



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Εντοπισμός και Χαρακτηρισμός μασητικής τερηδόνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννα Σ. Πριονιστή

Επιβλέπων : Διονύσιος - Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής ΕΜΠ

Υπεύθυνος : Δημήτριος Φωτιάδης

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Εντοπισμός και Χαρακτηρισμός μασητικής τερηδόνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννα Σ. Πριονιστή

Επιβλέπων : Διονύσιος – Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15^η Ιουλίου 2014.

.....
Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δ. Φωτιάδης Καθηγητής

.....
Γ. Ματσόπουλος Επίκουρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2014

.....
Ιωάννα Σ. Πριονιστή

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννα Σ. Πριονιστή, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του ΕΜΠ κ. Δημήτριο Κουτσούρη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα ιδιαιτέρως να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο της διπλωματικής εργασίας κ. Δημήτριο Φωτιάδη για τη συνεχή και πολύτιμη καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξή της και κυρίως την αδερφή μου, Μαρία, για τις συμβουλές ως προς την διεκπεραίωση της εργασίας.

Ιωάννα Πριονιστή,

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των υπολογιστικών μεθόδων τερηδόνας, η ανάπτυξη μίας βάσης δεδομένων για τον χαρακτηρισμό εικόνων μασητικής τερηδόνας και η ανασκόπηση τεχνικών κατάτμησης αυτών των εικόνων στο περιβάλλον Matlab.

Αρχικά, γίνεται μία περιγραφή της φυσιολογίας του δοντιού, καθώς και μία παρουσίαση του όρου «τερηδόνα». Αναφέρονται οι αιτίες πρόκλησης της νόσου, τα μέτρα που ακολουθούνται για την πρόληψή της και οι τρόποι για τη θεραπεία της τερηδονικής βλάβης.

Η μελέτη για την ανίχνευση της τερηδόνας περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συμβατικών και υπολογιστικών μεθόδων, καταδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθεμίας σε κλινικές εφαρμογές. Στη συνέχεια, γίνεται μία εκτενής αναφορά στις τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, ενώ παρουσιάζονται και παραδείγματα αυτών των τεχνικών στο περιβάλλον Matlab.

Τέλος, το πρακτικό κομμάτι αυτής της εργασίας αφορά στην ανάπτυξη μίας βάσης δεδομένων για την αποθήκευση εικόνων μασητικής τερηδόνας, όπως επίσης, και την διαδικασία που ακολουθείται στο περιβάλλον Matlab για το χαρακτηρισμό της τερηδονικής βλάβης σε μία εικόνα βάσει του πρότυπου συστήματος ICDAS.

Λέξεις Κλειδιά

Τερηδόνα, κριτήρια ICDAS, διαγνωστικές μέθοδοι, υπολογιστικές μέθοδοι, ανάπτυξη βάσης δεδομένων, Matlab, κατάτμηση εικόνας

Abstract

The scope of this thesis is the study of caries detection methods, the development of a data base for occlusal caries image characterization and finally a review of image segmentation methods using Matlab.

Initially, there is a brief description of dental caries' physiology. All known etiologies are presented along with means of prevention and finally methods of treatment.

The study of caries detection includes a wide range of traditional observational techniques and computing methods, describing the advantages and disadvantages for each method in the different clinical settings. Furthermore, we elaborate on image processing techniques, whilst highlighting examples of these techniques in Matlab.

Finally, the practical part of this paper refers to a database development in order to store occlusal caries images, as well as, the procedure followed in Matlab to describe caries lesion in an image based on the ICDAS system.

Key Words

Dental caries, ICDAS, diagnostic methods, computing methods, data base development, Matlab, image segmentation

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	5
Περίληψη.....	7
Abstract.....	9
Πίνακας περιεχομένων	11
Κατάλογος Σχημάτων	15
Κατάλογος Πινάκων	19
Κεφάλαιο 1	
Φυσιολογία Δοντιού.....	21
1.1 Εισαγωγή.....	21
1.2 Αδαμαντίνη.....	22
1.3 Οδοντίνη.....	25
1.4 Οστεΐνη.....	27
1.5 Οδοντικός Πολφός	28
Κεφάλαιο 2	
Τερηδόνα.....	31
2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Αιτιολογία και παράγοντες κινδύνου τερηδόνας	34
2.3 Επιδημιολογία τερηδόνας: Ηλικία, επίπτωση, ρυθμός	36
2.4 Τύποι βλαβών	37
2.4.1 Τερηδόνα λείας επιφάνειας- Λευκή κηλίδα.....	38
2.4.2 Τερηδόνα οπών και σχισμών.....	39
2.4.3 Τερηδόνα ρίζας.....	39
2.5 Συμπτώματα τερηδόνας	39
2.5.1 Λευκές κηλίδες στα δόντια	40
2.5.2 Υπερευαισθησία του δοντιού	40
2.5.3 Κοιλότητα	41
2.5.4 Πονόδοντος.....	41
2.5.5 Οδοντικό ακρορριζικό απόστημα.....	41
2.6 Πρόληψη τερηδόνας	42

2.6.1 Έλεγχος της οδοντικής μικροβιακής πλάκας.....	42
2.6.2 Βελτιωμένη στοματική υγιεινή.....	42
2.6.3 Τακτικές προληπτικές επισκέψεις στον οδοντίατρο και επαγγελματικός καθαρισμός των δοντιών.....	42
2.6.4 Υγιεινή διατροφή και διατροφικές συνήθειες.....	42
2.6.5 Φθόριο.....	43
2.6.6 Προληπτικές εμφράξεις.....	43
2.7 Θεραπεία τερηδόνας.....	43
2.7.1 Αναχαίτιση αρχόμενης τερηδόνας.....	44
2.7.2 Αποκατάσταση δοντιού- σφραγίσματα/στεφάνες.....	44
2.7.3 Ενδοδοντική θεραπεία- απονεύρωση.....	45

Κεφάλαιο 3

Διαγνωστικές Μέθοδοι Τερηδόνας.....	47
3.1 Εισαγωγή.....	47
3.2 Οπτική Παρατήρηση.....	50
3.2.1 Κριτήρια ICDAS.....	51
3.2.2 Απλή άμεση οπτική παρατήρηση.....	59
3.2.3 Ενισχυμένη άμεση οπτική παρατήρηση.....	60
3.2.4 Οπτική παρατήρηση μετά από διαχωρισμό των δοντιών με ελαστικούς δακτυλίους.....	61
3.2.5 Έμμεση οπτική παρατήρηση μέσω αναλογικών και ψηφιακών απεικονιστικών μέσων.....	61
3.3 Ακτινογραφική απεικόνιση.....	62
3.3.1 Συμβατική ακτινογραφία.....	63
3.3.2 Ψηφιακή ακτινογραφία.....	65
3.4 Μέθοδοι φθορισμού των οδοντικών ιστών.....	66
3.4.1 Μέθοδος ποσοτικού φθορισμού σε ορατό φως (QLF - Quantitative Light-induced Fluorescence).....	66
3.4.2 Μέθοδος ποσοτικού φθορισμού σε ακτίνες LASER (QLF – Quantitative Laser-induced Fluorescence).....	67
3.5 Μέθοδος FOTI – DiFOTI.....	69
3.6 Χρήση μεταλλικού ανιχνευτήρα.....	71
3.7 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECM – Electronic Caries Monitor).....	72
3.8 Πρόσληψη χρωστικών.....	73

3.8.1 Χρωστικές για την διάγνωση της τερηδόνας στην οδοντίνη.....	73
3.8.2 Χρωστικές για την διάγνωση της τερηδόνας στην αδαμαντίνη.....	75
3.9 Ενδοσκοπικές τεχνικές.....	75
3.10 Άλλες τεχνικές.....	76
3.11 Συμπεράσματα.....	77

Κεφάλαιο 4

Υπολογιστικές τεχνικές για τη διάγνωση τερηδόνας.....	79
4.1 Εισαγωγή.....	79
4.2 Ψηφιακή ακτινογραφία.....	80
4.2.1 Άμεση ψηφιακή ακτινογραφία.....	80
4.2.2 Ακτινογραφική διάγνωση τερηδόνας με τη χρήση λογισμικού.....	84
4.3 Συσκευές εκπομπής φωτός.....	86
4.3.1 Συσκευές φθορισμού με ακτίνες laser (DIAGNOdent και DIAGNOdent pen) .	86
4.3.2 Ποσοτικός φθορισμός σε ορατό φως (QLF).....	89
4.3.3 Κάμερα φθορισμού (VistaProof).....	92
4.3.4 Τεχνολογία LED (Midwest Caries I.D.).....	93
4.3.5 Διερχόμενος φωτισμός οπτικών ινών (FOTI και DiFOTI).....	94
4.3.6 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECM).....	98
4.3.7 Άλλες οπτικές τεχνικές.....	99
4.4 Συμπεράσματα.....	100

Κεφάλαιο 5

Κατάτμηση Εικόνας.....	101
5.1 Εισαγωγή.....	101
5.2 Ανίχνευση σημείων, γραμμών και ακμών.....	103
5.2.1 Ανίχνευση απομονωμένων σημείων.....	104
5.2.2 Ανίχνευση γραμμών.....	105
5.2.3 Ανίχνευση ακμών.....	107
5.2.4 Σύνδεση ακμών με χρήση του μετασχηματισμού Hough.....	115
5.3 Κατωφλίωση.....	117
5.3.1 Ολική κατωφλίωση.....	119
5.3.2 Τοπική κατωφλίωση.....	120

5.4 Κατάτμηση βασισμένη σε περιοχές	121
5.4.1 Ανάπτυξη περιοχών (region growing).....	121
5.4.2 Διαχωρισμός και συγχώνευση περιοχών	123
5.5 Κατάτμηση εικόνας με μορφολογικά watersheds	125
5.5.1 Κατάτμηση watershed χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό απόστασης .	126
5.5.2 Κατάτμηση watershed χρησιμοποιώντας την κλίση της εικόνας.....	126
5.5.3 Η χρήση δεικτών	127
5.6 Περίληψη.....	129

Κεφάλαιο 6

Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων – Επεξεργασία εικόνας στο Matlab.....	131
6.1 Γενικά	131
6.2 Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων	131
6.2.1 Εισαγωγή στη Βάση Δεδομένων	132
6.2.2 Επεξεργασία Βάσης Δεδομένων	136
6.3 Επεξεργασία εικόνας στο Matlab.....	140
6.3.1 Χαρακτηρισμός δεδομένων από τον γιατρό	140
6.3.2 Αυτόματος εντοπισμός μασητικής τερηδόνας.....	143
6.3.3 Σύγκριση επεξεργασμένων εικόνων.....	145

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα.....	153
--------------------------	------------

Βιβλιογραφία	155
---------------------------	------------

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Φυσιολογία δοντιού	22
Σχήμα 2.1: Η διαδικασία της απομεταλλικοποίησης (αριστερά) και της επαναμεταλλικοποίησης (δεξιά).....	33
Σχήμα 2.2: Παράγοντες τερηδόνας: Ατομικοί (ροζ κύκλος), Περιβαλλοντικοί (κίτρινος), άμεσα συσχετιζόμενοι (μπλε) παράγοντες	35
Σχήμα 2.3: Εντόπιση τερηδόνας: 1)Οπές/σχισμές, 2)Λείες επιφάνειες, 3)Ρίζα	38
Σχήμα 3.1: Γυαλιά με μεγεθυντικούς φακούς	60
Σχήμα 3.2: Ενδοστοματική κάμερα	62
Σχήμα 3.3: Οπισθοφατνιακή ακτινογραφία	63
Σχήμα 3.4: Οπισθομυλική ακτινογραφία	63
Σχήμα 3.5: Ακτινογραφική εικόνα σε οθόνη υπολογιστή	66
Σχήμα 3.6: α) Η συσκευή Kavo Diagnodent β) Η συσκευή Diagnodent προσφέρει το πλεονέκτημα της μέτρησης του φθορισμού σε περιοχές σχισμών, στις οποίες το laser αντανακλάται δια μέσου πολύ στενών διόδων.....	68
Σχήμα 3.7: Συσκευή FOTI (αριστερά) και ο τρόπος λειτουργίας (δεξιά)	70
Σχήμα 3.8: Συσκευή DiFOTI	70
Σχήμα 3.9: Συσκευή ECM (πάνω) και τρόπος λειτουργίας (κάτω).....	73
Σχήμα 3.10: Χρωστικές οδοντίνης για ανίχνευση τερηδόνας	74
Σχήμα 4.1: In vivo ψηφιακή εικόνα ενός τρίτου γομφίου με μασητική τερηδόνα στην κάτω γνάθο που έχει ληφθεί με το σύστημα Digora Optime PSP	81
Σχήμα 4.2: Σύνολο 8 εικόνων με την τεχνική TACT	84
Σχήμα 4.3: Εκτίμηση του μεγέθους και της εξέλιξης μιας τερηδονικής βλάβης με το πρόγραμμα Logicon Caries Detector	85
Σχήμα 4.4: Συσκευή DIAGNOdent.....	87
Σχήμα 4.5: Συσκευή DIAGNOdent pen.....	88
Σχήμα 4.6: (A) Σύστημα QLF. (B) Εικόνα φθορισμού μιας τερηδονικής αλλοίωσης στην αδαμαντίνη στη στοματική επιφάνεια. (C) Εικόνα φθορισμού μασητικής τερηδόνας. (D) Εικόνα φθορισμού μιας δευτερογενούς τερηδόνας γύρω από μια αποκατάσταση ..	90
Σχήμα 4.7: Παράδειγμα ανάλυσης αλλοίωσης χρησιμοποιώντας το QLF.....	91
Σχήμα 4.8: (A) Κάμερα φθορισμού VistaProof και το λογισμικό ανάλυσης DBSWIN. (B) Έξι μπλε LEDs που εκπέμπουν φως 405-nm	93

Σχήμα 4.9: Συσκευή Midwest Caries I.D.....	94
Σχήμα 4.10: Συσκευή FOTI	95
Σχήμα 4.11: (a) Κανονική οπτική εξέταση. (b) Με τη συσκευή FOTI.....	95
Σχήμα 4.12: (A) Συσκευή DiFOTI. (B) Άκρο για μασητικές επιφάνειες	97
Σχήμα 4.13: Συσκευή ECM	98
Σχήμα 5.1: Μία μάσκα χωρικού φίλτρου γενικής χρήσεως διαστάσεων 3x3.....	103
Σχήμα 5.2: (Λαπλασιανή) μάσκα ανίχνευσης σημείων.....	104
Σχήμα 5.3: α) Εικόνα στην κλίμακα του γκρι με ένα σχεδόν αόρατο μαύρο απομονωμένο σημείο στην περιοχή του βορειοανατολικού τεταρτημορίου β) Εικόνα του εντοπισμένου σημείου (σε μεγέθυνση)	105
Σχήμα 5.4: Μάσκες ανίχνευσης γραμμών	106
Σχήμα 5.5: α) Εικόνα μιας σύνδεσης καλωδίων, β) Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας με χρήση της μάσκας ανίχνευσης γραμμών κλίσης -45° , γ) Μεγεθυμένη άποψη της άνω αριστερά περιοχής της εικόνας (β), δ) Μεγεθυμένη άποψη της κάτω δεξιά περιοχής της εικόνας (β), ε) Απόλυτη τιμή της (β), στ) Όλα τα σημεία (σχεδιασμένα με λευκό χρώμα) οι τιμές των οποίων ικανοποιούν τη συνθήκη $g \geq T$, όπου g είναι η εικόνα (ε).....	107
Σχήμα 5.6: Μία περιοχή 3x3 μίας εικόνας, όπου οι μεταβλητές z εκφράζουν τιμές έντασης	109
Σχήμα 5.7: Sobel.....	110
Σχήμα 5.8: Prewitt	111
Σχήμα 5.9: Roberts.....	112
Σχήμα 5.10: Το επίπεδο xy και ο χώρος παραμέτρων.....	116
Σχήμα 5.11: (α) Παραμετροποίηση μιας γραμμής του επιπέδου xy χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες (ρ, θ) , (β) Ημιτονοειδείς καμπύλες του επιπέδου $\rho\theta$, όπου το σημείο τομής (ρ', θ') αντιστοιχεί στη γραμμή που διέρχεται από τα σημεία (x_i, y_i) και (x_j, y_j) του επιπέδου xy και (γ) Διαίρεση του επιπέδου $\rho\theta$ σε κελιά συσσωρευτή.....	117
Σχήμα 5.12: Ιστόγραμμα έντασης που μπορεί να καταταμηθεί με τη βοήθεια ενός απλού κατωφλίου.....	118

Σχήμα 5.13: α) Σκαναρισμένο κείμενο, β) κατωφλιωμένο κείμενο χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση graythresh	120
Σχήμα 5.14: Τμηματοποιημένη εικόνα και το αντίστοιχο τετραδικό δέντρο	124
Σχήμα 5.15: Κατάτμηση εικόνας με τη διαδικασία διαχωρισμού και συγχώνευσης περιοχών	125
Σχήμα 5.16: (α) Αρχική εικόνα κλίσης MRI καρδιάς και (β) η τοπογραφική της άποψη	126
Σχήμα 5.17: (a) Εικόνα ηλεκτροφόρησης, (b) το αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου κατάτμησης watershed πάνω στην εικόνα – κλίση	127
Σχήμα 5.18: (a) Αρχική εικόνα, (b) επιλογή των δεικτών, (c) – (l) στάδια πλημμυρίσματος και (m) οι τελικές γραμμές διαχωρισμού του νερού	129
Σχήμα 6.1α,β: Σύνολο οντοτήτων της βάσης δεδομένων	134
Σχήμα 6.2: Δημιουργία ενός άλμπουμ για τις εικόνες ασθενών	136
Σχήμα 6.3: Δημιουργία άλμπουμ για κάθε ασθενή	137
Σχήμα 6.4: Εισαγωγή εικόνων στο άλμπουμ	138
Σχήμα 6.5: Άλμπουμ ενός ασθενούς.....	138
Σχήμα 6.6: Επεξεργασία των πληροφοριών μίας εικόνας.....	139
Σχήμα 6.7: Χαρακτηρισμός μασητικής επιφάνειας	139
Σχήμα 6.8: Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται για τη χρήση του λογισμικού Matlab	140
Σχήμα 6.9: Εικόνα δοντιού στο παράθυρο του εργαλείου χαρακτηρισμού τερηδόνας	141
Σχήμα 6.10: Κυκλική επιλογή της περιοχής που θέλουμε να χαρακτηρίσουμε.....	142
Σχήμα 6.11: Αρχική εικόνα, περιοχές μασητικής τερηδόνας στα τρία κανάλια και τελική εικόνα	144
Σχήμα 6.12: Αρχική εικόνα, περιοχές μασητικής τερηδόνας στα τρία κανάλια και τελική εικόνα	145
Σχήμα 6.13: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 3	146

Σχήμα 6.14: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 2	147
Σχήμα 6.15: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 3 και ICDAS 5	148
Σχήμα 6.16: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 0 και ICDAS 5	149
Σχήμα 6.17: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 1, ICDAS 2, ICDAS 3 και ICDAS 5	150
Σχήμα 6.18: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 0 και ICDAS 3	151

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Μορφολογικά γνωρίσματα της αδαμαντίνης	24
Πίνακας 3.1: Στοιχεία εξέτασης για τη διαμόρφωση του σχεδίου θεραπείας	48
Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση της αποκατάστασης ή την απουσία αυτής στο Διεθνές Σύστημα Αξιολόγησης και Ανίχνευσης Τερηδόνας (ICDAS)	53
Πίνακας 3.3: Ταξινόμηση της τερηδονικής βλάβης βάσει του Διεθνούς Συστήματος Αξιολόγησης και Ανίχνευσης Τερηδόνας (ICDAS)	54
Πίνακας 6.1: Αντιστοίχιση τιμών- χρωμάτων για το χαρακτηρισμό εικόνας	142

Κεφάλαιο 1

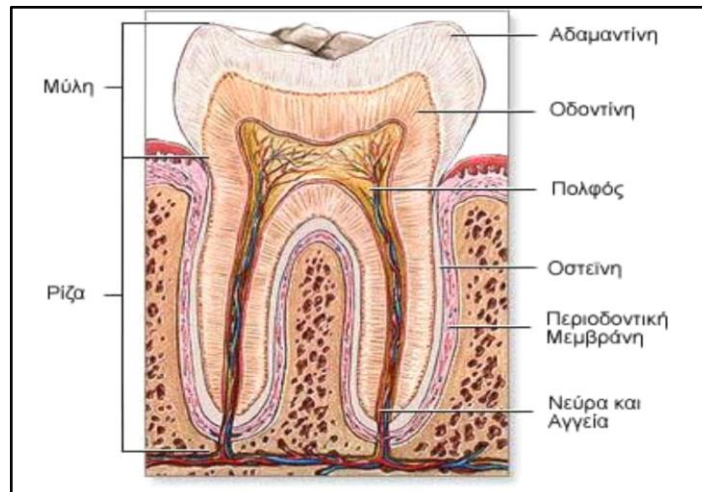
Φυσιολογία Δοντιού

1.1 Εισαγωγή

Το δόντι αποτελεί όργανο του γαστρεντερικού συστήματος που βρίσκεται μέσα στη στοματική κοιλότητα και στηρίζεται στο οστό των γνάθων. Τα δόντια οργανώνονται σε στοιχούς, τις οδοντοστοιχίες, και έτσι έχουμε την άνω και κάτω οδοντοστοιχία για την άνω και κάτω γνάθο αντίστοιχα.

Τα δόντια χωρίζονται σε δύο τμήματα, τη μύλη και τη ρίζα. Η μύλη είναι το ορατό τμήμα του δοντιού που προβάλλει στη στοματική κοιλότητα, ενώ η ρίζα είναι το τμήμα που καλύπτεται από το οστό των γνάθων και τα ούλα. Τα δόντια αποτελούνται από ενασβεστιωμένους ιστούς, όπως την αδαμαντίνη, την οδοντίνη και την οστέινη, ενώ τα νεύρα και τα αγγεία του δοντιού περιέχονται στον πολφό (συνδετικός ιστός), που περικλείεται εντός μιας κοιλότητας (πολφική κοιλότητα) εσωτερικά της οδοντίνης (Σχήμα 1.1).

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφούν τα συστατικά του δοντιού: η αδαμαντίνη, η οδοντίνη, η οστέινη και ο πολφός όσον αφορά στη δομή, τη χημική σύσταση και τις βασικές ιδιότητές τους [1], [2].



Σχήμα 1.1: Φυσιολογία Δοντιού [3].

1.2 Αδαμαντίνη

Η αδαμαντίνη περιβάλλει το ανατομικό μυλικό τμήμα των δοντιών και έχει ως κύριο ρόλο την προστασία της υποκείμενης οδοντίνης και του πολφού από τα εξωτερικά βλαπτικά ερεθίσματα που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του στοματογναθικού συστήματος. Εμβρυολογικά προέρχεται από το έξω βλαστικό δέρμα. Η αδαμαντίνη έχει δύο χαρακτηριστικά γνωρίσματα, μοναδικά σε ολόκληρο τον οργανισμό:

- είναι ο μόνος ενασβεστιωμένος ιστός επιθηλιακής προέλευσης, και
- είναι ο μόνος ιστός που δεν περιέχει κύτταρα ή κυτταρικά στοιχεία.

Η αδαμαντίνη αποτελείται αποκλειστικά από ενασβεστιωμένες δομές, τα ονομαζόμενα αδαμαντινικά πρίσματα, που συνάπτονται μεταξύ τους με την παρεμβολή μεσοπρισματίας ουσίας. Η κατεύθυνση των αδαμαντινικών πρισμάτων δεν είναι όμοια σε όλη τη μάζα της αδαμαντίνης και στις διάφορες περιοχές του δοντιού. Αυτό το χαρακτηριστικό δημιουργεί τις προϋποθέσεις για να ανταποκριθεί η αδαμαντίνη στα μεγάλα φορτία της μασητικής λειτουργίας των δοντιών. Επίσης, το πάχος της αδαμαντίνης δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη τη μυλική επιφάνεια των δοντιών. Ανάλογα με τον τύπο του δοντιού, το πάχος της στα φύματα της μασητικής επιφάνειας μπορεί να φθάσει τα 2,5 χιλ. ενώ στην υπόλοιπη μασητική επιφάνεια τα 1,8 - 2 χιλ. Το

πάχος της αδαμαντίνης μειώνεται προοδευτικά στις αξονικές επιφάνειες των δοντιών μέχρι που σχεδόν μηδενίζεται στον αυχένα τους.

Όσον αφορά στην χημική της σύνθεση, η αδαμαντίνη αποτελείται από ανόργανα συστατικά σε ποσοστό 92 - 96% του βάρους της (κ.β.), από οργανικά σε ποσοστό 1 - 2%, ενώ το υπόλοιπο 2 - 4% είναι νερό. Το φωσφορικό ασβέστιο με την κρυσταλλική μορφή του υδροξυαπατίτη αποτελεί το κυρίως ανόργανο συστατικό της αδαμαντίνης. Στην αδαμαντίνη, σε αντίθεση με την οδοντίνη, την οστεΐνη και τον οστίτη ιστό, οι κρύσταλλοι του υδροξυαπατίτη δεν αναγεννιούνται και δεν αντικαθίστανται μετά από τον αρχικό σχηματισμό τους. Τα υπόλοιπα ανόργανα στοιχεία που έχουν απομονωθεί από την αδαμαντίνη, όπως χλώριο, νάτριο, μαγνήσιο, σίδηρος, φθόριο, μόλυβδος, πυρίτιο δεν υπερβαίνουν συνολικά το 2% του βάρους της. Από αυτά τα στοιχεία, το φθόριο παρουσιάζει το μεγαλύτερο κλινικό ενδιαφέρον αφού του προσδίδονται αντιτετηρογονικές ικανότητες, οι οποίες επηρεάζονται τόσο από τη μορφή όσο και από τη συγκέντρωση με την οποία απαντάται στην αδαμαντίνη. Τέλος, το οργανικό υπόστρωμα της αδαμαντίνης είναι η εναμελίνη. Πρόκειται για μια πρωτεϊνική ένωση, η οποία είναι παρόμοια με την πρωτεΐνη κερατίνη, που απαντάται στο δέρμα. Στην αδαμαντίνη, τα οργανικά στοιχεία εντοπίζονται κυρίως γύρω από τα πρίσματα, στον περιπρισματίο υμένα, που περιβάλλει αυτές τις δομές.

Όσον αφορά στη μικροδομή της, η αδαμαντίνη, όπως προαναφέρθηκε, αποτελείται από τα αδαμαντινικά πρίσματα, τα οποία εκτείνονται ελικοειδώς, συστρεφόμενα μεταξύ τους, από την αδαμαντινο - οδοντινική ένωση μέχρι την εξωτερική αδαμαντινική επιφάνεια. Στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους ανήκουν το σχήμα μανταριού, με κεφαλή, αυχένα και ουρά, η κάθετη πορεία τους στην αδαμαντινο - οδοντινική ένωση καθώς και το ότι σε εγκάρσια τομή, στην επιφάνεια των πρισμάτων, διακρίνεται η κάψα στην περιφέρεια και ο πυρήνας στο κέντρο. Επιπλέον, κάθε πρίσμα αποτελείται από πολλούς κρυστάλλους υδροξυαπατίτη και, τέλος, στην εξωτερική επιφάνεια της

αδαμαντίνης, κοντά στην επιφάνεια του δοντιού, υπάρχει μια ζώνη που αποκαλείται άπρισημη αδαμαντίνη, πάχους 20 - 40μm, λόγω του ότι από τη δομή της απουσιάζουν τα πρίσματα. Η άπρισημη αδαμαντίνη είναι περισσότερο ενασβεστιωμένη σε σχέση με την υπόλοιπη μάζα της αδαμαντίνης, γι' αυτό και είναι σκληρότερη και περισσότερο ανθεκτική στην όξινη διάλυση.

Εκτός από την τυπική οργάνωση της αδαμαντίνης από αδαμαντινικά πρίσματα και μεσοπρισματία ουσία, κατά την μικροσκοπική εξέταση λεασμάτων παρατηρούνται και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στοιχεία της μορφολογίας του ιστού. Τα μορφολογικά γνωρίσματα της αδαμαντίνης διακρίνονται στα επιφανειακά και στα εσωτερικά, όπως φαίνονται στον *Πίνακα 1.1*.

Πίνακας 1.1: Μορφολογικά γνωρίσματα της αδαμαντίνης [3].

Επιφανειακά	Εσωτερικά
Περικόματα	Αυξητική γραμμή Retzius
Γραμμές Pickerill	Νεογνική γραμμή
Υμένες Naysmith	Ζώνες Hunter - Schreger
Ρωγμές	Αδαμαντινικά πετάλια
Αύλακες, οπές και σχισμές	Θύσανοι αδαμαντίνης
	Αδαμαντινικές κορύνες

Τέλος, αναφορικά με τις ιδιότητές της, η αδαμαντίνη είναι ο ιστός με τη μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή στη θλίψη καθώς και το μικρότερο μέτρο

ελαστικότητας και αντοχή στην κάμψη από τους υπόλοιπους οδοντικούς ιστούς. Γι' αυτό είναι ευάλωτος σε κατάγματα και παρουσιάζει μεγάλη συχνότητα μικρορωγμών. Επιπλέον, η αδαμαντίνη είναι ιστός ημιδιαπερατός, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ανομοιογενή δομή της, και ημιδιαφανής, με ποσοστό ημιδιαφάνειας περίπου 70% και με σημαντική διαφορά από την οδοντίνη όσον αφορά αυτό το χαρακτηριστικό. Το χρώμα της είναι γκριζόλευκο, αλλά σε περιοχές που είναι λεπτή εμφανίζεται και ελαφρά υποκίτρινο, εξαιτίας της υποκείμενης κίτρινης οδοντίνης.

1.3 Οδοντίνη

Η οδοντίνη είναι ένας ζωντανός ιστός, ο οποίος εκτείνεται στη μύλη και στη ρίζα του δοντιού. Αποτελεί το μεγαλύτερο όγκο του δοντιού γι' αυτό και καθορίζει το μέγεθος και το σχήμα του. Η οδοντίνη, φυσιολογικά, δεν εκτίθεται στο στοματικό περιβάλλον. Στην περιοχή της ανατομικής μύλης καλύπτεται από την αδαμαντίνη και στη ρίζα από την οστέινη. Εμβρυολογικά, αυτή προέρχεται από το μέσο βλαστικό δέρμα. Η σύσταση της οδοντίνης μοιάζει περισσότερο με αυτή του οστού. Κύριο χαρακτηριστικό της οδοντίνης είναι η αναγέννησή της, σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στην αδαμαντίνη. Όταν στο δόντι επιδράσουν βλαπτικά ερεθίσματα, όπως τερηδόνα, αποτριβή, διάβρωση και τα ερεθίσματα αυτά φτάσουν στον πολφό, τότε δίνεται το σήμα να διαπλαστεί εκ νέου οδοντίνη κάτω από τις περιοχές που εμφανίζεται η βλάβη. Η οδοντίνη, ανάλογα με την περίοδο που σχηματίζεται, διακρίνεται σε πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή.

Η αδαμαντινο - οδοντική σύναψη ή ένωση αποτελεί το εξωτερικό όριο της οδοντίνης στη μύλη των δοντιών. Πρόκειται για τη μεσόφαση του ενασβεστωμένου υποστρώματος της οδοντίνης και των μεγάλων κρυστάλλων της αδαμαντίνης. Η συναρμογή των δύο αυτών σκληρών ιστών είναι μη επίπεδη και έχει σχήμα οδοντωτό, αυξάνοντας, έτσι, την επιφάνεια επαφής των δύο ιστών.

Όσον αφορά στη χημική της σύνθεση, η οδοντίνη αποτελείται από ανόργανα συστατικά σε ποσοστό 68 - 70% του βάρους της (κ.β.), από οργανικά σε ποσοστό 18 - 20%, ενώ το υπόλοιπο 12% είναι νερό. Όπως και στους άλλους ενασβεστιωμένους ιστούς, το κύριο ανόργανο συστατικό της οδοντίνης είναι το φωσφορικό ασβέστιο, ενώ σημαντικό σε περιεκτικότητα είναι και το ανθρακικό ασβέστιο. Οι κρύσταλλοι του υδροξυαπατίτη της οδοντίνης είναι μικροί και λεπτοί. Αυτό έχει ως επακόλουθο να παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με τα οξέα που παράγονται κατά την τερηδονική επεξεργασία. Το τελευταίο, μαζί με τη μικρότερη περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά που παρουσιάζει η οδοντίνη, εξηγούν, σε μεγάλο βαθμό, την ταχύτερη εξέλιξη της τερηδόνας στην οδοντίνη σε σύγκριση με την αδαμαντίνη.

