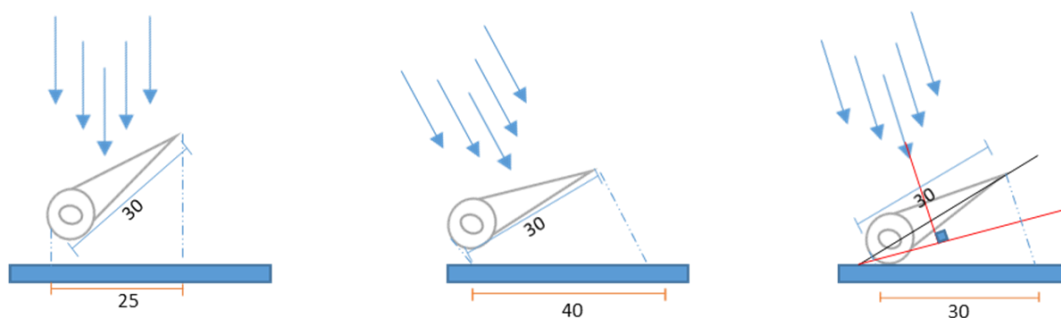
1.4 Τεχνικές λήψης ακτινογραφίας

Η λήψη ακτινογραφίας μέσω πλακιδίου ανιχνευτή που τοποθετείται εντός της στοματικής κοιλότητας ορίζεται ως ενδοστοματική ακτινογραφία και περιλαμβάνει τρεις τύπους. Την περιακρορική, την μυλική συγκλείσεως και την ακτινογραφία δήξεως.

Στην περιακρορική ακτινογραφία αποτυπώνουμε το σύνολο των δομών που αποτελούν το δόντι ή τα δόντια προς εξέταση αλλά και το περιβάλλον τους. Η ορθότερη απεικόνιση γίνεται τοποθετώντας τον ανιχνευτή παράλληλα με το δόντι και κάθετα με την κατεύθυνση της δέσμης. Όμως εξαιτίας των ανατομικών κοιλοτήτων εκ κατασκευής του ανθρώπινου στόματος μια τέτοια διάταξη δεν είναι πάντα υλοποιήσιμη. Η γωνία αυτή που σχηματίζει ανάμεσα στον ανιχνευτή και στην δέσμη ακτίνων X δημιουργεί σφάλματα κατά την προβολική απεικόνιση, αποτυπώνοντας είδωλα με μεγαλύτερες ή μικρότερες διαστάσεις (σμίκρυνση ή μεγέθυνση). Σε αυτό το πρόβλημα δίνει λύση η τεχνική της διχοτόμου.

1.4.1 Τεχνική της διχοτόμου

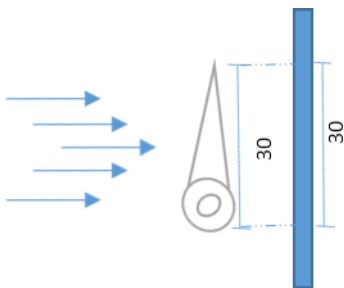
Όπως προαναφέρθηκε, όταν ο ανιχνευτής τοποθετηθεί εντός της στοματικής κοιλότητας, λόγω της ανατομικής ανομοιομορφίας που δημιουργείται από ένα σύνολο ιστών με ανώμαλες επιφάνειες όπως το ενδοστοματικό ιστό, βλεννογόνο του ούλου, γλώσσας, υπερώϊες επιφάνειες των μυλών, σχηματίζεται μια γωνία μεταξύ δοντιών και ανιχνευτή. Γι'αυτό τον λόγο εφαρμόζουμε τη τεχνική της διχοτόμου, στην οποία εκμεταλλευόμαστε βασικές γεωμετρικές αρχές να για προβάλλουμε τις πραγματικές διαστάσεις των δοντιών. Πιο συγκεκριμένα αν η κύρια δέσμη είναι κάθετη στον ανιχνευτή τότε παρατηρούμε ότι το είδωλο που θα σχηματιστεί έχει μικρότερες διαστάσεις απ' ό,τι στην πραγματικότητα. Αντίθετα αν η κύρια δέσμη είναι κάθετη στη διεύθυνση του δοντιού τότε το είδωλο το οποίο θα προκύψει έχει μεγαλύτερες διαστάσεις απ' ό,τι στην πραγματικότητα. Από τη γεωμετρία γνωρίζουμε ότι, αν δυο τρίγωνα έχουν κοινή μια πλευρά και δυο γωνίες ίσες, τότε οι πλευρές και οι γωνίες του ενός είναι ίσες κατά αντιστοιχία με του άλλου. Για να δημιουργηθούν αυτά τα ίσα τρίγωνα θα πρέπει να φτιάξουμε τη διάταξη ανάμεσα σε δέσμη – δόντι – ανιχνευτή με τέτοιο τρόπο ώστε η δέσμη να είναι κάθετη στη διχοτόμο της γωνίας η οποία σχηματίζεται ανάμεσα σε δόντι και ανιχνευτή. Αυτή η τεχνική έχει αποκτήσει πρωτόκολλο εφαρμογής από τις εταιρείες στην προσπάθειά τους να τυποποιηθεί και να γίνει πιο εύκολη στην υλοποίησή της. Έτσι πλέον για κάθε ανατομική περιοχή έχει συγκεκριμένες οδηγίες για την τοποθέτηση της οδοντιατρικής κεφαλής, του ανιχνευτή και συγκεκριμένα σημεία εισόδου στο πρόσωπο της δέσμης. Παρά της προσπάθειας που έχει γίνει για τυποποίηση με τα χρόνια η ποικιλομορφία που υφίσταται από άτομο σε άτομο είναι μεγάλη και δημιουργεί προβλήματα. Για αυτόν τον λόγο για την καλύτερη απεικόνιση τον μεγαλύτερο ρόλο τον έχει η εμπειρία του κάθε οδοντιάτρου.



Εικόνα 11: Γεωμετρική αποτύπωση της τεχνικής της διχοτόμου.

1.4.2 Παράλληλος τεχνική

Όπως αναφέραμε και στην αρχή η καλύτερη τεχνική απεικόνισης χωρίς παραμορφώσεις είναι όταν ο ανιχνευτής είναι παράλληλος στον επιμήκη άξονα του δοντιού και η κεντρική ακτίνα είναι κάθετη και στα δύο. Η περιοχή που ενδείκνυται για αυτή την τεχνική χωρίς κάποιον ιδιαίτερο εξοπλισμό είναι οι γομφίοι της κάτω γνάθου, στους οποίους είναι δυνατόν να γίνει η παράλληλη διάταξη συγκρατώντας τον ανιχνευτή με το δάκτυλο του ο εξεταζόμενος. Στις υπόλοιπες περιοχές του στόματος χρειάζεται ειδικός αποστάτης που θα κρατάει την παραλληλία στον ανιχνευτή και στον επιμήκη άξονα του δοντιού. Αυτή η απόσταση που δημιουργείται για να μπορέσει να εφαρμοστεί η παράλληλος τεχνική δημιουργεί ασάφεια στη τελική εικόνα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του φαινομένου της παρασκιιάς, η οποία χαλάει την ευκρίνεια στα σύνορα της δομής. Επίσης η απόσταση μεταξύ οδοντιατρικής κεφαλής και δοντιού στην παράλληλο τεχνική παίζει σημαντικό ρόλο γιατί παρατηρούνται πάλι φαινόμενα μεγέθυνσής. Γι'αυτόν τον λόγο η απόσταση ανάμεσα στη λυχνία και στο δέρμα στην παράλληλο τεχνική είναι 40cm ενώ στη τεχνική της διχοτόμου είναι μόλις 20cm. Εξαιτίας της μεγάλης απόστασης μεταξύ της ανόδου και της περιοχής εισόδου της δέσμης στο δέρμα, μεγαλώνει και το πεδίο ακτινοβολήσης στο πρόσωπο. Έτσι είναι αναγκαία η χρήση ενός κατευθυντήρα, ο οποίος θα περιορίζει το πεδίο ακτινοβολήσης και θα αφήνει μόνο το πεδίο ενδιαφέροντος. Ο κατευθυντήρας είναι κατασκευασμένος από υλικά που απορροφούν το μέρος της δέσμης φωτονίων χ τα οποία δεν προσπίπτουν στην περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 12: Γεωμετρική απεικόνιση της παραλλήλου τεχνικής

1.4.3 Σύγκριση των δύο τεχνικών

Στην παράλληλο τεχνική έχουμε καλύτερη απεικόνιση του αντικειμένου στο σχήμα και στο μέγεθος, που έχει ως συνέπεια το καλύτερο διαγνωστικό αποτέλεσμα από τον οδοντίατρο. Ενώ στην τεχνική της διχοτόμου έχουμε ορθότερη απεικόνιση στα όρια του δοντιού, δυστυχώς όμως πολλές φορές έχουμε φαινόμενα σμίκρυνσης ή και μεγέθυνσης. Αυτό συμβαίνει λόγω της τρισδιάστατης δομής του δοντιού, αφού οι παρειακές ρίζες των πίσω δοντιών απεικονίζονται με μικρότερες διαστάσεις.

1.4.4 Ρυθμίσεις λήψης Οδοντιατρικής Ακτινογραφίας

Πίνακας 1: Πρότυπες ρυθμίσεις λειτουργίας οδοντιατρικής λυχνίας.

Ρυθμίσεις λήψης οδοντιατρικής εικόνας														
SSD = 31 cm	Χρόνος λειτουργίας λυχνίας (sec)													
	0,025	0,032	0,040	0,050	0,064	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,320	0,400	0,500
70 kV 4mA														
Άνω γνάθος														
70 kV					I	C/P	M	O						
60 kV								I	C/P	M	O			
Κάτω γνάθος														
70 kV				I	C/P	M	O							
60 kV							I	C/P	M	O				
I: Τομείς	C: Κυνόδοντας			P: Προγόμφιος			M: Γομφίος			O: Απνεύρωση				

Πίνακας 2: Πρότυπες ρυθμίσεις λειτουργίας λυχνίας εταιριών, και χαρακτηριστικά.

planmeca			X mind dc					
SSD=20cm	70 KV	8 m A	SSD=20cm	70kV	4 m A			
t(sec)	0,04		t(sec)	0,032				
Εστία	0,5 mm x 0,5mm		Εστία	0,7 mm x 0,7 mm		Sirona HELIODENT DS		
mAs	0,32		mAs	0,128		SSD=20cm	60kV	7 m A
Intra os 70			Preva Dental X-ray System			t(sec)	0,06	
SSD=23cm	70kV	7 m A	SSD=20cm	65kV	7 m A	Εστία	0,4mm x 0,4mm	
t(sec)	0,16		t(sec)	0,08		mAs	0,42	
Εστία	0,8mm x 0,8mm		Εστία	0,4mm x 0,4mm		EzRay Air W		
mAs	1,12		mAs	0,56		SSD=20cm	65kV	3 m A
phot xii			kodak			t (sec)	0,18	
SSD=20cm	70kV	7 m A	SSD=20cm	70kV	7 m A	Εστία	0,4mm x 0,4 mm	
t(sec)	0,03		t(sec)	0,18		mAs	0,54	
Εστία 0,7mm x 0,7mm			Εστία	0,7mm x 0,7mm				
mAs	0,21		mAs	1,26				

1.5 Ρητίνη Εποξειδίου

Το εποξειδίο βρίσκεται στην χημική ομάδα των βασικών συστατικών των πολυμεριζόμενων προϊόντων των εποξειδικών ρητινών. Αυτές οι ρητίνες, είναι γνωστές ως πολυεποξειδία αλλά και για την ικανότητα να συνάπτουν δεσμούς είτε με τον ίδιο τους τον εαυτό χρησιμοποιώντας καταλυτικό ομοπολυμερισμό, είτε αντιδρώντας με άλλες ενώσεις όπως οι πολυλειτουργικές αμίνες, οξέα, φαινόλες, αλκοόλες και θειόλες. Αυτά τα συναντιδρώντα λαμβάνουν την ορολογία των σκληρυντικών και η αντίδραση διασύνδεσης ονομάζεται σκλήρυνση. Οι αντιδράσεις των πολυεποξειδίων σχηματίζουν έναν θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές και με την ομοπολυμερική ένωση αλλά και από τα πολυλειτουργικά σκληρυντικά. Για αυτόν τον λόγο συχνά βλέπουμε να έχουν ευνοϊκές μηχανικές ιδιότητες με χημική αλλά και θερμική αντοχή.

1.5.1 Είδη ρητίνης εποξειδίου

Οι πιο διαδεδομένες εποξειδικές ρητίνες ως βασικά υλικά για την αντίδραση έχουν την επιχλωροϋδρίνη (ECH) και τη δισφαινόλη Α, που έχουν ως προϊόν μια διαφορετική χημική ένωση που ονομάζεται διγλυκιδυλαιθέρας δισφαινόλης Α (BADGE, DGEBA). Οι ρητίνες που χρησιμοποιούν ως βάση τους την δισφαινόλη Α είναι οι πιο εμπορευματοποιημένες ρητίνες, αλλά δεν αποτελούν και τις μοναδικές, αφού υπάρχουν κι άλλες δισφαινόλες που αντιδρούν όμοια με την επιχλωροϋδρίνη, όπως για παράδειγμα η δισφαινόλη F.

Η Novolak παράγεται από την αντίδραση φαινόλης με φορμαλδεΰδη. Η novolak αντιδρώντας με την επιχλωροϋδρίνη παράγουν novolaks με υπολείμματα γλυκιδυλίου, epoxyphepol novolak (EPN) ή epoxycresol novolak (ECN). Αυτή η μορφή της ρητίνης έχει μεγάλο ιξώδες που φτάνει και στο όριο της στερεάς ρητίνης, επειδή συνήθως φέρουν από 2 έως 6 εποξειδικές ομάδες ανά μόριο. Κατά την σκλήρυνση συμβαίνει πολυμερισμός υψηλής διασταύρωσης, και ο παράγοντας που την επηρεάζει είναι οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Όμως, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτές οι ρητίνες έχουν υψηλή θερμική και χημική αντοχή αλλά και χαμηλή μηχανική ευκαμψία λόγω της υψηλής λειτουργικότητας. Συνεπώς έχουν και αυξημένη πυκνότητα σταυροδεσμών των ρητινών. Υπάρχει και η αλειφατική ρητίνη που συνήθως χωρίζεται σε δύο τύπους αλειφατικών εποξειδικών ρητινών: αυτές που λαμβάνονται με εποξείδωση διπλών δεσμών και εκείνες που σχηματίζονται με αντίδραση με επιχλωροϋδρίνη. Οι αλογονωμένες εποξειδικές ρητίνες αντιδρώντας με άλλες βρωμιούχες και φθοριωμένες εποξειδικές ρητίνες αποκτούν ειδικές ιδιότητες, τις οποίες τις χρησιμοποιούμε σε ορισμένες ηλεκτρικές εφαρμογές (βρωμιούχες) ή ως διαβρεκτικό (τασιενεργό) για επαφή με ίνες γυαλιού (φθοριωμένες). Τέλος οι εποξειδικές ρητίνες γλυκιδυλαμίνης είναι εποξειδικές ρητίνες που έχουν υψηλότερη λειτουργικότητα και σχηματίζονται κατά την αντίδραση αρωματικών αμίνων με την επιχλωροϋδρίνη. Αυτές οι ρητίνες έχουν χαμηλό έως και μέτριο ιξώδες σε θερμοκρασίες δωματίου, το οποίο κάνει πιο εύκολη την προεπεξεργασία σε σχέση με τις άλλες ρητίνες (EPN, ECN). Αυτή η διευκόλυνση μαζί με τις υψηλές θερμικές και χημικές αντοχές, αλλά και τις μηχανικές ιδιότητες του προκύπτοντος σκληρυμένου δικτύου, δίνει πλεονέκτημα

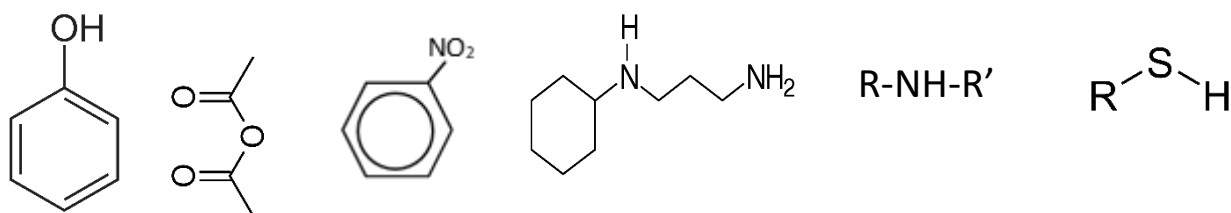
σ'ε-αυτή την ρητίνη και την εγκαθιδρά στα σημαντικά υλικά για εφαρμογές σύνθετων υλικών αεροδιαστημικής.