Το κύριο χαρακτηριστικό της δομής της οδοντίνης, που τη διαφοροποιεί από τους υπόλοιπους ενασβεστιωμένους ιστούς, είναι τα οδοντινοσωληνάκια, που διασχίζουν όλη τη μάζα της και περιέχουν στον αυλό τους ή σε τμήματα του αυλού τους τις οδοντινοβλαστικές αποφυάδες. Τα οδοντινοσωληνάκια, τα οποία σχηματίζονται κατά τη διάρκεια εναπόθεσης της οδοντίνης γύρω από τις αποφυάδες των οδοντινοβλαστών, δεν είναι κενοί σωλήνες αλλά στον αυλό τους ανευρίσκονται, υπό φυσιολογικές συνθήκες, διάφορα στοιχεία. Οι κυτταροπλασματικές αποφυάδες των οδοντινοβλαστών καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του όγκου τους. Ο χώρος που καταλείπεται μεταξύ των τοιχωμάτων της περιωληναριακής οδοντίνης και των οδοντινοβλαστικών αποφυάδων ονομάζεται περιοδοντινοβλαστικός χώρος. Στο χώρο αυτό υπάρχουν κολλαγόνα ινίδια, αμέλες νευρικές ίνες, κρύσταλλοι ανόργανων αλάτων και το υγρό των ιστών ή λέμφος της οδοντίνης, που κυκλοφορεί στον περιοδοντινοβλαστικό χώρο. Η κυρίως οδοντίνη, που βρίσκεται μεταξύ των οδοντινικών σωληναρίων, ονομάζεται μεσοσωληναριακή οδοντίνη, ενώ το οδοντινικό υλικό που περιβάλλει τα οδοντινικά σωληνάκια αναφέρεται ως περιωληναριακή οδοντίνη.

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της οδοντίνης είναι δύο, οι αυξητικές γραμμές και τα μεσοσφαίρια αραιώματα. Αναφορικά με τις ιδιότητές της, είναι χαρακτηριστικό ότι η οδοντίνη είναι λιγότερο σκληρή από την αδαμαντίνη και περισσότερο ελαστική. Ωστόσο, εμφανίζει μεγαλύτερη σκληρότητα σε σύγκριση με την οστεΐνη και τον οστίτη ιστό. Η μικρότερη σκληρότητα που παρουσιάζει την οδηγεί σε μεγαλύτερου βαθμού αποτριβή όταν εκτεθεί στο στοματικό περιβάλλον και σε μικρότερη αντίσταση αποκοπής με μηχανικά μέσα. Λόγω της ελαστικότητάς της υποστηρίζει μηχανικά και εξασφαλίζει την προστασία της αδαμαντίνης από κατάγματα. Τα οπτικά χαρακτηριστικά της οδοντίνης είναι πολύ διαφορετικά από αυτά της αδαμαντίνης. Το χρώμα της είναι κιτρινωπό και εμφανίζει πολύ μικρότερη ημιδιαφάνεια, που υπολογίζεται περίπου στο 30%. Η οδοντίνη επηρεάζει, σημαντικά το χρώμα του δοντιού αφού η υπερκείμενη αδαμαντίνη είναι ημιδιαφανής.

1.4 Οστεΐνη

Η οστεΐνη αποτελεί το μικρότερο σε όγκο οδοντικό ιστό και καλύπτει όλη την εξωτερική επιφάνεια της ανατομικής ρίζας του δοντιού, ενώ, συχνά, εισέρχεται μέσα από το ακρορριζικό τμήμα στο εσωτερικό του ριζικού σωλήνα. Η λειτουργία της οστεΐνης είναι διπλή: α) επενδύει την οδοντίνη της ρίζας και επικαλύπτει τα ανοικτά οδοντινοσωληνάκια και β) διατηρεί το δόντι στο φατνίο αφού οι ίνες του περιρριζίου προσφύονται και σε αυτήν. Η οστεΐνη έχει πάχος 10 - 20μm στον αυχένα του δοντιού, 15 - 60μm στο μέσον της ρίζας, ενώ μπορεί να φτάσει τα 100 - 200μm στο ακρορριζίο. Η εμβρυϊκή προέλευσή της είναι από μεσέγχυμα. Η σκληρότητά της είναι μικρότερη από αυτή της οδοντίνης και το χρώμα της είναι κιτρινωπό. Η διαπερατότητα της οστεΐνης είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με του ιστού και της οδοντίνης. Κύριο χαρακτηριστικό της οστεΐνης είναι η συνεχής διάπλαση και εναπόθεσή της τόσο ακρορριζικά όσο και στην εξωτερική επιφάνεια. Αυτή η λειτουργία βοηθά και εξασφαλίζει τη στήριξη του δοντιού, καθώς, σε ένα βαθμό, διατηρεί

την κατακόρυφη διάσταση του προσώπου, αντισταθμίζοντας τη συνεχή αποτριβή των δοντιών.

Όσον αφορά στη χημική της σύνθεση, η οστέινη αποτελείται από ανόργανα συστατικά σε ποσοστό 45 - 65% του βάρους της (κ.β.), από οργανικά σε ποσοστό 20 - 25%, ενώ το υπόλοιπο 10 - 15% είναι νερό. Τα ανόργανα συστατικά είναι με τη μορφή κρυστάλλων υδροξυαπατίτη, με παρόμοια κρυσταλλική οργάνωση όπως και το οστό. Το κύριο οργανικό συστατικό της οστέινης είναι το κολλαγόνο τύπου I, αλλά περιέχει και μη κολλαγονούχες ενώσεις. Συνολικά, υπάρχουν τρεις τύποι οστέινης, η ενδιάμεση, η ακύτταρη και η κυτταροφόρος, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους μορφολογικά, όχι όμως και λειτουργικά.

Το σημείο συνένωσης της οστέινης και της αδαμαντίνης καλείται ανατομικός αυχένας του δοντιού. Οι δύο αυτοί ιστοί, όμως, δε συναντούνται πάντα με ομοιόμορφο τρόπο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, περίπου 60 - 70%, μικρού πάχους δακτυλιοειδής ζώνη οστέινης εναποτίθεται στην αυχενική μοίρα της αδαμαντίνης, χωρίς να παρατηρείται ιδιαίτερη σύνδεση μεταξύ των δύο ιστών. Σε ποσοστό περίπου 30% παρατηρείται ομαλή σύνδεση των άκρων των δύο ιστών, ενώ σε ένα μικρό ποσοστό 5 - 10% οι δύο ιστοί δεν συνάπτονται και εμφανίζεται περιοχή ακάλυπτης οδοντίνης.

1.5 Οδοντικός Πολφός

Ο οδοντικός πολφός είναι ένας χαλαρός συνδετικός ιστός, ο οποίος εδράζεται εσωτερικά στο κεντρικό τμήμα του δοντιού. Διακρίνεται στο μυλικό και στο ριζικό πολφό. Ο πολφός αποτελεί ένα ευαίσθητο και εξειδικευμένο όργανο, το οποίο περιέχει κύτταρα, λεπτά αιμοφόρα αγγεία, νευρικές ίνες και νευρικές απολήξεις, οι οποίες εισέρχονται στην οδοντίνη. Επειδή βρίσκεται σε στενή ανατομική και λειτουργική σχέση με την οδοντίνη, πολλές φορές αναφέρονται και ως ενιαία μονάδα με την ονομασία οδοντινο - πολφικό σύμπλεγμα. Η εμβρυϊκή προέλευση του πολφού είναι ίδια με της οδοντίνης,

δηλαδή από το μέσο βλαστικό δέρμα. Οι κύριες λειτουργίες του πολφού είναι η άμυνα, η θρέψη, η διάπλαση, η επούλωση καθώς και η αισθητικότητα.

Ο μεγαλύτερος αριθμός των κυττάρων του πολφού είναι οι ινοβλάστες, ακολουθούν οι οδοντινοβλάστες και σε μικρότερο βαθμό τα περικύτταρα, τα αρχέγονα βλαστικά, τα δικτυοκύτταρα, τα μακροφάγα και τα ινοκύτταρα. Οι οδοντινοβλάστες παράγουν οδοντίνη καθόλη τη ζωή του δοντιού, με τη μορφή της πρωτογενούς, δευτερογενούς και τριτογενούς οδοντίνης. Οι σκληροί οδοντικοί ιστοί που περιβάλλουν την πολφική κοιλότητα αποτελούν έναν ικανό και αποτελεσματικό φραγμό έναντι των μικροβίων. Όταν, όμως, κάποιο οδοντικό τραύμα ή τερηδονική επεξεργασία διασπάσει αυτό το φραγμό ενεργοποιούνται οι επανορθωτικοί-επουλωτικοί μηχανισμοί του πολφού, οι οποίοι έχουν ως κύριο στόχο την προστασία του πολφού από τη μικροβιακή διείσδυση. Η ικανότητα των πολφικών κυττάρων να ανθίστανται και να επιδιορθώνουν τις βλάβες είναι θεμελιώδης για την ακεραιότητα και την ομοιόσταση των οδοντικών ιστών. Η πιο κοινή και καλά μελετημένη επανορθωτική-επουλωτική αντίδραση του δοντιού είναι ο σχηματισμός της τριτογενούς οδοντίνης.

Κεφάλαιο 2

Τερηδόνα

2.1 Εισαγωγή

Ο όρος τερηδόνα χρησιμοποιείται για να περιγράψει το αποτέλεσμα, τα σημεία και τα συμπτώματα της τοπικής καταστροφής των ενασβεστιωμένων ιστών του στόματος (αδαμαντίνη, οδοντίνη, οστεΐνη) υπό την επίδραση των οργανικών οξέων που παράγονται από τα μικρόβια της οδοντικής πλάκας (ΟΜΠ), που καλύπτουν την προσβεβλημένη οδοντική περιοχή. Επομένως, η τερηδόνα αναπτύσσεται και εξελίσσεται σε κάθε οδοντική επιφάνεια, όπου η ΟΜΠ μπορεί να σχηματιστεί και να παραμείνει για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αυτό δεν σημαίνει ότι όλες οι οδοντικές επιφάνειες μέσα στη στοματική κοιλότητα ενός ατόμου αναπτύσσουν τερηδονικές βλάβες με την ίδια συχνότητα. Οι τερηδονικές βλάβες εκδηλώνονται σε εκείνες τις περιοχές της οδοντοφυΐας όπου η ΟΜΠ είναι σχετικά καλά προστατευμένη και μπορεί να αθροιστεί και να ωριμάσει στην πορεία του χρόνου. Τέτοιες περιοχές είναι τα βοθρία, οι οπές και οι σχισμές στις μασητικές επιφάνειες - ειδικότερα κατά την περίοδο της ανατολής των δοντιών- στις όμορες επιφάνειες, αυχενικότερα του σημείου επαφής, και στις ελεύθερες λείες επιφάνειες, κατά μήκος της αυχενικής ουλικής γραμμής.

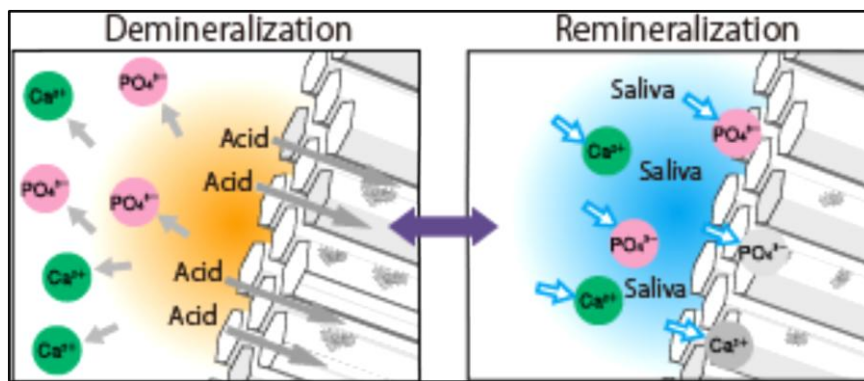
Όσον αφορά τον μηχανισμό δημιουργίας τερηδόνας, είναι γνωστό για περισσότερα από 100 χρόνια ότι η τερηδονική αλλοίωση δημιουργείται από βακτήρια του στόματος που ζυμώνουν τους υδατάνθρακες, παράγοντας οξέα, τα οποία διαλύουν τα ανόργανα στοιχεία των οδοντικών ιστών. Τα τελευταία χρόνια, η τερηδονική διαδικασία έχει αποσαφηνιστεί καλύτερα σε διαφορετικούς τομείς, όπως ο ρόλος των μικροβίων και του σάλιου, η σύσταση των ανόργανων στοιχείων του δοντιού, η μικροσκοπική δομή του

δοντιού, οι διαδικασίες διάχυσης των οξέων, η κινητική της απομεταλλικοποίησης, η αντιστροφή της απομεταλλικοποίησης που ονομάζεται επαναμεταλλικοποίηση καθώς και άλλοι παράγοντες που οδηγούν σε αυτή την αντιστροφή της διαδικασίας της αλλοίωσης [4], [5].

Η τερηδονική βλάβη του δοντιού αποτελεί μία δυναμική διαδικασία και είναι το αποτέλεσμα της ανισορροπίας μεταξύ των φαινομένων της απομεταλλικοποίησης και επαναμεταλλικοποίησης στην επιφάνεια του δοντιού [6]. Η επιφάνεια της μύλης του δοντιού βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το υγρό περιβάλλον της στοματικής κοιλότητας. Το υγρό αυτό περιβάλλον προέρχεται κυρίως από τις εκκρίσεις των σιαλογόνων αδένων, αλλά και από τη λαμβανόμενη διαίτα. Τα δυο αυτά μέρη, η επιφάνεια του δοντιού και το διάλυμα που την περιβάλλει, αποτελούν ένα σύστημα στερεού - υγρής φάσης το οποίο διέπεται από τους νόμους της φυσικοχημείας και βρίσκεται σε μια διαρκή κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Σε φυσιολογικές συνθήκες, το υγρό στοματικό περιβάλλον περιέχει επαρκείς ποσότητες διαφόρων ιόντων, όμοιων με αυτά που αποτελούν τη χημική φύση του ανόργανου τμήματος της αδαμαντίνης - οδοντίνης, ώστε το διάλυμα αυτό να είναι κορεσμένο ή και υπέρκορο σε σχέση με αυτούς τους ιστούς. Κάτω από τις συνθήκες αυτές, οι σκληροί οδοντικοί ιστοί διατηρούν τη φυσική τους ακεραιότητα και ομοιότητα. Υπό την επίδραση, όμως, διαφόρων παραγόντων οι οποίοι είτε τροποποιούν τη χημική φύση του ανόργανου υποστρώματος των σκληρών ιστών, είτε τη χημική σύσταση της υγρής φάσης που την περιβάλλει, η ισορροπία αυτή διαταράσσεται. Αποτέλεσμα της διαταραχής αυτής είναι η μετακίνηση ιόντων από τη μια φάση προς την άλλη μέχρις ότου αποκατασταθεί εκ νέου η χημική ισορροπία.

Όταν η αποκατάσταση της ισορροπίας αυτής συνεπάγεται μετακίνηση ιόντων από τη στερεά προς την υγρή φάση, προκαλείται απώλεια τμήματος του ανόργανου υποστρώματος της επιφανειακής στοιβάδας των σκληρών οδοντικών ιστών. Η απώλεια αυτή χαρακτηρίζεται ως απομεταλλικοποίηση.

Υπό την επίδραση, όμως, διαφόρων ευνοϊκών παραγόντων τα προαναφερόμενα επεισόδια διαταραχής της ισορροπίας μπορούν να ακολουθηθούν από διαταραχή της ισορροπίας, προς την αντίθετη φορά. Αποτέλεσμα αυτών είναι η μερική ή ολική επανάκτηση των απολεσθέντων αλάτων των σκληρών οδοντικών ιστών. Η κατάσταση αυτή είναι γνωστή ως επαναμεταλλικοποίηση και συνεπάγεται την μερική ή ολική “επούλωση” της προκληθείσας βλάβης [7] (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Η διαδικασία της απομεταλλικοποίησης(αριστερά) και της επαναμεταλλικοποίησης(δεξιά) [8].

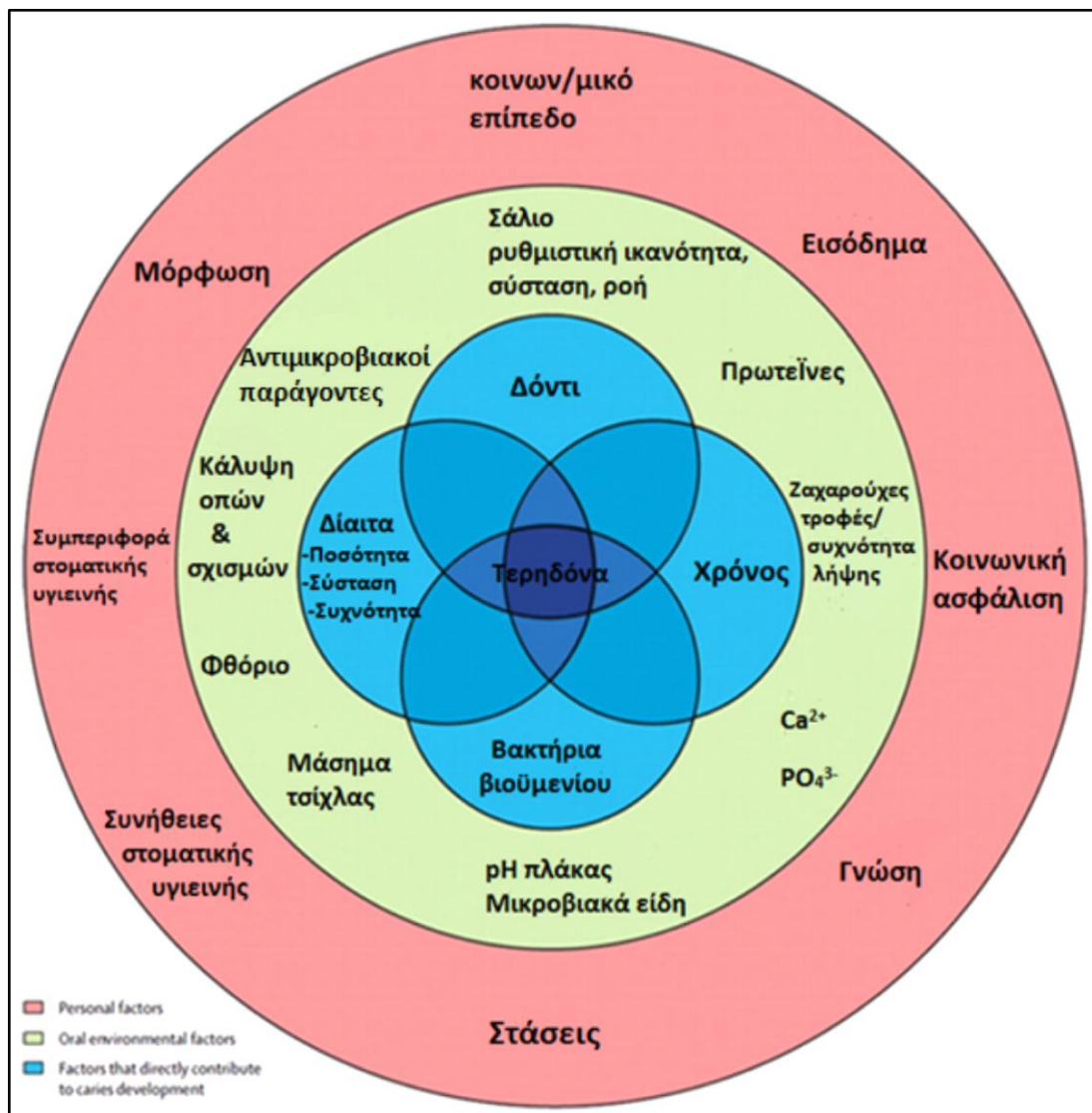
Τα τερηδονοπαθογόνα βακτήρια είναι ουσιώδη στην διαδικασία σχηματισμού της βλάβης. Τουλάχιστον δύο κύριες ομάδες μικροβίων που βρίσκονται στη στοματική κοιλότητα (α) οι mutans στρεπτόκοκκοι και (β) οι γαλακτοβάκιλλοι είναι ικανές να παράγουν οργανικά οξέα κατά τον μεταβολισμό των ζυμώσιμων υδατανθράκων [7], [9].

2.2 Αιτιολογία και παράγοντες κινδύνου τερηδόνας

Η αποίκιση από mutans στρεπτόκοκκους και άλλων τερηδογόνων βακτηρίων σε νεαρή ηλικία αποτελεί κύριο παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη τερηδόνας. Αλλά ο ρόλος του mutans στρεπτόκοκκου ως πρωταρχικός παράγοντας κινδύνου δεν έχει αποδειχθεί. Λόγω της πολυπλοκότητας της μικροβιακής χλωρίδας που αναπτύσσεται στην οδοντική επιφάνεια, δεν μπορεί μόνο ένα βακτηριακό είδος να προβλέψει την ανάπτυξη τερηδόνας σε ένα άτομο [10].

Διάφοροι άλλοι παράγοντες εκτός από τη σύσταση και το πάχος του βιοϋμένιου, μπορούν να επηρεάσουν την ένταση των αλλαγών του pH, καθώς και την απώλεια μεταλλικών στοιχείων και τον ρυθμό εξέλιξής της. Αυτοί οι παράγοντες κινδύνου μπορεί να ποικίλουν και να μεταβληθούν με το χρόνο. Τέτοιοι υπεύθυνοι φυσικοί και βιολογικοί παράγοντες είναι η διαίτα του ατόμου, η συγκέντρωση ιόντων φθορίου καθώς και η ροή, η σύσταση και η ρυθμιστική ικανότητα του σάλιου. Πρόσθετα, διάφοροι ανοσολογικοί και γενετικοί παράγοντες σχετίζονται με την ανάπτυξη της τερηδόνας [10], [11].

Η τερηδόνα έχει συσχετιστεί επίσης με τον τρόπο ζωής, με παράγοντες συμπεριφοράς που ελέγχονται από το άτομο, όπως για παράδειγμα η κακή στοματική υγιεινή. Άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τον τερηδονικό κίνδυνο ενός ατόμου είναι κοινωνικοοικονομικοί, καθώς η φτώχεια, το μορφωτικό επίπεδο του ατόμου ακόμα και η οδοντιατρική ασφαλιστική κάλυψη φαίνονται ότι τον επηρεάζουν (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Παράγοντες τερηδόνας: Ατομικοί (ροζ κύκλος), Περιβαλλοντικοί (κίτρινος), άμεσα συσχετιζόμενοι (μπλε) παράγοντες (μετασχεδίαση από [12]).

2.3 Επιδημιολογία τερηδόνας: Ηλικία, επίπτωση, ρυθμός

Οι συγκρίσεις της παγκόσμιας συχνότητας και της κατανομής της τερηδόνας είναι περιπλεγμένες λόγω των διαφορετικών διαγνωστικών κριτηρίων που χρησιμοποιούνται μεταξύ των μελετών. Αν και η συχνότητα της τερηδόνας έχει ελαττωθεί ιδιαίτερα τα τελευταία 20 χρόνια στον δυτικό κόσμο, παραμένει ένα κυρίαρχο πρόβλημα τόσο για τους ενήλικες όσο και για τα παιδιά [11]. Ωστόσο, μία μείωση και στη βαρύτητα των βλαβών έχει παρατηρηθεί στις αναπτυσσόμενες χώρες τις τελευταίες δεκαετίες. Οι λόγοι της προαναφερθείσας μείωσης του επιπολασμού και της επίπτωσης της νόσου είναι δύσκολο να καθοριστούν με ακρίβεια, αλλά όλες οι μελέτες καταλήγουν ότι η σχεδόν παγκόσμια χρήση φθοριούχων συνιστά ένα βασικό παράγοντα [13]. Επίσης, ο ρυθμός εξέλιξης της νόσου μειώνεται παγκοσμίως. Η μείωση αυτή είναι περισσότερο έκδηλη με την αύξηση της ηλικίας.

Ένα άλλο ενδιαφέρον επιδημιολογικό χαρακτηριστικό της τερηδόνας είναι η αλλαγή του τερηδονικού κινδύνου μετά την ανατολή των δοντιών στο στόμα. Μια σειρά μελετών έχει αναφέρει ότι η περίοδος της μέγιστης επικινδυνότητας για την εμφάνιση τερηδόνας είναι το χρονικό διάστημα μετά την ανατολή [14]. Η νόσος ανιχνεύεται κυρίως σε συγκεκριμένα δόντια, τύπους δοντιών αλλά και επιφάνειες τόσο στη νεογιλή όσο και στη μόνιμη οδοντοφυΐα. Η μείωση της συχνότητας της τερηδόνας στα μόνιμα δόντια είναι μεγαλύτερη στις όμορες και λείες επιφάνειες σε σχέση με την τερηδόνα οπών και σχισμών [10].

Η συχνότητα της τερηδόνας αυξάνεται στους ηλικιωμένους, καθώς περισσότεροι άνθρωποι διατηρούν τα δόντια τους καθόλη την διάρκεια της ζωής τους. Οι ηλικιωμένοι έχουν όμοια ή μεγαλύτερα επίπεδα νέων τερηδόνων από ότι τα παιδιά και οι έφηβοι [15]. Άλλες πληθυσμιακές ομάδες που εμφανίζουν μεγάλη συχνότητα τερηδόνας είναι άνθρωποι που ζουν στη φτώχεια, άτομα με χαμηλή εκπαίδευση ή χαμηλού κοινωνικοοικονομικού επιπέδου, εθνικές μειονότητες, άτομα με φυσικές ανικανότητες, πρόσφατοι

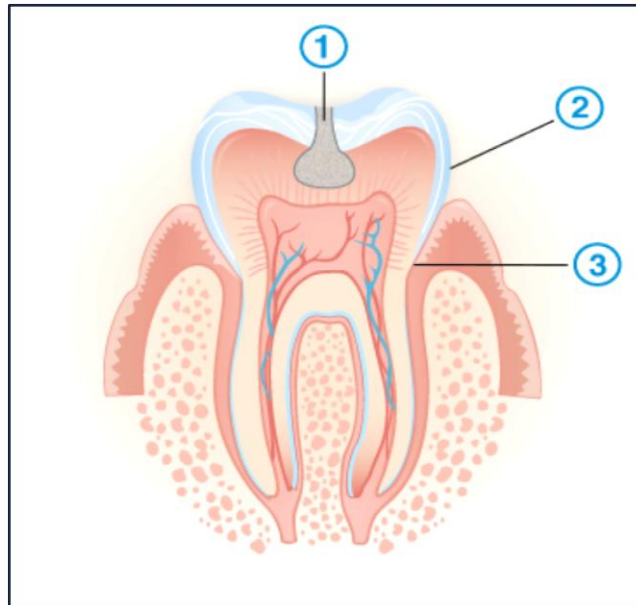
μετανάστες, άτομα με HIV ή AIDS, αδύναμα άτομα και με διάφορους επικίνδυνους παράγοντες ζωής [10].

2.4 Τύποι βλαβών

Η εμφάνιση της αλλοίωσης μπορεί να ποικίλει από την αρχική απώλεια των μεταλλικών στοιχείων που φαίνεται επιφανειακά σε επίπεδο μικροσκοπικής δομής έως την πλήρη καταστροφή του δοντιού. Οι κατηγορίες της τερηδόνας που χρησιμοποιούν οι πιο πολλοί ερευνητές και κλινικοί οδοντίατροι είναι (α) ανάλογα με την εντόπισή της (τερηδόνα λείας επιφάνειας, τερηδόνα οπών και σχισμών και τερηδόνα ρίζας) και (β) ανάλογα με την ιστολογική εντόπισή της (τερηδόνα αδαμαντίνης και τερηδόνα οδοντίνης). Επίσης, χρησιμοποιούνται όροι όπως δευτερογενής τερηδόνα, που αναφέρεται στην τερηδόνα γύρω από το όριο των αποκαταστάσεων, πρόιμη τερηδόνα παιδικής ηλικίας και πολλές άλλες κατηγορίες που περιγράφονται κλινικά και ιστολογικά.

Ο βασικός, όμως, μηχανισμός της τερηδόνας είναι ο ίδιος σε όλους αυτούς τους τύπους τερηδόνας, δηλαδή μία απώλεια μεταλλικών στοιχείων λόγω των παραγόμενων οξέων από τα βακτήρια. Αν η απομεταλλικοποίηση συνεχιστεί, θα δημιουργηθεί τελικά κοιλότητα σε οποιοδήποτε τύπο και σε οποιαδήποτε θέση του δοντιού στον οδοντικό φραγμό [16].

Τα χαρακτηριστικά μίας τερηδονικής αλλοίωσης ποικίλουν ανάλογα με τη φύση της επιφάνειας όπου η αλλοίωση αναπτύσσεται. Υπάρχουν, ως προς την εντόπιση, τρεις διαφορετικές κλινικά περιοχές για την εκκίνηση της τερηδόνας. (Α) η τερηδόνα αδαμαντίνης λείας επιφάνειας στις περιοχές όπου κατακρατείται πλάκα, (Β) τα εντυπώματα των αναπτυξιακών οπών και σχισμών της αδαμαντίνης και (Γ) η τερηδόνα ρίζας. Κάθε μία από αυτές τις περιοχές έχει ξεχωριστή επιφανειακή τοπογραφία, περιβαλλοντικές συνθήκες και πληθυσμούς μικροβιακής πλάκας (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Εντόπιση τερηδόνας: 1)Οπές/σχισμές, 2)Λείες επιφάνειες, 3)Ρίζα [17].

2.4.1 Τερηδόνα λείας επιφάνειας- Λευκή κηλίδα

Το πιο πρώιμο κλινικά οπτικό σημείο της τερηδονικής βλάβης είναι η λευκή κηλίδα. Το σχήμα της λευκής κηλίδας καθορίζεται από την έκταση του βιοϋμένιου και την διεύθυνση των πρισμάτων αδαμαντίνης. Στην όμορη επιφάνεια, η αλλοίωση κάτω από το βιοϋμένιο είναι νεφροειδής μεταξύ σημείου επαφής και ορίου ελεύθερων ούλων [18]. Το πορώδες της υποεπιφανειακής αλλοίωσης εξηγεί πώς η αλλοίωση φαίνεται λευκή και γιατί ο οδοντίατρος σε καθαρές επιφάνειες μπορεί να καθορίσει το βάθος της βλάβης. Όταν η αλλοίωση είναι ορατή μόνο σε στεγνή επιφάνεια, ιστολογικά η βλάβη εντοπίζεται πιθανά στο εξωτερικό τμήμα της αδαμαντίνης. Αντίθετα, όταν η βλάβη είναι ορατή και σε υγρές συνθήκες, τότε ιστολογικά καταλαμβάνει όλη την αδαμαντίνη και πιθανά έχει εισχωρήσει στην οδοντίνη. Αυτό σχετίζεται με τον δείκτη διάθλασης της αδαμαντίνης, του νερού και του αέρα.

2.4.2 Τερηδόνα οπών και σχισμών

Στην μασητική επιφάνεια η τερηδόνα εμφανίζεται συνήθως στο βαθύτερο σημείο του συστήματος σχισμής/βοθρίου, όπου και οι βακτηριακές εναποθέσεις έχουν την καλύτερη προστασία έναντι των διαφόρων λειτουργικών κινήσεων. Η αλλοίωση στις οπές και σχισμές δημιουργείται σε τρεις κατευθύνσεις, πάλι οδηγούμενη από τη διεύθυνση των πρισμάτων και έχει σχήμα κωνικό με τη βάση της στην αδαμαντινοδοντινική ένωση. Τα βακτήρια γρήγορα αποικίζουν τις οπές και σχισμές κατά την ανατολή των δοντιών. Το σχήμα, όμως, των οπών και σχισμών ευθύνεται για την μεγάλη επιδεκτικότητά τους στην τερηδόνα. Το μεγάλο μήκος ρηχό άνοιγμα εμποδίζει την οπτική παρατήρηση και, επίσης, η είσοδος μπορεί να εμφανίζεται πολύ μικρότερη από την πραγματική αλλοίωση, κάνοντας την κλινική τους διάγνωση δύσκολη. Η τερηδόνα των οπών και σχισμών εξαπλώνεται καθώς διασχίζει την αδαμαντίνη.

2.4.3 Τερηδόνα ρίζας

Η τερηδόνα ρίζας είναι όμοια με την τερηδόνα αδαμαντίνης καθώς πρόκειται για υποεπιφανειακή απομεταλλικοποίηση, αλλά η διαφορά έγκειται στο ότι η επιφάνεια μπορεί να εμφανιστεί μαλακή σε αρχικό στάδιο προόδου της αλλοίωσης. Τα βακτήρια διεισδύουν νωρίτερα σε σχέση με την τερηδόνα μύλης. Το βάθος της κοιλότητας, όμως, στις τερηδόνες ρίζας είναι σπάνια πάνω από 0.5 ή 1 χιλ.

2.5 Συμπτώματα τερηδόνας

Συνήθως, τα συμπτώματα της τερηδόνας γίνονται αντιληπτά μόνο όταν αυτή έχει φθάσει σε προχωρημένο στάδιο. Ωστόσο, ορισμένα σημάδια μπορεί να γίνουν αντιληπτά από έναν οδοντίατρο αρκετά νωρίτερα. Η έγκαιρη διάγνωση διευκολύνει τη θεραπεία και μειώνει τον κίνδυνο εκτεταμένης καταστροφής του δοντιού [2], [19].

2.5.1 Λευκές κηλίδες στα δόντια

Τα οξέα που παράγονται από τα βακτήρια της οδοντικής πλάκας προκαλούν την απώλεια μεταλλικών αλάτων (κυρίως ασβεστίου) από τα δόντια. Όταν η απώλεια αυτή δεν αντιμετωπίζεται αρχίζει να δημιουργείται τερηδόνα. Κατά την πολύ αρχική φάση εξέλιξης της τερηδόνας, η απασβεσίωση της αδαμαντίνης δεν είναι ορατή παρά μόνο με μικροσκόπιο. Αν η επίδραση των οξέων συνεχιστεί, δημιουργείται ένας ελαφρύς αποχρωματισμός του δοντιού λόγω της αλλαγής της σύστασης του σμάλτου. Τα σημεία όπου η απασβεσίωση είναι πιο έντονη εμφανίζονται σαν λευκές ή καφέ κηλίδες, οι οποίες μπορούν να εντοπισθούν από τον οδοντίατρο κατά την κλινική εξέταση.

Μέχρι τη φάση των λευκών κηλίδων η βλάβη του δοντιού είναι αναστρέψιμη με θεραπείες που μπορούν να ενισχύσουν την επανασβεσίωση της αδαμαντίνης και την αποκατάσταση της σύνθεσης της, σταματώντας την πορεία της τερηδόνας. Καθώς η τερηδόνα συνεχίζει να εξελίσσεται, διαπερνά το σμάλτο, εισχωρεί και αρχίζει να καταστρέφει το κατώτερο και πιο μαλακό στρώμα της οδοντίνης. Σύντομα η αδαμαντίνη καταρρέει δημιουργώντας κοιλότητα στο δόντι, ενώ η τερηδόνα προχωράει προς τον πολφό.

Προοδευτικά εμφανίζονται τα παρακάτω συμπτώματα που μαρτυρούν την ύπαρξη τερηδόνας :

2.5.2 Υπερευαισθησία του δοντιού

Η οδοντική υπερευαισθησία είναι ένα σύμπτωμα της τερηδόνας που εμφανίζεται όταν η τερηδόνα φθάσει στην οδοντίνη, με αποτέλεσμα να εκτεθούν τα οδοντινικά σωληνάκια που επικοινωνούν με το ζωντανό κεντρικό τμήμα του δοντιού. Ζεστά, κρύα, γλυκά ή ξινά τρόφιμα και ποτά προκαλούν ένα οξύ διαπεραστικό αίσθημα πόνου στο δόντι.

2.5.3 Κοιλότητα

Όταν η βλάβη στην οδοντίνη γίνει εκτεταμένη, η αδαμαντίνη που την καλύπτει χάνει την στήριξη της και καταρρέει δημιουργώντας μια τρύπα στο δόντι (κοιλότητα). Αν αυτή η τρύπα είναι σε εμφανές σημείο του δοντιού μπορεί να γίνει αντιληπτή και από τον ασθενή σε συνδυασμό με την αλλαγή του χρώματος. Αν, όμως, η τερηδόνα βρίσκεται στο μεσοδόντιο διάστημα και είναι μικρής έκτασης, τότε δύσκολα γίνεται αντιληπτή πριν την οδοντιατρική εξέταση.

2.5.4 Πονόδοντος

Ο πονόδοντος εκδηλώνεται σαν σύμπτωμα τερηδόνας όταν η μόλυνση φθάνει στον πολφό. Αρχικά, ο πόνος γίνεται αισθητός σποραδικά κατά τη μάσηση όταν ασκείται μεγάλη πίεση στο δόντι, αλλά σταδιακά γίνεται συχνότερος και πιο έντονος. Συνεχής διαπεραστικός πόνος στα δόντια είναι μια καθαρή ένδειξη για ύπαρξη τερηδόνας και επιβάλλεται η άμεση επίσκεψη στον οδοντίατρο.

2.5.5 Οδοντικό ακρορριζικό απόστημα

Η φλεγμονή στον πολφό του δοντιού οδηγεί στη νέκρωση του οστού και την εξάπλωση της μόλυνσης μέσω των ριζικών σωλήνων στην περιοχή γύρω από το άκρο της ρίζας του δοντιού. Συγκεντρώνεται πύον και δημιουργείται το λεγόμενο ακρορριζικό απόστημα. Έντονος παλμικός πόνος σε συνδυασμό με πρήξιμο, και μερικές φορές εκροή πύου στο στόμα, είναι συνήθη συμπτώματα οδοντικού αποστήματος λόγω τερηδόνας.

2.6 Πρόληψη τερηδόνας

Οι κύριοι στόχοι για να πετύχουμε την πρόληψη της τερηδόνας είναι [13],[19]:

2.6.1 Έλεγχος της οδοντικής μικροβιακής πλάκας

Ο βασικός παράγοντας στην πρόληψη της τερηδόνας είναι ο έλεγχος της οδοντικής πλάκας, δηλαδή του πληθυσμού των μικροβίων στο στόμα. Μη επιτρέποντας τη δημιουργία μικροβιακής πλάκας στην επιφάνεια των δοντιών, μειώνουμε σημαντικά την παραγωγή των οξέων που προκαλούν την απώλεια ανόργανων αλάτων και την αποδόμηση της αδαμαντίνης.

2.6.2 Βελτιωμένη στοματική υγιεινή

Η επιμελής τήρηση της στοματικής υγιεινής, δηλαδή του καλού καθαρισμού των δοντιών (βούρτσισμα) και η χρήση οδοντικού νήματος ενδείκνυται για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών από την επιφάνεια των δοντιών με επακόλουθο την αναστολή της δράσης τους.

2.6.3 Τακτικές προληπτικές επισκέψεις στον οδοντίατρο και επαγγελματικός καθαρισμός των δοντιών

Οι τακτικές οδοντιατρικές εξετάσεις κάθε 6 μήνες που περιλαμβάνουν επαγγελματικό καθαρισμό των δοντιών είναι απαραίτητο συμπλήρωμα της καθημερινής στοματικής υγιεινής και προσφέρει τη δυνατότητα να εντοπιστούν έγκαιρα τυχόν ενδείξεις τερηδόνας ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για να σταματήσει η εξέλιξη της.

2.6.4 Υγιεινή διατροφή και διατροφικές συνήθειες

Τα βακτήρια της οδοντικής πλάκας δεν μπορούν να παράγουν οξέα χωρίς αρκετή ζάχαρη για τροφή. Μια καλά ισορροπημένη διατροφή με περιορισμένη κατανάλωση αμυλούχων ή ζαχαρούχων τροφών μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη της τερηδόνας καθώς στερεί τα βακτήρια από την κύρια πηγή τροφής και μειώνει την παραγωγή οξέων. Η συχνότητα και ο

χρόνος που η ζάχαρη παραμένει σε επαφή με τα δόντια είναι επίσης σημαντικός παράγοντας.

2.6.5 Φθόριο

Το φθόριο έχει την ικανότητα να προσλαμβάνεται από την αδαμαντίνη και να την κάνει ανθεκτικότερη στην δράση των τερηδογόνων μικροοργανισμών. Η έκθεση των δοντιών στο φθόριο αποτελεί τον σημαντικότερο ίσως παράγοντα που συντελεί στην συνεχή μείωση του επιπολασμού της τερηδόνας στον αναπτυγμένο κόσμο. Η πρόσληψη φθορίου γίνεται από την κατανάλωση φθοριωμένου νερού, την χρήση οδοντόκρεμας με φθόριο, στοματικών διαλυμάτων με φθόριο κτλ.

2.6.6 Προληπτικές εμφράξεις

Στα παιδιά κυρίως, οι γομφίοι μπορούν να προστατευθούν από την τερηδόνα με τη χρήση προληπτικών εμφράξεων, δηλαδή με την κάλυψη των οπών και οχισμών στις μασητικές επιφάνειες των δοντιών με ακρυλικό υλικό. Το υλικό αυτό προσφέρει μια προστατευτική επικάλυψη που απομονώνει την επιφάνεια των δοντιών από τη δράση των οξέων που παράγονται από τα βακτήρια της πλάκας. Οι προληπτικές εμφράξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ενήλικες.

2.7 Θεραπεία τερηδόνας

Η τερηδόνα κατά το αρχικό της στάδιο προκαλεί απασβεσίωση της αδαμαντίνης του δοντιού χωρίς να δημιουργεί τερηδονική κοιλότητα. Το αρχικό αυτό στάδιο ονομάζεται αρχόμενη τερηδόνα και χαρακτηρίζεται από τοπική μείωση των ανόργανων συστατικών της αδαμαντίνης και εμφάνιση μιας λευκάζουσας κηλίδας. Στο στάδιο αυτό η τερηδονική βλάβη μπορεί να αναχαιτιστεί με συντηρητικό τρόπο. Όταν η τερηδονική βλάβη προχωρήσει βαθύτερα και στην οδοντίνη και δημιουργηθεί τερηδονική κοιλότητα, η αντιμετώπιση είναι παρεμβατική [2],[13].

2.7.1 Αναχαίτιση αρχόμενης τερηδόνας

Η αναχαίτιση μιας αρχόμενης τερηδόνας περιλαμβάνει την εφαρμογή εξατομικευμένου προληπτικού προγράμματος και, επιπλέον, την χορήγηση φθοριούχων διαλυμάτων για την επανασβέστωση της βλάβης, καθώς και αντιμικροβιακών ουσιών για την μείωση του μικροβιακού φορτίου της στοματικής κοιλότητας.

2.7.2 Αποκατάσταση δοντιού- σφραγίσματα/στεφάνες

Εάν έχει ήδη σχηματιστεί μια κοιλότητα στο δόντι εξαιτίας της τερηδόνας, πραγματοποιείται επεμβατική θεραπεία για την αποκατάσταση του δοντιού. Το κατεστραμμένο τμήμα της αδαμαντίνης και οδοντίνης απομακρύνεται, και κατόπιν γίνεται ανάπλαση του δοντιού με επανορθωτικό υλικό.

- 1) Οι Εμφράξεις (σφραγίσματα) είναι η πιο κοινή θεραπεία για προβλήματα τερηδόνας. Υλικά όπως το αμάλγαμα, χρυσός, ή συνθετική ρητίνη χρησιμοποιούνται για να πληρωθεί η κοιλότητα και να αποκατασταθεί το σχήμα και η λειτουργία του δοντιού.
- 2) Τα Ένθετα και τα Επένθετα είναι έμμεσες αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται στο εργαστήριο. Φτιάχνονται από πορσελάνη και προσφέρουν καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα από τα κοινά σφραγίσματα.
- 3) Οι Στεφάνες (θήκες) χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει μεγάλη έκταση της βλάβης και το εναπομείναν υγιές τμήμα του δοντιού δεν είναι αρκετό για να αντέξει τις πιέσεις της μάσησης με ένα απλό σφράγισμα. Οι στεφάνες κατασκευάζονται από χρυσό, μεταλλικό σκελετό επικαλυμμένο με πορσελάνη, ή εξ ολοκλήρου από πορσελάνη.

2.7.3 Ενδοδοντική θεραπεία- απονεύρωση

Κατά την απονεύρωση (ενδοδοντική θεραπεία) ο οδοντίατρος αφαιρεί τον μολυσμένο ιστό από την πολφική κοιλότητα και τους ριζικούς σωλήνες και γεμίζει τον χώρο με ειδικό υλικό (γουταπέρκα). Κατόπιν γίνεται η ανασύσταση του δοντιού με σφράγισμα ή στεφάνη, ανάλογα με την κατάσταση του.

Τέλος, αν η ενδοδοντική θεραπεία δεν καταφέρει να σταματήσει την μόλυνση γύρω από το δόντι, πραγματοποιείται εξαγωγή του δοντιού. Εξαγωγή μπορεί, επίσης, να χρειαστεί αν μετά την απομάκρυνση των μολυσμένων/κατεστραμμένων τμημάτων του δοντιού δεν μείνει αρκετή οδοντική ουσία, καθιστώντας αδύνατη την ανασύσταση του δοντιού. Όταν γίνεται εξαγωγή ενός τερηδονισμένου δοντιού, συνίσταται η άμεση αναπλήρωσή του ώστε να αποφευχθεί η απώλεια οστού και να αποκατασταθεί η λειτουργία και εμφάνιση του στόματος. Η αντικατάσταση γίνεται είτε με γέφυρα είτε με εμφύτευμα δοντιού.

Κεφάλαιο 3

Διαγνωστικές Μέθοδοι Τερηδόνας

3.1 Εισαγωγή

Ένα οδοντιατρικό σχέδιο θεραπείας δεν μπορεί να εκπονηθεί αν δεν στηρίζεται σε μια ακριβή διάγνωση της κατάστασης των οδοντικών ιστών, η οποία με τη σειρά της πραγματοποιείται μέσα από λεπτομερή εξέτασή τους. Καθότι η συντριπτική πλειοψηφία των οδοντικών βλαβών είναι τερηδονικής αιτιολογίας, μία απαραίτητη παράμετρος για την ολοκλήρωση του σχεδίου αντιμετώπισης είναι η γνώση του τερηδονικού κινδύνου που διατρέχει το κάθε στοματικό περιβάλλον που εξετάζεται. Λόγω του ότι ο τερηδονικός κίνδυνος είναι εξατομικευμένος και διαμορφώνεται από τους ίδιους παράγοντες οι οποίοι συνιστούν τα αίτια πρόκλησης των τερηδονικών βλαβών, ο καθορισμός του στηρίζεται στην εξέταση αυτών και στον προσδιορισμό της βαρύτητας του καθενός. Γνωρίζοντας τον τερηδονικό κίνδυνο, το σχέδιο θεραπείας διαμορφώνεται ανάλογα (*Πίνακας 3.1*). Επίσης, τα μέτρα και οι ενέργειες που περιλαμβάνει κλιμακώνονται και εξατομικεύονται κατά τρόπο ώστε πρωτογενείς βλάβες να προληφθούν, υπάρχουσες να αναχαιτιστούν και για άλλες, που θα πρέπει να αποκατασταθούν, να επιλεγεί το κατάλληλο εμφρακτικό υλικό και η τεχνική [2].

Πίνακας 3.1: Στοιχεία εξέτασης για τη διαμόρφωση του σχεδίου θεραπείας [2].

1. Αξιολόγηση ασθενή (αντιμετώπιση στοματικής υγείας - ανάγκες - απαιτήσεις)
2. Ιατρική κατάσταση και ιστορικό
3. Οδοντιατρικές συνήθειες
4. Διατροφικές συνήθειες
5. Οδοντιατρικό ιστορικό
6. Παρούσα κατάσταση δοντιών (τερηδόνα, αποτριβή - διάβρωση - απόσπαση, ρωγμή - κάταγμα, δυσχρωμία, δυσπλασία, αξιολόγηση υπάρχουσας αποκατάστασης)
7. Παρούσα κατάσταση περιοδοντίου
8. Παρούσα κατάσταση σύγκλεισης σε συγγόμφωση, προολίσθηση, πλαγιολίσθηση
9. Αισθητική πρόσθιας περιοχής φραγμού

Η διάγνωση μιας τερηδονικής βλάβης γίνεται με βάση τις μεταβολές που υφίστανται φυσιολογικά χαρακτηριστικά των σκληρών οδοντικών ιστών, και αρχικά της αδαμαντίνης. Οι μέθοδοι εντοπισμού αυτών των μεταβολών, από τις κλασσικές μέχρι τις πλέον εξελιγμένες, στηρίζονται στην αξιολόγηση ή και μέτρηση διαφοροποιήσεων χαρακτηριστικών των οδοντικών ιστών σε σχέση με το φυσιολογικό, όπως : της διαφάνειας, του χρώματος, του λείου της επιφάνειας, της συνέχειας του ιστού, της πυκνότητας, της πρόσληψης χρωστικών, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του φθορισμού σε υπεριώδη ή ορατή ακτινοβολία. Άλλες από τις διαγνωστικές μεθόδους αξιολογούν τις προαναφερόμενες παραμέτρους ποιοτικά και άλλες ποσοτικά [20].

Μία μέθοδος διάγνωσης καλείται να απαντήσει στο ερώτημα αν μια περιοχή δοντιού που εξετάζεται έχει ή όχι τερηδονική βλάβη και, αν έχει, ποιά είναι η έκτασή της και ποιό το βάθος της. Και αυτό θα πρέπει να το κάνει με τρόπο αξιόπιστο και έγκυρο. Η αξιοπιστία καθορίζεται από την επαναληψιμότητα της διάγνωσης μιας συγκεκριμένης βλάβης, που πραγματοποιείται από τον ίδιο εξεταστή ο οποίος εφαρμόζει τη μέθοδο πολλές φορές ή από διαφορετικούς εξεταστές, που καταλήγουν στην ίδια διάγνωση. Η εγκυρότητα μιας μεθόδου διάγνωσης τερηδόνας εκφράζεται από την ευαισθησία και την ειδικότητά της. Το πρώτο είναι η ικανότητα που έχει η μέθοδος να διαγνώσει τις τερηδονικές βλάβες που υπάρχουν πραγματικά και το δεύτερο η ικανότητα να διαγνώσει τις υγιείς επιφάνειες, δηλαδή αυτές που δεν έχουν προσβληθεί. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, δηλαδή είναι δυνατόν μια δοκιμασία να έχει μεγάλη ευαισθησία και μικρή ειδικότητα ή το αντίθετο. Όσο υψηλότερες είναι και οι δύο αυτές τιμές - με μέγιστο τη μονάδα (1.00) ή το 100% - τόσο υψηλότερη καθίσταται η διαγνωστική τους ικανότητα. Τιμές ευαισθησίας ή ειδικότητας μεγαλύτερες του 0.80 (80%) σημαίνουν ότι η μέθοδος έχει μεγάλη εγκυρότητα [21]. Η εγκυρότητα είναι σημαντικό χαρακτηριστικό γιατί το αποτέλεσμα της διάγνωσης μπορεί να οδηγήσει, ανάλογα, σε υποθεραπεία ή υπερθεραπεία, δηλαδή να μη γίνουν αποκαταστάσεις εκεί που χρειάζεται ή να γίνουν εκεί που δεν απαιτείται. Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία όλων των διαγνωστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τις τερηδονικές βλάβες δεν είναι η ίδια. Ακόμα και για την ίδια μέθοδο, τα μεγέθη διαφοροποιούνται ανάλογα με την περιοχή εξέτασης (π.χ. όμορη σε σχέση με μασητική επιφάνεια).

Για να μπορέσει να λειτουργήσει, πρακτικά, μια διαγνωστική μέθοδος θα πρέπει να συνοδεύεται από συγκεκριμένα κριτήρια διάγνωσης, τα οποία είναι εξειδικευμένα μόνο γι' αυτή. Ως κριτήρια περιγράφονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ή τιμές που πρέπει να εμφανίσει η περιοχή όταν εξεταστεί με αυτή τη μέθοδο ώστε να πιστοποιηθεί, με βάση αυτά, η υγεία ή η βλάβη και η

έκταση της τελευταίας. Στις ποιοτικές διαγνωστικές μεθόδους, τα κριτήρια είναι περιγραφικά ενώ στις ποσοτικές αυτά είναι αριθμητικά.

Οι διαγνωστικές μέθοδοι που θα περιγραφούν στη συνέχεια είναι αυτές που βρίσκουν κλινική εφαρμογή. Από αυτές, κάποιες βρίσκουν ευρεία κλινική εφαρμογή, ορισμένες λειτουργούν βοηθητικά ή συμπληρωματικά προς τις πρώτες, ενώ υπάρχουν κι εκείνες που η κλινική τους χρήση είναι σπάνια.

3.2 Οπτική Παρατήρηση

Το πρώτο βήμα για τη διάγνωση μιας πιθανής τερηδονικής βλάβης είναι η παρατήρησή της. Αυτό μπορεί να γίνει άμεσα, με οπτική παρατήρηση κατά την κλινική εξέταση ή έμμεσα, με την απεικόνιση του δοντιού και την παρατήρηση της εξεταζόμενης περιοχής του δοντιού σε ένα δεύτερο χρόνο. Επίσης, μπορεί να γίνει με γυμνό οφθαλμό ή με τη χρήση μεγεθυντικών μέσων. Αυτό που χαρακτηρίζει την οπτική παρατήρηση είναι η δυσκολία ή και αδυναμία εξέτασης κάποιων περιοχών λόγω περιορισμένης ορατότητας ή λόγω δυσπρόσιτου της περιοχής του στόματος που βρίσκεται η υπό εξέταση βλάβη. Παρόλα αυτά, η κλινική οπτική παρατήρηση είναι η μέθοδος με τη μεγαλύτερη συχνότητα χρήσης στην καθημερινή κλινική πράξη.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για μια σωστή εξέταση αποτελούν ο σχολαστικός καθαρισμός των δοντιών, ώστε οι επιφάνειες να είναι καθαρές από βιοϋμένιο, χρωστικές και οδοντική μικροβιακή πλάκα, και ο επαρκής φωτισμός, λόγω του σκοτεινού της στοματικής κοιλότητας. Επιπλέον, πρέπει τα δόντια να στεγνώνονται πολύ καλά με αεροσύριγγα, για μερικά δευτερόλεπτα, ώστε να απομακρύνεται η υγρασία και να ξηραίνεται η επιφάνεια, για να μπορέσει να αποκαλυφθεί η απομεταλλικοποιημένη περιοχή.

3.2.1 Κριτήρια ICDAS

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός κριτηρίων αναγνώρισης της παρουσίας οδοντικής τερηδόνας. Εντούτοις, και καθώς ο μηχανισμός ανάπτυξης και εξέλιξης της τερηδόνας γινόταν ολοένα και πιο κατανοητός, τα κλινικά αυτά κριτήρια μπορούσαν να ανιχνεύσουν τη νόσο μόνο σε πιο προχωρημένα στάδια. Μια πρόσφατη ανασκόπηση 29 διαφορετικών συστημάτων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πλειοψηφία αυτών δεν μπορούσαν να διαφοροποιήσουν τα στάδια της εξέλιξης της νόσου [22]. Τον Απρίλιο και τον Αύγουστο του 2002, μια ομάδα ερευνητών επιδημιολόγων και οδοντιάτρων ειδικευμένων στην επανορθωτική οδοντιατρική, προσπάθησαν να αναπτύξουν ένα νέο τέτοιο σύστημα κατάταξης. Ως “βάση” τους χρησιμοποίησαν την πρόταση των Ekstrand και συν. [23] και σε αυτό ενσωμάτωσαν τα καλύτερα στοιχεία άλλων συστημάτων. Έτσι, διαμόρφωσαν ένα νέο σύστημα κατάταξης το οποίο ονομάστηκε ICDAS (International Caries Detection and Assessment System) [24].

Το σύστημα αυτό παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials το 2002 στη Σκωτία. Σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να ανιχνεύσει 6 στάδια της τερηδονικής προσβολής, ξεκινώντας από μικρές αλλαγές στην επιφάνεια της αδαμαντίνης εξαιτίας της απομεταλλικοποίησης και φτάνοντας σε εκτεταμένες κοιλότητες. Το ICDAS χρησιμοποιείται για την ανίχνευση τερηδόνας στις μυλικές επιφάνειες του δοντιού (μασητικές, εγγύς - άπω - παρειακές - υπερώιες επιφάνειες), τερηδόνες ρίζας, καθώς και τερηδόνες που σχετίζονται με αποκαταστάσεις. Επίσης, θεσπίστηκε ένα πλήρες πρωτόκολλο που αφορά τις συνθήκες εξέτασης του δοντιού (π.χ. καθαρισμός και στέγνωμα της οδοντικής επιφάνειας) [25].

Πιο αναλυτικά, το «D»στη σύντμηση ICDAS σημαίνει ανίχνευση (detection) της τερηδόνας ανάλογα με (1) το στάδιο ανάπτυξης της τερηδόνας, (2) με την τοπογραφία (μασητικές ή λείες επιφάνειες), (3) με την ανατομία (μύλη ή ρίζα)

και (4) ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αποκατάστασης. Το «Α» αναφέρεται στην εκτίμηση της διαδικασίας της δημιουργίας τερηδόνας ανάλογα με το στάδιο (ύπαρξη ή όχι κοιλότητας) και την πορεία (ενεργή ή στάσιμη). Η ανίχνευση της οδοντικής τερηδόνας είναι μια διαδικασία δύο σταδίων. Το πρώτο στάδιο είναι να κατηγοριοποιηθεί κάθε επιφάνεια του δοντιού ανάλογα με το αν είναι ακέραια, αν έχει έμφραξη, στεφάνη ή λείπει. Η κατηγοριοποίηση αυτή περιγράφεται αναλυτικά στον *Πίνακα 3.2*. Πριν περιγραφούν οι κωδικοί αυτοί, είναι σημαντικό να αποσαφηνιστεί ο όρος «οδοντική επιφάνεια». Στο σύστημα ICDAS κάθε δόντι χωρίζεται στις εξής επιφάνειες: εγγύς, άπω, παρειακές, υπερώιες - γλωσσικές και μασητικές.

Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση της αποκατάστασης ή την απουσία αυτής στο Διεθνές Σύστημα Αξιολόγησης και Ανίχνευσης Τερηδόνας (ICDAS) [24].

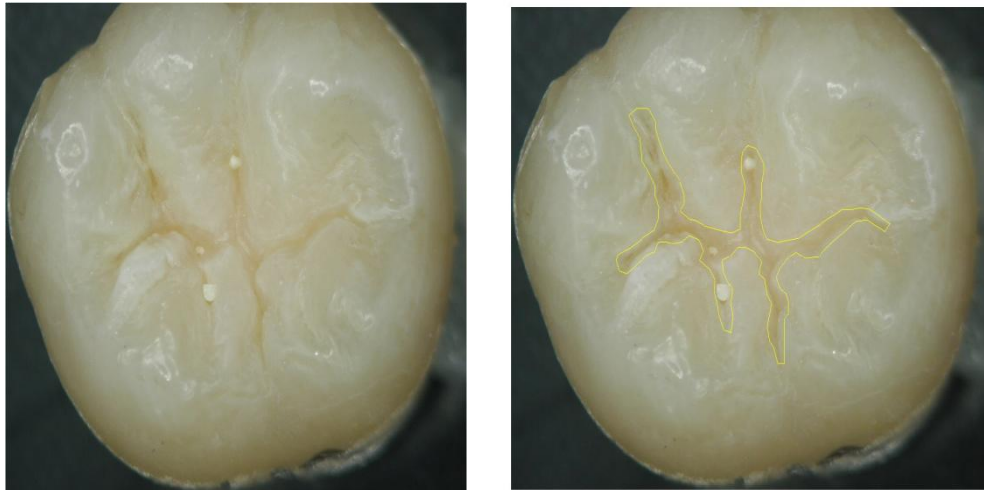
κωδικός	περιγραφή
0	Απουσία αποκατάστασης
1	Προληπτική αποκατάσταση οπών και σχισμών που δεν καλύπτει όλη την μασητική επιφάνεια
2	Προληπτική αποκατάσταση οπών και σχισμών που καλύπτει όλη την μασητική επιφάνεια
3	Αποκατάσταση με χρώμα που προσομοιάζει σε αυτό του φυσικού δοντιού
4	Αποκατάσταση αμαλγάματος
5	Ανοξειδωτη στεφάνη
6	Μεταλλοκεραμική στεφάνη ή ολοκεραμική όψη
7	Αποκατάσταση που έχει σπάσει ή έχει χαθεί
8	Μεταβατική αποκατάσταση
9	Ειδικές περιπτώσεις

Το δεύτερο στάδιο κατάταξης, σύμφωνα με το σύστημα αυτό, αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση ανάλογα με την εξέλιξη της τερηδονικής βλάβης και περιγράφεται στον Πίνακα 3.3. Οι εικόνες που αντιστοιχούν σε κάθε τιμή του πίνακα, εμφανίζονται δίπλα χαρακτηρισμένες από τον οδοντίατρο, όπου κάθε χρώμα αντιστοιχεί και σε μία συγκεκριμένη τιμή του ICDAS:

Πίνακας 3.3: Ταξινόμηση της τερηδονικής βλάβης βάσει του Διεθνούς Συστήματος Αξιολόγησης και Ανίχνευσης Τερηδόνας (ICDAS) [24].

- **Κωδικός 0: υγιής οδοντική επιφάνεια**

Δεν θα πρέπει να υπάρχει καμία ένδειξη τερηδόνας, ούτε αλλαγή στη διαφάνεια της αδαμαντίνης μετά από παρατεταμένο στέγνωμα 5 δευτερολέπτων. Επιφάνειες με αναπτυξιακές ανωμαλίες, όπως υποπλασία αδαμαντίνης και φθορίαση, με ενδογενείς ή εξωγενείς χρώσεις, καταγράφονται ως ακέραιες. Επίσης, ο εξεταστής θα πρέπει να καταγράψει μια επιφάνεια ως ακέραια στην περίπτωση που οι οπές και οι σχισμές της μασητικής επιφάνειας έχουν προσροφήσει χρωστικές.



- **Κωδικός 1: οπές και σχισμές**

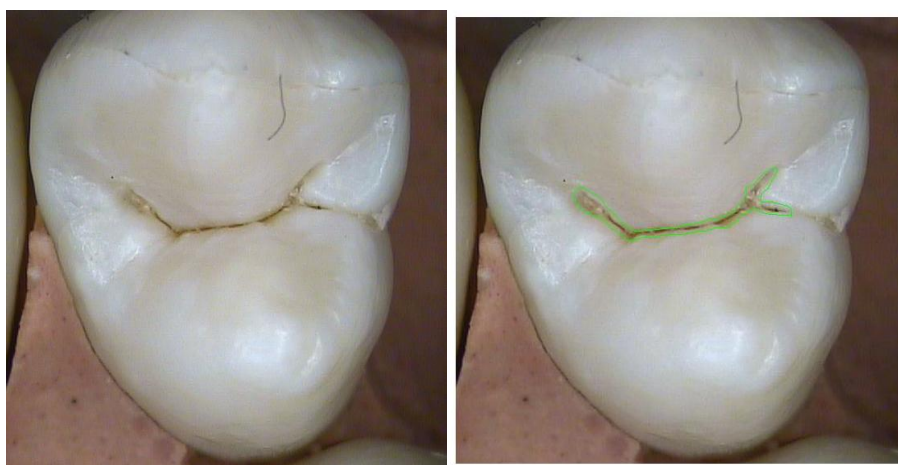
Όταν η οδοντική επιφάνεια είναι υγρή, δεν παρατηρείται αλλαγή του χρώματος που να αποδίδεται σε τερηδονική προσβολή, αλλά μετά από παρατεταμένο στέγνωμα (περίπου 5 δευτερόλεπτα είναι ο προτεινόμενος χρόνος ώστε να αφυδατωθεί μια τερηδονική βλάβη στην αδαμαντίνη) παρατηρείται αδιαφάνεια ή δυσχρωματισμός (άσπρη ή καφέ βλάβη) τα οποία δεν συνάδουν με τη φυσιολογική εμφάνιση της υγιούς αδαμαντίνης.

Η

Όταν υπάρχει αλλαγή του χρώματος εξαιτίας τερηδονικής βλάβης που δεν συνάδει με την φυσιολογική εμφάνιση της υγιούς αδαμαντίνης και περιορίζεται στις οπές και σχισμές είτε η επιφάνεια είναι υγρή είτε μετά από στέγνωμα. Η εμφάνιση αυτή δε θα πρέπει να συγχέεται με τις χρωματισμένες οπές και σχισμές όπως αυτές ορίζονται στον κωδικό 0.

- **Κωδικός 1: λείες οδοντικές επιφάνειες**

Όταν η οδοντική επιφάνεια είναι υγρή δεν παρατηρείται αλλαγή του χρώματος που να αποδίδεται σε τερηδονική προσβολή, αλλά μετά από παρατεταμένο στέγνωμα παρατηρείται αδιαφάνεια ή δυσχρωματισμός (άσπρη ή καφέ βλάβη) τα οποία δεν συνάδουν με τη φυσιολογική εμφάνιση της υγιούς αδαμαντίνης. Αυτά θα πρέπει να είναι ορατά στην παρειακή ή γλωσσική επιφάνεια.



- **Κωδικός 2: σαφής οπτική μεταβολή της αδαμαντίνης**

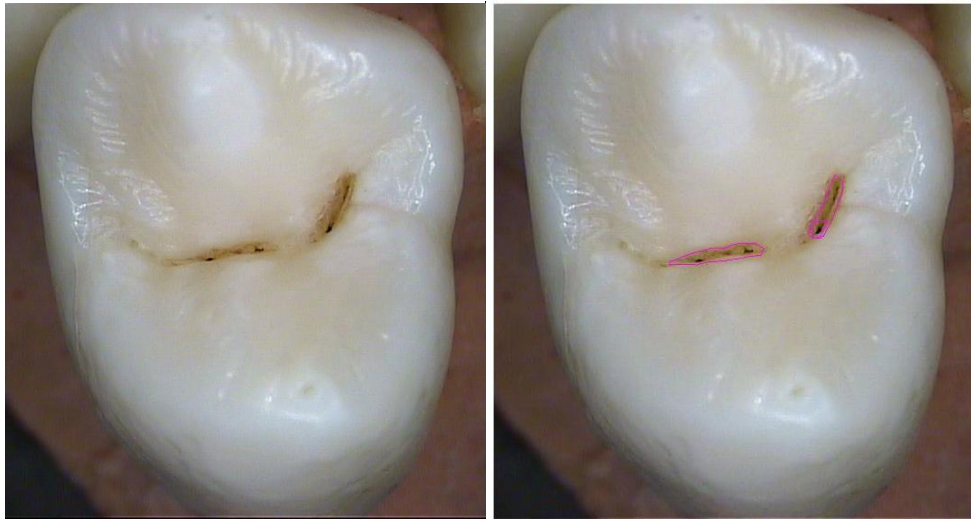
Το δόντι θα πρέπει να εξετάζεται υγρό. Θα πρέπει να υπάρχει τερηδονική αδιαφάνεια (βλάβη με μορφή λευκής κηλίδας) και/ή καφέ δυσχρωματισμός λόγω τερηδόνας, ο οποίος να είναι ευρύτερος από τις φυσιολογικές διαστάσεις των οπών και σχισμών (η βλάβη θα πρέπει να είναι ορατή και μετά από στέγνωμα).