1.5.2 Σκλήρυνση - Σκληρυντικά

Σημαντικό ρόλο στο να αποκτήσει καλές ιδιότητες η εποξειδική ρητίνη παίζει το είδος του σκληρυντικού με το οποίο θα αναμειχθεί, ώστε η αντίδραση να σχηματίσει τρισδιάστατες διασταυρούμενες θερμοσκληρυνόμενες δομές. Έτσι το τελικό προϊόν θα έχει χημικές και θερμικές υψηλές αντοχές. Η διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω ορίζεται συνήθως ως διαδικασία σκλήρυνσης ή ζελατινοποίησης. Η αντίδραση αυτή της σκλήρυνσης των εποξειδικών ρητινών είναι μια κατεξοχήν εξώθερμη αντίδραση που σε ειδικές περιπτώσεις ανεξέλεγκτης αντίδρασης παράγει τεράστια ποσά θερμότητας για να προκαλέσει θερμική υποβάθμιση.

Η χημική εκτέλεση της σκλήρυνσης μπορεί να διενεργηθεί με την αλληλεπίδραση ενός εποξειδικού με τον ίδιο του τον εαυτό (ομοπολυμερισμός) ή με την αλληλεπίδραση με κάποιο σκληρυντικό και την δημιουργία συμπολυμερούς. Η διαδικασία αυτή της σκλήρυνσης δίνει τις τελικές ιδιότητες στο τελικό προϊόν, για παράδειγμα ανθεκτικότητα, πρόσφυση, αντοχή, ευελιξία. Για να μπορέσει να γίνει η αντίδραση της εποξειδικής ομάδας μιας εποξειδικής ρητίνης, βασική προϋπόθεση είναι να υπάρχει ένα αντιδραστικό υδρογόνο. Έτσι όποιο μόριο περιέχει αυτό το υδρογόνο είναι πιθανό αντιδραστήριο. Οι πιο συνήθεις χημικές ενώσεις σκληρυντικών αντιδραστηρίων για εποξειδικές ρητίνες είναι οι αμίνες, τα οξέα, οι ανυδρίες οξέων, οι φαινόλες, οι αλκοόλες και οι θειόλες. Σε σειρά αντιδραστικότητα με αύξουσα πορεία είναι τα σκληρυντικά:

φαινόλη < ανυδρίτης < αρωματική αμίνη < κυκλοαλειφατική αμίνη < αλειφατική αμίνη < θειόλη



Σε μερικές περιπτώσεις η ανάμιξη της εποξειδικής ρητίνης με το σκληρυντικό και η διαδικασία της σκλήρυνσης λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες δωματίου. Όμως στις περισσότερες φορές η σκλήρυνση απαιτεί μεγάλα ποσά θερμότητας που ανεβάζουν τις θερμοκρασίες έως και 150 βαθμούς κελσίου (302 F) και σε ειδικές εξειδικευμένες αντιδράσεις έως και 200 βαθμούς κελσίου (392 F). Η μικρή θερμότητα και κατά συνέπεια οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά την πορεία της σκλήρυνσης θαε είχε ως μοιραίο αποτέλεσμα έναν ατελή πολυμερισμό. Έτσι το δικτύωμα το οποίο θα έχει δημιουργηθεί θα έχει μειωμένες μηχανικές, χημικές και θερμικές αντοχές. Όταν η θερμοκρασία σκλήρυνσης φτάνει στην θερμοκρασία μετάπτωσης του υάλου του πλήρως σκληρυσμένου δικτυώματος, τότε είναι που επιτυγχάνει τις μέγιστες μηχανικές ιδιότητες. Η θερμοκρασιακή αύξηση ορισμένες φορές γίνεται σταδιακά

για να γίνεται επιτήρηση και έλεγχος του ρυθμού σκλήρυνσης και να αποτραπεί η τεράστια παραγωγή θερμότητα από την εξώθερμη αντίδραση.

Ως λανθάνοντες σκληρυντές ορίζουμε εκείνους τους σκληρυντές οι οποίοι έχουν χαμηλή ή και περιορισμένη αντιδραστικότητα σε θερμοκρασίες δωματίου, αλλά δρουν με εποξειδικές ρητίνες με υψηλή αποδοτικότητα σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η χρήση τέτοιων λανθάνοντων σκληρυντικών επιτρέπει την ανάμειξη της εποξειδικής ρητίνης και του σκληρυντικού, την προσωρινή αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες ώστε να μην ξεκινήσει η διαδικασία της σκλήρυνσης και την ενεργοποίηση οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί. Έτσι τέτοιου είδους μείγματα βοηθάνε και έχουν πλεονέκτημα σε βιομηχανικές διεργασίες. Κατά κανόνα τα περισσότερα λανθάνοντα σκληρυντικά επιτρέπουν τη δημιουργία προϊόντων από ένα συστατικό. Καθώς πλέον η προ αναμεμειγμένη εποξειδική ρητίνη με το λανθάνον σκληρυντικό περιμένουν μόνο την αύξηση της θερμοκρασίας που θα δοθεί από το τελικό για την έναρξη της διαδικασίας της σκλήρυνσης. Το μειονέκτημα των προϊόντων ενός συστατικού είναι ότι έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής από τα προϊόντα δυο συστατικών καθώς και η ύπαρξη της πιθανότητας να χρειάζονται αποθήκευση και μεταφορά με χρήση ψύξης.

Όπως προαναφέρθηκε η εποξειδική ρητίνη έχει την ικανότητα να συνάπτει δεσμούς με τον ίδιο της τον εαυτό με την παρουσία ενός ανιονικού καταλύτη, για παράδειγμα μια τριτοταγής αμίνη ή ιμιδαζόλες (–βάση Lewis). Όμως και με κατιονικό καταλύτη για παράδειγμα ένα σύμπλοκο τριφθοριούχου βαρίου (οξύ Lewis). Αυτή η διαδικασία που σχηματίζει ένα σκληρυνόμενο δικτύωμα ονομάζεται καταλυτικός ομοπολυμερισμός. Το δίκτυωμα που έχει προκύψει αποτελείται εξ' ολοκλήρου από γέφυρες αιθέρα γεγονός που αποδίδει σ'ε αυτό υψηλή θερμική και μηχανική αντοχή. Έχει όμως ως συνέπεια να είναι ιδιαίτερα εύθραυστο και αρκετές φορές να χρειάζεται μια θερμική υποστήριξη, δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας για τη διευκόλυνση της διαδικασίας της σκλήρυνσης. Για αυτούς τους λόγους βρίσκει εξειδικευμένες χρήσεις στην βιομηχανία. Επίσης ακόμα μια μορφή εποξικού ομοπολυμερισμού χρησιμοποιείται συχνά όταν θέλουμε να επιτύχουμε φωτοπολυμερισμό με υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς γίνεται να εφαρμοστούν κατάλληλοι κατιονικοί καταλύτες UV.

Μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες εποξειδικών σκληρυντικών είναι οι πολυλειτουργικές πρωτοταγείς αμίνες. Στις πρωτοταγείς αμίνες, η αμινομάδα που βρίσκεται στα άκρα του μορίου κάνει αντίδραση προσθήκης με το εποξείδιο της ρητίνης και σχηματίζεται μια ομάδα υδροξυλίου και μια δευτεροταγή αμίνη. Στη συνέχεια και η δευτεροταγής αμίνη έχει την ικανότητα να αντιδράσει με το εποξείδιο για να σχηματίσει με την σειρά της μια τριτοταγή αμίνη και μια ακόμα υδροξυλομάδα. Οι πρωτοταγείς αμίνες είναι περίπου διπλάσιας αντιδραστικότητας από τις δευτεροταγείς αμίνες. Με τη χρήση διλειτουργικής ή και πολυλειτουργικής αμίνης —έχουμε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό τρισδιάστατων διασυνδεδεμένων δικτυωμάτων. Ως εποξειδικά σκληρυντικά χρησιμοποιούνται οι αλειφατικές αμίνες, οι κυκλοαλειφατικές αμίνες και οι αρωματικές αμίνες.

Οι αμίνες και ο σκληρυντικός τους τύπος άλλαξαν τις ιδιότητες επεξεργασίας όπως το ιξώδες και την αντιδραστικότητα αλλά και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος, για παράδειγμα τις μηχανικές ιδιότητες, την αντοχή στη θερμότητα. Οι κατασκευαστές έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν όποια δομή αμινών θέλουν να χρησιμοποιήσουν ανάλογα με την εφαρμογή που έχουν να φέρουν εις πέρας. Γνωρίζοντας το δυναμικό αντιδραστικότητας για τους διάφορους τύπους σκληρυντικών αμινών μπορούν να ορίσουν τον χρόνο αντίδρασης όπου επηρεάζει με

την σειρά του τις ιδιότητες της ρητίνης. Πιο συγκεκριμένα κατά προσέγγιση με φθίνουσα πορεία αντιδραστικότητας έχουμε τις αλειφατικές αμίνες, κυκλοαλειφατικές αμίνες, αρωματικές αμίνες. Η μικρή αντιδραστικότητα έχει ως πλεονέκτημα τους μεγάλους χρόνους προεπεξεργασίας που επιτρέπει να έχει ο κατασκευαστής. Η αύξηση της θερμοκρασίας από την αντίδραση ακολουθεί την ίδια διάταξη με την αντιδραστικότητα. Οι αμίνες που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως σκληρυντικά είναι οι αρωματικές, αφού έχουν εξαιρετικές ιδιότητες κατά την ανάμιξη με την μητρική ρητίνη. Τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της σωματικής επιβάρυνσης και της εμφάνισης επιπτώσεων στην υγεία από τις αρωματικές αμίνες, έχουν οδηγηθεί στην χρήση εναλλακτικών αλειφατικών –ή και κυκλοαλειφατικών αμιμών, όπως η καθαρή αμίνη TETA.

Χρησιμοποιώντας ανυδρίτες πετυχαίνουμε θερμική σκλήρυνση των εποξειδικών ρητινών και της δημιουργία πολυμερούς με διατήρηση των ιδιοτήτων σε μεγάλες θερμοκρασίες για μεγάλη χρονική διάρκεια. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η επακόλουθη διασύνδεση η οποία συμβαίνει μόνο όταν ανοίγει ο δακτύλιος του ανυδρίτη από της δευτεροταγή ομάδα υδροξυλίου της εποξικής ρητίνης. Τα σκληρυντικά ανυδρίτη έχουν υψηλή λανθάνουσα κατασκευή η οποία τα καθιστά κατάλληλα για συστήματα επεξεργασίας που απαιτούν προσθήκη ορυκτών πληρωτικών πριν την σκλήρυνσή τους. Η ταχύτητα με την οποία θα επιτευχθεί η σκλήρυνση μπορεί να υποστεί βελτιώσεις χρησιμοποιώντας κάποιες αντιστοιχίες ανυδριδίων με κατάλληλους επιταχυντές.

Οι φαινόλες, όπως η δισφαινόλη Α ή τα novolacs τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των πολυφαινολών μπορούν να αντιδράσουν με τις εποξειδικές ρητίνες σε μεγάλες θερμοκρασίες με την βοήθεια κατάλληλου καταλύτη (–130 έως 180 βαθμούς κελσίου). Το προϊόν της αντίδρασης αυτής έχει τους αιθερικούς δεσμούς και αποκτά υψηλότερες χημικές και οξειδωτικές αντοχές απ' ό,τι έχουν οι ρητίνες που χρησιμοποιούν αμίνες ή ανυδρίτες για σκληρυντικά.

Οι θειόλες έχουν την ικανότητα να αντιδρούν με μεγάλη ευκολία με τις ομάδες των εποξειδικών ρητινών, λόγω της παρουσίας του θείου το οποίο είναι ιδιαίτερα δραστικό ακόμα και σε θερμοκρασίες δωματίου αλλά και μικρότερες. Το μειονέκτημα των δικτυωμάτων που προκύπτουν από της σκλήρυνση της θειόλης είναι ότι δεν αποκτούν υψηλή θερμοκρασιακή και χημική αντοχή. Βέβαια η υψηλή αντιδραστικότητα της δραστικής ομάδας της θειόλης τους δίνει χρησιμότητα σε εφαρμογές όπου δεν επιτρέπεται η θερμοκρασιακή σκλήρυνση ή χρειάζεται αρκετά γρήγορη σκλήρυνση.

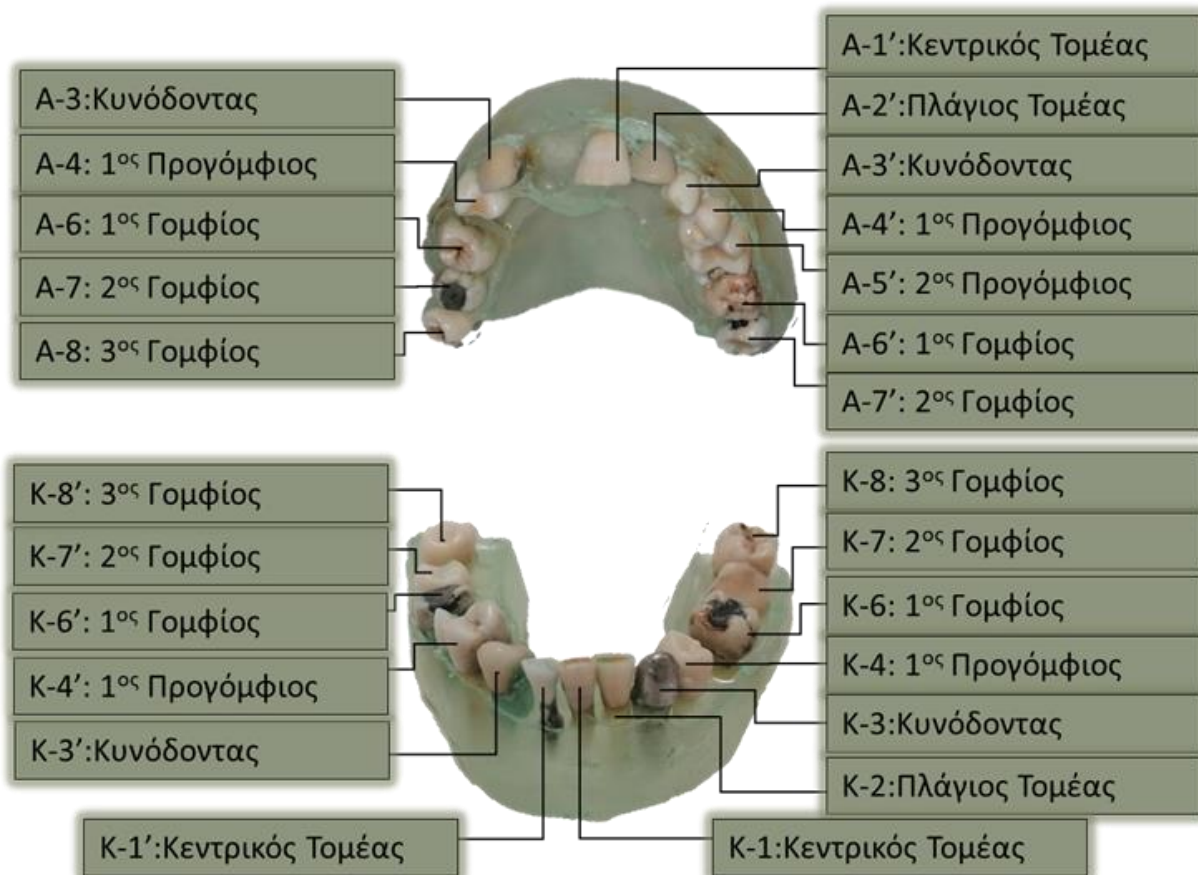
2 2^ο ΜΕΡΟΣ: Πειραματική διαδικασία

2.1 Μέθοδοι και υλικά

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήσαμε ορισμένα υλικά με συγκεκριμένες μεθόδους. Τα υλικά αυτά επιλέχτηκαν με σκοπό τη βέλτιστη δυνατή προσομοίωση της στοματικής κοιλότητας κατά την ακτινοβολήση αλλά και στην όψη. Γι'αυτό τον λόγο τα δόντια τα οποία χρησιμοποιήσαμε ήταν αληθινά. Επίσης τα καλούπια τα οποία κατασκευάσαμε έχουν τις σωστές αναλογίες και μεγέθη με ένα κανονικό στόμα. Τέλος δημιουργώντας αυτό το ομοίωμα με χρήση ρητίνης, της οποίας ο συντελεστής εξασθένησης της ακτινοβολίας προσεγγίζει την εξασθένηση του μαλακού ιστού, πετύχαμε την προσομοίωση του και στους παράγοντες που επηρεάζουν και την ακτινοβολήση.

2.1.1 Δόντια

Τα δόντια τα χρωθήκαμε από οδοντιάτρους που αρχικά τους είχαν κάνει διάγνωση.



Εικόνα 13: Τα δόντια του ομοιώματος

Πίνακας 3: Ανατομικός και Παθολογικός χαρακτηρισμός δοντιών Άνω γνάθου

Δόντια Άνω Γνάθου		
	Ανατομία	Παθολογία
A-1'	Κεντρικός Τομέας	κάταγμα
A-2'	Πλάγιος Τομέας	Φυσιολογικός
A-3'	Κυνόδοντας	Φυσιολογικός
A-4'	1 ^{ος} Προγόμφιος	Δίρριζος προγόμφιος με έμφραξη ρητίνης
A-5'	-	-----
A-6'	1 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με έμφραξη ρητίνης και έμφραξη αμαλγάματος
A-7'	2 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με έμφραξη ρητίνης και μεγάλη τερηδόνα
A-8'	3 ^{ος} Γομφίος	Τετράρριζος Γομφίος με τερηδόνα
Άξονας Συμμετρίας		
A-1	-	-----
A-2	-	-----
A-3	Κυνόδοντας	στεφάνη μεταλλοκεραμική
A-4	1 ^{ος} Προγόμφιος	Φυσιολογικός
A-5	-	-----
A-6	1 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με κομμάτι οστού
A-7	2 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με έμφραξη αμαλγάματος
A-8	3 ^{ος} Γομφίος	Τερηδόνα αρχόμενη μασητική

Πίνακας 4: Ανατομικός και παθολογικός χαρακτηρισμός δοντιών Κάτω Γνάθου.