- **Κωδικός 3: μερική κατάρρευση αδαμαντίνης εξαιτίας τερηδονικής προσβολής χωρίς οπτική ένδειξη εμπλοκής της οδοντίνης**

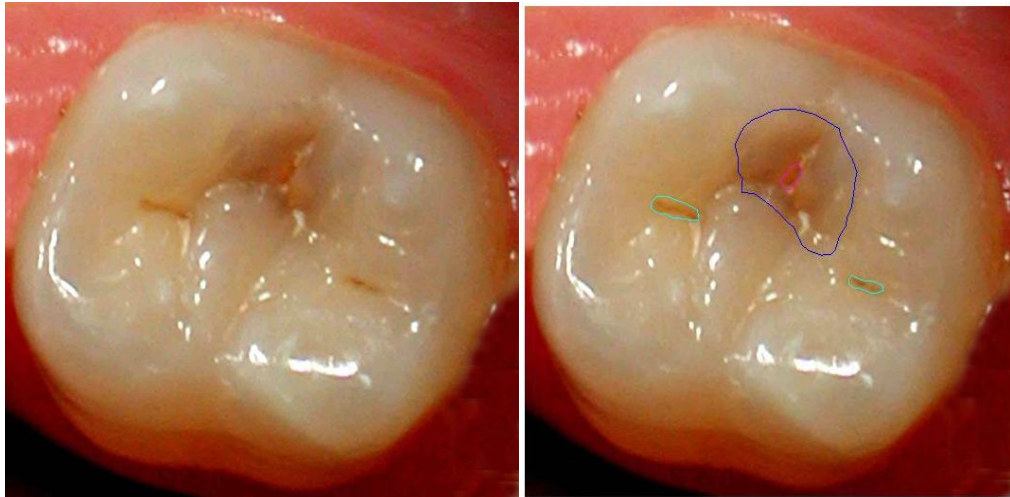
Όταν το δόντι εξετάζεται υγρό, θα πρέπει να υπάρχει τερηδονική αδιαφάνεια (βλάβη με μορφή λευκής κηλίδας) και/ή καφέ δυσχρωματισμός λόγω τερηδόνας, ο οποίος να είναι ευρύτερος από τις φυσιολογικές διαστάσεις των οπών και σχισμών. Μετά από στέγνωμα για 5 δευτερόλεπτα παρατηρείται απώλεια οδοντικής επιφάνειας στην περιοχή των οπών και σχισμών. Αυτό αποτελεί απόδειξη της απομεταλλικοποίησης της αδαμαντίνης και παρόλο που οι οπές και σχισμές φαίνονται ευρύτερες από το φυσιολογικό, η αδαμαντίνη δεν είναι ορατή στα τοιχώματα ή στη βάση της κοιλότητας-ασυνέχειας. Σε περίπτωση αμφιβολίας ή για να επιβεβαιωθεί η οπτική εκτίμηση, ένας

ειδικός ανιχνευτήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην οδοντική επιφάνεια ώστε να διαπιστωθεί η ύπαρξη κοιλότητας στην αδαμαντίνη. Αυτό επιτυγχάνεται σύροντας το αποστρογγυλεμένο άκρο του ανιχνευτήρα κατά μήκος της ύποπτης οπής ή σχισμής και ανιχνεύεται αν αυτός «πέφτει» στην κοιλότητα-ασυνέχεια.



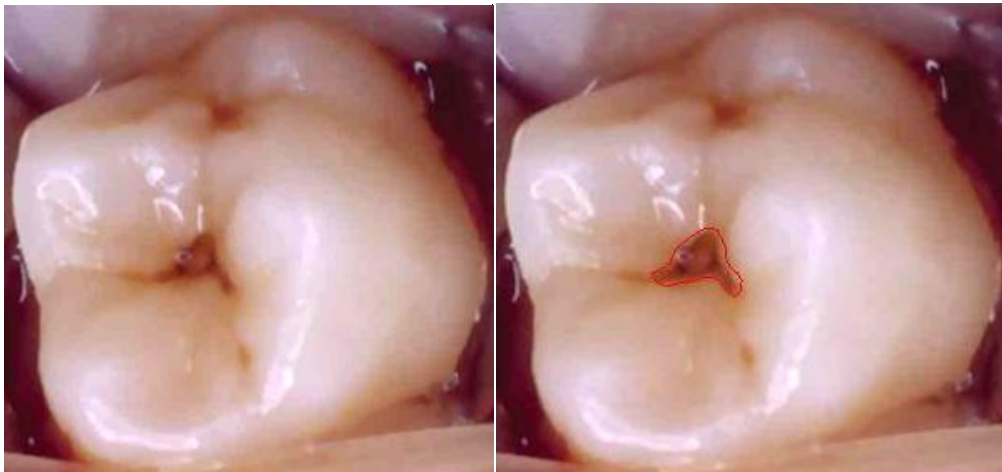
- **Κωδικός 4: υποκείμενη σκούρα σκίαση που προέρχεται από την οδοντίνη με ή χωρίς μερική κατάρρευση αδαμαντίνης**

Η βλάβη εμφανίζεται ως σκίαση της δυσχρωματικής οδοντίνης, η οποία είναι ορατή μέσω της φαινομενικά άθικτης αδαμαντίνης η οποία μπορεί να παρουσιάζει ή μη σημάδια μερικής κατάρρευσης. Η σκίαση αυτή είναι πιο εύκολα ορατή όταν η επιφάνεια του δοντιού είναι υγρή. Η δυσχρωματική επιφάνεια μπορεί να εμφανίζεται ως γκρι, μπλε ή καφέ. Η σκίαση θα πρέπει ξεκάθαρα να αντικατοπτρίζει τερηδόνα η οποία ξεκίνησε στην υπό εξέταση επιφάνεια. Αν κατά τη γνώμη του εξετάζοντα η βλάβη ξεκίνησε σε παρακείμενη επιφάνεια και δεν υπάρχει απόδειξη βλάβης στην υπό εξέταση επιφάνεια, τότε θα πρέπει να χαρακτηριστεί ως άθικτη (κωδικός 0).

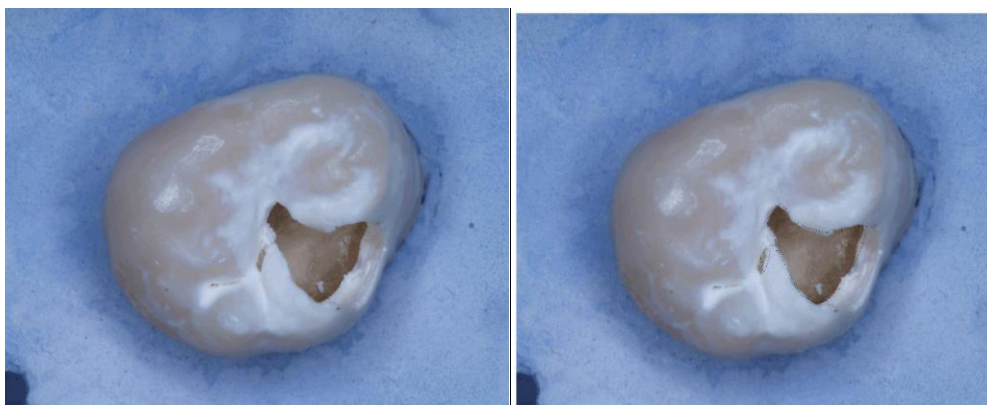


- **Κωδικός 5: εμφανής κοιλότητα με εμφανή εμπλοκή της οδοντίνης**

Ύπαρξη κοιλότητας στη δυσχρωματική ή αδιαφανή αδαμαντίνη μέσα από την οποία εκτίθεται η υποκείμενη οδοντίνη. Όταν το δόντι εξετάζεται υγρό θα πρέπει να είναι ορατή η δυσχρωματική οδοντίνη δια μέσω της αδαμαντίνης. Μετά από στέγνωμα για 5 δευτερόλεπτα, υπάρχει ορατή ένδειξη απώλειας οδοντικής ουσίας στην περιοχή των οπών και σχισμών, καθώς και ενδείξεις απομεταλλικοποίησης της αδαμαντίνης στις περιοχές αυτές.



- **Κωδικός 6: εκτεταμένη κοιλότητα με εμφανή εμπλοκή της οδοντίνης**
Εμφανής απώλεια οδοντικής ουσίας, η κοιλότητα έχει βάθος και εύρος και η οδοντίνη είναι εμφανώς ορατή στα τοιχώματα και τη βάση της. Υπάρχει εκτεταμένη κοιλότητα η οποία περιλαμβάνει πάνω από το μισό της οδοντικής επιφάνειας και πιθανόν εκτείνεται ως τον πολφό.



3.2.2 Απλή άμεση οπτική παρατήρηση

Η δυνατότητα ανίχνευσης της τερηδονικής βλάβης μέσω της οπτικής παρατήρησης στηρίζεται στην ικανότητα του ματιού να διακρίνει μικρές ατέλειες στο χρώμα ή στη διαφάνεια των δοντιών. Επίσης, η απλή άμεση οπτική παρατήρηση με διερχόμενο γλωσσικά φωτισμό επιτρέπει την ανίχνευση τερηδονικών βλαβών, γιατί υπάρχει διαφορά του συντελεστή διαπερατότητας του φωτός μεταξύ υγιούς και αποδομημένου-τερηδονισμένου ιστού, που οφείλεται στη σκέδαση των φωτεινών ακτίνων. Ο συντελεστής του δεύτερου είναι μικρότερος του πρώτου, γι' αυτό και η τερηδονισμένη περιοχή εμφανίζεται σκοτεινότερη της όμορής της, που είναι υγιής.

Η διαγνωστική ικανότητα της συγκεκριμένης μεθόδου διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή εντόπισης της βλάβης, διότι διαφοροποιούνται οι συνθήκες και η επιφάνεια παρατήρησης. Γι' αυτό και η ευαισθησία και η ειδικότητα διάγνωσης της διαμορφώνονται ανάλογα. Η ευαισθησία της

μεθόδου, με βάση τα κριτήρια των Ekstrand και συν.[23] είναι χαμηλότερη για τις τερηδόνες οπών και σχισμών και υψηλότερη για τις λείες προστομιακές και γλωσσικές επιφάνειες, ενώ η ειδικότητα είναι πολύ υψηλή στις επιφάνειες αυτές. Αντίθετα, κατά τα ICDAS κριτήρια, η ευαισθησία για τις τερηδόνες τόσο των οπών και σχισμών (75-99) όσο και των ελεύθερων και λείων επιφανειών (80-100) είναι υψηλή.

3.2.3 Ενισχυμένη άμεση οπτική παρατήρηση

Η άμεση οπτική παρατήρηση μπορεί να ενισχυθεί στην κλινική πράξη με την χρησιμοποίηση από τον οδοντίατρο ειδικών μεγεθυντικών γυαλιών (Σχήμα 3.1). Τα γυαλιά αυτά, που δίνουν μεγεθύνσεις από 1.5 μέχρι και 5.2×, είναι φακοί μεγάλης ευκρίνειας και μεγεθύνουν το είδωλο χωρίς μεγάλες απώλειες ευκρίνειας, σε απόσταση εργασίας 20 - 30 εκατοστά.

Τα κριτήρια διάγνωσης σε αυτή τη μέθοδο είναι τα ίδια με εκείνα της απλής άμεσης οπτικής παρατήρησης, αφού η εικόνα εξέτασης δεν αλλάζει, απλά μεγεθύνεται.



Σχήμα 3.1: Γυαλιά με μεγεθυντικούς φακούς [27].

3.2.4 Οπτική παρατήρηση μετά από διαχωρισμό των δοντιών με ελαστικούς δακτυλίους

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη διάγνωση όμορων τερηδόνων των οπισθίων δοντιών. Περιλαμβάνει την τοποθέτηση ορθοδοντικού δακτυλίου στα μεσοδόντια διαστήματα των υπό μελέτη επιφανειών, παραμένουν από 24 μέχρι 72 ώρες και, στη συνέχεια, αφαιρούνται για να εξεταστούν κλινικά οι όμορες επιφάνειες είτε με άμεση οπτική παρατήρηση είτε με χρήση ανιχνευτήρα. Παρόλη την αποτελεσματικότητά της, η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου έχει περιοριστεί, λόγω της δυνατότητας που υπάρχει για ακτινογραφική απεικόνιση των όμορων επιφανειών των δοντιών και της κλινικής εξέτασης με βάση τα κριτήρια ICDAS. Επιπλέον, είναι λιγότερο πρακτική, δεδομένου ότι η διάγνωση πραγματοποιείται σε δεύτερο ραντεβού.

3.2.5 Έμμεση οπτική παρατήρηση μέσω αναλογικών και ψηφιακών απεικονιστικών μέσων

Η φωτογράφιση της υπό έλεγχο περιοχής με αναλογική ή ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και η εν συνεχεία παρατήρηση - εξέταση της φωτογραφίας - και μάλιστα με δυνατότητα επεξεργασίας και μεγέθυνσης - επιτρέπει τον εντοπισμό μικρών βλαβών των μασητικών, προστομιακών και γλωσσικών/υπερώιων επιφανειών, που δεν είναι εύκολο να γίνουν αντιληπτές με την άμεση παρατήρηση στο στόμα. Απεικόνιση μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια ενδοστοματικής βιντεοκάμερας, η οποία έχει τη δυνατότητα εστίασης από πολύ μικρή απόσταση, επιτρέποντας, με αυτόν τον τρόπο, μεγάλη μεγέθυνση της εξεταζόμενης περιοχής (Σχήμα 3.2).

Η απεικόνιση της βλάβης σε διάφορες χρονικές στιγμές ελέγχου και η αποθήκευση της εικόνας δίνουν τη δυνατότητα ασφαλούς παρακολούθησης της πορείας εξέλιξης της βλάβης, στοιχείο που αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα της μεθόδου. Η διαγνωστική εγκυρότητα και αξιοπιστία των έμμεσων μεθόδων δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, πιστεύεται όμως ότι βελτιώνει

τη διαγνωστική ικανότητα της άμεσης οπτικής παρατήρησης σε δυσπρόσιτες οπτικά περιοχές και σε εκείνες χαμηλού φωτισμού.



Σχήμα 3.2: Ενδοστοματική κάμερα [28].

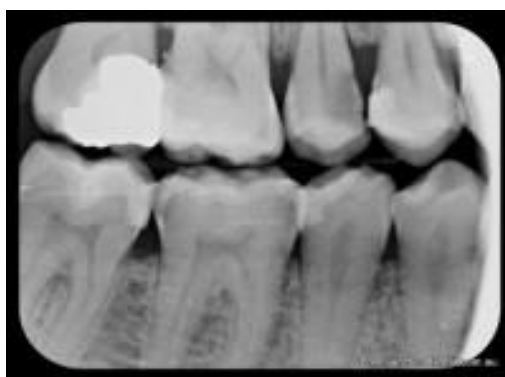
3.3 Ακτινογραφική απεικόνιση

Η μείωση της πυκνότητας των οδοντικών ιστών που προκαλεί η τερηδόνα λόγω της απώλειας μεταλλικών στοιχείων, με κυρίαρχο το ασβέστιο, επιτρέπει την ακτινογραφική απεικόνιση της βλάβης ως περιοχής με διαύγηση. Μια ακτινογραφία λαμβάνεται για να επιβεβαιωθεί ή να απορριφθεί η υποψία βλάβης που προέκυψε από την κλινική εξέταση, για να αποκαλυφθεί το βάθος της κι επίσης, για να εντοπιστούν τερηδόνες σε δυσπρόσιτες περιοχές του φραγμού καθώς και σε όμορες περιοχές.

Ο τύπος των ακτινογραφιών που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση της τερηδόνας είναι η οπισθοφατνιακή, συνήθως για τον έλεγχο των μασητικών επιφανειών, και η μετά πτερυγίου (οπισθομυλική), για τις τερηδόνες ομόρων επιφανειών (Σχήμα 3.3 και 3.4). Η διάγνωση της τερηδόνας γίνεται με τη χρήση τόσο της συμβατικής όσο και της ψηφιακής ακτινογραφίας.



Σχήμα 3.3: Οπισθοφατνιακή ακτινογραφία [29].



Σχήμα 3.4: Οπισθομυλική ακτινογραφία [30].

3.3.1 Συμβατική ακτινογραφία

Η απεικονιστική ικανότητα μιας ακτινογραφίας εξαρτάται από παραμέτρους που αφορούν στην ίδια τη βλάβη, όπως το σχήμα, η έκταση και η θέση της τερηδόνας. Πρόσθετα, και οι συνθήκες παρατήρησης της ακτινογραφίας, που πρέπει να γίνεται σε καλό φωτισμό και κατά το δυνατόν σε μεγέθυνση (2x), βοηθούν σε καλύτερη διαγνωστική προσέγγιση. Η ακτινογραφία είναι μια διαγνωστική μέθοδος που καταγράφει τη βλάβη και φυλάσσει την εικόνα της, δίνοντας τη δυνατότητα συγκριτικής παρακολούθησης στην εξέλιξη μιας βλάβης, ειδικά των ομόρων επιφανειών.

Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο αν η ακτινογραφία έδινε τη δυνατότητα αποκάλυψης τερηδόνων στα αρχόμενα στάδιά τους, τότε που η κλινική

εντόπιση παρουσιάζει δυσκολίες, και κυρίως σε τερηδόνες ομόρων επιφανειών. Η ακτινογραφική απεικόνιση της τερηδονισμένης περιοχής είναι εφικτή όταν υπάρξει απώλεια μιας ικανής ποσότητας μεταλλικών ιόντων από τους οδοντικούς ιστούς. Γι' αυτό και η ευαισθησία της οπισθοφατνιακής ακτινογραφίας ως διαγνωστικής μεθόδου σε τερηδόνες ομόρων επιφανειών είναι καλή αλλά όχι υψηλή. Σε τερηδόνες αδαμαντίνης οπών και σχισμών αυτή είναι πολύ μικρή λόγω προβλημάτων στην απεικόνισή της. Στις αντίστοιχες τερηδόνες ομόρων επιφανειών, η μετά πτερυγίου ακτινογραφία δείχνει μεγαλύτερη ευαισθησία στον εντοπισμό τους.

Η ακτινογραφική διάγνωση της τερηδόνας οπών/ σχισμών συναντά στην κλινική πράξη δύο δυσκολίες. Η πρώτη έχει να κάνει με την πολύπλοκη μορφολογία της μασητικής επιφάνειας, που δεν επιτρέπει την εύκολη διάγνωση αρχόμενων βλαβών στην αδαμαντίνη, λόγω της επαλληλίας των ανατομικών στοιχείων της. Η δεύτερη με το επίπεδο εκπαίδευσης και εμπειρίας των εξεταστών γύρω από την ερμηνεία των ακτινογραφικών ευρημάτων [31]. Διαφορές στην ερμηνεία της ίδιας ακτινογραφικής εικόνας υπάρχουν σε στατιστικά σημαντικό βαθμό, τόσο μεταξύ διαφορετικών εξεταστών, όσο και από τον ίδιο τον εξεταστή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές [32]. Η ευαισθησία της μεθόδου αυξάνεται με το βάθος της βλάβης και φθάνει σε ποσοστά ως και 100% όταν πρόκειται για βαθιές τερηδόνες οδοντίνης. Τα ποσοστά αυτά ευαισθησίας μειώνονται αρκετά στις πιο επιφανειακές βλάβες, χωρίς να διαφοροποιούνται, όμως, από εκείνα των ομόρων τερηδόνων [33]. Επομένως, η ακτινογραφική εξέταση αποτελεί χρήσιμο διαγνωστικό μέσο στις περιπτώσεις που η τερηδόνα εκτείνεται τουλάχιστον 0,5 mm πέρα από την αδαμαντινο - οδοντινική ένωση.

Παρ' όλα αυτά, σε σχέση με την απλή οπτική παρατήρηση, στις περισσότερες εργασίες φαίνεται να υπερτερεί σε ευαισθησία. Η ακτινογραφική εξέταση δοντιών που είχαν κριθεί με κλινικά κριτήρια υγιή, σε μεγάλο ποσοστό έδειξαν κάποιο βαθμό ακτινοδιαύγασης. Οι Creanor και συν. [34] βρήκαν ότι

πάνω από το 13% των διαγνωσμένων, με κλινικά κριτήρια, υγιών δοντιών παρουσίασε ακτινογραφικά μασητικές τερηδόνες. Σχετικά με την ειδικότητα της μεθόδου, οι Ricketts και συν. [35] αναφέρουν ότι είναι χαμηλότερη από την οπτική παρατήρηση, με αποτέλεσμα υγιή δόντια να χαρακτηρίζονται ως τερηδονισμένα και να δέχονται θεραπευτικά μέτρα.

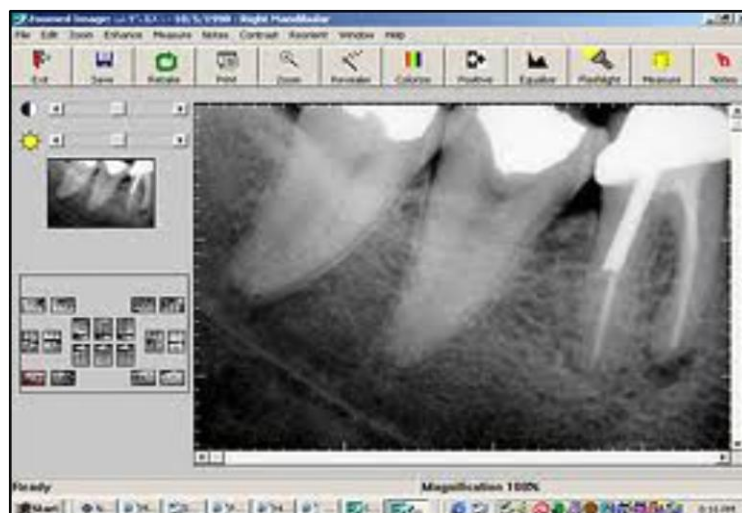
Όσον αφορά στις οπισθομυλικές ακτινογραφίες, αποτελούν την πιο συνηθισμένη μέθοδο για την εκτίμηση της παρουσίας τερηδόνας στις όμορες οδοντικές επιφάνειες, περιοχές που είναι δύσκολο να εξετασθούν άμεσα οπτικά ή με χρήση ανιχνευτήρα. Μία αρχόμενη τερηδόνα αναγνωρίζεται από τη μείωση της ακτινογραφικής πυκνότητας της αδαμαντίνης, αμέσως κάτω από το σημείο επαφής του δοντιού, με αποτέλεσμα την εμφάνιση στην ακτινογραφία μιας ακτινοδιαυγαστικής περιοχής.

3.3.2 Ψηφιακή ακτινογραφία

Η ψηφιακή ακτινογραφία μπορεί να διαχωριστεί σε άμεση και έμμεση. Άμεση είναι η ακτινογραφία που λαμβάνεται με την ακτινοβολία ειδικού αισθητήρα CCD ευαίσθητου σε ακτίνες-χ, που καταγράφει τις διαφορετικές απορροφήσεις της ακτινοβολίας από τους σκληρούς ιστούς. Οι διαφορές αυτές μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα και εμφανίζονται με κατάλληλη επεξεργασία ως ακτινογραφική εικόνα - με διαβαθμίσεις στην κλίμακα του γκρι - σε οθόνη τηλεόρασης (βίντεο σήμα) ή οθόνη υπολογιστή (ψηφιακό σήμα). Το λογισμικό που χρησιμοποιείται στον υπολογιστή βοηθά στην επεξεργασία της εικόνας έτσι ώστε να ενισχυθεί η ευκρίνειά της και, συνεπώς, η διαγνωστική της αξία (Σχήμα 3.5). Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η χρήση χαμηλών ποσοτήτων ακτινοβολίας και η δυνατότητα άμεσης παρουσίασης και επεξεργασίας της εικόνας. Η ευαισθησία και η ειδικότητα της ψηφιακής ακτινογραφίας κινείται στα επίπεδα της συμβατικής [2].

Έμμεση είναι η ακτινογραφία που λαμβάνεται με τη συμβατική τέχνη, και στη συνέχεια ψηφιοποιείται. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής έναντι της

συμβατικής ακτινογραφίας είναι ότι η εικόνα μπορεί να υποστεί επεξεργασία και να διορθωθεί ή να ενισχυθεί. Ωστόσο, η διαγνωστική αξία της έμμεσης ψηφιακής ακτινογραφίας δεν είναι μεγαλύτερη έναντι ενός σωστά ληφθέντος συμβατικού ακτινογραφήματος.



Σχήμα 3.5: Ακτινογραφική εικόνα σε οθόνη υπολογιστή [36].

3.4 Μέθοδοι φθορισμού των οδοντικών ιστών

3.4.1 Μέθοδος ποσοτικού φθορισμού σε ορατό φως (QLF - Quantitative Light-induced Fluorescence)

Ο φωτοδιεγερούμενος φθορισμός της αδαμαντίνης είναι ένα οπτικό φαινόμενο που προκαλείται από την απορρόφηση του φωτός και την επανεκπομπή του μέσω χρωμοφόρων ριζών των οδοντικών ιστών [37]. Υποστηρίζεται ότι η ένταση του φθορισμού της αδαμαντίνης καθορίζεται κυρίως από τη διάχυση του φωτός σε αυτήν. Σε τερηδονικές βλάβες που τα μεταλλικά στοιχεία έχουν αντικατασταθεί από νερό, η διάχυση του φωτός είναι μεγαλύτερη απ' ό τι στην υγιή αδαμαντίνη και, επομένως, ο φθορισμός είναι μικρότερος. Η αυξημένη διάχυση μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τη χρήση της τεχνολογίας των οπτικών ινών, βάση της οποίας έχει κατασκευασθεί μία συσκευή για κλινική χρήση, η οποία ονομάζεται Optical Caries Monitor. Οι Brikman και συν. [38] αναφέρουν ότι τα ευρήματα της

συγκεκριμένης συσκευής σχετικά με την απώλεια μεταλλικών στοιχείων από την αδαμαντινική επιφάνεια δοντιών, συσχετίζονται πολύ καλά με αυτά της μικροραδιογραφίας.

3.4.2 Μέθοδος ποσοτικού φθορισμού σε ακτίνες LASER (QLF - Quantitative Laser-induced Fluorescence)

Η ενέργεια για τη διέγερση των μορίων μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, μεταξύ των οποίων και οι ακτίνες laser. Η χρήση της μεθόδου του φθορισμού με τις ακτίνες laser για την ανίχνευση των αρχόμενων τερηδονικών βλαβών, σε λείες και μασητικές επιφάνειες, εφαρμόστηκε από τους Bjelkhagen και συν. [39]. Αργότερα, διάφοροι ερευνητές [37] έδειξαν ότι τόσο οι αρχόμενες όσο και οι προχωρημένες βλάβες της αδαμαντίνης, όταν φωτιστούν με μπλε - πράσινο φως (488nm) από συσκευή laser εκπομπής ιόντων αργού (Ar^+) και παρατηρηθούν δια μέσου ενός υψηλής διαπερατότητας κίτρινου φίλτρου, εμφανίζονται ως σκούρες περιοχές, σε αντίθεση με την υγιή αδαμαντίνη η οποία εμφανίζεται πιο φωτεινή.

Αυτό εξηγείται ως εξής : όταν η αδαμαντίνη απομεταλλικοποιηθεί, γίνεται πορώδης. Οι πόροι αυτοί γεμίζουν υγρό από το σάλιο προκαλώντας ελάττωση της διόδου του φωτός μέσα στην αδαμαντίνη. Ο σκεδασμός του φωτός σε μία τερηδονική βλάβη είναι πολύ ισχυρότερος απ' ότι στην υγιή αδαμαντίνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η απορρόφηση του φωτός ανά μονάδα όγκου να είναι μικρότερη στη βλάβη και, έτσι, ο φθορισμός λιγότερο ισχυρός.

Για να έχει χρησιμότητα αυτή η μέθοδος και στην κλινική πράξη, θα πρέπει η παρατηρούμενη κλινικά μείωση του φθορισμού των τερηδονισμένων περιοχών να προσδιορίζει με ακρίβεια τη θέση, την έκταση και το βάθος της βλάβης. Οι κλινικές έρευνες γίνονται, συνήθως, σε δόντια με αρχόμενες βλάβες. Η εικόνα του φθορίζοντος δοντιού καταγράφεται με CCD κάμερα και μέσω ειδικού προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή προσδιορίζονται το ποσοστό μείωσης του φθορισμού στο σημείο της βλάβης και η έκταση της

βλάβης. Οι de Josselin de Jong και συν. [40] παρουσίασαν την πρώτη κλινική εφαρμογή της μεθόδου QLF. Θεωρήθηκε ότι η μέθοδος είναι κατάλληλη για τη μέτρηση κλινικά της απώλειας μεταλλικών στοιχείων σε φυσικές βλάβες αδαμαντίνης λείων επιφανειών και, έτσι, μπορεί να φανεί χρήσιμη στη διενέργεια κλινικών ερευνών και στην εκτίμηση προληπτικών μέτρων.

Πρόσφατα, παρουσιάστηκε μία καινούργια συσκευή, η οποία βασίζεται στη μέθοδο φθορισμού με ακτίνες laser και ονομάζεται DIAGNOdent (KaVo, Biederach, Germany) (Σχήμα 3.6α). Αυτή αποτελείται από μία δίοδο laser ως πηγή διεγερμένου φωτός, μήκους κύματος 655 nm [41] και μία φωτοδίοδο συνδυασμένη με ένα μακράς διαπερατότητας φίλτρο ως ανιχνευτή. Το διεγερμένο φως μεταδίδεται στο δόντι μέσω μιας δέσμης οπτικών ινών (Σχήμα 3.6β).



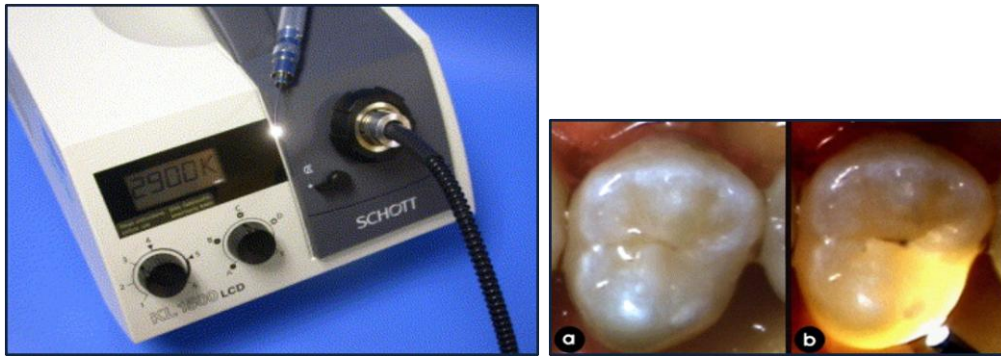
Σχήμα 3.6: α) Η συσκευή Kavo Diagnodent β) Η συσκευή Diagnodent προσφέρει το πλεονέκτημα της μέτρησης του φθορισμού σε περιοχές σχισμών, στις οποίες το laser αντανακλάται δια μέσου πολύ στενών διόδων [42].

Υποστηρίζεται ότι η συγκεκριμένη συσκευή επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό της εξέλιξης αρχόμενων τερηδονικών αλλοιώσεων, στην πορεία του χρόνου. Έτσι, κάθε φορά μπορούν να εφαρμοστούν τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα, ανάλογα με το βαθμό της βλάβης, ενώ, ταυτόχρονα, υπάρχει η δυνατότητα να αξιολογηθεί και το αποτέλεσμα τους. Επιπλέον,

θεωρείται μη καταστροφική μέθοδος και εύκολη στην εφαρμογή της, στοιχεία που μειώνουν το χρόνο διεξαγωγής των κλινικών ερευνών. Στην αξιοπιστία της μεθόδου αναφέρονται οι Lussi και συν. [43] μετά από *in vitro* παρατηρήσεις, οι οποίοι συνέκριναν, επίσης, την οπτική παρατήρηση, την ακτινογραφική εξέταση και τη συσκευή DIAGNOdent *in vivo*, σχετικά με τη διάγνωση τερηδόνας οπών και σχισμών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, δεδομένης της υψηλής ειδικότητας αλλά χαμηλής ευαισθησίας της οπτικής παρατήρησης, είναι σκόπιμη η χρήση της συσκευής DIAGNOdent σε περιπτώσεις που μετά την οπτική παρατήρηση υπάρχουν αμφιβολίες σχετικά με την παρουσία τερηδόνας, λόγω της υψηλής ευαισθησίας της συσκευής. Σ' αυτό συμφωνούν και οι Sheehy και συν. σε αντίστοιχες κλινικές μελέτες [44].