Δόντια Κάτω Γνάθου		
	Ανατομία	Παθολογία
K-1	Κεντρικός Τομέας	Φυσιολογικός
K-2	Πλάγιος Τομέας	Φυσιολογικός
K-3	Κυνόδοντας	Μέταλλο στεφάνης
K-4	1 ^{ος} Προγόμφιος	Μονόρριζος προγόμφιος με τερηδόνα
K-5	-	-----
K-6	1 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με έμφραξη ρητίνης και ρωγμή στη ρίζα
K-7	2 ^{ος} Γομφίος	Φυσιολογικός
K-8	3 ^{ος} Γομφίος	Φυσιολογικός
Άξονας Συμμετρίας		
K-1'	Κεντρικός Τομέας	Φυσιολογικό
K-2'	-	-----
K-3'	Κυνόδοντας	Στεφάνη μεταλλοκεραμικής
K-4'	1 ^{ος} Προγόμφιος	Φυσιολογικός
K-5'	-	-----
K-6'	1 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με έμφραξη αμαλγάματος και τερηδόνα
K-7'	2 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με έμφραξη ρητίνης και ρωγμή στην ρίζα
K-8'	3 ^{ος} Γομφίος	Γομφίος με ασυνήθιστη μορφολογία ριζών

Πιο συγκεκριμένα τα δόντια που χρησιμοποιήσαμε για την υλοποίηση της κάτω γνάθου είναι τα εξής:

Δύο κεντρικούς τομής (K1-K1'): οι οποίοι ήταν υγείς.

Ένα πλάγιο τομέα (K2): που ήταν υγιής.

Δύο κυνόδοντες (K3-K3').

Δύο προγόμφιους, (K4-K4'): όπου ο K4 είναι μονορριζικός με τερηδόνα, ενώ ο K4' είναι μονορριζικός υγιής.

Δύο γομφίους (K6-K6'): ο K6 είναι γομφίος με έμφραξη αμαλγάματος και ρωγμή στην ρίζα, ενώ ο K6' είναι με έμφραξη αμαλγάματος και τερηδόνα.

Δύο γομφίους (K7-K7'): ο K7 είναι υγιής, ενώ ο K7' έχει έμφραξη ρητίνης και ρωγμή στην ρίζα.

Τέλος δύο γομφίους (K8-K8'), όπου ο K8 είναι υγιής και ο K8' είναι με ασυνήθιστη μορφολογία ριζών.

Ενώ τα δόντια για την άνω γνάθο που χρησιμοποιήσαμε είναι:

Έναν κεντρικό τομέα (A1'): ο οποίος έχει σπάσει.

Έναν πλάγιος τομέα (A2'): ο οποίος είναι φυσιολογικός

Δύο κυνόδοντες (A3-A3'):

Δύο προγόμφιους (A4-A4'): όπου ο A4 είναι Δίρριζος προγόμφιος με έμφραξη ρητίνης, ενώ ο A4' είναι υγιής.

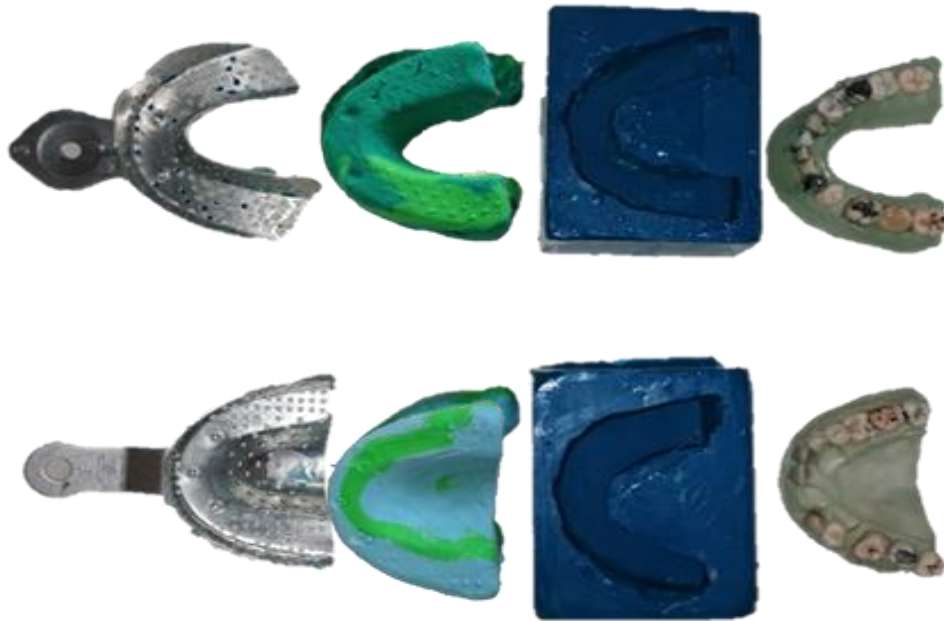
Δύο γομφίους (A6-A6'): όπου ο A6 είναι γομφίος με έμφραξη ρητίνης και έμφραξη αμαλγάματος, ενώ ο A6' είναι γομφίος με προσκολλημένο σ'ε αυτόν ένα κομμάτι οστού κατά την εξαγωγή του.

Δύο γομφίους (A7-A7'): ο A7 είναι γομφίος με έμφραξη ρητίνης και μεγάλη τερηδόνα, και ο A7' είναι γομφίος με έμφραξη αμαλγάματος.

Τέλος δύο 3ους γομφίους (A8-A8'): όπου ο πρώτος γομφίος έχει ένα κομμάτι οστού, ο δεύτερος γομφίος είναι με έμφραξη αμαλγάματος και ο τρίτος με τερηδόνα αρχόμενη μασητική.

2.1.2 Γενική σύνοψη δημιουργίας ομοιώματος

Για την διεξαγωγή της έρευνας χρειάστηκε να δημιουργηθούν δύο ομοιώματα, ένα για την άνω γνάθο και ένα για την κάτω. Τα ομοιώματα αυτά, είχαν ως απαίτηση να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας ειδικά υλικά για την καλύτερη προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών όπου επικρατούν κατά την ακτινοβόληση των δοντιών. Γι' αυτόν τον λόγο κάναμε χρήση ρητίνης που προσομοιάζει στον συντελεστή εξασθένησης μαλακού ιστού, αλλά και στα αληθινά δόντια.



Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής δημιουργίας ομοιώματος.

Κάτι δεν πάει καλά παραπάνω με το κείμενο και την εικόνα. Το ίδιο και παρακάτω με τις εικόνες

2.1.3 Θηλυκά καλούπια

Κατά το πρώτο στάδιο της παραγωγής των ομοιωμάτων χρειάστηκε να δημιουργηθούν δυο καλούπια από σιλικόνη που θα έδιναν το σχήμα της γνάθου στη ρητίνη. Αυτή η διαδικασία υλοποίησης χρειαστήκαμε αρκετό χρόνο στο εργαστήριο. Όπως προαναφέραμε αρχικά έπρεπε να κατασκευαστούν δυο θηλυκά καλούπια, τα οποία θα αποτελούνταν από σιλικόνη για να μην κολλήσει σε αυτά η εξαιρετικά ισχυρή ρητίνη. Χρησιμοποιήσαμε σιλικόνη της εταιρείας Zhermack, η οποία αποτελείται από δυο συστατικά σε αναλογία ένα προς ένα. Πιο συγκεκριμένα περιείχε 50% από την βάση και 50% από τον καταλύτη (Εικόνα 1). Παράλληλα με πλαστελίνη και τις φόρμες που χρησιμοποιούν για την λήψη αποτυπώματος της άνω και κάτω γνάθου για την κατασκευή του εκμαγείου, δημιουργήσαμε το σχήμα της μασέλας (Εικόνα 2), με σκοπό να είναι το θετικό καλούπι στο οποίο θα μπει η υγρή σιλικόνη για να έχουμε ως αποτέλεσμα το αρνητικό καλούπι. Στην συνέχεια κατασκευάσαμε δυο ορθογώνια κουτιά από μακετόχαρτο και τοποθετήσαμε στον πυθμένα τους την πάνω όψη των ομοιωμάτων γνάθου από πλαστελίνη. Τέλος τοποθετήσαμε και το μείγμα της υγρής ακόμα σιλικόνης από πάνω.

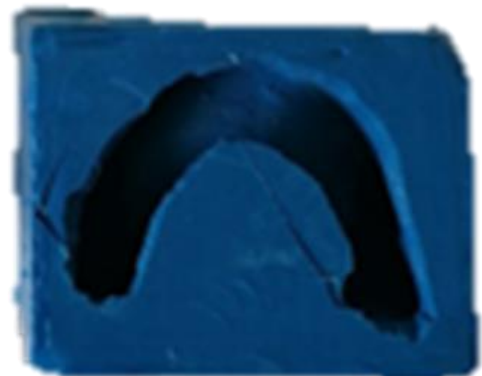
Μετά το καλούπι με την ρευστή σιλικόνη μπήκε στο φούρνο κενού, στον οποίο αφαιρώντας 1bar από την πίεση της ατμόσφαιρας καταφέραμε να αυξήσουμε τον όγκο των φυσαλίδων, οι οποίες είχαν δημιουργηθεί κατά την τοποθέτηση του μείγματος στο καλούπι, σε σημείο όπου σπάνε. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο μείγμα χωρίς φυσαλίδες στο εσωτερικό του. Αφού ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία αφήσαμε να σταθεροποιηθεί 2 μέρες. Αφού είχε πλέον σφίξει το μείγμα της σιλικόνης, αφαιρέσαμε την πλαστελίνη από το εσωτερικό της και καθαρίσαμε από τυχόν υπολείμματα πλαστελίνης.



Εικόνα 16: α) Το μπλε μπουκάλι είναι η βάση της σιλικόνης, β) το λευκό μπουκάλι είναι ο καταλύτης για την δημιουργία της σιλικόνης



Εικόνα 15: Πλαστελίνη και οι φόρμες που χρησιμοποιούν για την λήψη αποτυπώματος της άνω και κάτω γνάθου για την κατασκευή του εκμαγείου



Εικόνα 17: Τελικό αποτέλεσμα δυο θηλυκών καλουπιών από σιλικόνη.

2.1.4 Δημιουργία Ρητίνης

Έχοντας πλέον τα θηλυκά καλούπια άνω και κάτω γνάθου από σιλικόνη προχωρήσαμε στην υλοποίηση της ρητίνης. Λόγω της ανάγκης καλύτερης προσομοίωσης του ανθρώπινου ιστού χρησιμοποιήσαμε μια θερμοσκληρυνόμενη εποξειδική ρητίνη. Έτσι χρησιμοποιήσαμε την WWA EPOXY RESIN (Εικόνα 4) της ResolTech και το WW4 EPOXY HARDENER (Εικόνα 5) σε συγκεκριμένη αναλογία. Αναλυτικότερα χρειαζόμασταν ένα σκληρό αποτέλεσμα κατά

τον πολυμερισμό της ρητίνης, γι' αυτόν τον λόγο η αναλογία που χρησιμοποιήσαμε ήταν 100ml WWA – 40ml WWB4. Αυτή η ρητίνη προσομοιάζει την εξασθένηση που δέχεται η δέσμη όταν διαπερνά από μαλακό ιστό. Μετά την ανάμιξη της ρητίνης με το σκληρυντικό ανακατέψαμε πολύ καλά μέχρι να ομογενοποιηθεί -και το εναποθέσαμε μέσα στα καλούπια, αφού πρώτα τα περάσαμε με μια λεπτή στρώση από βαζελίνη για να μην μας δυσκολέψουν κατά την εξαγωγή του ομοιώματος. Τοποθετήσαμε πάλι τα καλούπια με την ρητίνη στον φούρνο κενού για να πετύχουμε, όπως αναφέραμε και προηγουμένως την ομοιογένεια του μείγματος (Εικόνα 6).



Εικόνα 19: :WWA EPOXY RESIN



Εικόνα 18: WWB4 EPOXY HARDENER



Εικόνα 20: Το καλούπι σιλικόνης με την ρητίνη, που είναι μέσα στον φούρνο κενού.(Φαίνονται οι φυσαλίδες που σκάνε).

2.1.5 Δημιουργία ομοιώματος

Για την τελική ανακατασκευή των ομοιωμάτων χρησιμοποιήσαμε πάλι τις μεταλλικές φόρμες λήψης αποτυπώματος, ώστε να δώσουμε ξανά το σχήμα της μασέλας στην πλαστελίνη. Στην συνέχεια τοποθετήσαμε μέσα στις πλαστελίνες την μύλη των δοντιών (εξωτερικό κομμάτι), στις σωστές ανατομικές θέσεις με την βοήθεια οδοντιάτρου (Εικόνα 7). Με αυτόν τον τρόπο η πλαστελίνη θα κρατάει σταθερά και στην σωστή θέση τα δόντια. Στο τέλος τοποθετήσαμε τις φόρμες με την πλαστελίνη και τα δόντια ανάποδα, έτσι ώστε οι ρίζες των δοντιών να βρίσκονται μέσα στις εσοχές των καλουπιών, οι οποίες είχαν γεμίσει με την θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη και αφήσαμε 4 μέρες να σταθεροποιηθεί (Εικόνα 8). Μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης πήραμε το τελικό αποτέλεσμα των ομοιωμάτων (Εικόνα 9). Η τελευταία διεργασία που χρειάστηκε να γίνει ήταν ο καθαρισμός από τα υπολείμματα της πλαστελίνης τα οποία είχαν κολλήσει στα δόντια αλλά και στην επιφάνεια της ρητίνης. Γι'αυτή τη δουλειά χρησιμοποιήσαμε ζεστό νερό, μια οδοντόβουρτσα και ένα τροχό με τον οποίο κάναμε και το τελικό φινίρισμα στις ατέλειες της ρητίνης.



Εικόνα 21: Φόρμες δημιουργίας αποτυπώματος Άνω-Κάτω γνάθου, με πλαστελίνη στο εσωτερικό τους, και τα δόντια τοποθετημένα με την μύλη εμφυτευμένη στο εσωτερικό της πλαστελίνης έτσι ώστε να εξέχουν μόνο οι ρίζες τους.



Εικόνα 22: Τοποθέτηση των φορμών με τα δόντια πάνω από τα καλούπια με την ρητίνη.



Εικόνα 23: Τελικό αποτέλεσμα Ομοιωμάτων Άνω - Κάτω γνάθου

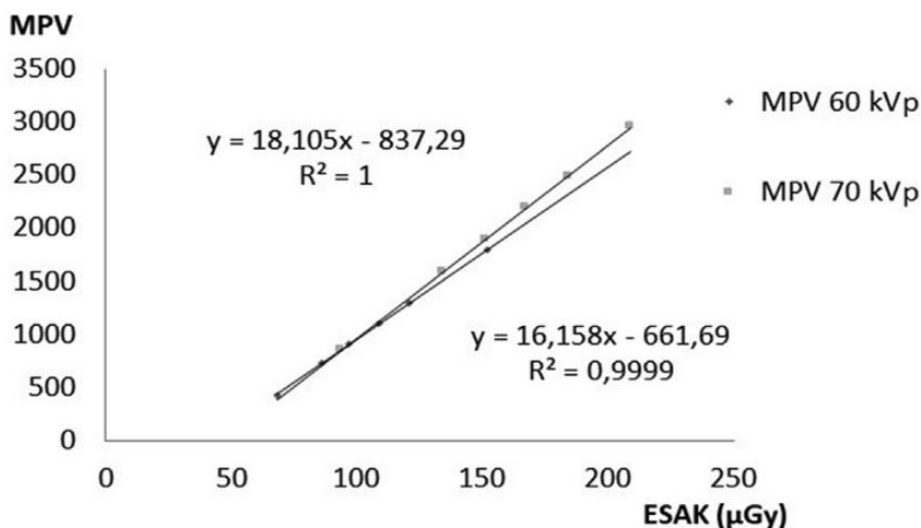
2.1.6 Ανιχνευτής CDR version 4,5

Κατά την ακτινοβολήση χρησιμοποιήσαμε τον ψηφιακό οδοντιατρικό ανιχνευτή SCHICK CDR DICOM. Ο ανιχνευτής ο οποίος αποτελείται από φθορίζον υλικό έμμεσης ανίχνευσης που βρίσκεται σε άμεση επαφή με τρανζίστορ CMOS το οποίο κάνει την μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος των εικονοστοιχείων είναι 40 μm . Όπως αναφέρεται στην αναφορά [4] λόγω της παλαιότητας του ανιχνευτή (δηλαδή το 2005) το φθορίζον υλικό που χρησιμοποιεί είναι το Gd₂O₂S, όπου εκπέμπει οπτικά φωτόνια στο πράσινο φάσμα του μήκους κύματος.