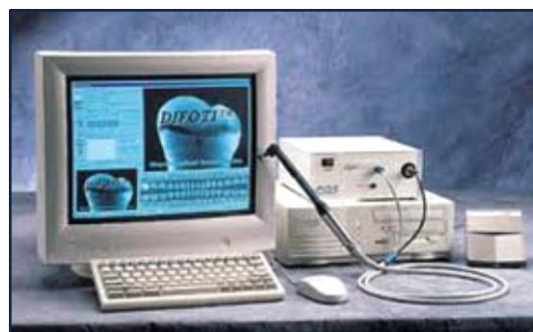
3.5 Μέθοδος FOTI – DiFOTI

Με την τεχνική FOTI (Fiber Optic Transillumination = διερχόμενος φωτισμός οπτικών ινών), η ανίχνευση τερηδόνων οφείλεται στην αλλαγή της διάχυσης και της απορρόφησης φωτονίων, λόγω των χαρακτηριστικών τερηδόνας, που έχουν ως αποτέλεσμα την τοπική μείωση του διερχόμενου φωτός. Το φως (ορατό φάσμα) παράγεται από μια ψυχρή πηγή και μέσω οπτικών ινών κατευθύνεται στο άκρο της συσκευής και λόγω της χαμηλής διάδοσης του στην τερηδονισμένη οδοντική ουσία (στην τερηδονισμένη οδοντίνη, τα φωτόνια αλλάζουν διεύθυνση), η περιοχή εμφανίζεται πιο σκοτεινή σε σχέση με τις γύρω υγιείς περιοχές. Οι αλλοιώσεις της αδαμαντίνης εμφανίζονται σαν γκρι σκιές, ενώ της οδοντίνης σαν πορτοκαλί/καφέ ή γαλαζωπές σκιές [45]. Κατά την εξέταση των δοντιών, αυτά πρέπει να είναι στεγνά και καθαρά και το φως να εφαρμόζεται πίσω από την υπό εξέταση επιφάνεια (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Συσκευή FOTI (αριστερά) και ο τρόπος λειτουργίας (δεξιά) [46].

Πιο πρόσφατα, το DiFOTI (Digital FOTI = ψηφιακή απεικόνιση με διερχόμενο φωτισμό οπτικών ινών) συνδυάζει την τεχνική FOTI με ενδοστοματική κάμερα [47]. Το φως που απελευθερώνεται από την οπτική ίνα συλλέγεται στην αντίθετη πλευρά του δοντιού με ένα σύστημα κατόπτρου και τροφοδοτείται σε ψηφιακή κάμερα. Τα στοιχεία που συλλέγονται εμφανίζονται σαν ψηφιακές εικόνες στην οθόνη υπολογιστή, όπου εξετάζονται από τον κλινικό και μπορούν να προβληθούν και στον ασθενή (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Συσκευή DiFOTI [48].

Η μέθοδος DiFOTI φαίνεται να υπερέχει σε ευαισθησία έναντι της FOTI αλλά έχει πολύ χαμηλή αξιοπιστία. Βασικό της μειονέκτημα είναι ότι δεν μετρά σε βάθος βλάβης και δεν μπορεί να διαχωρίσει τις βαθιές σχισμές από την τερηδόνα της οδοντίνης και τις χρωστικές. Η μέθοδος DiFOTI, αν και δείχνει

ενδιαφέρουσα, δε βρίσκεται σήμερα ευρεία κλινική εφαρμογή γιατί τα ερευνητικά δεδομένα είναι περιορισμένα και το κόστος της συσκευής υψηλό.

3.6 Χρήση μεταλλικού ανιχνευτήρα

Για πάρα πολλά χρόνια, η εξέταση των δοντιών με τη χρήση ανιχνευτήρα αποτελούσε αποδεκτή μέθοδο για τη διάγνωση τερηδόνας. Παρ' όλα αυτά, ο ανιχνευτήρας έχει υποστεί κριτική διότι μπορεί να μεταφέρει τερηδογόνα βακτήρια από μολυσμένες περιοχές σε άλλες και να τραυματίσει, μη αντιστρεπτά, επαναμεταλλικοποιήσιμες βλάβες της αδαμαντίνης [49]. Αποτελεί, όμως, μία απλή, εύκολα εφαρμόσιμη και, σε κάποιες περιπτώσεις, αξιόπιστη μέθοδο διάγνωσης. Τα προβλήματα που υφίστανται στη συγκεκριμένη μέθοδο αφορούν στην τυποποίηση του τρόπου ανίχνευσης και στον καθορισμό της εντόπισης και του βάθους της τερηδονικής βλάβης.

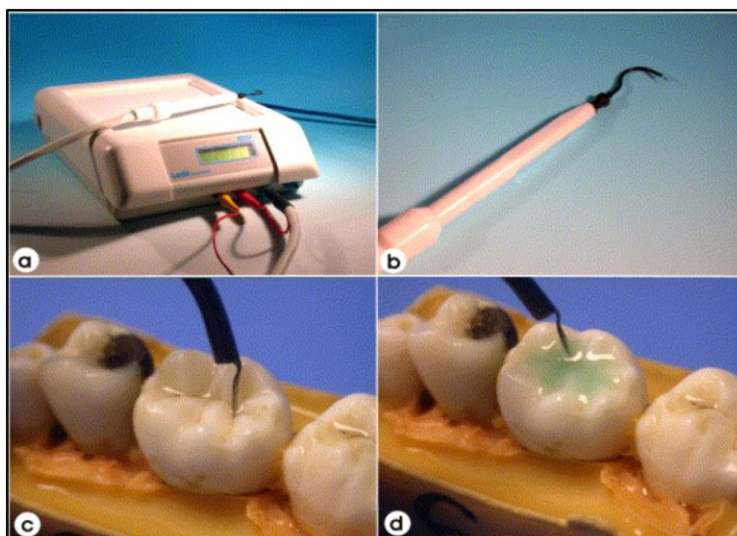
Η μέθοδος παρουσιάζει υψηλή ειδικότητα, αποδεικνύοντας ότι ο ανιχνευτήρας σπάνια «σκαλώνει» σε υγιείς περιοχές της μασητικής επιφάνειας. Αντίθετα, η ευαισθησία της μεθόδου είναι πολύ χαμηλή. Οι Mejare και συν. [50] εξέτασαν με τη βοήθεια ανιχνευτήρα 598 όμορες επιφάνειες προγομφίων που εξήχθησαν για ορθοδοντικούς λόγους, καθώς και τις όμορες επιφάνειες των γειτονικών τους δοντιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 99% των ακέραιων επιφανειών ή των αρχόμενων τερηδόνων ανιχνεύθηκε σωστά, ενώ μόνο το 29% των σχηματισμένων κοιλότητων αποκαλύφθηκε με τη χρήση του ανιχνευτήρα.

3.7 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECM – Electronic Caries Monitor)

Πρώτος ο Pincus [51] ανακοίνωσε τη δυνατότητα εκτίμησης της ύπαρξης τερηδόνας στις οπές και σχισμές των μασητικών επιφανειών, με την ανίχνευση αλλαγών στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του δοντιού. Θεωρητικά, η αδαμαντίνη αποτελεί πολύ καλό μονωτή εξ' αιτίας της υψηλής της περιεκτικότητας σε ανόργανα στοιχεία. Η απομεταλλικοποίηση που επέρχεται κατά την τερηδονική βλάβη, προκαλεί πορότητα στους οδοντικούς ιστούς και αυξάνει τη διαπερατότητά τους στα στοματικά υγρά. Όταν οι πόροι αυτοί γεμίσουν με νερό και ιόντα από το σάλιο, επέρχεται πτώση της ηλεκτρικής αντίστασης του δοντιού, η οποία μπορεί εύκολα να μετρηθεί [52].

Σε κλινικό επίπεδο έχουν κατασκευασθεί ειδικές συσκευές που επιτρέπουν τη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης, κατά βάση στις οπές και σχισμές των οπισθίων δοντιών. Η πρώτη από αυτές, κατασκευάσθηκε στην Αμερική τη δεκαετία του '80, από την Massachusetts Manufacturing Corporation, Cambridge, Mass και ονομάστηκε Vanguard. Εξέλιξη της αποτέλεσε μια λιγότερο πολύπλοκη στη χρήση της συσκευή, η Caries Meter L.

Στις μέρες μας, το σύστημα που υπόκειται πιο συχνά σε εργαστηριακό και κλινικό έλεγχο είναι το Electronic Caries Monitor, το οποίο λειτουργεί με τις αρχές που λειτουργούσε και η συσκευή Vanguard (Σχήμα 3.9). Το συγκεκριμένο σύστημα έχει τη δυνατότητα να κάνει μετρήσεις τόσο σημειακά (ECM_{site}) όσο και κατά επιφάνεια (ECM_{surf}). Ο πρώτος τύπος του συστήματος (ECM_{site}), περιλαμβάνει έναν ανιχνευτήρα με δυνατότητα ροής αέρα κατά μήκος του άξονά του. Οι μετρήσεις επιτυγχάνονται όταν η άκρη του ανιχνευτήρα της συσκευής ακουμπήσει στην υπό εξέταση οπή ή σχισμή, αφού πρώτα στεγνώθει η μασητική επιφάνεια του δοντιού. Η διαφορά του δεύτερου τύπου (ECM_{surf}), έγκειται στο ότι δεν είναι ενεργοποιημένη η κατά μήκος του άξονα του ανιχνευτήρα ροή αέρα, ενώ ολόκληρη η μασητική επιφάνεια του δοντιού καλύπτεται από ένα αγωγίμο μέσο.



Σχήμα 3.9: Συσκευή ECM (πάνω) και τρόπος λειτουργίας (κάτω) [46].

3.8 Πρόσληψη χρωστικών

Διάφορες χρωστικές χρησιμοποιούνται ως αποκαλυπτικοί παράγοντες τερηδόνας. Ο προσδιορισμός της επίδρασης της χρωστικής πάνω στις τερηδονισμένες οδοντικές επιφάνειες μπορεί να είναι είτε ποιοτικός είτε ποσοτικός. Για τον ποιοτικό αρκεί μόνο να παρατηρηθεί μια αλλαγή στο χρώμα της εξεταζόμενης περιοχής, ενώ για τον ποσοτικό προσδιορισμό υπολογίζεται είτε το ποσό της χρώσης είτε η ένταση του χρώματός της. Στη διάγνωση της τερηδόνας ενδιαφέρει περισσότερο η οπτική παρατήρηση των χρωστικών (ποιοτική εκτίμηση) παρά ο ποσοτικός προσδιορισμός τους [53].

3.8.1 Χρωστικές για την διάγνωση της τερηδόνας στην οδοντίνη

Ο μηχανισμός με τον οποίο οι αποκαλυπτικοί παράγοντες της τερηδόνας χρωματίζουν εκλεκτικά την τερηδονισμένη, μη επαναμεταλλικοποιήσιμη οδοντίνη δεν είναι, όπως πιστευόταν, η άμεση χρώση των βακτηρίων. Υποστηρίζεται ότι απορροφώνται από το απομεταλλικοποιημένο από τη μικροβιακή προσβολή κολλαγόνο, το οποίο και χρωματίζουν [54]. Οι Kidd και συν. [55], χρησιμοποιώντας μικροακτινογραφία για τον έλεγχο του βαθμού απομεταλλικοποίησης, χρωσμένων και ελεύθερων χρώσης δοκιμίων οδοντίνης, συμφώνησαν ότι οι χρωστικές έβαφαν μόνο την

απομεταλλικοποιημένη οδοντίνη των τερηδονισμένων δοντιών, ενώ καμία από τις υγιείς επιφάνειες των δοκιμών δε χρωματίστηκε.

Γνωστοί αποκαλυπτικοί παράγοντες τερηδόνας είναι η βασική φουξίνη και η όξινη ερυθρή χρωστική σε διάλυμα προπυλεν-γλυκόλης. Εκτός από τις προηγούμενες ουσίες, έχουν χρησιμοποιηθεί το κυανόν του μεθυλενίου και χρωστικές αντιδρώσες με οξέα. Στην πράξη, όμως, το κυανόν του μεθυλενίου έχει θεωρηθεί ελαφρώς τοξικό, ενώ οι αντιδρώσες με οξέα χρωστικές ως μη ειδικές [53]. Η μέθοδος φαίνεται ότι παρουσιάζει αξιοπιστία και ότι χρωστικές, όπως η βασική φουξίνη και η όξινη ερυθρή χρωστική, μπορούν με ακρίβεια να διαχωρίσουν την τερηδονισμένη από την υγιή οδοντίνη [55].

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι αποκαλυπτικοί παράγοντες της τερηδόνας, λόγω της χρωματικής αντίθεσης που προκαλούν, διευκολύνουν τη διάγνωση της τερηδόνας της οδοντίνης (Σχήμα 3.10). Είναι επιβεβλημένο, όμως, να παρουσιάζουν εξειδίκευση και να χρωματίζουν μόνο την τερηδονισμένη οδοντική ουσία και όχι τους περιβάλλοντες υγιείς ιστούς. Προβληματισμός, πάντως, πάνω σε αυτούς τους παράγοντες υπάρχει σχετικά με τη βιοσυμβατότητά τους [54].



Σχήμα 3.10: Χρωστικές οδοντίνης για ανίχνευση τερηδόνας [56].

3.8.2 Χρωστικές για την διάγνωση της τερηδόνας στην αδαμαντίνη

Όσον αφορά στη χρώση τερηδονικών αλλοιώσεων της αδαμαντίνης, έχει προταθεί από αρκετούς ερευνητές η χρήση ιωδιούχου καλίου για τη μέτρηση του βαθμού πορότητας αρχόμενων τερηδόνων και λευκών κηλίδων [57]. Η χρήση είναι απλή και αφορά στην επάλειψη της αδαμαντίνης με τον αποκαλυπτικό παράγοντα και στην απομάκρυνση, δι' εκπλύσεως, της πλεονάζουσας ποσότητας. Η διαπερατότητα των λευκών περιοχών της αδαμαντίνης εκτιμάται από την ποσότητα του ιωδίου που διαφεύγει από την περιοχή ελέγχου.

Για τον ίδιο σκοπό, έχουν χρησιμοποιηθεί και φθορίζουσες χρωστικές. Γνωστότερη είναι η φλουροοσκεΐνη, η οποία είναι μη τοξική, φαρμακολογικά ανενεργής, δεν προκαλεί αισθητικά προβλήματα αφού η χρώση είναι αδιόρατη σε συμβατικό φωτισμό, δε συνδέεται με την οδοντίνη και έχει τη δυνατότητα να διαχωρίζει τις αρχόμενες τερηδόνες της αδαμαντίνης από άλλες, λευκού χρώματος κηλίδες [58].

3.9 Ενδοσκοπικές τεχνικές

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται σε οπτικές ίνες σε συνδυασμό με μεγεθυντικούς φακούς και κάτοπτρα. Ο παρατηρητής έχει τη δυνατότητα να δει τις παραγόμενες εικόνες με 5-10 φορές μεγέθυνση, ενώ μπορεί να συνδεθεί με ενδοσκόπιο και video.

Δύο ενδοσκοπικές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί : Τα ενδοσκόπια λευκού φωτός και τα ενδοσκόπια με φιλτραρισμένο φως (EEF - Endoscopic Filtered Fluorescence). Στην πρώτη τεχνική, η πηγή του λευκού φωτός είναι συνδεδεμένη με το ενδοσκόπιο διαμέσου καλωδίου οπτικής ίνας και τα δόντια απεικονίζονται χωρίς φίλτρο. Η δεύτερη τεχνική χρησιμοποιεί το φθορισμό της αδαμαντίνης όταν αυτή φωτίζεται με μπλε φως (400-500nm) που εκπέμπεται από μία οδοντιατρική συσκευή πολυμερισμού. Υποστηρίζεται ότι

η τεχνική EEF επιτρέπει την οπτική απεικόνιση των αρχόμενων τερηδόνων στην αδαμαντίνη, διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό τον προληπτικό χειρισμό της νόσου *in vivo* [59]. Επίσης, έχει παρουσιάσει υψηλή ευαισθησία για μασητικές τερηδόνες αδαμαντίνης, αλλά η ευαισθησία για τις μασητικές τερηδόνες που εκτείνονται στην οδοντίνη είναι χαμηλή. Η ειδικότητα είναι χαμηλή για τις τερηδόνες οπών και σχισμών, αλλά υψηλή για τις όμορες. Οι ενδοσκοπικές τεχνικές μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύτιμο διαγνωστικό βοήθημα για τον εντοπισμό και την πρόληψη της τερηδόνας.

3.10 Άλλες τεχνικές

Άλλες τεχνικές ανίχνευσης παράγουν αυθαίρετα στοιχεία που δε σχετίζονται με την απώλεια μεταλλικών στοιχείων. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί και σχετίζονται με ποσοτικοποίηση της αρχόμενης αλλοίωσης που ανιχνεύεται, όπως είναι η TMR (εγκάρσια/ κάθετη μικροφωτογραφία ακτίνων x), είναι καταστροφικές και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν *in vivo*.

Κάποιες νέες μέθοδοι και συσκευές που βασίζονται σε διάφορες φυσικές θεωρίες, και μπορεί να εμφανιστούν στην οδοντιατρική αγορά στο μέλλον, είναι η τεχνική υπερήχων, η απεικόνιση πολλαπλών φωτονίων (*multi-photo imaging*), η φωθοθερμική ραδιομετρία υπέρυθρης συχνότητας (*frequency-domain infrared photothermal radiometry*), ο προσαρμοζόμενος φθορισμός laser (*modulated laser luminescence*), η τομογραφία πολωμένης οπτικής συνάφειας (*Polarization sensitive optical coherence tomography*), η υπέρυθρη θερμογραφική απεικόνιση (*infrared thermographic imaging*), η ομοεστιακή μικροσκοπία οπτικών ινών (*fiber optic confocal microscopy*), η φασματοσκοπία φθορισμού (*fluorescence spectroscopy*) και η φασματοσκοπία εναλλασσόμενου ρεύματος (*alternate current impedancy spectroscopy*) [47]. Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων είναι ακόμη σε αρχικά στάδια και πολλά βασίζονται μόνο σε εργαστηριακές τεχνικές.

Παρόλα αυτά, τέτοιες τεχνολογίες μπορεί να αποδειχτούν χρήσιμες στο μέλλον.

3.11 Συμπεράσματα

Από όλα όσα προαναφέρθηκαν, γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει η ιδανική, πλήρως αξιόπιστη και έγκυρη διαγνωστική μέθοδος που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κάθε βλάβη, ανεξάρτητα μορφής, επιφάνειας και βάθους, και να οδηγήσει στο σωστό συμπέρασμα. Συγχρόνως, η διαγνωστική δυνατότητα κάθε μεθόδου διαφοροποιείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της βλάβης. Η επιλογή, επομένως, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν της όλα τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου, ώστε να χρησιμοποιείται η πλέον κατάλληλη κάθε φορά. Ο συνδυασμός τεχνικών είναι, επίσης, κάτι που εφαρμόζεται και βοηθά, όταν η μία τεχνική αλληλοσυμπληρώνεται από κάποια άλλη.

Παρότι η διαδικασία ανίχνευσης των τερηδονικών βλαβών έχει συγκεντρώσει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον από την άποψη της ανάπτυξης αξιόπιστων διαγνωστικών εργαλείων, ακόμα και σήμερα, η κλινική οπτική παρατήρηση και η ακτινογραφική απεικόνιση είναι οι μέθοδοι που πρώτιστα χρησιμοποιούνται. Όλες οι υπόλοιπες, με τις ιδιαιτερότητες που περιγράφηκαν στην κάθε μία, χρησιμοποιούνται επικουρικά προς αυτές.

Κεφάλαιο 4

Υπολογιστικές τεχνικές για τη διάγνωση τερηδόνας

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε το σύνολο των μεθόδων διάγνωσης τερηδόνας που βρίσκουν κλινική εφαρμογή. Οι διαγνωστικές μέθοδοι πρέπει να είναι ικανές να ανιχνεύσουν αλλοιώσεις σε αρχικό στάδιο, έτσι ώστε να αποφευχθούν πρώιμες θεραπείες του δοντιού με αποκατάσταση της βλάβης. Ωστόσο, καμία από τις συμβατικές μεθόδους δεν πληρεί αυτήν την απαίτηση και είναι ιδιαίτερα υποκειμενικές. Η ανάπτυξη ορισμένων εναλλακτικών, μη επεμβατικών μεθόδων ανίχνευσης της τερηδόνας μπορούν να προσφέρουν αντικειμενικές εκτιμήσεις, εκεί που οι παραδοσιακές μέθοδοι θα μπορούσαν να ενισχυθούν με ποσοτικές μετρήσεις. Στην παρούσα ενότητα, λοιπόν, θα μελετήσουμε εκτενέστερα τις εν λόγω μεθόδους, οι οποίες είναι οι εξής: ψηφιακή ακτινογραφία (digital radiography), συσκευές φθορισμού με ακτίνες laser (DIAGNOdent και DIAGNOdent pen), ποσοτικός φθορισμός σε ορατό φως (QLF), κάμερα φθορισμού (VistaProof), τεχνολογία LED (Midwest Caries I.D.), διερχόμενος φωτισμός οπτικών ινών (FOTI), ψηφιακή απεικόνιση με διερχόμενο φωτισμό οπτικών ινών (DIFOTI), μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECM) και άλλες οπτικές τεχνικές.

4.2 Ψηφιακή ακτινογραφία

4.2.1 Άμεση ψηφιακή ακτινογραφία

Η άμεση ψηφιακή λήψη ενδοστοματικών ακτινογραφιών χρησιμοποιείται στην οδοντιατρική τα τελευταία 25 χρόνια. Υπάρχουν δύο θεμελιώδεις αρχές λήψης των εικόνων αυτών, το σύστημα CCD (Charge-Coupled Device) και το SP (Storage Phosphor). Στο πρώτο, ένα καλώδιο ενώνει τον αισθητήρα, ο οποίος έχει το σχήμα ενός ακτινογραφικού πλακιδίου, με τον υπολογιστή και η εικόνα εμφανίζεται σχεδόν άμεσα στην οθόνη του υπολογιστή μετά την ακτινοβολήση του αισθητήρα {RadioVisioGraphy (RVG), Sens-A-ray}. Στα περισσότερα CCD συστήματα δε μπορούν να απεικονισθούν περισσότεροι από δύο προγόμφιοι ή ένας γομφίος με ένα μικρό μέρος περιβάλλοντος οστού. Οι μικρές απεικονιστικές περιοχές, ο σχετικά ογκώδης και άκαμπτος αισθητήρας και η ανάγκη σύνδεσης του αισθητήρα με τον υπολογιστή μέσω ενός καλωδίου, δυσχεραίνουν ως ένα βαθμό την κλινική χρήση του συστήματος.

Το δεύτερο σύστημα (Digora) αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο με εντελώς διαφορετική λήψη εικόνας. Μια ειδική πλάκα φωσφόρου ακτινοβολείται και σχηματίζεται πάνω σ' αυτή μία λανθάνουσα εικόνα. Αυτή η εικόνα μπορεί να αποκαλυφθεί στην οθόνη ενός υπολογιστή μέσω ενός laser σαρωτή. Η ακτίνα laser εκτρέπεται πάνω στην πλάκα φωσφόρου και η απελευθερούμενη φωτεινή ενέργεια συλλέγεται σε ένα φωτοπολλαπλασιαστή και μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα, το οποίο στη συνέχεια ψηφιοποιείται. Με το σύστημα Digora, η διάσταση της περιοχής που εμφανίζεται είναι σχεδόν ίδιου μεγέθους με τα κοινά ακτινογραφικά πλακίδια (Σχήμα 4.1). Το εύρος ακτινοβολήσης της πλάκας είναι ευρύ και γραμμικό. Αυτό σε συνδυασμό με την υψηλή ευαισθησία της πλάκας και την υψηλή ποιότητα των σύγχρονων φωτοπολλαπλασιαστικών σωλήνων, έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα Digora να μπορεί να συλλέξει στοιχεία από ένα ευρύ φάσμα ακτινοβολήσης σε σχέση με τα CCD συστήματα και τα κοινά ακτινογραφικά πλακίδια [20].



Σχήμα 4.1: In vivo ψηφιακή εικόνα ενός τρίτου γομφίου με μασητική τερηδόνα στην κάτω γνάθο που έχει ληφθεί με το σύστημα Digora Optime PSP [60].

Στις άμεσες ψηφιακές απεικονίσεις υπάρχουν τρεις ξεχωριστές ενότητες: η λήψη της πληροφορίας που γίνεται με τον αισθητήρα, η προβολή της ακτινογραφικής εικόνας στην οθόνη του υπολογιστή και η αποθήκευση των πληροφοριών σε ένα μαγνητικό μέσο. Κάθε μία από αυτές τις ενότητες ξεχωριστά μπορεί να βελτιωθεί ώστε το αποτέλεσμα να είναι καλύτερο.

Μια ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα σύνολο κελιών που ταξινομούνται σε σειρές και στήλες, σχηματίζοντας έναν πίνακα. Κάθε κελί χαρακτηρίζεται από τρεις αριθμούς: την συντεταγμένη- x , την συντεταγμένη- y και μια διαβάθμιση στην κλίμακα του γκρι. Η τιμή του γκρι είναι ένας αριθμός που αντιστοιχεί με την ένταση των ακτίνων- X στη θέση αυτή κατά τη διάρκεια της έκθεσης του ψηφιακού αισθητήρα. Τα μεμονωμένα κελιά καλούνται “pixels” και οι αριθμοί που περιγράφουν κάθε pixel αποθηκεύονται σε ένα αρχείο εικόνας στον υπολογιστή. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι μία ουσιώδης διαφορά μεταξύ των συμβατικών και ψηφιακών ακτινογραφιών, λόγω του ότι οι ψηφιακές εικόνες μπορούν να τροποποιηθούν αφού έχουν παραχθεί. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει μαθηματικές

λειτουργίες (ειδικούς αλγορίθμους ή φίλτρα) για να τροποποιήσει τις τιμές των pixels, βελτιώνοντας την ποιότητα της εικόνας και τροποποιώντας άλλα χαρακτηριστικά, όπως το zoom, την αντίθεση, την πυκνότητα και τη φωτεινότητα της εικόνας. Οι αριθμοί της εικόνας μετατρέπονται σε τιμές του γκρι, οι οποίες εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή ως αναλογικά δεδομένα. Στη συνέχεια, ο επαγγελματίας μπορεί να αξιολογήσει και να ερμηνεύσει την ακτινολογική εικόνα που παράγεται [61], [62].

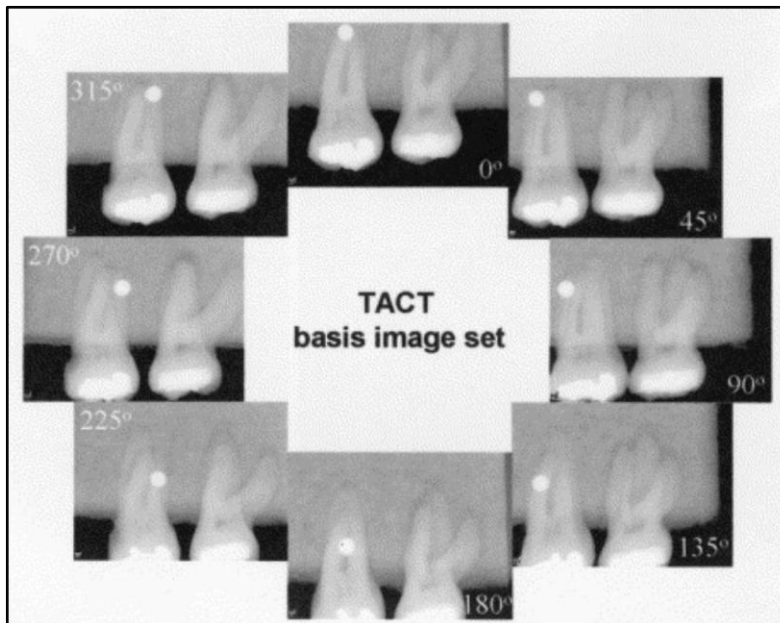
Η ψηφιακή εικόνα παρουσιάζει χαμηλότερη χωρική ανάλυση σε σύγκριση με την εικόνα που λαμβάνεται από συμβατικές ακτινογραφίες. Η επέκταση ή κλίμακα για τις ψηφιακές εικόνες περιορίζεται, συνήθως, σε 256 αποχρώσεις του γκρι, ενώ πάνω από ένα εκατομμύριο αποχρώσεις του γκρι μπορεί να εμφανιστούν σε ένα συμβατικό φιλμ ακτίνων-Χ. Ως εκ τούτου, φαίνεται ότι η απόδοση της ψηφιακής ακτινογραφίας για την ανίχνευση της τερηδόνας δεν είναι ανώτερη από εκείνη των συμβατικών ακτινογραφιών. Εντούτοις, η απόδοση της ψηφιακής ακτινογραφίας για την ανίχνευση της τερηδόνας μπορεί να βελτιωθεί με τη δυνατότητα επεξεργασίας εικόνας, όπως η τροποποίηση της αντίθεσης. Έτσι, τα συστήματα ψηφιακής ακτινογραφίας φαίνεται να είναι τόσο ακριβή όσο και τα συμβατικά συστήματα ακτινογραφίας [62].

Κατά την αποθήκευσή τους, οι άμεσες ψηφιακές εικόνες μπορούν να συμπεστούν αντιστρεπτά ή μη αντιστρεπτά. Η αντιστρεπτή συμπίεση των εικόνων μειώνει έως και 60% τον αναγκαίο χώρο αποθήκευσης τους στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή, τη στιγμή που οι ψηφιακές εικόνες στην πλήρη τους ανάλυση απασχολούν ένα αρχείο δεδομένων της τάξης των 100-250 kB. Η μη αντιστρεπτή συμπίεση έως και 92%, δεν προκαλεί καμία διαφορά στην ακρίβεια διάγνωσης τερηδόνας από τις μη συμπιεσμένες εικόνες. Μεγαλύτερη συμπίεση της τάξης του 95-97%, μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα ψηφιακής απεικόνισης, γι' αυτό θα πρέπει οι εικόνες αυτές να αξιολογούνται πριν από μια τόσο μεγάλη συμπίεση [63].

Συμπερασματικά, οι άμεσες ενδοστοματικές ψηφιακές ακτινογραφίες φαίνεται να είναι εξίσου ακριβείς στη διάγνωση όσο και οι συμβατικές ακτινογραφίες, με υψηλή ευαισθησία (0.6-0.8), στην ανίχνευση μασητικών τερηδόνων εκτεινόμενων στην οδοντίνη.

Στην βιβλιογραφία γίνονται αναφορές για την προσφορά της ψηφιακής αφαιρετικής ακτινογραφίας στη διάγνωση της τερηδόνας. Η έρευνα έδειξε ότι με τη αφαιρετική τεχνική, η ευαισθησία και η ειδικότητα στην ανίχνευση της τερηδόνας αυξάνει [64]. Επιπλέον, η δευτερογενής τερηδόνα ανιχνεύεται με μεγαλύτερη ακρίβεια με την αφαιρετική ψηφιακή ακτινογραφία.

Μία άλλη τεχνική που αναφέρεται στη διάγνωση τερηδόνας είναι η μέθοδος TACT (Tuned Aperture Computed Tomography). Η τεχνική TACT συνίσταται στη λήψη οκτώ τουλάχιστον ψηφιακών ακτινογραφιών του ίδιου αντικειμένου σε σταθερή σχέση με τον αισθητήρα, με λίγο διαφορετική γωνία ακτινοβολήσης η μία από την άλλη. Κατόπιν, μέσω ειδικού προγράμματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, γίνεται η σύνθεση της τρισδιάστατης εικόνας του αντικειμένου, από την οποία μπορούν να ληφθούν τομές παράλληλες με το επίπεδο του αισθητήρα και να μελετηθεί η ύπαρξη ή όχι τερηδόνας (Σχήμα 4.2). Οι Tyndall και συν. [65] αναφέρουν ότι η τεχνική TACT δε διαφέρει σε στατιστικά σημαντικό βαθμό από τα συμβατικά ακτινογραφικά φιλμ, σχετικά με την ανίχνευση πρωτογενών τερηδόνων και τον προσδιορισμό του βάθους τους.



Σχήμα 4.2: Σύνολο 8 εικόνων με την τεχνική TACT [66].