Εικόνα 24: Ανιχνευτής CDR version 4,5

Στον ανιχνευτή έγινε ποιοτικός έλεγχος για την εξαγωγή των ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως η απόκριση, ο θόρυβος αλλά και η διακριτική ικανότητα. Σύμφωνα με αυτό το άρθρο μπορούμε να εξάγουμε αρκετές πληροφορίες για τον τρόπο που πρέπει να ρυθμίσουμε τις συνθήκες ακτινοβολήσης. Από τα πιο σημαντικά σημεία του ανιχνευτή είναι η απόδοση του CMOS σε αναλογία με την δόση που δέχεται. Από το διάγραμμα MPV (Mean Pixel Value) – ESAK (Entrance Surface Air Kerma) βλέπουμε ακριβώς αυτή την εξάρτηση, δηλαδή της παραγωγής του ηλεκτρικού σήματος του CMOS ανιχνευτή, όταν δέχεται ένα ποσό δόσης. [4]



Εικόνα 25: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ MPV-ESAK

Από αυτό το διάγραμμα μπορούμε να καταλάβουμε ότι αυτή η σχέση είναι γραμμική. Ο αρθρογράφος μας αποδίδει τη γραμμική σχέση για δυο ενέργειες ακτινοβολήσης, μια στα 60 kVp και μια στα 70 kVp, όπου είναι και οι πρότυπες τιμές για την περιακρορριζική ακτινογραφία. Για τα 60 kVp έχουμε την σχέση: [4] (Οι εξισώσεις θέλουν αριθμηση δεξιά)

Εξίσωση 1: Γραμμική εξίσωση απόδοσης για 60 kVp

- $MPV = 16,158 \text{ ESAK} - 661.69$

Ενώ για τα 70 kVp έχουμε την γραμμική σχέση:

Εξίσωση 2: Γραμμική εξίσωση απόδοσης για 70 kVp

- $MPV = 18,105 \text{ ESAK} - 837.29$

Παρατηρούμε ότι στα 70 kVp απαιτείται μεγαλύτερο KERMA air εισόδου απ’ ότι στα 60 kVp για να δημιουργηθεί σήμα στον ανιχνευτή, αφού για ESAK μεγαλύτερο του 40,95 μGy για ενέργεια 60 kVp ο ανιχνευτής παράγει σήμα. Ενώ για τα 70 kVp χρειάζεται ESAK μεγαλύτερο του 46,25 μGy. Στην πορεία όμως βλέπουμε ότι για ESAK μεγαλύτερο του 90,24 μGy, η κλίση της εξίσωσης για τα 70 kVp είναι μεγαλύτερη απ’ ότι στα 60 kVp, όπου συνεπάγεται ότι παράγει περισσότερο σήμα ο ανιχνευτής στα 70 kVp.

Τέλος, ένα ακόμα ποιοτικό χαρακτηριστικό του ανιχνευτή το οποίο έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική ποιότητα της εικόνας είναι η Ανιχνευτική Κβαντική Αποδοτικότητα DQE (Detective Quantum Efficiency). Η αποδοτικότητα αυτή ορίζεται ως το πηλίκο του λόγου του σήματος προς τον θόρυβο (SNR(i)) που δημιουργείται σε ένα ανιχνευτικό απεικονιστικό

σύστημα, δηλαδή το SNR του σήματος προς τον θόρυβο του φορέα της πληροφορίας. Και όλο αυτό προς τον λόγο του σήματος προς τον θόρυβο των φωτονίων που συλλέγονται και δημιουργούν την εικόνα και αποδίδονται στην είσοδο υπό μορφή ορατής πληροφορίας. Οι πληροφορίες που μας δίνει αυτό το μέγεθος είναι για την ικανότητα του ανιχνευτή να απορροφά τους φορείς πληροφορίας που δέχεται, αλλά και το κατά πόσο μπορεί να τους χρησιμοποιήσει για τον σχηματισμό της τελικής εικόνας. Το ιδανικό σύστημα θα θέλαμε να έχει $DQE = 1$, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό. Μια επιπλέον γνώση που παίρνουμε από το DQE είναι το αντίστροφο μέγεθός του ($1/DQE$), το οποίο μας δείχνει το πόσες φορές πρέπει να αυξήσουμε τον αριθμό των φωτονίων που ανιχνεύονται για να έχουμε μια ποσότητα διαγνωστικών πληροφοριών ίση με αυτή που παρέχει ένας ιδανικός ανιχνευτής. [4]

Εξίσωση 3: Γενικός τύπος για υπολογισμός DQE

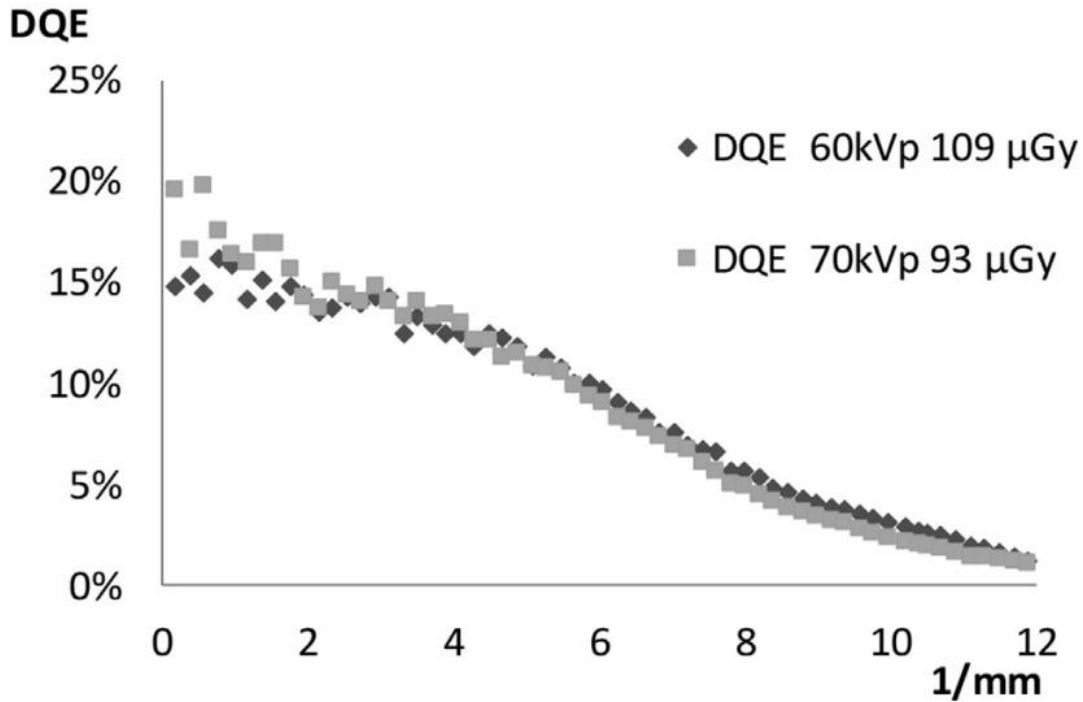
$$\bullet \quad DQE = \left(\frac{SNR(0)}{SNR(i)} \right)^2$$

Στο άρθρο η ποσότητα του DQE προσεγγίζεται με μια άλλη μαθηματική συνάρτηση, στην οποία πάλι υπολογίζεται ένα πηλίκο. Στον αριθμητή αυτού του πηλίκου βρίσκεται η συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης MTF (Modulation Transfer Function) στο τετράγωνο και στον παρονομαστή βρίσκεται το γινόμενο της επιφανειακής εισόδου κινητικής ενέργειας που απελευθερώνεται στον αέρα ESAK (Entrance Surface Air Kerma), επί τον αριθμό των φωτονίων $X(q)$, επί το κανονικοποιημένο φάσμα ισχύος θορύβου NNPS (Normalized Noise Power Spectrum).

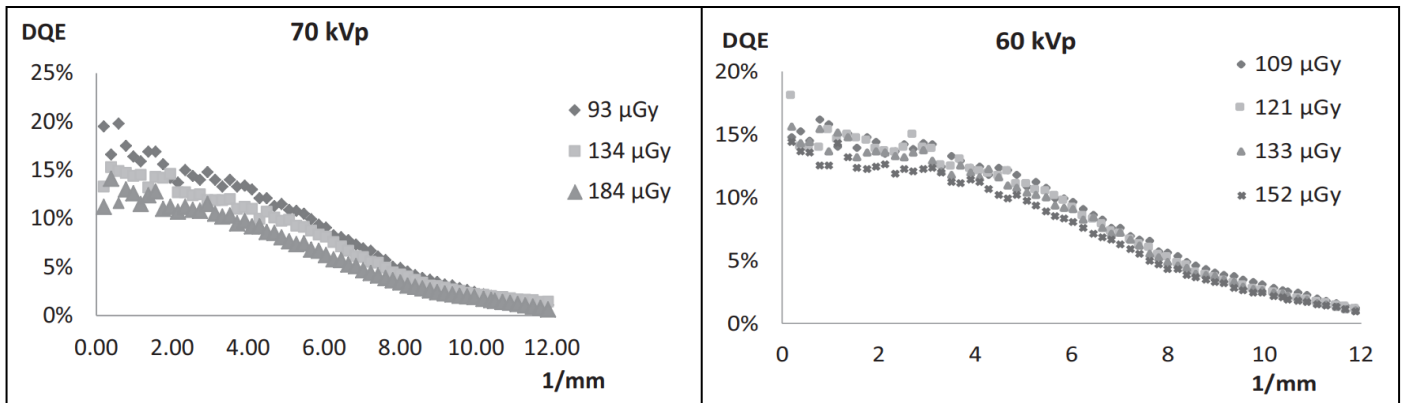
Εξίσωση 4: Εξίσωση για πειραματικό υπολογισμό DQE

$$\bullet \quad DQE = \frac{[MTF(f)]^2}{ESAK \ q \ NNPS(f)}$$

Από τον υπολογισμό αυτής της συνάρτησης υπολογίστηκε το γράφημα του DQE το οποίο ακολουθεί την μορφή του φάσματος του WIENER. Πιο συγκεκριμένα το DQE υπολογίστηκε για ενέργειες 60 kVp και 70 kVp και ESAK 109 μ Gy και 93 μ Gy αντίστοιχα.[4]



Παρατηρούμε ότι το DQE παρουσιάζει μέγιστο για ενέργεια 70 kVp και ESAK 93 μGy και βλέπουμε ότι το DQE φτάνει στο 20%. Ακόμα έχουν υπολογιστεί και τα DQE για ενέργειες 60 kVp και 70 kVp με διάφορες τιμές ESAK. Και βλέπουμε την εξάρτηση του DQE από το ESAK.



Εικόνα 27: Διαγράμματα DQE για ενέργειες 60 kVp και 70 kVp, με διάφορες τιμές ESAK

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ESAK τόσο μειώνεται το DQE και στα δύο συστήματα. Στο μεν σύστημα των 70 kVp το μέγιστο παρουσιάζεται για δόση 93 μGy , στο δε σύστημα των 60 kVp το μέγιστο παρουσιάζεται για δόση 121 μGy . Αλλά και πάλι το σύστημα των 60 kVp δεν ξεπερνάει το σύστημα των 70 kVp.[4]

2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

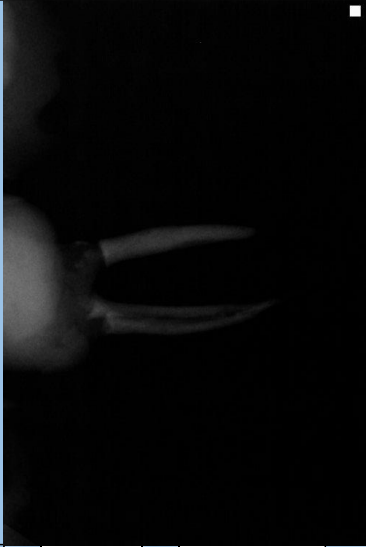
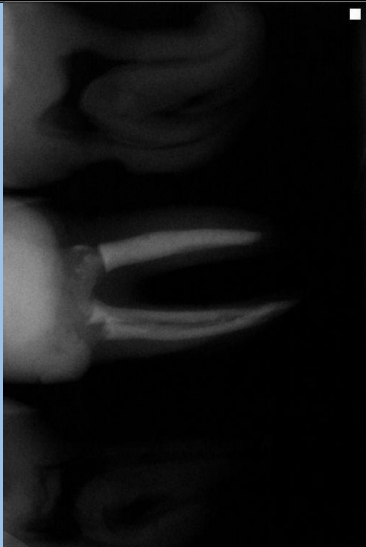
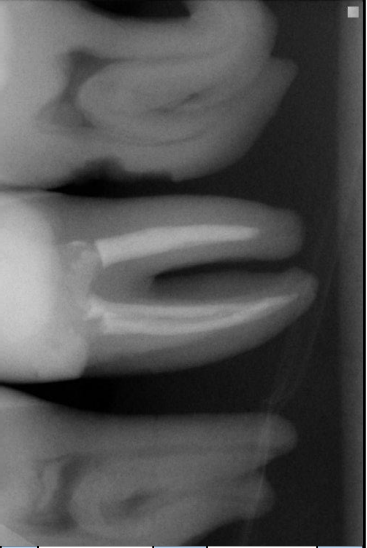

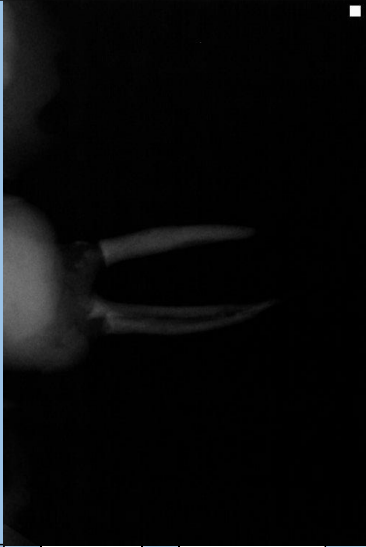
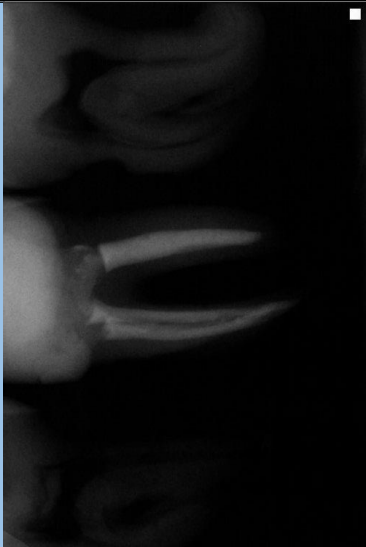
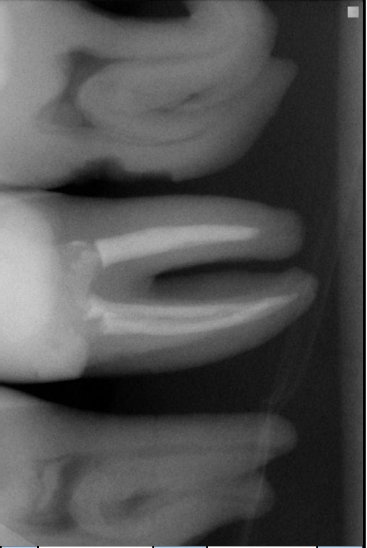

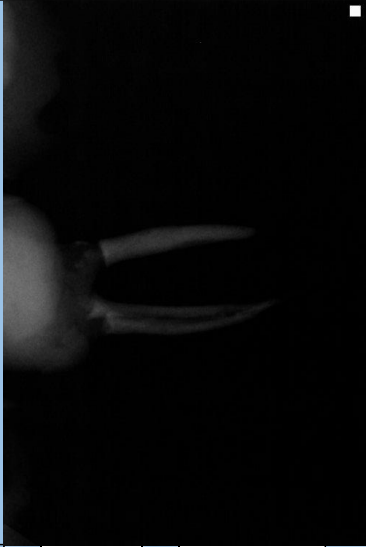
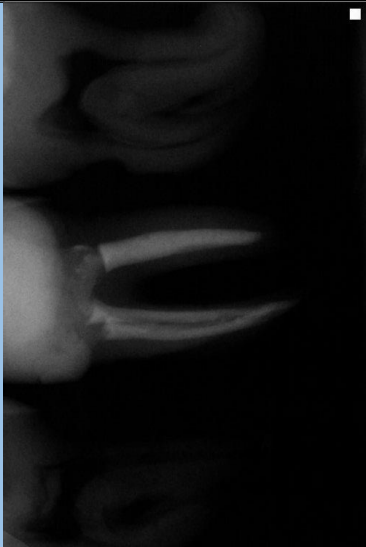
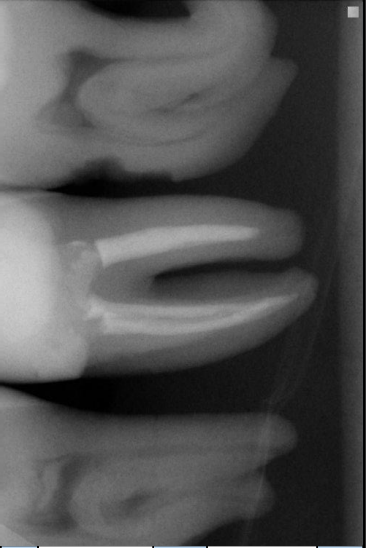

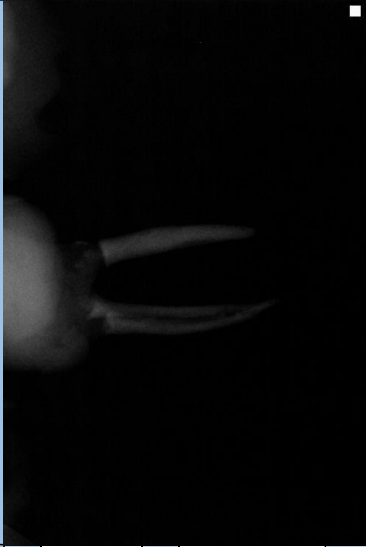
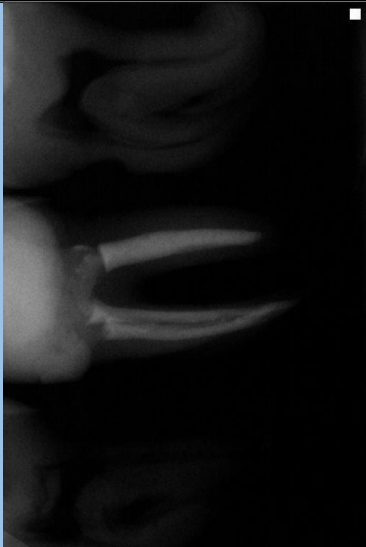
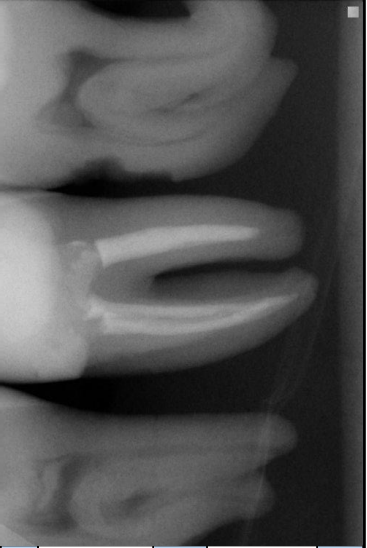

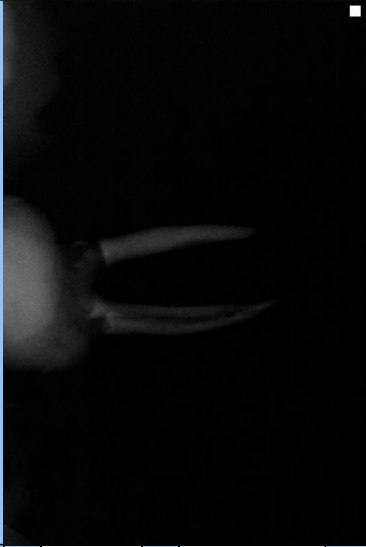
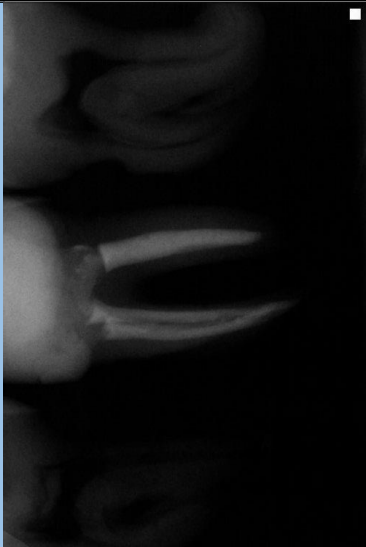
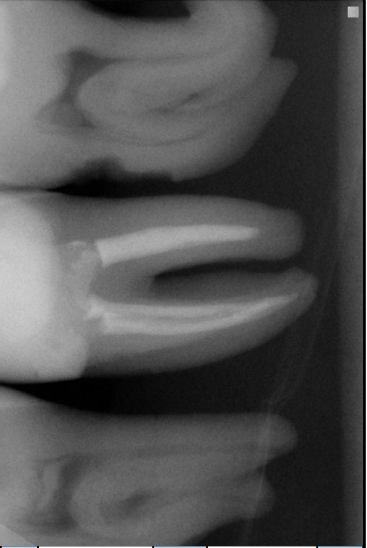

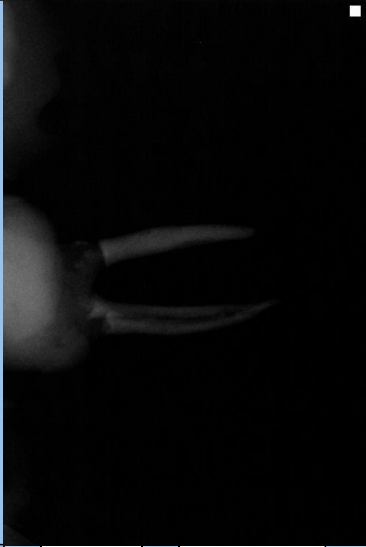
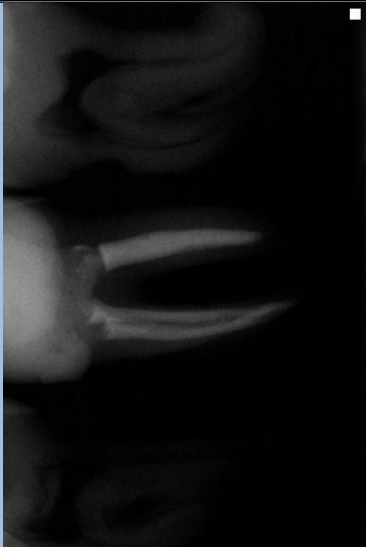
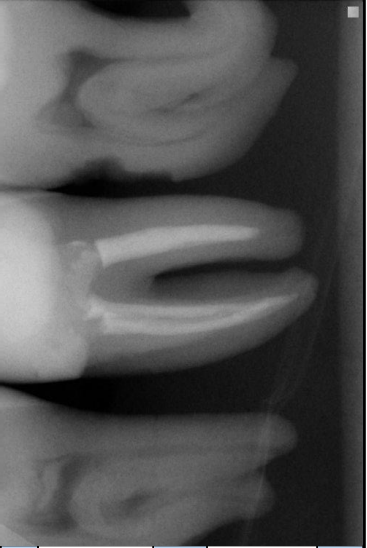

2.2.1 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διαδικασία της ακτινοβολήσης των ομοιωμάτων έλαβε χώρα στο εργαστήριο της ομάδας ΑΚΤΥΒΑ (Radiation Physics, Materials Technology and Biomedical Imaging, ΑΚΤΥΒΑ) το οποίο διαθέτει ένα ακτινολογικό μηχάνημα. Το ακτινολογικό μηχάνημα χρησιμοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιάζει τη δόση επιφανείας που δέχεται ο εξεταζόμενος κατά την διάρκεια ακτινογράφησής του, καθώς κάθε λήψη ακτινογραφίας έχει και ένα ανώτατο όριο, το οποίο είναι απαγορευτικό να ξεπεραστεί.

Αρχικά τοποθετήσαμε το ομοίωμα πάνω στην τράπεζα εξέτασης. Συνδέσαμε τον ανιχνευτή CDR version 4,5 στον υπολογιστή. Αφού πρώτα είχαμε εγκαταστήσει σ'ε-αυτόν το λογιστικό στο οποίο δουλεύει ο ανιχνευτής. Στην συνέχεια ορίσαμε το πεδίο ακτινοβολήσης από τα διαφράγματα του ανιχνευτή τα οποία υπάρχουν στην κεφαλή. Αφού διαλέξαμε τα δόντια τα οποία θα κάναμε ακτινοβολήση, τοποθετήσαμε τον ανιχνευτή οριζόντια κατά την μεγάλη πλευρά που ορθογωνίου να εφάπτεται στην τράπεζα, ώστε να εκτείνεται από -2 έως και 3 δόντια. Τέλος έπρεπε να γίνουν οι ρυθμίσεις λειτουργίας της λυχνίας. Έτσι για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήσαμε διάφορες τιμές τάσεων από ~~τάσεις~~ (kV) και γινομένου χρόνου με ρεύμα (mAs) και τη μικρή εστία, για να διερευνήσουμε της καλύτερες συνθήκες ακτινοβολήσης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε τρία (3) σετ ρυθμίσεων τα οποία ήταν:

- 1), 70 kV - 8 mAs - Μικρή Εστία // 70 kV - 6,3 mAs - Μικρή Εστία
70 kV - 4 mAs - Μικρή Εστία // 70 kV - 2,8 mAs - Μικρή Εστία
- 2), 60 kV - 8 mAs - Μικρή Εστία // 60 kV - 6,3 mAs - Μικρή Εστία
60 kV - 4 mAs - Μικρή Εστία // 60 kV - 2,8 mAs - Μικρή Εστία
- 3), 50 kV - 8 mAs - Μικρή Εστία // 50 kV - 6,3 mAs - Μικρή Εστία
50 kV - 4 mAs - Μικρή Εστία // 50 kV - 2,8 mAs - Μικρή Εστία

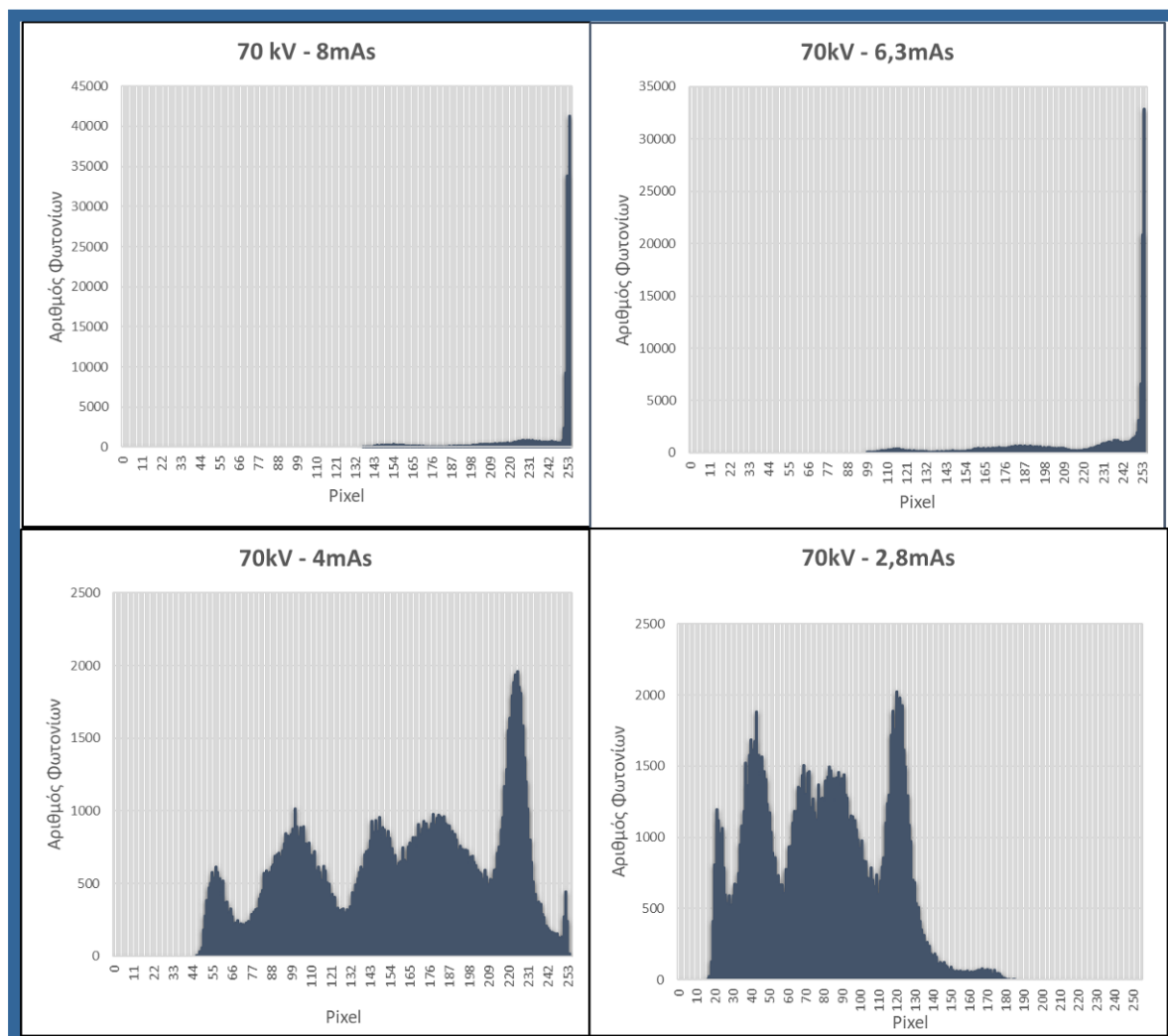
2.2.2 Πρώτο σετ ακτινοβόλησης

Ρυθμίσεις	Εικόνα	Εικόνα	Ρυθμίσεις	Εικόνα	
Τάση (kV)			Τάση (kV)		
70			70		
mAs			mAs		
8			6,3		
Εστία μικρή			Εστία μικρή		
Ρυθμίσεις			Ρυθμίσεις		
Τάση (kV)			Τάση (kV)		
70			70		
mAs			mAs		
4			2,8		
Εστία μικρή			Εστία μικρή		
Ρυθμίσεις			Ρυθμίσεις		
Τάση (kV)			Τάση (kV)		
70			70		
mAs			mAs		
4			2,8		
Εστία μικρή			Εστία μικρή		
Ρυθμίσεις			Ρυθμίσεις		

Πίνακας 5 : Ακτινογραφίες πρώτου σετ ρυθμίσεων

Πίνακας 6: Μετρήσεις μέσω λογισμικού imageJ, ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών

Πρώτο σετ ακτινοβολήσης				
α/α	Area	mean	Min	Max
1	203.760	239,557	137	254
2	203.760	222,769	99	254
3	203.760	159,919	46	254
4	203.760	79,982	16	189



Εικόνα 28: Ιστογράμματα πρώτου σετ μετρήσεων

Πίνακας 7: υπολογισμός τυπικής απόκλισης σε ομογενή περιοχή για το πρώτο σετ μετρήσεων.

Τυπική απόκλιση StdDev			
70 kVp – 8 mAs	70 kVp – 6,3 mAs	70 kVp – 4 mAs	70 kVp – 2,8 mAs
0,619	0,641	2,553	2,832

Από τις μετρήσεις του πρώτου σετ ρυθμίσεων προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Αρχικά στον Πίνακα 5 βλέπουμε τα αποτελέσματα της δημιουργίας των ακτινογραφιών με σταθερή τάση στα 70 kVp και ρυθμίζοντας το γινόμενο του ρεύματος με τον χρόνο λειτουργίας της λυχνίας (mAs). Παρατηρώντας τις ίδιες τις εικόνες μπορούμε να δούμε τις διαφορές μεταξύ τους, αφού διαπιστώνουμε ότι μειώνοντας τα mAs η απεικόνιση αποκτάει καινούργιες αποχρώσεις και υφές. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιώντας το δωρεάν λογισμικό Image J μπορέσαμε να κάνουμε και ποσοτική μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών.

Στον Πίνακα 6 αποτυπώνονται οι μετρήσεις του max pixel αλλά και του min pixel που υπάρχουν στην εικόνα, αλλά και η μέση τιμή του number of pixel. Από αυτές τις μετρήσεις βλέπουμε ότι στην πρώτη εικόνα έχουμε εύρος τιμών pixel από 137 μέχρι 254, δηλαδή χρησιμοποιεί 117 διαφορετικές αποχρώσεις για την απεικόνιση, με μέση τιμή 239 όπου καταλαβαίνουμε ότι δεν έχουν κατανεμηθεί ομοιόμορφα οι τιμές των pixel. Στη δευτέρα εικόνα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση τιμών στην παλέτα των αποχρώσεων, αφού έχουμε εύρος τιμών pixel από 99 μέχρι 254, δηλαδή 155 διαφορετικές αποχρώσεις, με μέση τιμή 222, όπου πάλι βλέπουμε ότι οι περισσότερες τιμές κατανέμονται στις υψηλές τιμές των pixel. Στη τρίτη εικόνα έχουμε ένα εύρος από 46 έως 254, που δίνει 208 διαφορετικές αποχρώσεις στην εικόνα, με μέση τιμή 160, δηλαδή υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή των τιμών pixel. Τέλος, η τέταρτη εικόνα του πρώτου πειραματικού σετ ρυθμίσεων έχει εύρος από 16 έως 254, δηλαδή 238 διαφορετικές τιμές pixel με μέση τιμή 80, όπου μπορούμε να καταλάβουμε ότι οι τιμές έχουν συσπειρωθεί στην περιοχή των μικρών τιμών pixel. Από τον Πίνακα 6 μπορούμε να επιβεβαιώσουμε και ποσοτικά πλέον, αυτό που ειπώθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ότι μειώνοντας τα mAs η απεικόνισή μας αποκτάει περισσότερες αποχρώσεις.