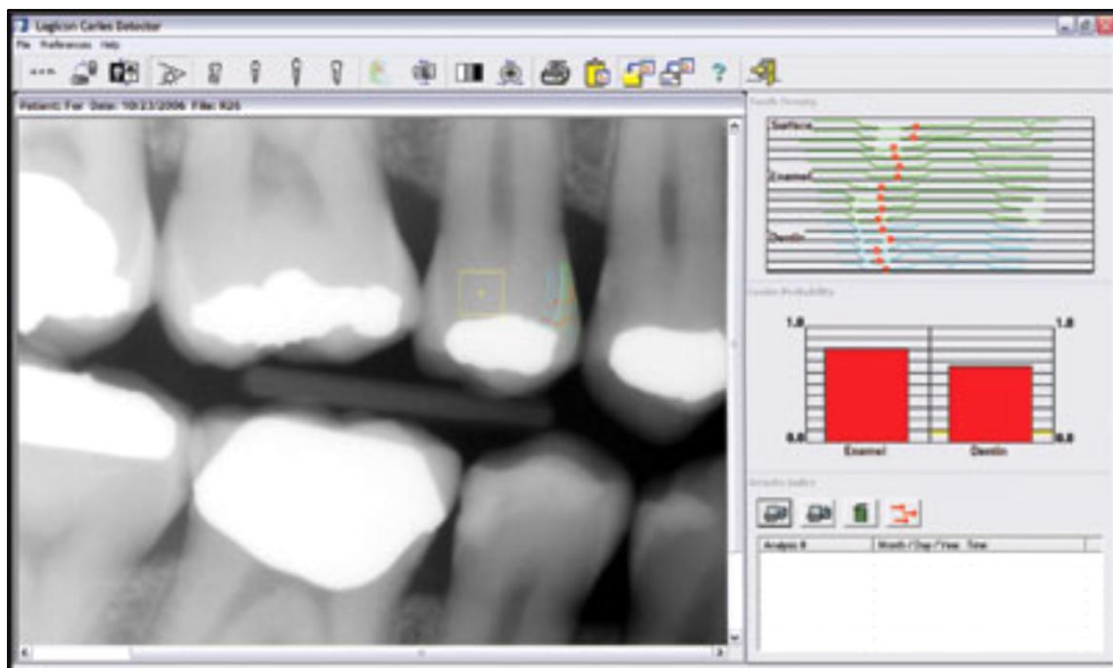
4.2.2 Ακτινογραφική διάγνωση τερηδόνας με τη χρήση λογισμικού

Τα προγράμματα ανάλυσης των ακτινογραφικών εικόνων έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση τερηδόνας είτε στην άμεση ψηφιακή είτε στην έμμεση ψηφιοποιημένη ακτινογραφική τεχνική. Οι πρώτες αναφορές έγιναν από τον Pitts [67], ο οποίος παρουσίασε ένα πρόγραμμα ανάλυσης ακτινογραφικής εικόνας με το οποίο μπορούσε να ανιχνεύσει και να μετρήσει όμορες ακτινοδιαυγάσεις της αδαμαντίνης, οι οποίες είχαν προέλθει από φυσικές τερηδονικές βλάβες. Ακολούθως, οι Heaven και συν. [68] παρουσίασαν την ανάπτυξη ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή που στόχευε στην ανίχνευση όμορων τερηδόνων μύλης.

Η αξιοπιστία των προγραμμάτων ανάλυσης εικόνας αναφέρεται ότι είναι ίση ή και μεγαλύτερη από τις συμβατικές ακτινογραφίες. Τόσο οι Pitts και Renson [69], όσο και οι Heaven και συν. [68], ανέφεραν ευαισθησίες μεγαλύτερες του 90%. Αργότερα, οι Heaven και συν., οι οποίοι χρησιμοποίησαν το πρόγραμμα Caries Finder σε ψηφιοποιημένες ακτινογραφίες, βρήκαν ότι το σύστημα αυτό παρουσίασε μεγαλύτερη ευαισθησία έναντι των συμβατικών ακτινογραφιών. Το ίδιο πρόγραμμα

ενσωματώθηκε στο σύστημα ψηφιακής ακτινογραφίας Sens-A-Ray (Regam Medical Systems, Sundsvall, Sweden) με σημαντικές βελτιώσεις.

Τα τελευταία χρόνια, το σύστημα της ψηφιακής ακτινογραφίας της Trophy 97 έχει εισάγει ένα διαγνωστικό πρόγραμμα, το Logicon Caries Detector (Σχήμα 4.3). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιεί σαν βάση δεδομένων στοιχεία από ιστολογικές μετρήσεις όμορων τερηδόνων, επιτρέποντας, έτσι, την γραφική απεικόνιση του μεγέθους της βλάβης και την εξέλιξή της. Το σύστημα RVG έχει συνδυαστεί και με άλλα προγράμματα ανάλυσης εικόνας, τα οποία μπορούν να καταγράψουν την πυκνότητα των ιστών σε οποιοδήποτε σημείο μιας καθορισμένης γραμμής. Υποστηρίζεται ότι ο συνδυασμός μεταξύ RVG και του προγράμματος Visualdent είναι περισσότερο αποτελεσματικός στην διάγνωση αρχόμενων τερηδόνων στις όμορες επιφάνειες [70].



Σχήμα 4.3: Εκτίμηση του μεγέθους και της εξέλιξης μιας τερηδονικής βλάβης με το πρόγραμμα Logicon Caries Detector [71].

4.3 Συσκευές εκπομπής φωτός

Το δόντι έχει την ικανότητα να φθορίζει, δηλαδή να αντανακλά την προσπίπτουσα πάνω του ακτινοβολία σε μήκος κύματος μεγαλύτερο από αυτό του προσπίπτοντος φωτός. Αυτό οφείλεται στις χρωμοφόρες πρωτεϊνικές ενώσεις του οργανικού και του ανόργανου μέρους της αδαμαντίνης. Η αποδόμηση του ιστού που προκαλείται από την τερηδόνα επηρεάζει το φθορισμό της. Το προσπίπτον φως μπορεί να ανήκει είτε στην ορατή είτε στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος, επηρεάζοντας την περιοχή φθορισμού της αδαμαντίνης (μπλε ή κιτρινοπράσινη περιοχή).

Οι περιοχές που σκεδάζουν το φως που διεισδύει στην οδοντίνη έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του φυσιολογικού φθορισμού της. Λόγω της πορότητας που αποκτά ο τερηδονισμένος ιστός, καθώς και της πλήρωσής του με νερό, ο φθορισμός μειώνεται. Σε αυτές τις αρχές στηρίζεται η μέθοδος μέτρησης του φθορισμού του δοντιού, ο οποίος φθορισμός προσδιορίζεται τόσο με ορατό φως όσο και με ακτίνες laser. Και οι δύο περιπτώσεις μέτρησης του φθορισμού είναι ποσοτικές και θεωρητικά εκφράζουν το βαθμό της τερηδονικής βλάβης.

4.3.1 Συσκευές φθορισμού με ακτίνες laser (DIAGNOdent και DIAGNOdent pen)

Το DIAGNOdent δημιουργήθηκε το 1998 [41] σαν βοηθητικό μέσο στην κλασσική εξέταση οπτικής ανίχνευσης, αλλά και για ποσοτικοποίηση των τερηδόνων που εντοπίζονται στις μασητικές επιφάνειες. Η συσκευή DIAGNOdent (KaVo) (Σχήμα 4.4) χρησιμοποιεί σαν πηγή φωτός ένα σύστημα διοδικού laser το οποίο εκπέμπει κόκκινο φως μήκους κύματος $\lambda=655\text{nm}$ και μέγιστης ισχύος 1mW. Αυτό συνδυάζεται με ένα μακρό φίλτρο διαπερατότητας που μεταφέρει $>680\text{nm}$ και λειτουργεί σαν ανιχνευτής [72]. Το φως μεταδίδεται μέσω μίας κατιούσας οπτικής ίνας σε ένα άκρο, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται σε ένα από τα δυο ενδοστοματικά άκρα. Το ένα είναι σχεδιασμένο για οπές και σχισμές και το άλλο για λείες επιφάνειες, και

συλλέγουν και τα δύο τον παραγόμενο φθορισμό [46]. Το ενδοστοματικό αυτό άκρο είναι σφηνοειδές, κατασκευασμένο από ινα ζαφειριού και έχει σχήμα πρίσματος.



Σχήμα 4.4: Συσκευή DIAGNOdent [46].

Ο φθορισμός αλλά και το αντανακλώμενο και το περιβάλλον φως συλλέγονται μέσω του άκρου και περνούν μέσω ανιόντων ιών σε ένα φωτοδιοδικό ανιχνευτή. Η συσκευή περιλαμβάνει και φίλτρο που εμποδίζει την ακτινοβολία κάτω από 655nm, ώστε να μειώνει το αντανακλώμενο και το εξωτερικό περιβάλλον φως [73]. Το αντανακλώμενο φως εκπομπής και το μικρού κύματος περιβάλλον φως απορροφώνται, λοιπόν, από αυτό το φίλτρο μπροστά από τον φωτοδιοδικό ανιχνευτή.

Το σήμα οδηγείται και παρουσιάζεται σε οθόνη σαν ακέραιος αριθμός μεταξύ 0-99. Δεν παράγεται εικόνα δοντιού όπως το QLF, αλλά η συσκευή εμφανίζει τις αριθμητικές τιμές της μέτρησης σε δύο οθόνες LED. Εμφανίζει την τρέχουσα τιμή και την μεγαλύτερη τιμή της εξέτασης (peak reading), ενώ με

μια μικρή πίεση στο πάνω μέρος του άκρου επιτρέπει στη συσκευή να αλλάξει ένδειξη και να προετοιμαστεί για την επόμενη εξέταση [46], [47].

Η συσκευή DIAGNOdent ανιχνεύει τερηδόνες λόγω της διαφοράς του φθορισμού μεταξύ υγιούς και τερηδονισμένης αδαμαντίνης. Με ακτινοβολία στα 655nm, η μείωση της έντασης του φθορισμού γίνεται πιο έντονη στις υγιείς επιφάνειες σε σχέση με την τερηδονισμένη αδαμαντίνη και οδοντίνη, δηλαδή οι τερηδόνες φθορίζουν πιο έντονα [41]. Το κόκκινο φως και η υπέρυθη φθορίζουσα ακτινοβολία απορροφάται και αντανακλάται λιγότερο από την αδαμαντίνη και, έτσι, διαχέεται στο δόντι βαθύτερα. Με αυτόν τον τρόπο, ο φθορισμός μετρείται από την υποκείμενη τερηδονισμένη οδοντίνη [72]. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, πρόσφατες εξελίξεις της τεχνικής οδήγησαν σε μία συσκευή χειρός που εκπέμπει laser, το DIAGNOdent pen (KaVo) (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Συσκευή DIAGNOdent pen [75].

Σε έρευνα των Lussi και συν. [43] αξιολογήθηκαν 322 μασητικές επιφάνειες και βρέθηκαν οι ακόλουθες συσχετίσεις όσον αφορά στις τιμές που μετρά η συσκευή. Τιμές από 0 - 13 αντιστοιχούν σε υγιή οδοντική ουσία, τιμές μεταξύ 14 - 20 αντιστοιχούν σε τερηδόνα αδαμαντίνης και τιμές μεγαλύτερες του 20

αφορούν τερηδόνες οδοντίνης. Το όριο για την επεμβατική θεραπεία θεωρείται η τιμή 30, όπου η ευαισθησία και η ειδικότητα της συσκευής εμφανίζουν το βέλτιστο συνδυασμό.

Τα δόντια πριν από κάθε εξέταση πρέπει να είναι στεγνά και καθαρά για την αρχική οπτική παρατήρηση και την ακόλουθη ανίχνευση. Στην στεγνή αδαμαντίνη ο φθορισμός που μετριέται μειώνεται, αλλά η λειτουργία του DIAGNOdent δε διαφέρει σημαντικά σε στεγνές και υγρές επιφάνειες [72]. Ωστόσο, η παρουσία πλάκας, τρυγίας και χρώσεων έχουν δείξει να επηρεάζουν τις μετρήσεις, αυξάνοντας συνήθως τις τιμές, και έτσι δημιουργούν ψευδώς θετικά αποτελέσματα.

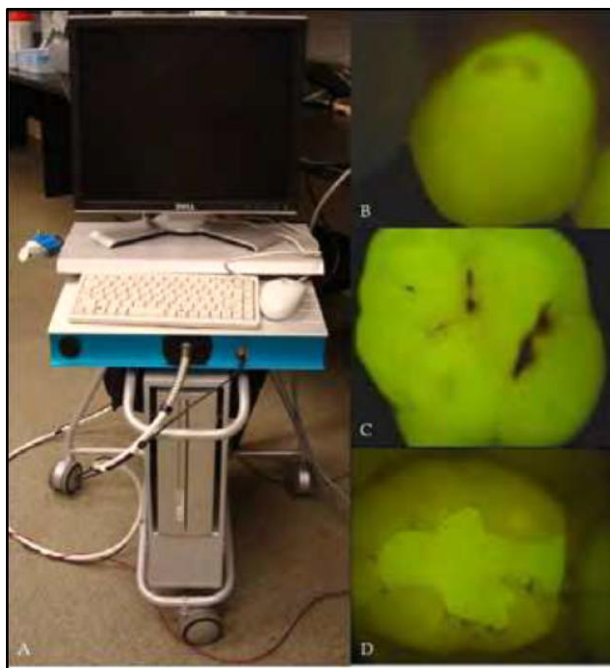
Γι' αυτόν το λόγο, οι συσκευές DIAGNOdent και DIAGNOdent pen δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως κύριοι μέθοδοι ανίχνευσης τερηδόνας, αλλά ως συμπληρωματικά εργαλεία τόσο για την οπτική όσο και για την ακτινολογική εξέταση.

4.3.2 Ποσοτικός φθορισμός σε ορατό φως (QLF)

Ο ποσοτικός φθορισμός σε ορατό φως (QLF) (Σχήμα 4.6) αναπτύχθηκε για χρήση στην ανίχνευση της τερηδόνας και είναι εμπορικά διαθέσιμος για κλινική χρήση. Η συσκευή αποτελείται από μια φορητή ενδοστοματική κάμερα CCD, συνδεδεμένη σ' έναν υπολογιστή και ειδικό λογισμικό (QLFpatient, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Netherlands). Το λογισμικό επιτρέπει τη σύλληψη και ανάλυση in vivo εικόνων του δοντιού κατά την κλινική εξέταση.

Το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται στη μέθοδο QLF είναι τα 370nm, το οποίο βρίσκεται στη μπλε περιοχή του φάσματος και εκπέμπεται από μια λάμπα ξένου 50W. Το φθορίζον φως που αντανακλάται από την αδαμαντίνη αποτυπώνεται στην εικόνα που καταγράφει ενδοστοματική κάμερα CCD - από την οποία εκπέμπεται και το προσπίπτον ορατό φως μέσω υγρού

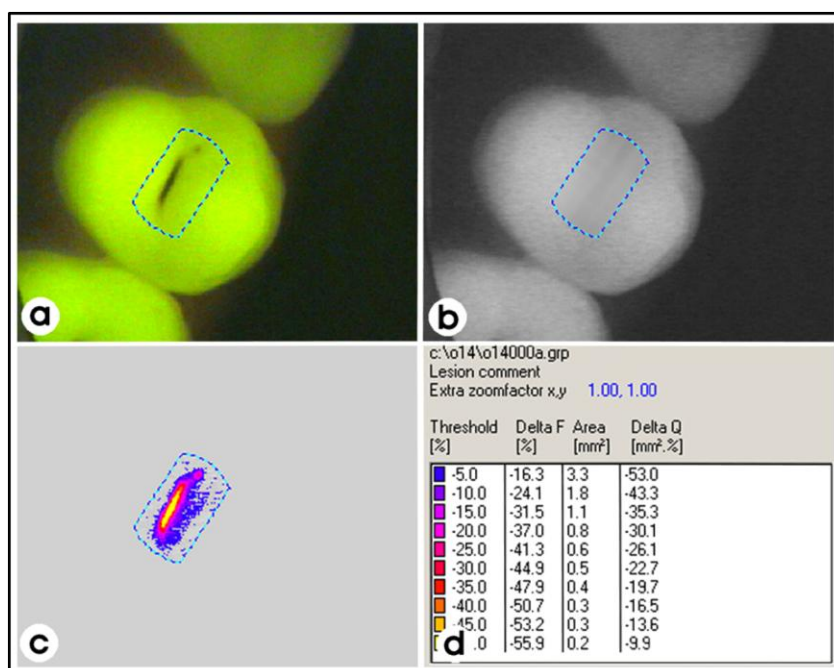
φωταγωγού ή οπτικών ινών - η οποία ακουμπά στο δόντι και φέρει φίλτρο που επιτρέπει τη διέλευση μόνο των ακτίνων μήκους κύματος >520-540nm (πράσινων και κόκκινων). Η φθορίζουσα εικόνας της αδαμαντίνης, που το κυρίαρχο χρώμα της είναι το πράσινο, καταγράφεται σε οθόνη υπολογιστή. Σε περίπτωση τερηδόνας, μειώνεται ο φθορισμός της αδαμαντίνης και οι περιοχές της βλάβης εμφανίζονται πιο σκοτεινές.



Σχήμα 4.6: (A) Σύστημα QLF. (B) Εικόνα φθορισμού μιας τερηδονικής αλλοίωσης στην αδαμαντίνη στη στοματική επιφάνεια. (C) Εικόνα φθορισμού μασητικής τερηδόνας. (D) Εικόνα φθορισμού μιας δευτερογενούς τερηδόνας γύρω από μια αποκατάσταση [75].

Μετά τη λήψη της εικόνας, το επόμενο στάδιο είναι η ανάλυση τυχόν αλλοιώσεων και η ποσοτική εκτίμηση της κατάστασης απομεταλλικοποίησης του δοντιού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικού λογισμικού και περιλαμβάνει τη χρήση ενός «πλαίσιου» για τον προσδιορισμό των περιοχών υγιούς αδαμαντίνης γύρω από τη ζητούμενη αλλοίωση. Στη συνέχεια, το λογισμικό χρησιμοποιεί τις τιμές των pixel της υγιούς αδαμαντίνης, έτσι ώστε να ανακατασκευάσει την επιφάνεια του δοντιού και, ύστερα, αφαιρεί εκείνα τα pixel που θεωρούνται ως αλλοίωση. Αυτό ελέγχεται από ένα κατώτατο

όριο απώλειας φθορισμού, το οποίο ορίζεται γενικά στο 5%. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα pixel με απώλεια φθορισμού μεγαλύτερη από 5% της μέσης υγιούς τιμής θα θεωρούνται ως μέρος της αλλοίωσης. Μόλις τα pixel καταγραφούν ως «υγιή» ή «αλλοιωμένα», το λογισμικό υπολογίζει το μέσο όρο απώλειας φθορισμού της αλλοίωσης, γνωστό ως % ΔF , ύστερα την συνολική έκταση της αλλοίωσης σε mm^2 και, τέλος, ο πολλαπλασιασμός αυτών των δύο μεταβλητών έχει ως αποτέλεσμα μια τρίτη μετρούμενη έξοδο, τη ΔQ (Σχήμα 4.7). Κατά την εξέταση των αλλοιώσεων κατά μήκος, η συσκευή QLF χρησιμοποιεί ένα σύστημα βίντεο επανατοποθέτησης που επιτρέπει την ακριβή γεωμετρία της αρχικής εικόνας να μπορεί να αναπαραχθεί σε μεταγενέστερες επισκέψεις.



Σχήμα 4.7: Παράδειγμα ανάλυσης αλλοίωσης χρησιμοποιώντας το QLF. (a) Εντοπίζεται η αλλοίωση στη μασητική επιφάνεια ενός προγομφίου και το «πλαίσιο» ανάλυσης τοποθετείται στην υγιή αδαμαντίνη. (b) Η ανακατασκευή υποδηλώνει σωστή τοποθέτηση του πλαισίου, καθώς η επιφάνεια φαίνεται πλέον ομοιογενής. (c) Η «αφαιρούμενη» αλλοίωση εμφανίζεται με ψευδοχρώμα, υποδηλώνοντας τη σοβαρότητα της απομεταλλικοποίησης. (d) Η ποσοτική παραγωγή αυτής της ανάλυσης σε μια ποικιλία από κατώτατα όρια επιπέδων φθορισμού [75].

Το QLF χρησιμοποιείται για να ανιχνεύει μια σειρά από τύπους αλλοιώσεων. Για τις μασητικές τερηδόνες έχει βρεθεί ότι η ευαισθησία του είναι περίπου 0.68 και η ειδικότητα 0.7. Η αξιοπιστία και των δύο σταδίων της διαδικασίας του QLF – δηλαδή η λήψη και η ανάλυση της εικόνας – έχει μελετηθεί και έχει αποδειχθεί πολύ σημαντική.

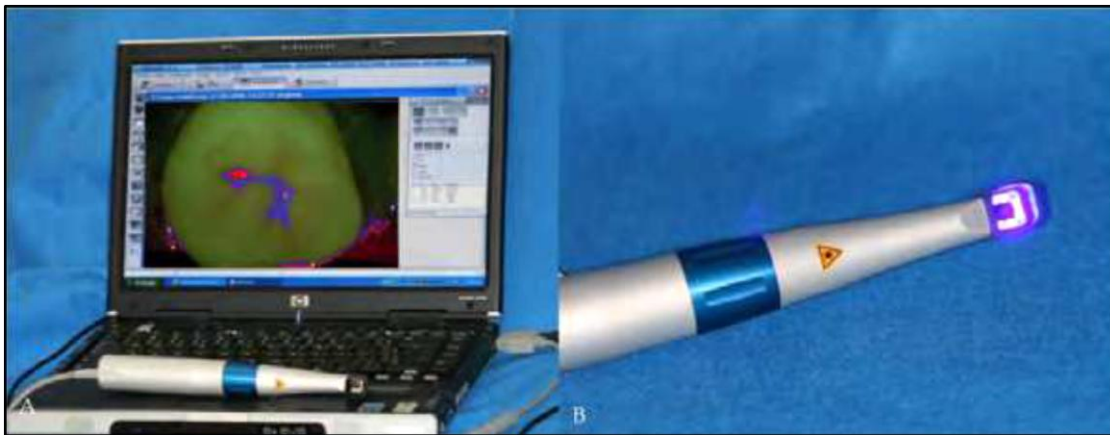
Το σύστημα QLF προσφέρει πρόσθετα οφέλη πέραν της έγκαιρης ανίχνευσης αλλοιώσεων και της ποσοτικοποίησης. Οι ληφθέντες εικόνες μπορούν να αποθηκεύονται και να διαβιβάζονται, πιθανόν για σκοπούς παραπομπής, και, επιπλέον, οι ίδιες οι εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κίνητρα στους ασθενείς για προληπτική πρακτική. Η QLF είναι μία από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την ανίχνευση τερηδόνας στις μέρες μας, αν και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να αποδείξει την ικανότητά της να παρακολουθεί επιτυχώς την αλλοίωση με την πάροδο του χρόνου [46].

4.3.3 Κάμερα φθορισμού (VistaProof)

Μια άλλη συσκευή που βασίζεται στο φαινόμενο του φθορισμού σε ορατό φως είναι η ενδοστοματική κάμερα VistaProof (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) (Σχήμα 4.8), η οποία στηρίζεται στη χρήση έξι μπλε GaN-LEDs που εκπέμπουν φως στα 405nm. Με αυτήν την κάμερα είναι δυνατή η ψηφιοποίηση του σήματος του βίντεο από την οδοντική επιφάνεια κατά τη διάρκεια του φθορισμού, χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα CCD. Σε αυτές τις εικόνες είναι δυνατό να εντοπίσουμε διαφορετικές περιοχές της οδοντικής επιφάνειας που φθορίζουν με πράσινο χρώμα (υγιής οδοντικός ιστός) και με κόκκινο χρώμα (τερηδονισμένος οδοντικός ιστός) [76]. Το λογισμικό DBSWIN χρησιμοποιείται για την ανάλυση εικόνων και για την μετάφραση σε τιμές της αναλογίας έντασης του κόκκινου και του πράσινου φθορισμού. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, οι τιμές αυτές σχετίζονται με την επέκταση της αλλοίωσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η επέκταση των βακτηριδίων, τόσο υψηλότερο είναι και το κόκκινο φθορίζον σήμα. Το λογισμικό αναδεικνύει τις αλλοιώσεις και τις ταξινομεί σε μία κλίμακα από 0 έως 5, δίνοντας έναν

προσανατολισμό θεραπείας κατά την πρώτη αξιολόγηση: παρακολούθηση, επαναμεταλλικοποίηση ή επεμβατική θεραπεία. Ωστόσο, οι τιμές αυτές χρειάζονται ακόμα να προσαρμοστούν [77],[78]. Πρόσφατα, η συσκευή αυτή παρουσίασε μία καλή επίδοση στον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση της οδοντικής πλάκας που σχηματίζεται πάνω από λείες επιφάνειες υπό συνθήκες υψηλής έκθεσης σε σακχαρόζη [79].

Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο ασθενής μπορεί να δει στην οθόνη του υπολογιστή το σύνολο της διαδικασίας ανίχνευσης τερηδόνας και να οπτικοποιήσει τις περιοχές των δοντιών όπου η ασθένεια εμφανίζει πιο σοβαρά σημάδια.



Σχήμα 4.8: (A) Κάμερα φθορισμού VistaProof και το λογισμικό ανάλυσης DBSWIN (B) Έξι μπλε LEDs που εκπέμπουν φως 405-nm [75].

4.3.4 Τεχνολογία LED (Midwest Caries I.D.)

Πρόσφατα, ακόμα μία συσκευή για τον εντοπισμό τερηδόνας έχει αναπτυχθεί σε τεχνολογία LED - Midwest Caries I.D. - (DENTSPLY Professional, York, PA, USA) (Σχήμα 4.9). Η συσκευή χειρός εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία από μία δίοδο εκπομπής φωτός (LED) σε ένα φάσμα μεταξύ 635 nm και 880 nm και αναλύει την ανάκλαση και διάθλαση του φωτός που εκπέμπεται από την επιφάνεια του δοντιού, η οποία συλλαμβάνεται από οπτικές ίνες και μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα για ανάλυση. Ο μικροεπεξεργαστής της

συσκευής περιέχει έναν υπολογιστικό αλγόριθμο, ο οποίος προσδιορίζει τις διαφορετικές οπτικές ενδείξεις (αλλαγές στην οπτική διαύγεια και αδιαφάνεια) μεταξύ του υγιούς και του απομεταλλικοποιημένου δοντιού [80].



Σχήμα 4.9: Συσκευή Midwest Caries I.D. [81].

Η απομεταλλικοποίηση οδηγεί σε μία αλλαγή στο LED από πράσινο σε κόκκινο με ένα ταυτόχρονο ηχητικό σήμα, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη σοβαρότητα της τερηδονικής βλάβης. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, όταν υπάρχει μία αλλαγή στην οπτική διαύγεια και αδιαφάνεια των οδοντικών ιστών, το εκπεμπόμενο πράσινο φως αλλάζει σε κόκκινο και ένα ηχητικό σήμα μπορεί να ακουστεί. Όσο γρηγορότερο το σήμα, τόσο βαθύτερη είναι η βλάβη. Στη βιβλιογραφία υπάρχει μόνο μία δημοσιευμένη μελέτη που αξιολογεί την απόδοση του Midwest Caries I.D. in vitro για τον εντοπισμό μασητικής τερηδόνας [78]. Στη μελέτη αυτή φαίνεται ότι η συσκευή δε μπορεί να διαφοροποιήσει τις βλάβες της αδαμαντίνης και τις υγιείς επιφάνειες.

4.3.5 Διερχόμενος φωτισμός οπτικών ινών (FOTI και DiFOTI)

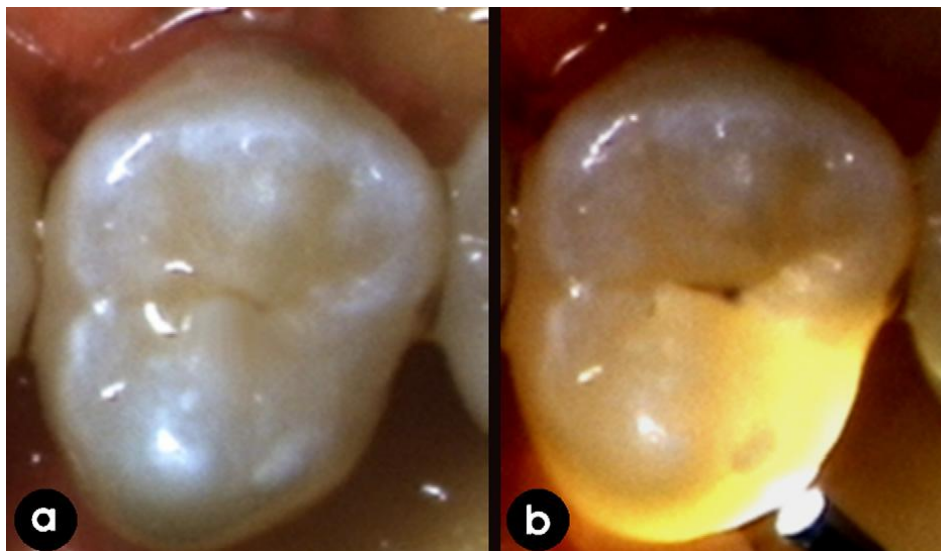
Ο διερχόμενος φωτισμός οπτικών ινών (FOTI) και η ψηφιακή απεικόνιση με διερχόμενο φωτισμό οπτικών ινών (DiFOTI) έχουν εισαχθεί για τη βελτίωση της έγκαιρης διάγνωσης των τερηδονισμένων επιφανειών και χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά εργαλεία κατά τη διάρκεια κλινικών εξετάσεων.

Η τεχνική FOTI (Σχήμα 4.10) είναι μία οπτική μέθοδος εξέτασης των δοντιών, τα οποία φωτίζονται από υψηλής έντασης λευκό διερχόμενο φως. Εξαιτίας της μείωσης της διαπερατότητας του φωτός διαμέσου του τερηδονισμένου

ιστού και της αύξησης της σκέδασης, ο ιστός εμφανίζεται ως μια πιο σκοτεινή περιοχή, σε αντίθεση με την παρακείμενη υγιή, φωτεινή περιοχή του δοντιού (Σχήμα 4.11). Η φωτεινή πηγή είναι, συνήθως, λάμπα μικρών διαστάσεων, η οποία εκπέμπει από απόσταση 0.5 μέχρι 5 χιλιοστών και είναι τοποθετημένη στη βάση ενός εύκαμπτου ή άκαμπτου αγωγού από οπτικές ίνες.



Σχήμα 4.10: Συσκευή FOTI [75].



Σχήμα 4.11: (a) Κανονική οπτική εξέταση. (b) Με τη συσκευή FOTI. [πηγή από: *journal of dentistry* 34 [75].

Τα κριτήρια διάγνωσης με την τεχνική FOTI βασίζονται στη σκίαση που παρατηρείται στην περιοχή. Όταν η σκίαση περιορίζεται στην αδαμαντίνη και είναι γκριζα ή αδιαφανής αντιστοιχεί σε τερηδόνα αδαμαντίνης, ενώ η τερηδόνα της οδοντίνης δίνει συνήθως καφέ ή σκούρα μπλε σκίαση. Ωστόσο, με τη μέθοδο αυτή δεν είναι εύκολος ο εντοπισμός του βάθους της βλάβης και τα κριτήρια έχουν την υποκειμενικότητα οποιασδήποτε άλλης μεθόδου οπτικής παρατήρησης.

Με σκοπό να ξεπεραστεί το δίλλημα της αξιοπιστίας της τεχνικής FOTI, μία νέα μέθοδος έχει δοκιμαστεί. Η DiFOTI (Σχήμα 4.12) είναι μία τεχνική, η οποία χρησιμοποιεί την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας για ποσοτική διάγνωση και πρόγνωση στην οδοντιατρική. Βασίζεται στη διάδοση του φωτός ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του δοντιού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του βάθους της βλάβης. Χρησιμοποιεί διερχόμενο φως οπτικών ινών για την απεικόνιση του δοντιού. Σε αυτό το σύστημα, το φως που απελευθερώνεται από μία οπτική ίνα συλλέγεται στην αντίθετη πλευρά του δοντιού με ένα σύστημα κατόπτρου και καταγράφεται αμέσως με μία ενδοστοματική κάμερα CCD. Συνεπώς, οι εικόνες από το DiFOTI μπορούν να αποκτηθούν με επαναλαμβανόμενο τρόπο διατηρώντας τη ρύθμιση ενός αριθμού απεικονιστικών παραμέτρων ελέγχου. Στη συνέχεια, η αποκτηθείσα πληροφορία αποστέλλεται στον υπολογιστή για ανάλυση με ειδικούς αλγορίθμους, που παράγουν ψηφιακές εικόνες, οι οποίες μπορούν να προβληθούν στον οδοντίατρο και στον ασθενή σε πραγματικό χρόνο ή να αποθηκευτούν για μεταγενέστερη αξιολόγηση. Επιπλέον, αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας ώστε να ενισχύσει την αντίθεση μεταξύ υγιών και τερηδονισμένων ιστών και να ποσοτικοποιήσει τα χαρακτηριστικά της αρχόμενης, δευτερογενούς τερηδονικής βλάβης στις μασητικές, όμορες και λείες επιφάνειες. Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί στον εντοπισμό άλλων αλλαγών στη μυλική ανατομία του δοντιού, όπως κάταγμα δοντιού και φθορίωση. Η συσκευή DiFOTI παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στον

εντοπισμό πρώιμων αλλοιώσεων σε σύγκριση με την ακτινογραφική εξέταση και έχει δυνατότητες για ποσοτική παρακολούθηση επιλεγμένων βλαβών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου [82], [83].



Σχήμα 4.12: (A) Συσκευή DiFOTI. (B) Άκρο για μασητικές επιφάνειες [75].

4.3.6 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECM)

Η αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Σχήμα 4.13) για τη διάγνωση της τερηδόνας είναι η αύξηση της αγωγιμότητας των ιστών όταν τερηδονιστούν, εξαιτίας των πόρων που δημιουργούνται στον αποδομημένο ιστό, οι οποίοι πληρώνονται με υγρά και ηλεκτρολύτες.