Στην εικόνα 28 απεικονίζονται τα ιστογράμματα που δείχνουν το πώς κατανέμονται οι τιμές των pixel. Τα ιστογράμματα βρήκαν από το λογισμικό image J και απ' αυτά μπορούμε να επιβεβαιώσουμε και απεικονιστικά την ανομοιόμορφη κατανομή που παρατηρήσαμε μαθηματικά στην παραπάνω παράγραφο.

Τέλος στον Πίνακα 7 αποτυπώνονται οι τυπικές αποκλίσεις σε μία ομογενή περιοχή του ούλου, όπου είναι ένας τρόπος για ποσοτικοποίηση του θορύβου. Έτσι παρατηρούμε ότι στις δύο πρώτες εικόνες δεν έχουμε σχεδόν καθόλου θόρυβο, αφού η τυπική απόκλιση είναι μικρότερη του 1. Σε αντίθεση με τις δύο επόμενες και κυρίως την εικόνα 4, όπου παρατηρείται τυπική απόκλιση 2,8. Σε αυτές ο θόρυβος λαμβάνει σημαντικό ρόλο.

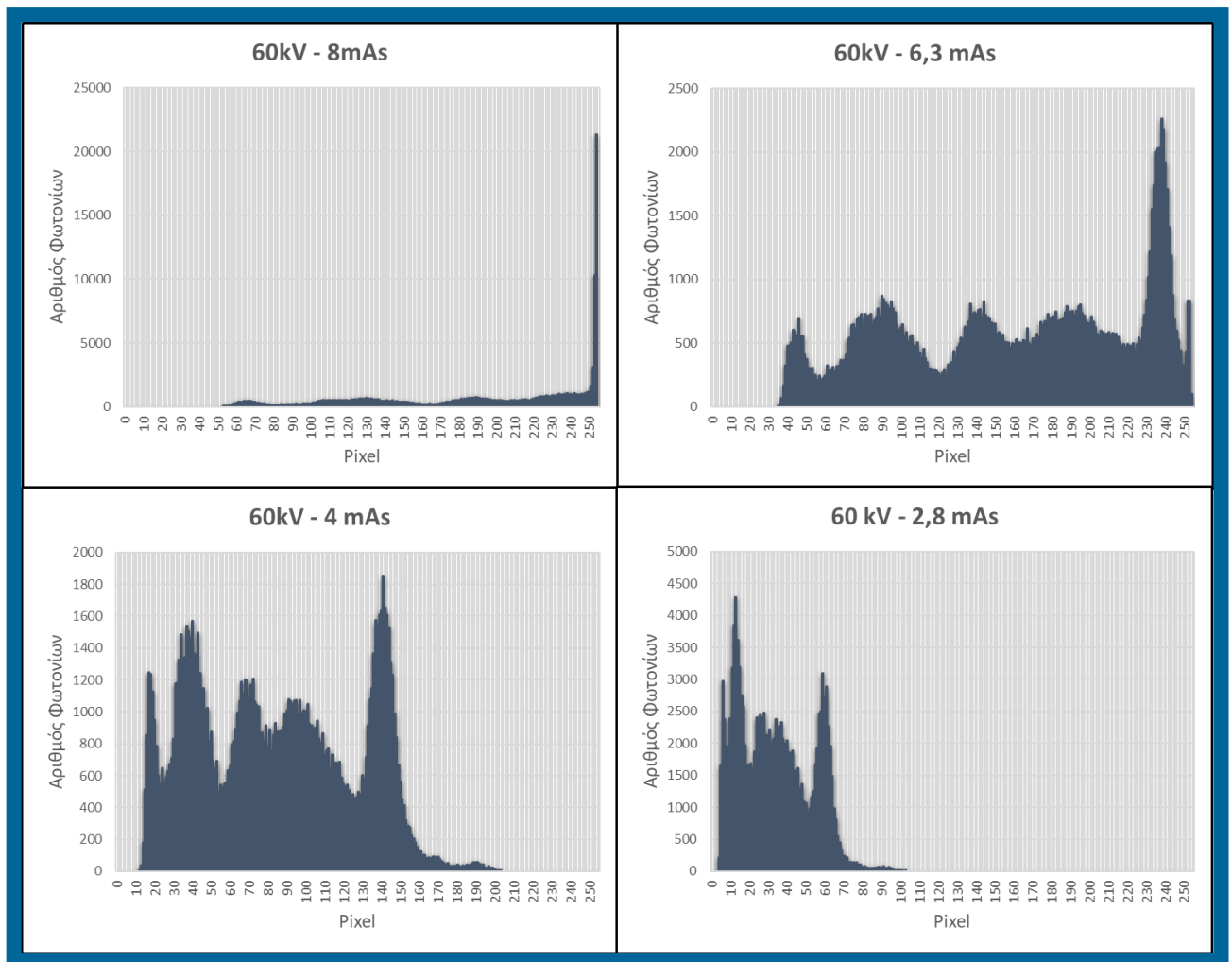
2.2.3 Δεύτερο σετ ακτινοβόλησης

Εικόνα	Εικόνα	Εικόνα	Εικόνα																						
<table border="1"> <tr> <td>Ρυθμίσεις</td> <td>Ρυθμίσεις</td> </tr> <tr> <td>Τάση (kV)</td> <td>Τάση (kV)</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>mAs</td> <td>mAs</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>6,3</td> </tr> <tr> <td>Εστία μικρή</td> <td>Εστία μικρή</td> </tr> </table>	Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις	Τάση (kV)	Τάση (kV)	60	60	mAs	mAs	8	6,3	Εστία μικρή	Εστία μικρή	<table border="1"> <tr> <td>Ρυθμίσεις</td> <td>Ρυθμίσεις</td> </tr> <tr> <td>Τάση (kV)</td> <td>Τάση (kV)</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>mAs</td> <td>mAs</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2,8</td> </tr> <tr> <td>Εστία μικρή</td> <td>Εστία μικρή</td> </tr> </table>	Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις	Τάση (kV)	Τάση (kV)	60	60	mAs	mAs	4	2,8	Εστία μικρή	Εστία μικρή
Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις																								
Τάση (kV)	Τάση (kV)																								
60	60																								
mAs	mAs																								
8	6,3																								
Εστία μικρή	Εστία μικρή																								
Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις																								
Τάση (kV)	Τάση (kV)																								
60	60																								
mAs	mAs																								
4	2,8																								
Εστία μικρή	Εστία μικρή																								

Πίνακας 8: Ακτινογραφίες δεύτερου σετ ρυθμίσεων

Πίνακας 9: Μετρήσεις μέσω λογισμικού imageJ, ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών

Δεύτερο σετ ακτινοβολήσης				
α/α	Area	mean	Min	Max
1.	203.491	191.376	53	254
2.	203.491	158.726	35	254
3.	203.491	85.659	12	210
4.	203.491	34.519	4	106



Εικόνα 29: Ιστογράμματα δεύτερου σετ μετρήσεων

Πίνακας 10: Υπολογισμός τυπικής απόκλισης σε ομογενή περιοχή για το δεύτερο σετ μετρήσεων.

Τυπική απόκλιση StdDev			
60 kVp – 8 mAs	60 kVp – 6,3 mAs	60 kVp – 4 mAs	60 kVp – 2,8 mAs
0,643	2,214	2,978	2,397

Από τις μετρήσεις του δευτέρου σετ ρυθμίσεων προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:


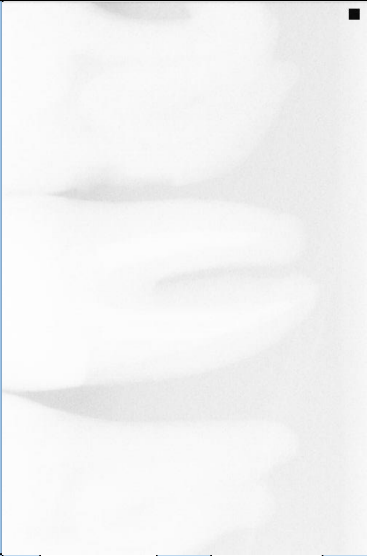
Αρχικά στον Πίνακα 8 βλέπουμε τα αποτελέσματα της δημιουργίας των ακτινογραφιών με σταθερή τάση στα 60 kVp και ρυθμίζοντας το γινόμενο του ρεύματος με τον χρόνο λειτουργίας της λυχνίας (mAs). Από την παρατήρηση και μόνο των εικόνων δεν μπορούμε να βγάλουμε ένα ασφαλές συμπέρασμα –για τις διαφορές μεταξύ τους, αφού δεν μπορούμε να συσχετίσουμε εύκολα τα mAs με ένα αποτέλεσμα στις αποχρώσεις και στις υφές. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιώντας το δωρεάν λογισμικό Image J μπορέσαμε να κάνουμε και ποσοτική μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών.

Στον Πίνακα 9 αποτυπώνονται οι μετρήσεις του max pixel αλλά και του min pixel που υπάρχουν στην εικόνα, αλλά και η μέση τιμή του number of pixel. Από αυτές τις μετρήσεις βλέπουμε ότι στην πρώτη εικόνα έχουμε εύρος τιμών pixel από 53 μέχρι 254, δηλαδή χρησιμοποιεί 201 διαφορετικές αποχρώσεις για την απεικόνιση, με μέση τιμή 191 όπου καταλαβαίνουμε ότι δεν έχουν κατανεμηθεί ομοιόμορφα οι τιμές των pixel. Στη δευτέρα εικόνα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση τιμών στην παλέτα των αποχρώσεων, αφού έχουμε εύρος τιμών pixel από 35 μέχρι 254, δηλαδή 219 διαφορετικές αποχρώσεις, με μέση τιμή 158, όπου παρατηρούμε μια ομοιόμορφη κατανομή των τιμών pixel. Στη τρίτη εικόνα έχουμε ένα εύρος από 12 έως 210, που δίνει 198 διαφορετικές αποχρώσεις στην εικόνα, με μέση τιμή 86, δηλαδή υπάρχει μια μείωση στην παλέτα των αποχρώσεων με ομοιόμορφη κατανομή των τιμών pixel. Τέλος, στη τέταρτη εικόνα του δεύτερου πειραματικού σετ ρυθμίσεων παρατηρείται μια απότομη μείωση των αποχρώσεων αφού έχει εύρος από 4 έως 106, δηλαδή 102 διαφορετικές τιμές pixel με μέση τιμή 34, όπου μπορούμε να καταλάβουμε ότι οι τιμές έχουν συσπειρωθεί στην περιοχή των μικρών τιμών pixel.

Στην εικόνα 29 απεικονίζονται τα ιστογράμματα που δείχνουν το πώς κατανέμονται οι τιμές των pixel. Τα ιστογράμματα βρήκαν από το λογισμικό image J και από αυτά μπορούμε να επιβεβαιώσουμε και απεικονιστικά την ανομοιόμορφη κατανομή που παρατηρήσαμε μαθηματικά στην παραπάνω παράγραφο.

Τέλος στον Πίνακα 10 αποτυπώνονται οι τυπικές αποκλίσεις σε μία ομογενή περιοχή του ούλου, όπου είναι ένας τρόπος για ποσοτικοποίηση τους θορύβου. Έτσι παρατηρούμε ότι στην πρώτη εικόνα δεν έχουμε σχεδόν καθόλου θόρυβο, αφού η τυπική απόκλιση είναι μικρότερη του 1. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες τρεις και κυρίως την εικόνα 3, όπου παρατηρείται τυπική απόκλιση 3,2. αλλά και η δεύτερη και η τρίτη που έχουν τυπική απόκλιση 2,4. Σε αυτές τις εικόνες ο θόρυβος λαμβάνει σημαντικό χώρο στην εικόνα.

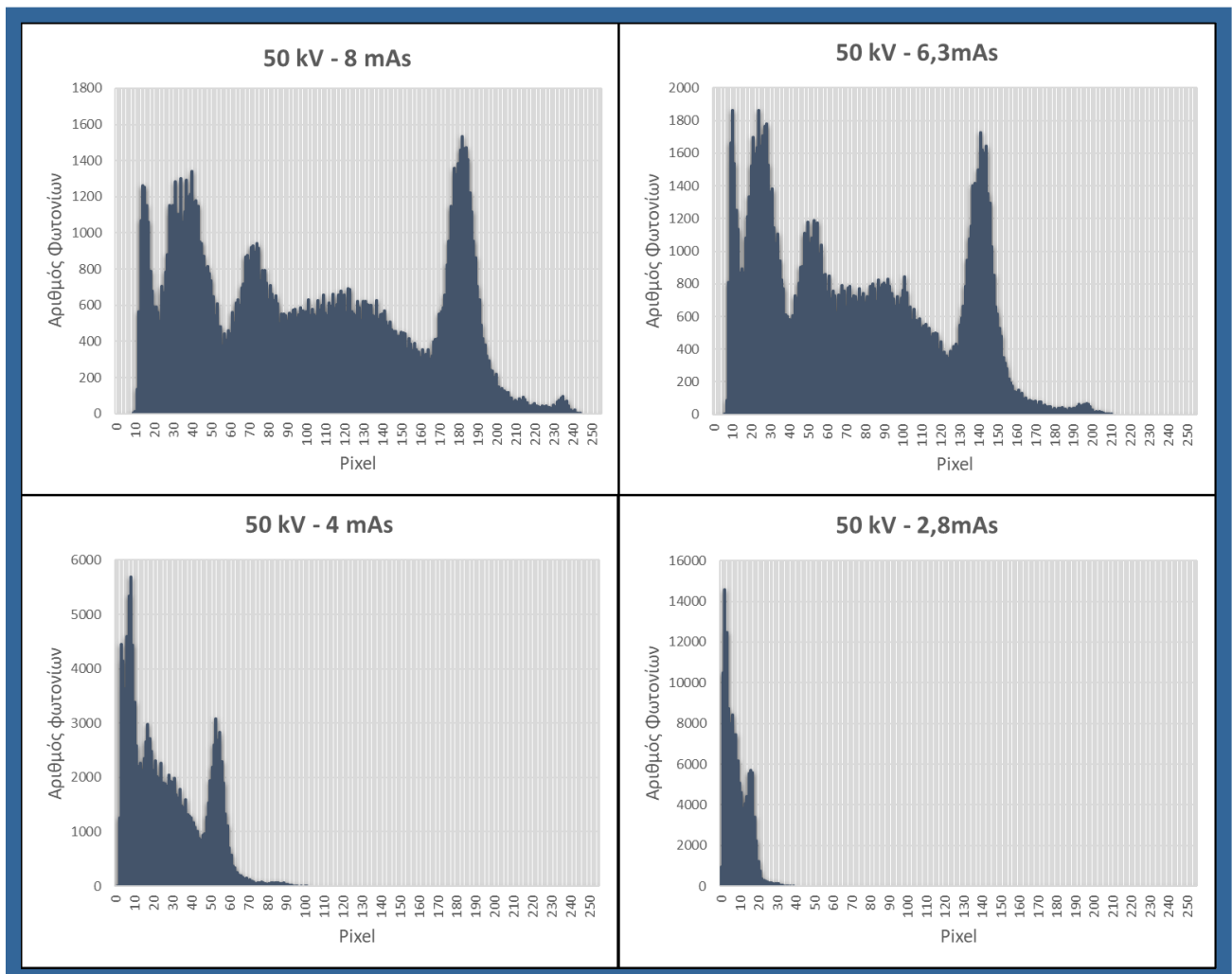
2.2.4 Τρίτο σετ ακτινοβόλησης

Εικόνα		Εικόνα	
Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις
Τάση (kV)	Τάση (kV)	Τάση (kV)	Τάση (kV)
50	50	50	50
mAs	mAs	mAs	mAs
8	6,3	2,8	2,8
Εστία μικρή	Εστία μικρή	Εστία μικρή	Εστία μικρή
Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις	Ρυθμίσεις
Τάση (kV)	Τάση (kV)	Τάση (kV)	Τάση (kV)
50	50	50	50
mAs	mAs	mAs	mAs
4	2,8	2,8	2,8
Εστία μικρή	Εστία μικρή	Εστία μικρή	Εστία μικρή

Πίνακας 11: Ακτινογραφίες τρίτου σετ ρυθμίσεων

Πίνακας 12: Μετρήσεις μέσω λογισμικού imageJ, ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών

Τρίτο σετ ακτινοβολήσης				
α/α	Area	mean	Min	Max
1.	203.491	101.077	9	247
2.	203.491	76.154	6	214
3.	203.491	27.400	1	101
4.	203.491	8.482	0	39



Εικόνα 30 :Ιστογράμματα δεύτερου σετ μετρήσεων

Πίνακας 13: Υπολογισμός τυπικής απόκλισης σε ομογενή περιοχή για το δεύτερο σετ μετρήσεων.

Τυπική απόκλιση StdDev			
50 kVp – 8 mAs	50 kVp – 6,3 mAs	50 kVp – 4 mAs	50 kVp – 2,8 mAs
2,941	2,841	2,194	1,558

Από τίς μετρήσεις του τρίτου και τελευταίου σετ ρυθμίσεων προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Αρχικά στον Πίνακα 11 βλέπουμε τα αποτελέσματα της δημιουργίας των ακτινογραφιών με σταθερή τάση στα 50 kVp και ρυθμίζοντας το γινόμενο του ρεύματος με τον χρόνο λειτουργίας της λυχνίας (mAs). Από την παρατήρηση και μόνο των ίδιων των εικόνων μπορούμε να βγάλουμε ένα ασφαλές συμπέρασμα –για τις διαφορές μεταξύ τους, αφού μειώνοντας τα mAs έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι αποχρώσεις και οι υφές. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιώντας το δωρεάν λογισμικό Image J μπορέσαμε να κάνουμε και ποσοτική μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ακτινογραφιών.

Στον Πίνακα 12 αποτυπώνονται οι μετρήσεις του max pixel αλλά και του min pixel που υπάρχουν στην εικόνα, αλλά και η μέση τιμή του number of pixel. Από αυτές τις μετρήσεις βλέπουμε ότι στην πρώτη εικόνα έχουμε εύρος τιμών pixel από 9 μέχρι 247, δηλαδή χρησιμοποιεί 238 διαφορετικές αποχρώσεις για την απεικόνιση, με μέση τιμή 101 όπου καταλαβαίνουμε ότι έχουν κατανεμηθεί ομοιόμορφα οι τιμές των pixel. Στη* δεύτερη εικόνα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μείωση τιμών στην παλέτα των αποχρώσεων, αφού έχουμε εύρος τιμών pixel από 6 μέχρι 214, δηλαδή 208 διαφορετικές αποχρώσεις, με μέση τιμή 76, όπου παρατηρούμε μια ομοιόμορφη κατανομή των τιμών pixel. Στη* τρίτη εικόνα έχουμε ένα εύρος από 1 έως 101, που δίνει 100 διαφορετικές αποχρώσεις στην εικόνα, με μέση τιμή 27, δηλαδή υπάρχει μεγάλη μείωση στην παλέτα των αποχρώσεων με ανομοιόμορφη κατανομή των τιμών pixel. Τέλος, στη* τέταρτη εικόνα του τρίτου πειραματικού σετ ρυθμίσεων παρατηρείται μια απότομη μείωση των αποχρώσεων, αφού έχει εύρος από 0 έως 39, δηλαδή 39 διαφορετικές τιμές pixel με μέση τιμή 8,-όπου μπορούμε να καταλάβουμε ότι οι τιμές έχουν συσπειρωθεί στην περιοχή των μικρών τιμών pixel.

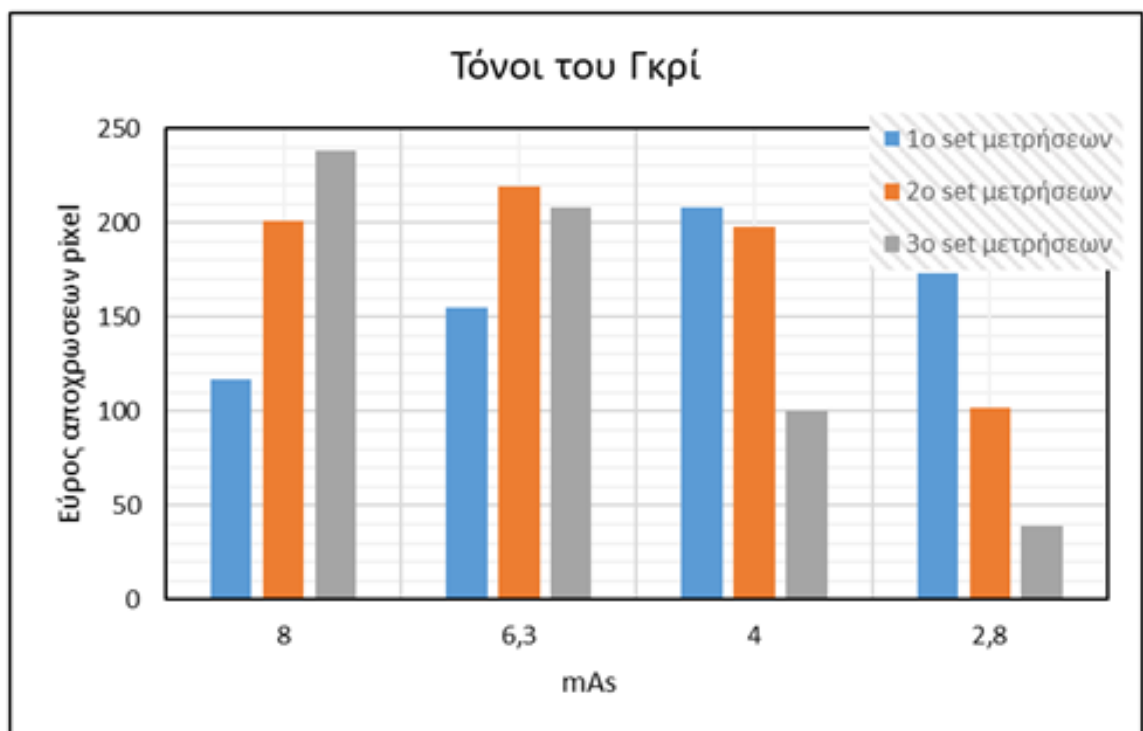
Στην εικόνα 29 απεικονίζονται τα ιστογράμματα που δείχνουν το πώς κατανέμονται οι τιμές των pixel. Τα ιστογράμματα βρήκαν από το λογισμικό image J και από αυτά μπορούμε να επιβεβαιώσουμε και απεικονιστικά την ανομοιόμορφη κατανομή που παρατηρήσαμε μαθηματικά στην παραπάνω παράγραφο.

Τέλος στον Πίνακα 10 αποτυπώνονται οι τυπικές αποκλίσεις σε μία ομογενή περιοχή του ούλου, όπου είναι ένας τρόπος για ποσοτικοποίηση τους θορύβου. Έτσι παρατηρούμε ότι στις πρώτες δύο εικόνες έχουμε θόρυβο, αφού η τυπική απόκλιση είναι μεγαλύτερη του 2,8. Στις υπόλοιπες δυο εικόνες παρατηρείται μια καλύτερη εικόνα από θόρυβο, αφού η τρίτη έχει τυπική απόκλιση 2,2 και η τέταρτη 1,5. Στις δύο πρώτες εικόνες ο θόρυβος λαμβάνει σημαντικό χώρο στην εικόνα.

2.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τελειώνοντας αυτή την εργασία θα ήταν χρήσιμο να επισημανθούν τα συμπεράσματα τα οποία αναδείχτηκαν μέσα από αυτήν. Αρχικά πρώτο και κύριο συμπέρασμα είναι ότι δημιουργήθηκε ένα οδοντιατρικό ομοίωμα για πειραματική ακτινοβολήση που μπορεί να βοηθήσει στην επιμόρφωση και στην εξοικείωση του οδοντιατρικού προσωπικού με την ακτινοβολήση. Επίσης το παρόν ομοίωμα μπορεί να αναδείξει τις βέλτιστες συνθήκες ακτινοβολήσης πολλών οδοντικών ανωμαλιών.

Μέσα από την πειραματική διαδικασία παρατηρήθηκε ότι αλλάζει η αντίθεση και το εύρος των αποχρώσεων του γκρι με τις διαφορετικές ρυθμίσεις. Πιο συγκεκριμένα για το πρώτο σετ μετρήσεων είδαμε μια αύξηση στις αποχρώσεις κρατώντας σταθερή την τάση kV και μειώνοντας τα mAs από τα 8 στα 4, αλλά μειώθηκε ελαφρώς από τα 4 στα 2,8 mAs. -Σε αντίθεση, στο δεύτερο σετ πειραματικών μετρήσεων είδαμε να υπάρχει μια μικρή αύξηση των τιμών των εικονοστοιχείων από τη μείωση των mAs από τα 8 στα 6,3 και μείωση της παλέτας από τα 6,3 στα 2,8 mAs. Στο τελευταίο σετ ρυθμίσεων είδαμε μια φθίνουσα πορεία των αποχρώσεων με τη μέγιστη τιμή να σημειώνεται στα 8 mAs.



Εικόνα 31: Τα εύρη των αποχρώσεων του γκρι στα πειραματικά σετ μετρήσεων

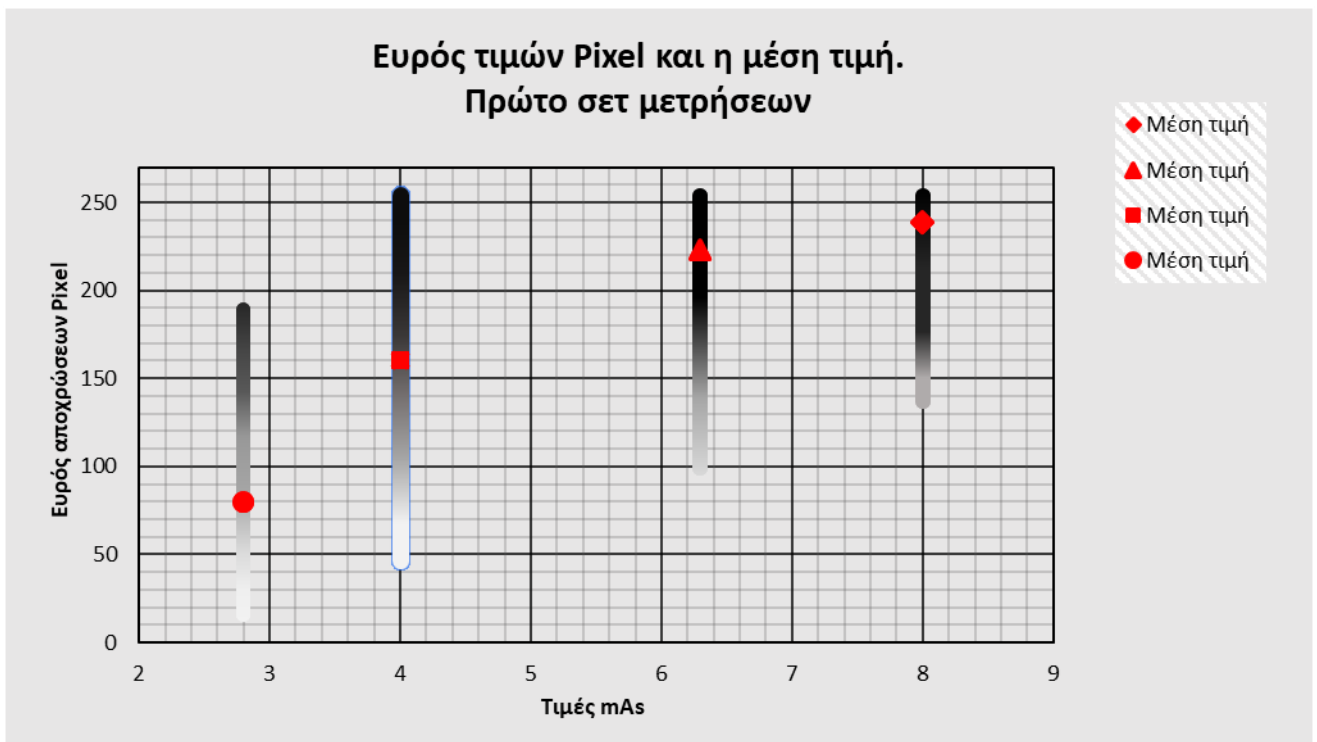
Βεβαίως αν κοιτάξουμε μόνο το εύρος των τιμών χωρίς να δούμε την κατανομή που ακολουθούν, δεν μπορούμε να δώσουμε μία σαφή απάντηση για το ποια εικόνα είναι καλύτερη. Γι' αυτόν τον λόγο υπολογίσαμε και τη μέση τιμή των τιμών pixel. Για να δούμε σε ποιες τιμές pixel απαριθμούνται τα περισσότερα φωτόνια. Έτσι στο πρώτο σετ μετρήσεων παρατηρούμε ότι για 8 και 6,3 mAs τα περισσότερα φωτόνια απαριθμούνται για τιμές πάνω από 220. Οπότε έχουμε μια πολύ σκοτεινή εικόνα με μικρή αντίθεση. Για 2,8 mAs βλέπουμε ότι η μέση τιμή τοποθετείται κοντά στα 80 οπότε έχουμε μία φωτεινή εικόνα που μπορεί να μας δώσει διαγνωστικά αποτελέσματα. Στη τρίτη μέτρηση βλέπουμε μια πολύ καλή εικόνα αφού διακρίνονται :

i. Τα όρια της ρίζας,

ii. Η ενδοδοντική θεραπεία και στους 3 ριζικούς σωλήνες και τα όριά της (στον άνω-δεξιό ριζικό σωλήνα φαίνεται ατελής)

iii. Τα 2 διαφορετικά υλικά έμφραξης που έχει το δόντι (πιθανώς υαλοιονομερή κονία στον ριζικό θάλαμο πάνω από τη γουταπέρκα της ενδοδοντικής θεραπείας δηλαδή και η βασική έμφραξη από πάνω, όμως αυτό θα πρέπει να επιβεβαιωθεί και κλινικά)

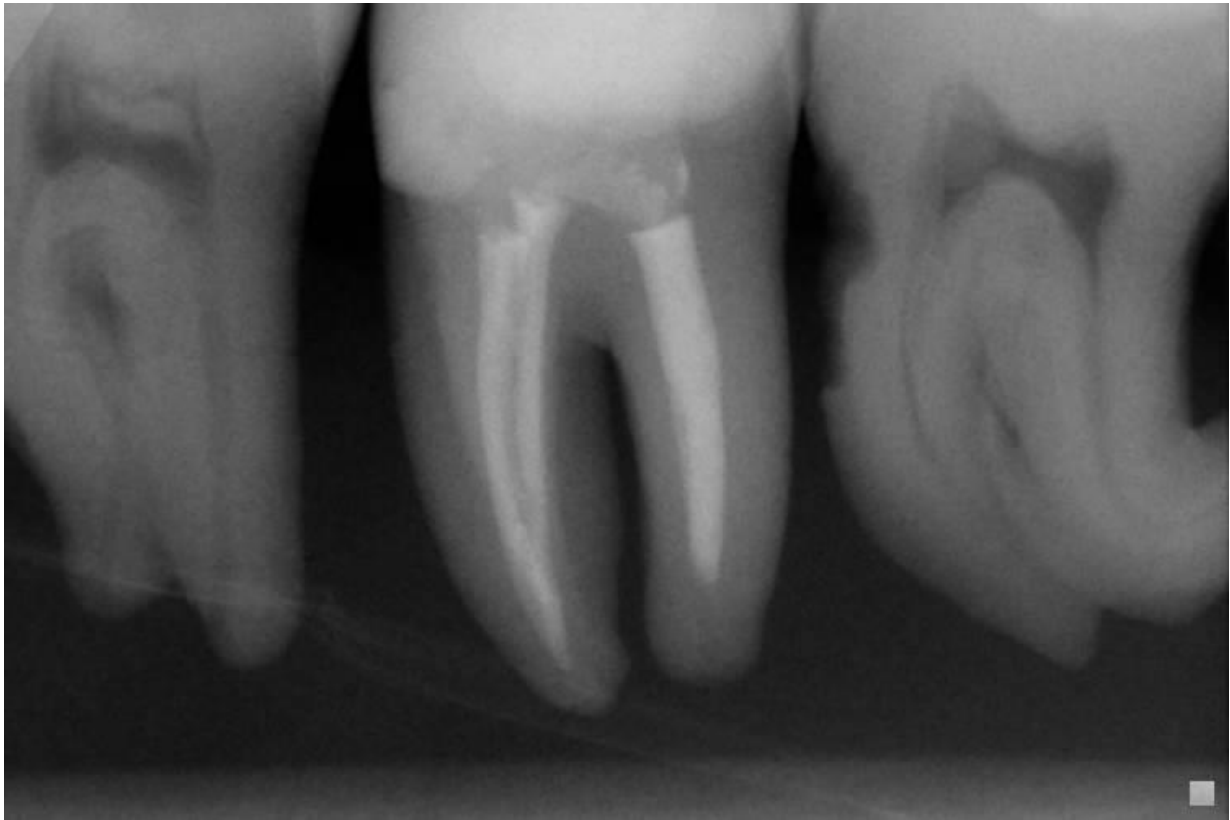
iv. Τα όρια των εμφράξεων



Εικόνα 32: Εύρη αποχρώσεων του γκρι και μέση τιμή (1^ο σετ μετρήσεων)

Σ' αυτό το σετ μετρήσεων χρησιμοποιήσαμε 70 kV και 4 mAs. Η μέση τιμή ήταν στο κέντρο των τιμών των αποχρώσεων, το οποίο δείχνει μια ομοιομορφία. Οι πειραματικές μετρήσεις σ' ε

αυτή την περίπτωση συμβαδίζουν με τη γνώμη του οδοντίατρου, για το κατά πόσο είναι διαγνώσιμες οι εικόνες. Δηλαδή και οι δύο συνέκλιναν στο ότι για 70 kV & 4 mAs έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα.