Σχήμα 4.13: Συσκευή ECM [75].

Όταν ένα ηλεκτρόδιο τοποθετηθεί σε ένα σημείο της επιφάνειας ενός δοντιού, μπορεί να μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα των ιστών που παρεμβάλλονται μεταξύ αυτού και ενός αντίθετου ηλεκτροδίου, το οποίο είναι συνήθως μια μικρή μεταλλική μπάρα, την οποία κρατά ο ασθενής στο χέρι του. Το υπό εξέταση δόντι απομονώνεται, στεγνώνεται πολύ καλά, το άκρο ενός ηλεκτροδίου τοποθετείται, για την πρώτη μέτρηση, σε ένα σημείο γειτονικού υγιούς ιστού και ακολουθεί η δεύτερη, με την τοποθέτηση του ηλεκτροδίου σε ένα σημείο της πιθανής βλάβης. Συγχρόνως, για ακριβέστερη μέτρηση, ένα συνεχές ρεύμα αέρα εκτοξεύεται προς την επιφάνεια ανίχνευσης. Για τη μέτρηση, η επιφάνεια μπορεί να καλυφθεί με ένα αγωγίμο υλικό σε μορφή ζελέ και το ηλεκτρόδιο να βυθιστεί σε αυτό.

Σε σύγκριση της ECM με άλλες διαγνωστικές μεθόδους *in vitro* (οπτική παρατήρηση, FOTI, ψηφιακή ακτινογραφία) για τον προσδιορισμό τερηδόνας οδοντίνης μασητικών επιφανειών, φάνηκε ότι αν και υπερτερεί αυτών σε επαναληψιμότητα ($Kappa=0.63$) και ευαισθησία (0.78), παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή ειδικότητας μεταξύ όλων (0.8) [84]. Επίσης, η μέθοδος μπορεί να δώσει λάθος διάγνωση σε υποπλασίες των δοντιών ή όταν το δόντι δεν είναι καλά στεγνωμένο. Το μεγάλο εύρος τιμών αγωγιμότητας που καταγράφονται για μια υγιή μασητική επιφάνεια, που μπορεί ενδεικτικά να κυμαίνεται από 100 μέχρι 5000KΩ, καταδεικνύει το μεγάλο πρόβλημα που έχει η μέθοδος.

4.3.7 Άλλες οπτικές τεχνικές

Υπάρχει ένας αριθμός άλλων τεχνικών για την ανίχνευση τερηδόνας χρησιμοποιώντας οπτικές μεθόδους. Αυτά τα συστήματα είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο και στηρίζονται αποκλειστικά σε εργαστηριακές μελέτες. Ωστόσο, τέτοιες τεχνολογίες μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμες στο μέλλον. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την τομογραφία οπτικής συνάφειας (OCT- optical coherence tomography) και τη διάδοση του φωτός κοντά στο υπέρυθρο (NIR- near-infrared transillumination).

Η μέθοδος OCT είναι μία νέα τεχνική απεικόνισης, η οποία χρησιμοποιεί το φαινόμενο της διαφορετικής αντανάκλασης του φωτός από τους βιολογικούς ιστούς ώστε να παράγει τομογραφικές εικόνες. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δε χρησιμοποιεί ιονίζουσα ακτινοβολία, αλλά φως κοντά στο φάσμα του υπέρυθρου [85].

Όσον αφορά τη μέθοδο NIR, οι μελέτες έχουν ήδη ξεκινήσει και τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν πολύ θετικά [86]. Γίνεται αξιολογία εργασία όσον αφορά στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων σε κλινικές και εμπορικά αποδεκτές εφαρμογές, γεγονός που απαιτεί ακόμα κάποιο χρόνο έως ότου αυτές οι νέες τεχνολογίες να μπορούν να εφαρμοστούν σε κλινικές δοκιμές.

4.4 Συμπεράσματα

Η οπτική εξέταση, με παρατήρηση κλινικών χαρακτηριστικών και εμφάνισης βλαβών, σε συνδυασμό με τις ακτινογραφίες είναι σε θέση να παρέχουν στον εξεταστή το μεγαλύτερο μέρος των σημαντικών πληροφοριών για την ανίχνευση τερηδονικών βλαβών. Εντούτοις, μόνο οι σοβαρές και βαθιές βλάβες εντοπίζονται από την ακτινολογική εξέταση. Ως εκ τούτου, βοηθητικές μέθοδοι μπορούν να συμβάλλουν θετικά στη διαδικασία της ανίχνευσης και η χρήση τους πρέπει να ενθαρρύνεται. Ωστόσο, ο εξεταστής θα πρέπει να γνωρίζει την ορθή χρήση αυτών των συσκευών και να έχει κατά νου τα μειονεκτήματα και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν.

Κεφάλαιο 5

Κατάτμηση Εικόνας

5.1 Εισαγωγή

Όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο, ο εντοπισμός της τερηδόνας στις εικόνες των μασητικών επιφανειών με χρήση του Matlab μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε από τον γιατρό, ο οποίος θα εντοπίζει τις περιοχές τερηδονικής βλάβης και θα τις χαρακτηρίζει με βάση το σύστημα ICDAS, είτε με χρήση ενός κατάλληλου “κώδικα” στο Matlab, το οποίο θα εντοπίζει αυτόματα τις τερηδονισμένες περιοχές. Η διαδικασία αυτή, όμως, στηρίζεται στη γνώση των τεχνικών κατάτμησης εικόνας, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση των επιφανειών που έχουν υποστεί τερηδονική αλλοίωση. Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η μελέτη του θεωρητικού υπόβαθρου για την επεξεργασία εικόνας, η οποία μπορεί να επεκταθεί και στις εικόνες των μασητικών επιφανειών.

Μία εικόνα μπορεί να ορισθεί ως μία δισδιάστατη συνάρτηση $f(x,y)$, όπου οι μεταβλητές x και y είναι οι χωρικές συντεταγμένες, ενώ το πλάτος της συνάρτησης f σε κάθε ζεύγος συντεταγμένων (x,y) ονομάζεται ένταση ή επίπεδο της κλίμακας του γκρι της εικόνας σε αυτό το σημείο. Ψηφιακή εικόνα χαρακτηρίζεται μία εικόνα της οποίας οι τιμές των x και y , καθώς και οι τιμές της έντασης της συνάρτησης f είναι όλες πεπερασμένες. Μία ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα πεπερασμένο πλήθος στοιχείων, τα εικονοστοιχεία (pixels), κάθε ένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη θέση και τιμή.

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές στο χώρο της επεξεργασίας εικόνας αποτελεί η κατάτμηση εικόνας (image segmentation), μία διαδικασία κατά

την οποία η είσοδος είναι εικόνα αλλά η έξοδος είναι πληροφορίες που έχουν εξαχθεί από αυτή. Η κατάτμηση υποδιαιρεί μία εικόνα στις περιοχές ή αντικείμενα από τα οποία αποτελείται και μπορεί να επιτευχθεί με αναγνώριση είτε των σημείων ασυνέχειας της εικόνας (απότομη μεταβολή της φωτεινότητας ή του χρώματος) είτε της ομοιομορφίας ανάμεσα στις τιμές των pixel της εικόνας.

Με βάση τις παραπάνω ιδιότητες, υπάρχουν δύο κατηγορίες αλγορίθμων, οι αλγόριθμοι εντοπισμού ορίου περιοχών (boundary based segmentation) και οι αλγόριθμοι βασισμένοι σε περιοχές (region based segmentation). Η πρώτη κατηγορία έγκειται στην ανίχνευση απότομων μεταβολών στην ένταση, όπως για παράδειγμα ακμών, και στον εντοπισμό αντικειμένων με τον μετασχηματισμό Hough. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την κατωφλίωση (thresholding), την ανάπτυξη περιοχών (region growing), τη διαίρεση και συνένωση περιοχών (splitting and merging), καθώς και την κατάτμηση με βάση τον μετασχηματισμό Watershed.

Αν θεωρήσουμε R την εικόνα, τότε η κατάτμηση χωρίζει την R σε N διακριτές περιοχές R_1, R_2, \dots, R_N με βάση τον κανόνα κατάτμησης $P(R)$ έτσι ώστε να ισχύουν τα παρακάτω:

α) Οι περιοχές πρέπει να καλύπτουν όλη την εικόνα:
$$R = \bigcup_{i=1}^N R_i$$

β) Κάθε R_i είναι συνδεδεμένη περιοχή με βάση έναν προκαθορισμένο κανόνα.

γ) Οι περιοχές είναι μεταξύ τους ασύνδετες: $R_i \cap R_j = \emptyset \quad \forall i, j, i \neq j$

δ) Όλα τα pixels μίας περιοχής πρέπει να έχουν τις ίδιες ιδιότητες:

$P(R_i) = \text{TRUE}$ για $i=1,2,\dots,N$

ε) Οι περιοχές είναι διακριτές: $P(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ για γειτονικές περιοχές.

5.2 Ανίχνευση σημείων, γραμμών και ακμών

Αυτή η ενότητα εστιάζεται στις μεθόδους κατάτμησης που στηρίζονται στην ανίχνευση απότομων τοπικών μεταβολών έντασης, χρησιμοποιώντας παραγώγους πρώτης και δεύτερης τάξης μιας συνάρτησης εικόνας. Οι τρεις τύποι των χαρακτηριστικών εικόνας για τους οποίους ενδιαφερόμαστε είναι τα απομονωμένα σημεία, οι γραμμές και οι ακμές [87],[89].

Η προσέγγιση που επιλέγεται για τον υπολογισμό της πρώτης και της δεύτερης παραγώγου σε κάθε θέση εικονοστοιχείου μίας εικόνας, είναι η χρήση χωρικών φίλτρων. Για μία μάσκα φίλτρου διαστάσεων 3x3 (Σχήμα 5.1), η διαδικασία που ακολουθείται είναι ο υπολογισμός του αθροίσματος των γινομένων των συντελεστών της μάσκας με τις τιμές της έντασης στην περιοχή που βρίσκεται κάτω από τη μάσκα. Συνεπώς, η απόκριση της μάσκας στο κεντρικό σημείο της περιοχής υπολογίζεται ως:

$$R = w_1z_1 + w_2z_2 + \dots + w_9z_9 = \sum_{k=1}^9 w_k z_k \quad (5.1)$$

όπου z_i είναι η ένταση του εικονοστοιχείου που αντιστοιχεί στο συντελεστή w_i της μάσκας.

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Σχήμα 5.1: Μία μάσκα χωρικού φίλτρου γενικής χρήσεως διαστάσεων 3x3 [87].

5.2.1 Ανίχνευση απομονωμένων σημείων

Η διαδικασία ανίχνευσης σημείων στηρίζεται, ουσιαστικά, στη χρήση παραγώγων δευτέρας τάξεως. Χρησιμοποιώντας τη μάσκα του Σχήματος 5.2, λέμε πως ένα σημείο έχει ανιχνευθεί στη θέση (x, y) που ταυτίζεται με το κέντρο της μάσκας, εάν η απόλυτη τιμή της απόκρισης της μάσκας σε αυτό το σημείο υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Στην εικόνα εξόδου, αυτά τα σημεία τίθενται στην τιμή 1, ενώ όλα τα υπόλοιπα λαμβάνουν μηδενική τιμή, διαδικασία η οποία οδηγεί στη δημιουργία μιας δυαδικής εικόνας. Η έξοδος, δηλαδή, δημιουργείται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη έκφραση

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{εάν είναι } |R(x, y)| \geq T \\ 0 & \text{στην αντίθετη περίπτωση} \end{cases}, \quad (5.2)$$

όπου g είναι η εικόνα εξόδου και T είναι μία μη αρνητική τιμή κατώφλιου.

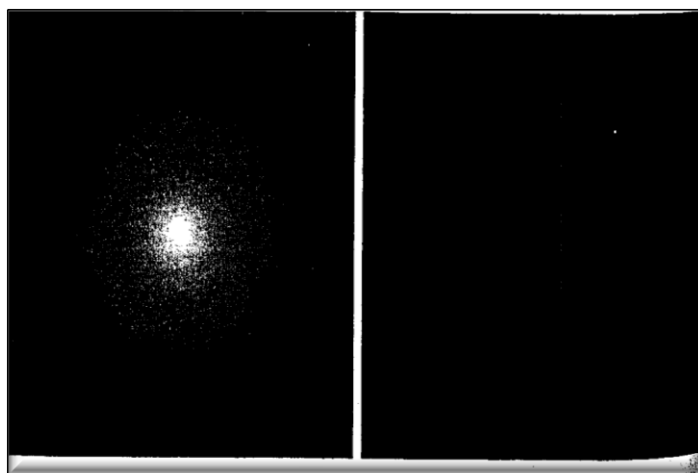
1	1	1
1	-8	1
1	1	1

Σχήμα 5.2: (Λαπλασιανή) μάσκα ανίχνευσης σημείων [87].

Η ανίχνευση σημείου υλοποιείται στο Matlab χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `imfilter`, με τη μάσκα του Σχήματος 5.2 ή κάποια παρόμοια μάσκα. Με δεδομένο το T , η ζητούμενη εντολή είναι

$$g = \text{abs}(\text{imfilter}(\text{double}(f), w)) \geq T; \quad (5.3)$$

όπου f είναι η εικόνα εισόδου, w είναι μία κατάλληλη μάσκα ανίχνευσης σημείου και g είναι η εικόνα εξόδου. Ένα παράδειγμα ανίχνευσης σημείου εικονίζεται στο Σχήμα 5.3.



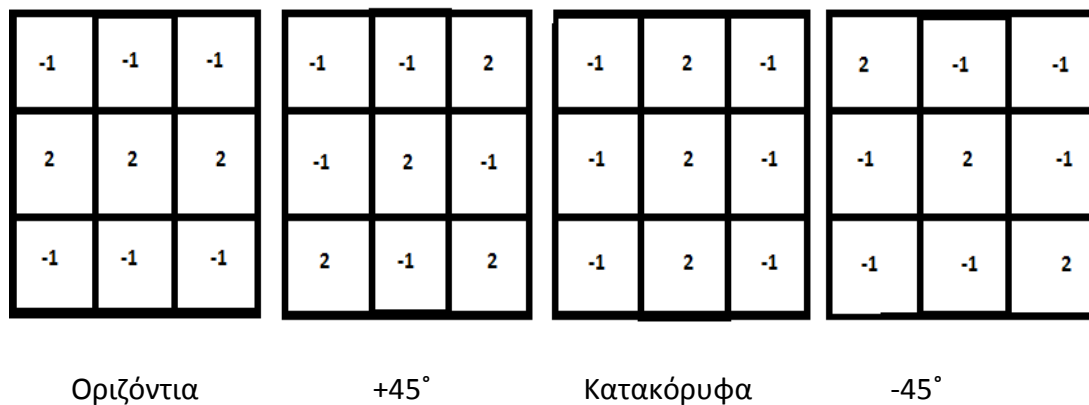
Σχήμα 5.3: α) Εικόνα στην κλίμακα του γκρι με ένα σχεδόν άορατο μαύρο απομονωμένο σημείο στην περιοχή του βορειοανατολικού τεταρτημορίου β) Εικόνα του εντοπισμένου σημείου (σε μεγέθυνση) [87].

Μία άλλη προσέγγιση στην ανίχνευση σημείων είναι η εύρεση σημείων σε όλους τους γείτονες μεγέθους $m \times n$ για τα οποία η διαφορά των μέγιστων και ελάχιστων τιμών pixels υπερβαίνει μία καθορισμένη τιμή του T . Η υλοποίηση αυτή πραγματοποιείται με τη συνάρτηση `ordfilt2`.

5.2.2 Ανίχνευση γραμμών

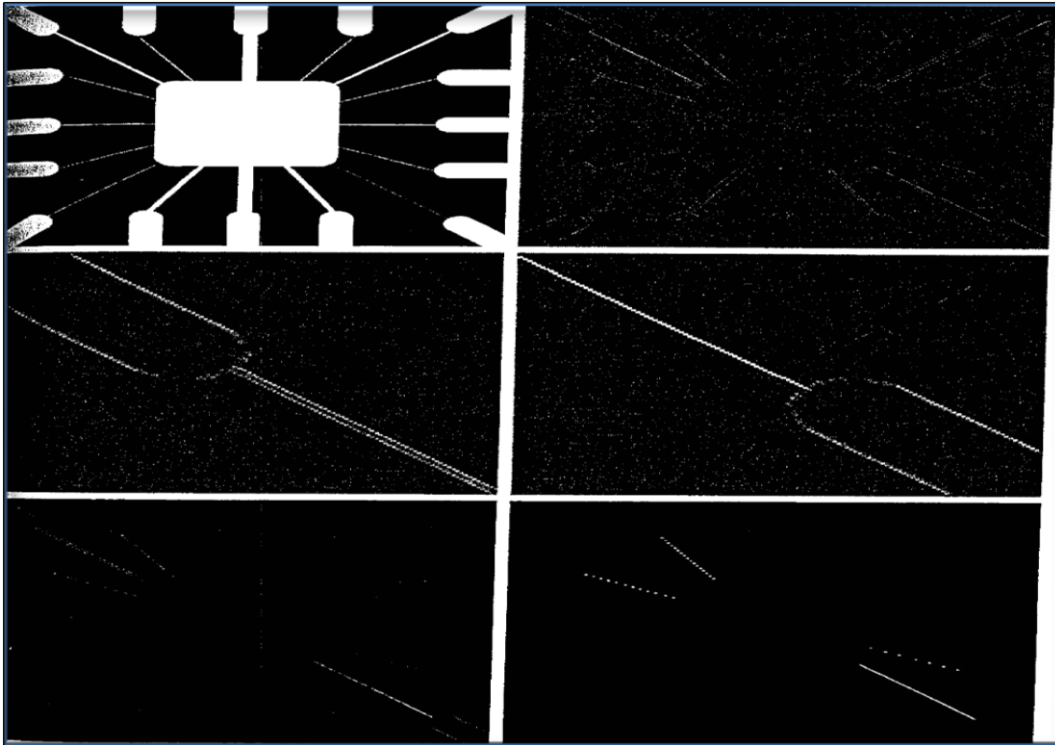
Το επόμενο επίπεδο πολυπλοκότητας είναι η ανίχνευση γραμμών. Επειδή, συνήθως, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην ανίχνευση γραμμών κατά μήκος συγκεκριμένων διευθύνσεων, θεωρούμε τις μάσκες του Σχήματος 5.4. Αν μία εικόνα με σταθερό υπόβαθρο αλλά και διάφορες γραμμές φιλτραριζόταν με την πρώτη μάσκα, οι μέγιστες αποκρίσεις θα συνέβαιναν σε θέσεις της εικόνας στις οποίες μία οριζόντια γραμμή διήλθε μέσα από τη μεσαία γραμμή της μάσκας. Παρομοίως, η δεύτερη μάσκα του Σχήματος 5.4 αποκρίνεται καλύτερα σε γραμμές με κλίση $+45^\circ$, η τρίτη μάσκα σε κατακόρυφες γραμμές και η τέταρτη μάσκα σε γραμμές με κλίση -45° . Η προτιμητέα διεύθυνση για την κάθε μάσκα σταθμίζεται με τη βοήθεια ενός μεγαλύτερου συντελεστή (με τιμή, για παράδειγμα, ίση με 2) σε σχέση με τις υπόλοιπες δυνατές διευθύνσεις. Το άθροισμα των συντελεστών της κάθε μάσκας είναι ίσο με το

μηδέν, οδηγώντας έτσι σε μηδενική απόκριση όταν η μάσκα εφαρμόζεται σε περιοχές σταθερής έντασης.



Σχήμα 5.4: Μάσκες ανίχνευσης γραμμών [87].

Έστω R_1, R_2, R_3, R_4 οι αποκρίσεις των μασκών του Σχήματος 5.4 από τα αριστερά προς τα δεξιά, με τις τιμές των παραμέτρων R να υπολογίζονται από την εξίσωση (5.1). Αν ενδιαφερόμαστε για την ανίχνευση γραμμών κατά μήκος κάποιας συγκεκριμένης διεύθυνσης, εφαρμόζουμε τη μάσκα που σχετίζεται με αυτήν την κατεύθυνση σε όλη την έκταση της εικόνας και περνάμε την απόλυτη τιμή του αποτελέσματος από μία συνάρτηση κατωφλίου. Τα σημεία που απομένουν μετά από αυτή τη διαδικασία, αποτελούν και τις ισχυρότερες αποκρίσεις, οι οποίες, για γραμμές που έχουν πάχος ίσο με ένα εικονοστοιχείο, αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό στη διεύθυνση που ορίζεται από τη μάσκα (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5: α) Εικόνα μιας σύνδεσης καλωδίων, β) Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας με χρήση της μάσκας ανίχνευσης γραμμών κλίσης -45° , γ) Μεγεθυμένη άποψη της άνω αριστερά περιοχής της εικόνας (β), δ) Μεγεθυμένη άποψη της κάτω δεξιά περιοχής της εικόνας (β), ε) Απόλυτη τιμή της (β), στ) Όλα τα σημεία (σχεδιασμένα με λευκό χρώμα) οι τιμές των οποίων ικανοποιούν τη συνθήκη $g \geq T$, όπου g είναι η εικόνα (ε) [87].

5.2.3 Ανίχνευση ακμών

Η ανίχνευση ακμών αποτελεί μία προσέγγιση που χρησιμοποιείται συνήθως για την κατάτμηση εικόνων με τη βοήθεια απότομων (τοπικών) μεταβολών στην ένταση. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας παραγώγους πρώτης ή δευτέρας τάξεως. Η πρώτη παράγωγος που επιλέγουμε στην επεξεργασία εικόνας για να προσδιορίσουμε την ισχύ και τη διεύθυνση μιας ακμής στη θέση (x, y) μιας διοδιάστατης εικόνας f , είναι η κλίση (gradient) της εικόνας, η οποία ορίζεται ως το διάνυσμα

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix}, \quad (5.4)$$

Το μέτρο του διανύσματος ∇f είναι η τιμή του ρυθμού μεταβολής κατά τη διεύθυνση του διανύσματος της κλίσης και συμβολίζεται ως ∇f , όπου

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad , \quad (5.5)$$

Μια προσέγγιση, που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά, είναι να προσεγγίσουμε το μέτρο της κλίσης παραλείποντας την τετραγωνική ρίζα ή χρησιμοποιώντας απόλυτες τιμές, δηλαδή τις εξισώσεις

$$\nabla f \approx G_x^2 + G_y^2 \quad \text{ή} \quad \nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad , \quad (5.6)$$

Η κατεύθυνση κατά την οποία η μέγιστη κλίση λαμβάνει χώρα δίνεται από την τιμή της γωνίας, η οποία είναι

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad , \quad (5.7)$$

Οι παράγωγοι δευτέρας τάξεως στην επεξεργασία εικόνας υπολογίζονται, συνήθως, χρησιμοποιώντας τη Λαπλασιανή. Η Λαπλασιανή μιας δισδιάστατης συνάρτησης $f(x, y)$ ορίζεται ως εξής

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad , \quad (5.8)$$

Το γεγονός ότι η δευτέρας τάξης παράγωγος είναι ευαίσθητη στο θόρυβο και δημιουργεί δύο τιμές για κάθε ακμή μιας εικόνας, την καθιστά δύσκολο εργαλείο για την ανίχνευση ακμών. Παρόλ' αυτά, αν η Λαπλασιανή συνδυαστεί με άλλες τεχνικές ανίχνευσης ακμών, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον εντοπισμό ακμών.

Με βάση τα παραπάνω, υπάρχουν δύο γενικά κριτήρια για την εύρεση εκείνων των θέσεων στην εικόνα όπου η ένταση μεταβάλλεται απότομα:

- Εύρεση των σημείων όπου η πρώτη παράγωγος της έντασης έχει μεγαλύτερο μέτρο από ένα συγκεκριμένο κατώφλι.

- Εύρεση των σημείων όπου η δεύτερη παράγωγος της έντασης διέρχεται από το μηδέν.

Υπάρχει μία συνάρτηση που παρέχει διάφορους εκτιμητές παραγώγων, βασισμένη στα παραπάνω κριτήρια. Η γενική εντολή για αυτή τη συνάρτηση είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, \text{'method'}, \text{parameters}), \quad (5.9)$$

όπου f είναι η εικόνα εισόδου, ενώ οι 'μέθοδοι' και οι επιπλέον παράμετροι επεξηγούνται στη συνέχεια. Στην έξοδο, το g είναι ένας πίνακας με τη λογική τιμή 1 στις θέσεις όπου τα σημεία ακμής εντοπίζονται στην f , και με τη λογική τιμή 0 οπουδήποτε αλλού. Η παράμετρος t είναι προαιρετική και δίνει την τιμή κατωφλίου που χρησιμοποιείται από την ακμή για να προσδιορίσει ποιες τιμές της κλίσης είναι αρκετά δυνατές ώστε να αποτελούν σημεία ακμών.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ακμών, με τους τελεστές κλίσης να βασίζονται στο *Σχήμα 5.6*, είναι οι εξής:

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

Σχήμα 5.6: Μία περιοχή 3x3 μίας εικόνας, όπου οι μεταβλητές z εκφράζουν τιμές έντασης [87].

- Τελεστές Sobel

Οι τελεστές Sobel χρησιμοποιούν τη μάσκα του *Σχήματος 5.7* για να προσεγγίσουν ψηφιακά τις πρώτες παραγώγους G_x και G_y . Η κλίση σε μία γειτονιά γύρω από κάποιο σημείο υπολογίζεται από τον τελεστή Sobel με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$g = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} = \{[(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)]^2 + [(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)]^2\}^{1/2} \quad , \quad (5.10)$$

Στη συνέχεια, καλούμε ένα pixel στη θέση (x, y) ως pixel ακμής εάν σε αυτή τη θέση ισχύει ότι $g \geq T$, όπου T είναι ένα καθορισμένο κατώφλι.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Σχήμα 5.7: Sobel [87].

Οι τελεστές Sobel μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση οριζόντιων και κάθετων γραμμών. Επιπλέον, μπορεί να αποδειχθεί ότι χρησιμοποιώντας τιμή βάρους ίση με 2 για την κεντρική θέση της μάσκας, επιτυγχάνεται εξομάλυνση της εικόνας.

Η υλοποίηση στο Matlab με τους τελεστές Sobel γίνεται φιλτράροντας μία εικόνα f (χρησιμοποιώντας την εντολή 'imfilter') με την αριστερή μάσκα του Σχήματος 5.7, ύστερα φιλτράροντάς την με την άλλη μάσκα, τετραγωνίζοντας τις τιμές των pixel κάθε φιλτραρισμένης εικόνας, προσθέτοντας τα δύο αποτελέσματα και υπολογίζοντας τη ρίζα τους.

Η γενική σύνταξη για τον τελεστή Sobel είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, 'sobel', T, \text{dir}) \quad , \quad (5.11)$$

όπου f είναι η εικόνα εισόδου, T είναι ένα καθορισμένο κατώφλι, και το dir ορίζει την επιθυμητή κατεύθυνση των ακμών που ανιχνεύονται, δηλαδή 'οριζόντια', 'κάθετα' ή 'και τα δύο'.

- Τελεστές Prewitt

Οι τελεστές Prewitt χρησιμοποιούν τις μάσκες του Σχήματος 5.8 για να προσεγγίσουν ψηφιακά τις πρώτες παραγώγους G_x και G_y . Η γενική τους σύνταξη είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, \text{'prewitt'}, T, \text{dir}) , \quad (5.12)$$

Οι παράμετροι αυτής της συνάρτησης είναι όμοιες με εκείνες των τελεστών Sobel. Παρόλο που οι μάσκες Prewitt είναι πιο απλές στην υλοποίηση τους σε σχέση με τις μάσκες Sobel, αυτή η μικρή διαφορά υπολογιστικής πολυπλοκότητας δε θεωρείται σημαντική, καθώς οι μάσκες Sobel διαθέτουν καλύτερα χαρακτηριστικά για αφαίρεση του θορύβου.

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Σχήμα 5.8: Prewitt [87].

- Τελεστές Roberts

Οι τελεστές Roberts χρησιμοποιούν τις μάσκες του Σχήματος 5.9 για να προσεγγίσουν ψηφιακά τις πρώτες παραγώγους G_x και G_y . Η γενική τους σύνταξη είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, \text{'roberts'}, T, \text{dir}) , \quad (5.13)$$

Οι παράμετροι αυτής της συνάρτησης είναι όμοιες με εκείνες των τελεστών Sobel. Οι τελεστές διασταυρούμενης κλίσης Roberts αποτελούν μία από τις πρώτες απόπειρες χρήσης δισδιάστατων μασκών με προτίμηση στη διαγώνια διεύθυνση. Οι μάσκες διαστάσεων 2×2 , αν και είναι απλές στη βάση τους, δε

θεωρούνται τόσο χρήσιμες για τον υπολογισμό διευθύνσεων ακμών όσο οι μάσκες που είναι συμμετρικές ως προς το κέντρο τους, όπως οι 3x3 μάσκες Sobel και Prewitt.

-1	0
0	1

0	-1
1	0

Σχήμα 5.9: Roberts [87].

- Λαπλασιανή μιας Γκαουσιανής (Laplacian of Gaussian (LoG))

Μία πιο περίπλοκη τεχνική ανάλυσης στη διαδικασία εντοπισμού ακμών, η οποία αποδίδεται στους Marr και Hildreth [90], αποτελεί το φίλτρο $\nabla^2 G$, όπου το σύμβολο ∇^2 αναφέρεται στον τελεστή Laplace ενώ η G είναι μια δισδιάστατη συνάρτηση Gauss που δίνεται από την εξίσωση

$$G(x, y) = h(r) = -e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.14)$$

όπου $r^2 = x^2 + y^2$ και σ είναι μία τυπική απόκλιση. Η Λαπλασιανή αυτής της συνάρτησης είναι

$$\nabla^2 G(x, y) = \nabla^2 h(r) = -\left[\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4}\right] e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.15)$$

η οποία είναι γνωστή ως η Λαπλασιανή μιας Γκαουσιανής (LoG).

Ο αλγόριθμος Marr - Hildreth συνίσταται στον υπολογισμό της συνέλιξης του φίλτρου LoG με μία εικόνα εισόδου $f(x, y)$ και, στη συνέχεια, στον εντοπισμό των σημείων διέλευσης από το μηδέν της συνάρτησης εξόδου, ώστε να προσδιορίσουμε τις θέσεις των ακμών της εικόνας $f(x, y)$. Λόγω του ότι η διαδικασία αυτή είναι γραμμικής φύσεως, μπορούμε να καταλήξουμε στο ίδιο αποτέλεσμα αν αρχικά προχωρήσουμε στην εξομάλυνση της εικόνας

χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο Gauss και στη συνέχεια υπολογίσουμε τη Λαπλασιανή του αποτελέσματος που θα προκύψει.

Η γενική σύνταξη για τη συνάρτηση LoG είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, 'log', T, \text{sigma}) , \quad (5.16)$$

όπου sigma είναι μια σταθερή απόκλιση και οι υπόλοιπες παράμετροι είναι όμοιες με εκείνες των τελεστών Sobel. Μία μάσκα της τεχνικής LoG λαμβάνεται στο Matlab με χρήση της εντολής

$$h = \text{fspecial}('LoG'); , \quad (5.17)$$

Ανίχνευση ακμών με χρήση της LoG μπορεί να γίνει είτε με εφαρμογή φιλτραρίσματος με χρήση της κατάλληλης μάσκας (εντολή *imfilter*) και στη συνέχεια κατωφλίωση του αποτελέσματος είτε με απευθείας εφαρμογή της εντολής *edge*.

- Ανιχνευτής σημείων διέλευσης από το μηδέν (Zero-Crossing)

Αυτή η ανίχνευση στηρίζεται στην ίδια λογική της τεχνικής LoG, με τη διαφορά ότι η συνέλιξη πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μία καθορισμένη συνάρτηση φίλτρου H. Με γνωστές τις υπόλοιπες παραμέτρους από τα προηγούμενα, η σύνταξη είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, 'zerocross', T, H) , \quad (5.18)$$

- Ανιχνευτής ακμών Canny

Αν και ο αλγόριθμος είναι πιο περίπλοκος, η απόδοση του ανιχνευτή ακμών Canny [91] υπερτερεί γενικά έναντι της απόδοσης των προηγούμενων αλγορίθμων απόδοσης ακμών. Τα βασικά βήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- 1) Εξομάλυνση της εικόνας εισόδου με ένα φίλτρο Gauss, έτσι ώστε να μειωθεί ο θόρυβος.

2) Υπολογισμός των εικόνων του μέτρου $g(x, y) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$ και της γωνίας $\alpha(x, y) = \tan^{-1}(G_y / G_x)$ της κλίσης. Προκειμένου να υπολογίσουμε τις τιμές των συναρτήσεων G_x και G_y , μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε από τις παραπάνω τεχνικές.

3) Εφαρμογή της τεχνικής εξάλειψης μη μεγίστων στην εικόνα του μέτρου της κλίσης. Το συγκεκριμένο βήμα καθίσταται αναγκαίο, διότι η συνάρτηση $g(x,y)$ έχει υπολογιστεί με τη βοήθεια της κλίσης της εικόνας, με αποτέλεσμα να περιέχει “ζάρες” μεγάλου εύρους γύρω από τα τοπικά μέγιστα.