Εικόνα 33: Ακτινογραφία με: 70kV & 4mAs

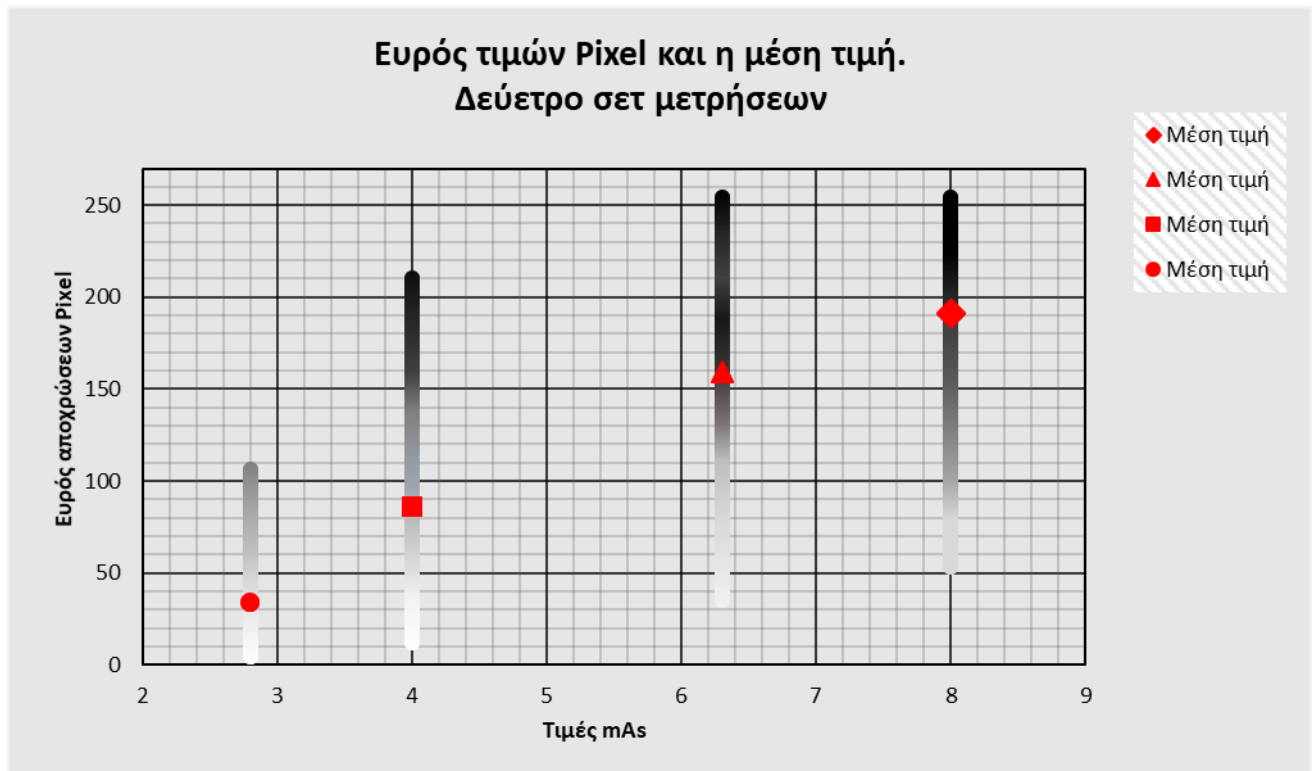
Κατά το δεύτερο πειραματικό σετ μετρήσεων, συμπεραίνουμε ότι οι εικόνες είναι καλύτερες σαν σύνολο απ' αυτές του πρώτου σετ. Αφού οι τρεις πρώτες εικόνες για τιμές mAs 8, 6,3, 4, έχουν ένα μεγάλο εύρος τιμών pixel και μέση τιμή κοντά στο μέσο του εύρους. Στη τελευταία εικόνα για mAs 2,8 έχουμε ένα πολύ φωτεινό αποτέλεσμα, το οποίο κάνει την εικόνα μη διαγνώσιμη. Ανάμεσα στις τρεις πρώτες εικόνες, η εικόνα με τα καλύτερα χαρακτηριστικά είναι για τιμή mAs στα 6,3. Σε αυτή την εικόνα διακρίνονται:

i. **Τα όρια της ρίζας,**

ii. **Η ενδοδοντική θεραπεία** και στους 3 ριζικούς σωλήνες και τα όριά της (στον άνω-δεξιό ριζικό σωλήνα φαίνεται ατελής)

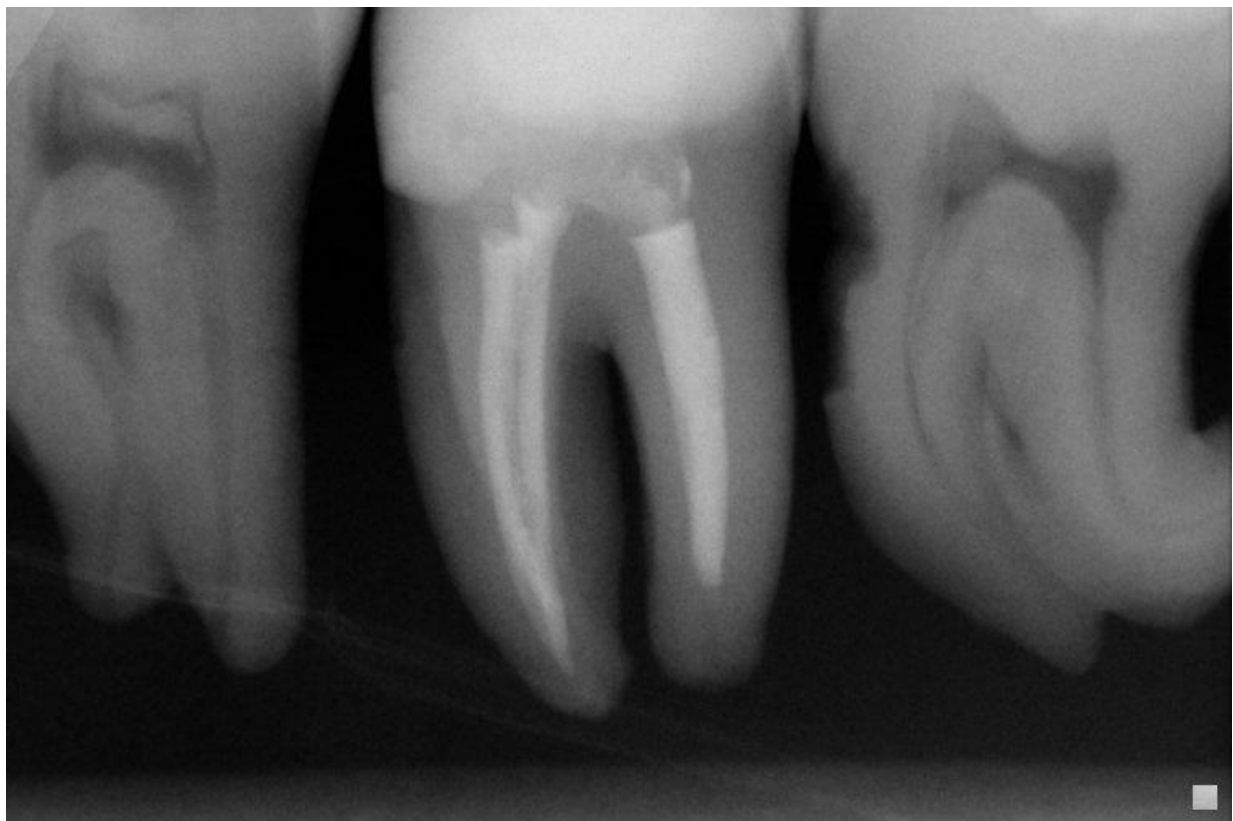
iii. **Τα 2 διαφορετικά υλικά έμφραξης** που έχει το δόντι (πιθανώς -υαλοιονομερή κονία στον ριζικό θάλαμο πάνω από τη γουταπέρκα της ενδοδοντικής θεραπείας δηλαδή και η βασική έμφραξη από πάνω αυτό όμως θα πρέπει να επιβεβαιωθεί και κλινικά)

iv. **Τα όρια των εμφράξεων**



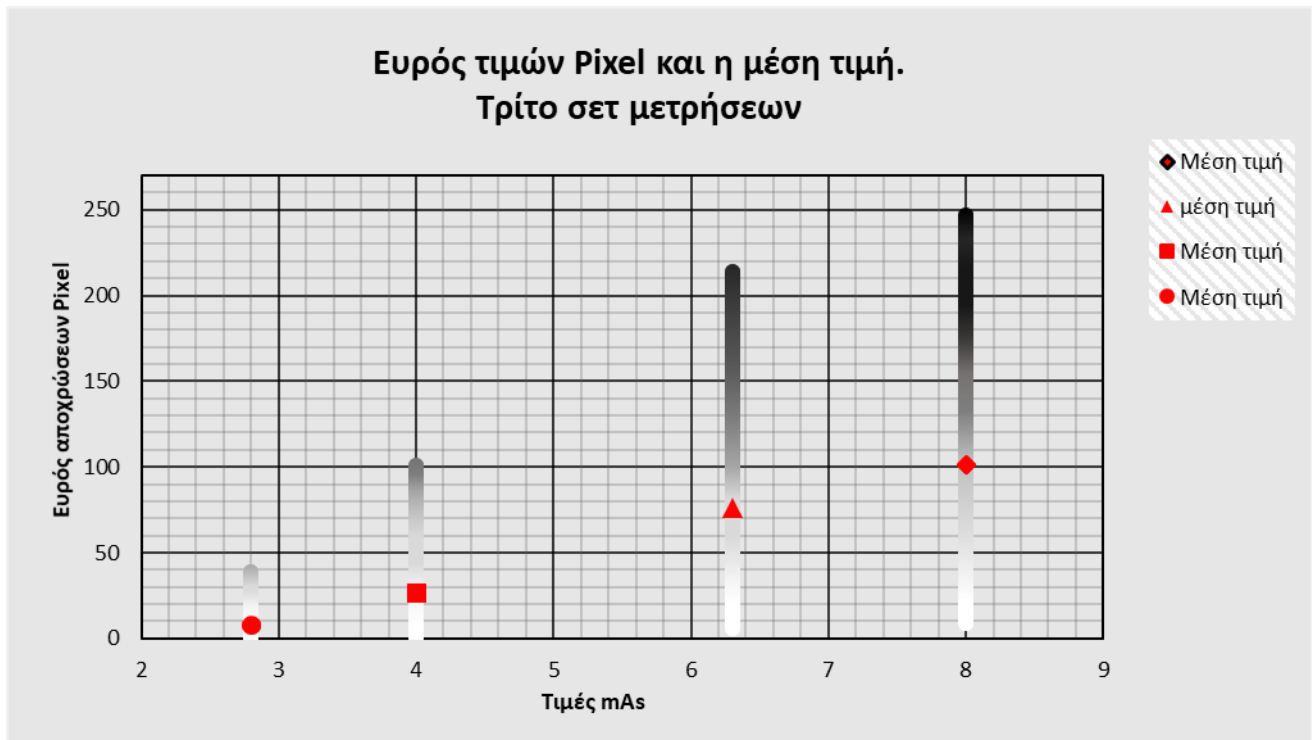
Εικόνα 34: Εύρη αποχρώσεων του γκρι και μέση τιμή (2^ο σετ μετρήσεων)

Και σε αυτή την περίπτωση συμπίπτει η ποιοτική αξιολόγηση με την πρακτική αξιολόγηση από τον οδοντίατρο.



Εικόνα 35: Ακτινογραφία με: 60kV & 6,3mAs

Στο τρίτο και τελευταίο σετ μετρήσεων οι εικόνες δεν έχουν την καλύτερη δυνατή ποιότητα. Σαν σύνολο ποιότητας εικόνων είναι της ίδιας τάξης με του πρώτου σετ. Αλλά ο οδοντίατρος δεν προτίμησε κάποια εικόνα απ' αυτό το σύνολο. Όσον αφορά τις ποσοτικές μετρήσεις βλέπουμε ότι όλες είναι φωτεινές εικόνες αφού όλες οι μέσες τιμές είναι στις λευκές περιοχές, δηλαδή μικρότερες του 100. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι μόνο η πρώτη εικόνα μπορεί να έχει μια διαγνωστική αξία αφού μπορούμε να διακρίνουμε κάποια βασικά στοιχεία τα οποία μας δίνουν κάποιες πληροφορίες.



Εικόνα 36: Εύρη αποχρώσεων του γκρι και μέση τιμή (3^ο σετ μετρήσεων)

Για τον χαρακτηρισμό του θορύβου υπολογίσαμε την τυπική απόκλιση σε μία ομογενή περιοχή. Συγκρίνοντας τις δύο εικόνες οι οποίες έχουν διαγνωστική αξία, δηλαδή την εικόνα που είχε ρυθμίσεις 70kV & 4mAs και την εικόνα με 60kV & 6,3mAs. Οι τυπικές αποκλίσεις ήταν 3,01 και 2,4 αντίστοιχα. Απ' αυτή την μέτρηση καταλαβαίνουμε ότι έχει λιγότερο θόρυβο η εικόνα από τα 60kV & 6,3mAs.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

[1] Ιακωβίδης Δ.Π. (1986) *Οδοντιατρική Ακτινολογία*, Θεσσαλονίκη: ο.ε. Κ. ΚΟΡΔΑΛΗΣ & ΣΙΑ

[2] Κανδαράκης Ι, (χωρίς ημερομηνία) *Ακτινοδιαγνωστική*, Αθήνα: ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ

[3] Ραχιώτης Χ., Βουγιουκλάκη Γ. (2015). *Τι είναι η τερηδόνα-Έννοιες* [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Ραχιώτης Χ., Βουγιουκλάκη Γ. 2015. *ΟΔΟΝΤΙΚΗ ΤΕΡΗΔΟΝΑ* [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Κάλιππος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4062>

[4] Anastasiou A., Papastamati F., Bakas A., Michail C., Koukou V., Martini N. Ninos K., Lavdas E., Valais I., Fountos G., Kandarakis I., Kalyvas N. (2020) *Spatial frequency domain analysis of a commercially available digital dental detector* [online] Egaleo, Athens. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224119310371>

[5] Dontiadtoma (χωρίς ημερομηνία) *Σύνδρομο Ραγισμένου Δοντιού • Αιτίες, συμπτώματα και θεραπεία* [weblog]. Διαθέσιμο στο: <https://www.dontiastoma.gr/path/teeth/ragismeno-donti.htm>

[6] HELIODENT DS (χωρίς ημερομηνία) *HELIODENT DS OPERATING INSTRUCTIONS* [online]. Διαθέσιμο στο: http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/x-ray/user_manuals/Sirona%20Heliodent%20Dental%20X-Ray%20-%20User%20manual.pdf

[7] Hodgkin j. (2001) *Thermosets: Epoxies and Polyesters* [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Hodgkin j. 2001. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition)* [ηλεκτρ. βιβλ.], Science Direct. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0080431526016600>

[8] IntraOs 70X-ray (χωρίς ημερομηνία) *IntraOs 70X-ray Equipment Service & Installation Manual* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.manualslib.com/manual/1877712/Blue-X-Intraos-70.html?page=2#manual>

[9] KODAK 2200 (2009) *KODAK 2200 Intraoral X-ray System User's Manual* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.williamgreen.com.au/sites/default/files/pdf/Kodak%202200%20User%20manual.pdf>

- [10] Midmark (2018) *Preva Dental X-ray System User Manual* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://technicallibrary.midmark.com/PDF/00-02-1576%20Rev%20Y02%20Preva%20User%20Manual.pdf>
- [11] Moore K. L. , Dalley A.F. Agur A.M.R. (2016) *Κλινική Ανατομία* , Κύπρος: Π.Χ. ΠΑΧΧΑΛΙΔΗΣ
- [12] Nils Nalmgren AB (χωρίς ημερομηνία) *Epoxy plastics' general chemical and physical properties* [weblog]. Διαθέσιμο στο: <https://www.nilsmalmgren.com/epoxy-chemistry/epoxy-plastics-general-chemical-and-physical-properties/>
- [13] Oldringa P.K.T. (2003) *Coatings, Colorants, and Paints* [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Oldringa P.K.T. 2003. *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)* [ηλεκτρ. βιβλ.], Science Direct. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105001150>
- [14] Pauwels R. (2020) *HISTORY OF DENTAL RADIOGRAPHY: EVOLUTION OF 2D AND 3D IMAGING MODALITIES* [online]. Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/340444478_HISTORY_OF_DENTAL_RADIOGRAPHY_EVOLUTION_OF_2D_AND_3D_IMAGING_MODALITIES
- [15] PHOT-X II (χωρίς ημερομηνία) *DENTAL X-RAY PHOT-X II 303 OPERATOR'S INSTRUCTIONS* [online]. Διαθέσιμο στο: https://belmontdental.co.uk/wp-content/uploads/2019/12/Belmont_MANUAL_OP_PhotXII-EN.pdf
- [16] Planmeca Intra (χωρίς ημερομηνία) *Planmeca intra user's manual* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.manualslib.com/manual/1410702/Planmeca-Intra.html?page=2#manual>
- [17] Vatech EzRay Air W (χωρίς ημερομηνία) *Vatech EzRay Air W User Manual* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.manualslib.com/manual/2467938/Vatech-Ezray-Air-W.html?page=3#manual>
- [18] Wikipedia (χωρίς ημερομηνία), *Epoxy* [website]. Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy>

[19] X Mind Dc (2016) *X MIND DC OPERATOR'S MANUAL* [online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.acteongroup.com/bg/uploads/media/default/0001/02/b82f1b244ff38cc319fe173f1991f0946e4e6c6f.pdf>