4) Διπλή εφαρμογή κατωφλίωσης και ανάλυσης συνδεσιμότητας για την ανίχνευση και τη σύνδεση των ακμών.

Η σύνταξη για τον ανιχνευτή ακμών Canny είναι

$$[g, t] = \text{edge}(f, \text{'canny'}, T, \text{sigma}) , \quad (5.19)$$

Όπου το $T = [T_L, T_H]$ εμπεριέχει δύο τιμές κατωφλίου, ένα χαμηλό κατώφλι T_L και ένα υψηλό κατώφλι T_H . Ο Canny πρότεινε πως ο λόγος των τιμών του υψηλού προς το χαμηλό κατώφλι θα πρέπει να είναι ίσος με δύο ή τρία προς ένα. Το sigma είναι μια σταθερή απόκλιση του φίλτρου εξομάλυνσης και οι υπόλοιπες παράμετροι είναι όπως στα προηγούμενα.

Παρόλο που η απόδοση του αλγορίθμου Canny είναι καλύτερη σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, η αυξημένη πολυπλοκότητα της υλοποίησής του και ο αρκετά μεγαλύτερος χρόνος εκτέλεσής του, επιβάλλουν συχνά τη χρήση πιο απλών τεχνικών. Από την άλλη πλευρά, όταν ενδιαφερόμαστε κυρίως για την ποιότητα των ακμών, οι αλγόριθμοι Marr - Hildreth και Canny προσφέρουν ανώτερες εναλλακτικές λύσεις.

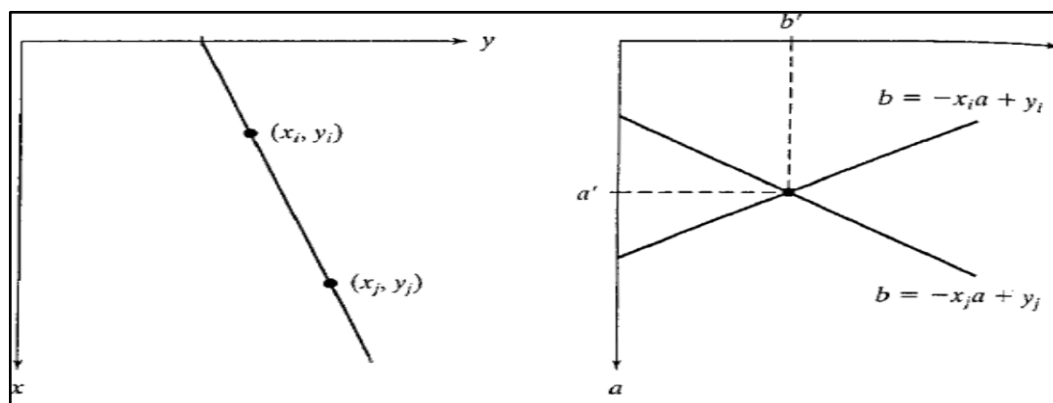
5.2.4 Σύνδεση ακμών με χρήση του μετασχηματισμού Hough

Στην ιδανική περίπτωση, η διαδικασία ανίχνευσης ακμών θα ταυτοποιήσει σύνολα σημείων που ανήκουν μόνο πάνω στις ακμές της εικόνας. Στην πράξη, όμως, τα εικονοστοιχεία που προσδιορίζονται σπάνια χαρακτηρίζουν πλήρως τις ακμές, εξαιτίας του θορύβου, των κενών που παρατηρούνται στις ακμές λόγω του ανομοιόμορφου φωτισμού, καθώς και άλλων φαινομένων που εισάγουν πλασματικές ασυνέχειες στις τιμές έντασης. Γι' αυτούς τους λόγους, η ανίχνευση ακμών συνήθως ακολουθείται από εφαρμογή αλγορίθμων σύνδεσης, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να συναρμολογήσουν τα εικονοστοιχεία των ακμών σε ουσιώδη περιγράμματα ακμών ή/και περιοχών. Μία από αυτές τις προσεγγίσεις είναι η ολική επεξεργασία χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Hough [92].

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο εάν τα σύνολα εικονοστοιχείων κείνται επί καμπύλων που χαρακτηρίζονται από κάποιο συγκεκριμένο σχήμα. Από τη στιγμή που θα ανιχνευθούν, αυτές οι καμπύλες σχηματίζουν τις ακμές ή τα όρια των περιοχών που μας ενδιαφέρουν.

Βάση του μετασχηματισμού Hough, θεωρούμε ένα σημείο (x_i, y_i) του επιπέδου xy και τη γενική εξίσωση μιας ευθείας γραμμής με μορφή $y_i = ax_i + b$. Δεδομένου ότι υπάρχουν άπειρες γραμμές που διέρχονται από το σημείο (x_i, y_i) και ικανοποιούν αυτήν την εξίσωση για τις διάφορες τιμές των παραμέτρων a και b , θεωρούμε το επίπεδο ab (χώρος παραμέτρων) και την εξίσωση $b = -ax_i + y_i$, ώστε να κατασκευάσουμε την εξίσωση μιας και μοναδικής γραμμής για ένα σταθερό ζεύγος τιμών (x_i, y_i) . Ένα δεύτερο σημείο (x_j, y_j) χαρακτηρίζεται επίσης από μία ευθεία στο χώρο παραμέτρων που σχετίζεται μαζί του, η οποία, αν δεν είναι παράλληλη με εκείνη που χαρακτηρίζει το σημείο (x_i, y_i) , θα την τέμνει σε κάποιο σημείο (a', b') , όπου a' είναι η κλίση και b' η μετατόπιση της γραμμής που περιέχει αμφότερα τα σημεία (x_i, y_i) και (x_j, y_j) στο επίπεδο xy (Σχήμα 5.10). Στην πραγματικότητα,

όλα τα σημεία αυτής της γραμμής διαθέτουν γραμμές στο χώρο παραμέτρων που τέμνονται στο σημείο (a', b') .



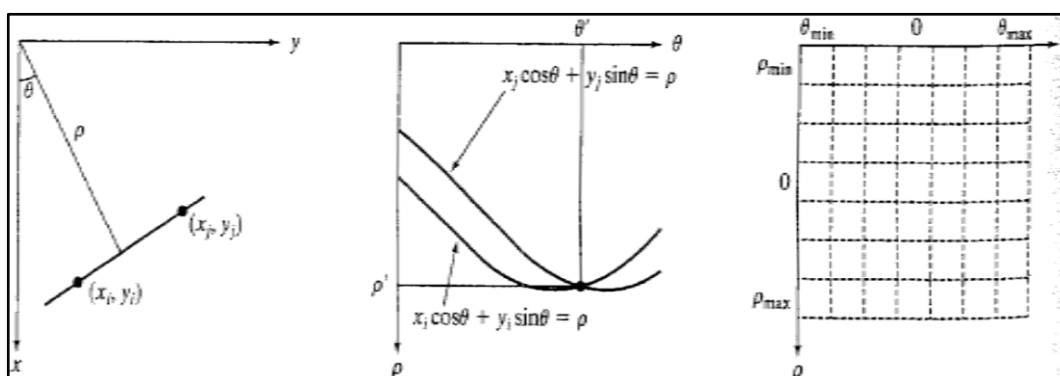
Σχήμα 5.10: Το επίπεδο xy και ο χώρος παραμέτρων [87].

Λόγω της πρακτικής δυσκολίας που συναντάμε όταν οι γραμμές προσεγγίζουν την κατακόρυφη διεύθυνση στο επίπεδο xy , χρησιμοποιούμε πολικές συντεταγμένες για την αναπαράσταση μιας γραμμής, η οποία, πλέον, παίρνει τη μορφή

$$x \cos\theta + y \sin\theta = \rho \quad , \quad (5.20)$$

Η γεωμετρική ερμηνεία των παραμέτρων ρ και θ επιδεικνύονται στο Σχήμα 5.11(α), (β). Η υπολογιστική ελκυστικότητα του μετασχηματισμού Hough προκύπτει από την υποδιαίρεση του χώρου παραμέτρων $\rho\theta$ στα επονομαζόμενα κελιά συσσωρευτή (accumulator cells), όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.11(γ), όπου $(\rho_{\min}, \rho_{\max})$ και $(\theta_{\min}, \theta_{\max})$ είναι οι αναμενόμενες περιοχές τιμών των παραμέτρων, οι οποίες είναι οι $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ και $-D \leq \rho \leq D$, όπου D είναι η μέγιστη απόσταση ανάμεσα στις απέναντι γωνίες μιας εικόνας. Το κελί που αντιστοιχεί στις συντεταγμένες (i, j) με τιμή συσσωρευτή $A(i, j)$, αντιστοιχεί στο τετράγωνο που σχετίζεται με τις συντεταγμένες (ρ_i, θ_i) του χώρου παραμέτρων. Αρχικά, αυτά τα κελιά τίθενται στη μηδενική τιμή, ενώ, στη συνέχεια, για κάθε σημείο (x_k, y_k) του επιπέδου xy που δεν ανήκει στο υπόβαθρο, θέτουμε τη γωνία θ ίση με την κάθε επιτρεπτή τιμή που

προκύπτει από την υποδιαίρεση του άξονα των θ και υπολογίζουμε την τιμή του αντίστοιχου ρ από τη σχέση $\rho = x_k \cos\theta + y_k \sin\theta$. Οι τιμές του ρ που προκύπτουν, στρογγυλοποιούνται στην τιμή του πλησιέστερου επιτρεπτού κελιού κατά μήκος του άξονα των ρ . Εάν η επιλογή της γωνίας θ_p οδηγήσει στην τιμή της λύσης ρ_q , θέτουμε $A(p, q) = A(p, q) + 1$. Στο τέλος της διαδικασίας, μία τιμή ίση με P στη θέση $A(i, j)$, σημαίνει πως υπάρχουν P σημεία του επιπέδου xy που κείνται επί της ευθείας $x \cos\theta_j + y \sin\theta_i = \rho_j$. Το πλήθος των υποδιαίρεσεων στο επίπεδο $\rho\theta$ καθορίζει και την ακρίβεια της συγγραμμικότητας αυτών των σημείων.



Σχήμα 5.11: (α) Παραμετροποίηση μιας γραμμής του επιπέδου xy χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες (ρ, θ) , (β) Ημιτονοειδείς καμπύλες του επιπέδου $\rho\theta$, όπου το σημείο τομής (ρ', θ') αντιστοιχεί στη γραμμή που διέρχεται από τα σημεία (x_i, y_i) και (x_j, y_j) του επιπέδου xy και (γ) Διαίρεση του επιπέδου $\rho\theta$ σε κελιά συσσωρευτή [87].

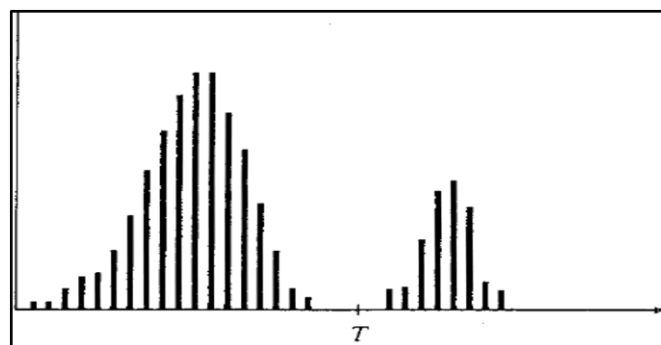
5.3 Κατωφλίωση

Η κατωφλίωση μιας εικόνας είναι μία τεχνική με σημαντική θέση στις εφαρμογές κατάτμησης εικόνας, εξαιτίας της διαισθητικότητάς της, της απλότητας που χαρακτηρίζει την υλοποίησή της και της υπολογιστικής ταχύτητάς της. Στόχος είναι η άμεση κατάτμηση εικόνων σε περιοχές, με τη βοήθεια των τιμών έντασης ή/και τις ιδιότητες αυτών των τιμών.

Έστω ότι το ιστόγραμμα έντασης στο *Σχήμα 5.12* αντιστοιχεί σε μία εικόνα $f(x,y)$ που αποτελείται από φωτεινά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται πάνω σε ένα σκοτεινό υπόβαθρο, έτσι ώστε τα εικονοστοιχεία των αντικειμένων και του υποβάθρου να έχουν τιμές έντασης οι οποίες να είναι ομαδοποιημένες σε δύο βασικές ομάδες. Ένας τρόπος διαχωρισμού αυτών των ομάδων είναι η επιλογή ενός κατωφλίου T , ούτως ώστε κάθε σημείο (x, y) της εικόνας στη θέση του οποίου είναι $f(x, y) > T$, να ονομάζεται “σημείο του αντικειμένου”, ενώ στην αντίθετη περίπτωση να αποτελεί “σημείο του υποβάθρου”. Η κατατμημένη εικόνα $g(x, y)$ περιγράφεται από την εξίσωση:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{εάν είναι } f(x, y) > T \\ 0 & \text{εάν είναι } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (5.21)$$

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το T είναι μία σταθερά η οποία εφαρμόζεται σε όλη την έκταση της εικόνας, η διαδικασία που περιγράφεται από την παραπάνω εξίσωση καλείται ολική κατωφλίωση, ενώ όταν η τιμή του T μεταβάλλεται για διάφορες περιοχές της εικόνας, η διαδικασία ονομάζεται μεταβλητή κατωφλίωση. Σε περιπτώσεις εφαρμογής μεταβλητού κατωφλίου, στις οποίες η τιμή του T σε κάθε σημείο (x, y) της εικόνας εξαρτάται από τις ιδιότητες της γειτονιάς του σημείου (x, y) , χρησιμοποιείται η τοπική κατωφλίωση.



Σχήμα 5.12: Ιστόγραμμα έντασης που μπορεί να κατατμηθεί με τη βοήθεια ενός απλού κατωφλίου [87].

5.3.1 Ολική κατωφλίωση

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες οι κατανομές της έντασης των αντικειμένων και του υποβάθρου είναι διακριτές σε ικανοποιητικό βαθμό, είναι δυνατή η χρήση ενός μοναδικού (ολικού) κατωφλίου, το οποίο εφαρμόζεται πάνω σε ολόκληρη την εικόνα. Ένας επαναληπτικός αλγόριθμος που μπορεί να υπολογίσει με αυτόματο τρόπο την τιμή του κατωφλίου για την κάθε εικόνα είναι ο ακόλουθος [89]:

- 1) Ξεκινάμε με μία αρχική εκτίμηση για το ολικό κατώφλι T .
- 2) Πραγματοποιούμε κατάτμηση της εικόνας χρησιμοποιώντας το κατώφλι T . Αυτή η διαδικασία θα οδηγήσει στη δημιουργία δύο ομάδων εικονοστοιχείων, την ομάδα G_1 που περιέχει όλα τα εικονοστοιχεία με τιμές έντασης μεγαλύτερες του κατωφλίου T και την ομάδα G_2 που περιέχει όλα τα εικονοστοιχεία με τιμές μικρότερες ή ίσες του κατωφλίου T .
- 3) Υπολογίζουμε τις μέσες τιμές έντασης m_1 και m_2 για τα εικονοστοιχεία των ομάδων G_1 και G_2 αντίστοιχα.
- 4) Υπολογίζουμε τη νέα τιμή κατωφλίου από την εξίσωση $T = \frac{1}{2} (m_1 + m_2)$
- 5) Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 έως 4 μέχρι η διαφορά ανάμεσα στις τιμές του T που αντιστοιχούν σε διαδοχικές επαναλήψεις να είναι μικρότερη από κάποια προκαθορισμένη τιμή ΔT .

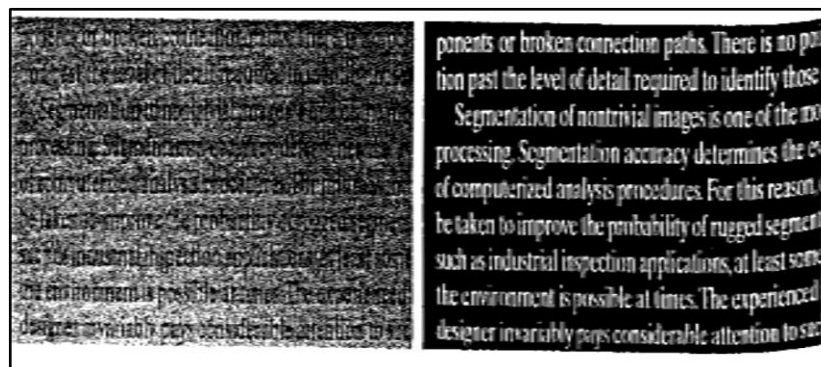
Μία εναλλακτική προσέγγιση του παραπάνω αλγορίθμου αποτελεί η μέθοδος Otsu [93], η οποία χαρακτηρίζεται ως βέλτιστη, υπό την έννοια πως μεγιστοποιεί τη μεταβλητότητα ανάμεσα στις κλάσεις (between-class variance), που συμβολίζεται ως σ_B^2 . Η βασική ιδέα είναι πως οι κατηγορίες οι οποίες διαχωρίστηκαν καλά, μπορούν να διακριθούν ως προς τις τιμές έντασης των εικονοστοιχείων τους και αντίστροφα, πως ένα κατώφλι που οδηγεί στον καλύτερο δυνατό διαχωρισμό ανάμεσα στις κλάσεις συναρτήσει των τιμών της έντασής τους, θα ήταν το καλύτερο (βέλτιστο) κατώφλι. Εκτός από τη βελτιστότητα, η μέθοδος του Otsu στηρίζεται αποκλειστικά σε

υπολογισμούς που πραγματοποιούνται πάνω στο ιστόγραμμα μιας εικόνας, που είναι ένας εύκολα υπολογιζόμενος μονοδιάστατος πίνακας τιμών.

Η υλοποίηση της ολικής κατωφλίωσης στο Matlab γίνεται με τη χρήση της συνάρτησης “graythresh”, η οποία υπολογίζει ένα κατώφλι χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Otsu (Σχήμα 5.13). Η συνάρτηση “graythresh” παίρνει μία εικόνα, υπολογίζει το ιστόγραμμά της και, στη συνέχεια, βρίσκει την τιμή του κατωφλίου που μεγιστοποιεί την $σβ^2$. Η εντολή της συνάρτησης είναι

$$T = \text{graythresh}(f) , \quad (5.22)$$

όπου f είναι η εικόνα εισόδου και T είναι η υπολογιζόμενη τιμή κατωφλίου.



Σχήμα 5.13: α) Σκαναρισμένο κείμενο, β) κατωφλιωμένο κείμενο χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *graythresh* [87].

5.3.2 Τοπική κατωφλίωση

Σε περιπτώσεις όπου η εικόνα έχει επηρεαστεί σε αρκετά μεγάλο βαθμό από θόρυβο, η αποτελεσματικότητα της ολικής κατωφλίωσης είναι μικρή, καθώς είναι δύσκολος ο διαχωρισμός των κατανομών αντικειμένου και φόντου. Η μέθοδος που ακολουθείται, επομένως, είναι εκείνη της τοπικής κατωφλίωσης. Το κατώφλι T δεν είναι ίδιο για όλη την εικόνα, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή, δηλαδή είναι $T = T(x, y)$. Στην περίπτωση αυτή, η κατατμημένη εικόνα υπολογίζεται ως

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{εάν } f(x, y) \geq T(x, y) \\ 0 & \text{εάν } f(x, y) < T(x, y) \end{cases} \quad (5.23)$$

5.4 Κατάτμηση βασισμένη σε περιοχές

Στόχος της κατάτμησης είναι η υποδιαίρεση μίας εικόνας σε περιοχές. Δύο από τις τεχνικές κατάτμησης που στηρίζονται στην άμεση εύρεση των περιοχών είναι η ανάπτυξη περιοχών (region growing) και ο διαχωρισμός και συγχώνευση περιοχών (region splitting and merging) [87].

5.4.1 Ανάπτυξη περιοχών (region growing)

Η ανάπτυξη περιοχών ορίζεται ως μία διαδικασία η οποία ομαδοποιεί εικονοστοιχεία ή υπο-περιοχές σε μεγαλύτερες περιοχές, με τη βοήθεια προκαθορισμένων κριτηρίων για τη διαδικασία της ανάπτυξης. Η βασική μεθοδολογία είναι να ξεκινήσουμε με ένα σύνολο σημείων που αναπαριστούν “σπόρους” και με τη βοήθειά τους να αναπτύξουμε περιοχές, συνενώνοντας τον κάθε σπόρο με εκείνα τα εικονοστοιχεία της γειτονιάς του που έχουν προκαθορισμένες ιδιότητες, παρόμοιες με αυτές του σημείου - σπόρου (όπως είναι για παράδειγμα προκαθορισμένα διαστήματα τιμών έντασης ή χρώματος).

Η διαδικασία επιλογής ενός συνόλου από ένα ή περισσότερα σημεία εκκίνησης βασίζεται, συχνά, στη φύση του εκάστοτε προβλήματος. Όταν αυτή η εκ των προτέρων γνωστή πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη, η διαδικασία που ακολουθείται συνίσταται στον υπολογισμό για το κάθε εικονοστοιχείο, του ίδιου συνόλου ιδιοτήτων, που τελικά θα χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη εικονοστοιχείων σε περιοχές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης των περιοχών. Εάν το αποτέλεσμα αυτών των υπολογισμών αναδείξει συστάδες τιμών, τότε τα εικονοστοιχεία οι ιδιότητες των οποίων τα τοποθετούν κοντά στο κεντροειδές αυτών των συστάδων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σπόροι της διαδικασίας.

Ένα από τα προβλήματα που σχετίζεται με την ανάπτυξη περιοχών είναι η διατύπωση ενός κανόνα τερματισμού της διαδικασίας ανάπτυξης. Η ανάπτυξη της περιοχής θα σταματήσει όταν δε θα υπάρχουν πλέον άλλα εικονοστοιχεία που να πληρούν τα κριτήρια κατάταξής τους σε κάποια περιοχή. Ορισμένα κριτήρια που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση ενός αλγορίθμου ανάπτυξης περιοχής είναι οι τιμές της έντασης, η υφή και το χρώμα, καθώς και εκείνα που χρησιμοποιούν την έννοια του μεγέθους, την ομοιότητα ανάμεσα σε ένα υποψήφιο εικονοστοιχείο και στα εικονοστοιχεία που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα και το σχήμα της περιοχής που αναπτύσσεται. Η χρήση τέτοιων περιγραφών στηρίζεται στην παραδοχή πως έχουμε στη διάθεσή μας ένα μοντέλο των αναμενόμενων αποτελεσμάτων, τουλάχιστον κατά ένα μέρος του.

Η συνάρτηση για την ανάπτυξη περιοχών στο Matlab είναι

$$[g, NR, SI, TI] = \text{regiongrow}(f, S, T) , \quad (5.24)$$

όπου f είναι η εικόνα εισόδου και S μία παράμετρος που μπορεί να είναι είτε πίνακας, ίδιου μεγέθους με την f , είτε βαθμωτό μέγεθος. Εάν η S είναι πίνακας, περιέχει την τιμή 1 στη θέση των εικονοστοιχείων σπόρων και την τιμή 0 σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις, ενώ αν είναι βαθμωτό μέγεθος ορίζει την τιμή της έντασης έτσι ώστε όλα τα σημεία της f με αυτή την τιμή να γίνονται σημεία- σπόροι. Παρομοίως, το T μπορεί να είναι είτε πίνακας, ίδιου μεγέθους με την f , είτε βαθμωτό μέγεθος. Εάν είναι πίνακας, περιέχει μία τιμή κατώφλιου για κάθε περιοχή της f , ενώ αν είναι βαθμωτό μέγεθος ορίζει ένα ολικό κατώφλι. Η τιμή κατώφλιου χρησιμοποιείται για να ελέγξει εάν ένα pixel της εικόνας είναι αρκετά όμοιο με τον σπόρο με τον οποίο έχει 8-συνδεσιμότητα.

Στην έξοδο, g είναι η κατατμημένη εικόνα της οποίας τα μέλη από κάθε περιοχή έχουν χαρακτηριστεί από μία ακέραια τιμή. Η παράμετρος NR αποτελεί τον αριθμό των διαφορετικών περιοχών, η παράμετρος SI είναι μία εικόνα που περιέχει τα σημεία - σπόρους και, τέλος, η παράμετρος TI είναι μία

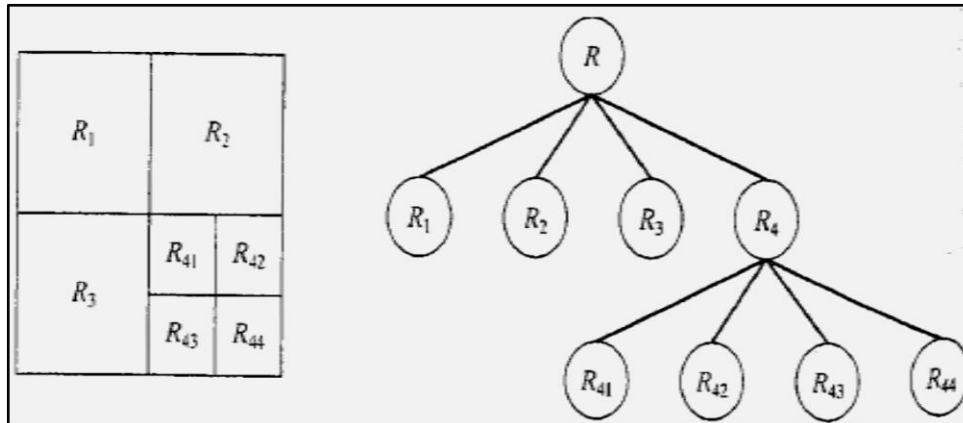
εικόνα που περιλαμβάνει τα pixels που έχουν περάσει το τεστ κατωφλίωσης προτού υποβληθούν στη διαδικασία συνδεσιμότητας. Οι παράμετροι SI και TI έχουν το ίδιο μέγεθος με την f .

5.4.2 Διαχωρισμός και συγχώνευση περιοχών

Μία άλλη διαδικασία κατάτμησης βασισμένη σε περιοχές είναι να υποδιαιρέσουμε αρχικά μία εικόνα σε ένα σύνολο αυθαίρετων περιοχών ξένων (μη επικαλυπτόμενων) μεταξύ τους και, στη συνέχεια, να τις συγχωνεύσουμε ή να τις υποδιαιρέσουμε, ώστε να ικανοποιείται ταυτόχρονα ο κανόνας κατάτμησης που διατυπώθηκε στην ενότητα 5.1.

Εστω R ολόκληρη η περιοχή μίας εικόνας και Q ένα κατηγορημα. Μία προσέγγιση για την κατάτμηση της R είναι η διαδοχική υποδιαίρεσή της σε ολοένα και μικρότερα τεταρτημόρια έτσι ώστε, για την κάθε περιοχή R_i να είναι $Q(R_i) = \text{TRUE}$. Αρχικά ξεκινάμε με ολόκληρη την περιοχή και αν είναι $Q(R) = \text{FALSE}$ υποδιαιρούμε την περιοχή σε τεταρτημόρια. Εάν για κάθε τεταρτημόριο το κατηγορημα Q εκτιμηθεί ως ψευδές, υποδιαιρούμε αυτό το τεταρτημόριο σε υποτεταρτημόρια, κ.ο.κ. Αυτή η τεχνική υποδιαίρεσης χαρακτηρίζεται από μία εύχρηστη αναπαράσταση με τη μορφή των επονομαζόμενων τετραδικών δέντρων (quadtrees), δηλαδή δέντρων στα οποία ο κάθε κόμβος έχει ακριβώς τέσσερις απογόνους (Σχήμα 5.14) και οι εικόνες που αντιστοιχούν στους κόμβους καλούνται τετραδικές περιοχές (quadregions) ή τετραδικές εικόνες (quadimages).

Εκτός από τη συνένωση περιοχών της εικόνας, μπορεί να επιτραπεί και η συγχώνευση παρακείμενων περιοχών, τα συνδυασμένα εικονοστοιχεία των οποίων ικανοποιούν το κατηγορημα Q . Δηλαδή, δύο παρακείμενες περιοχές R_j και R_k συγχωνεύονται μόνο όταν είναι $Q(R_j \cup R_k) = \text{TRUE}$.



Σχήμα 5.14: Τμηματοποιημένη εικόνα και το αντίστοιχο τετραδικό δέντρο [87].

Τα βήματα που ακολουθούνται στη διαδικασία διαχωρισμού και συγχώνευσης περιοχών είναι τα εξής:

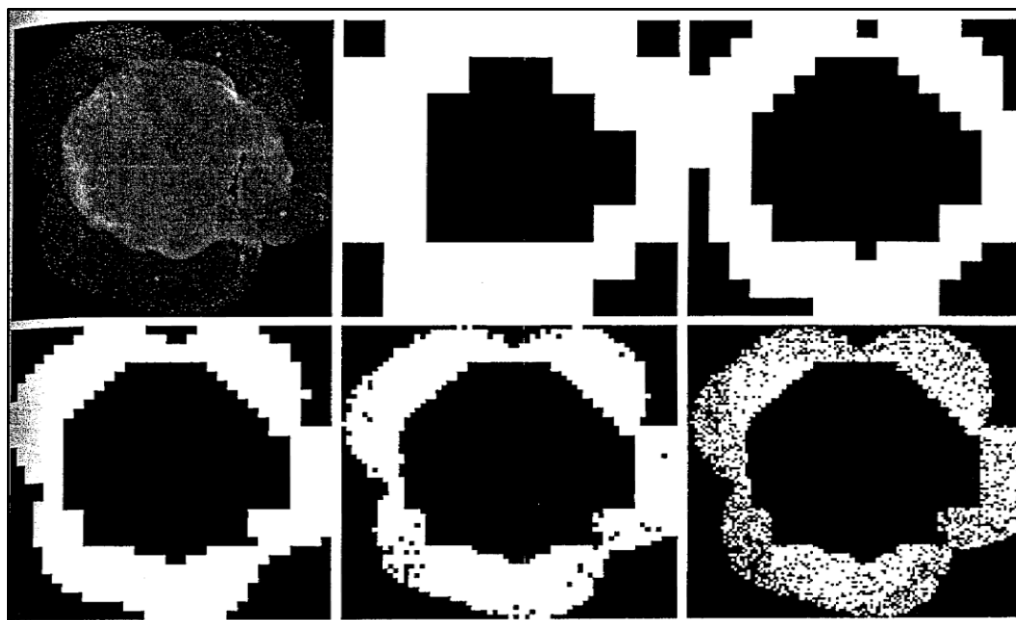
- Διαχωρισμός κάθε περιοχής R_i σε τέσσερα ξένα μεταξύ τους τεταρτημόρια, για την οποία είναι $Q(R_i) = \text{FALSE}$.
- Όταν η περαιτέρω υποδιαίρεση δεν είναι δυνατή, πραγματοποιείται συγχώνευση όλων των παρακείμενων περιοχών R_j και R_k για τις οποίες είναι $Q(R_j \cup R_k) = \text{TRUE}$.
- Η διαδικασία τερματίζεται όταν δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση περαιτέρω συγχωνεύσεων.

Μία απλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας είναι εφικτή αν στο Βήμα 2 επιτρέψουμε τη συγχώνευση δύο οποιωνδήποτε παρακείμενων περιοχών R_i και R_j , εάν η κάθε μία από αυτές εξυπηρετεί ξεχωριστά το παραπάνω κατηγορημα. Μία βασική συνάρτηση διαχωρισμού και συγχώνευσης περιοχών στο Matlab που χρησιμοποιεί αυτήν την απλοποίηση καλείται `splitmerge` και έχει την ακόλουθη σύνταξη

$$g = \text{splitmerge}(f, \text{mindim}, \text{predicate}) , \quad (5.25)$$

όπου f είναι η εικόνα εισόδου και g είναι η εικόνα εξόδου, στην οποία κάθε συνδεδεμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από έναν διαφορετικό ακέραιο. Η παράμετρος `mindim` ορίζει το μέγεθος του μικρότερου μπλοκ που επιτρέπεται

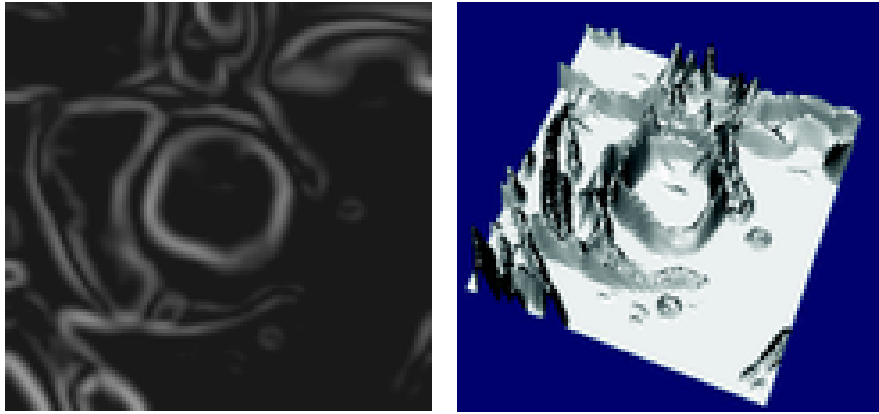
στη διάσπαση και πρέπει να είναι θετικός ακέραιος της δύναμης του 2 (Σχήμα 5.15).



Σχήμα 5.15: Κατάτμηση εικόνας με τη διαδικασία διαχωρισμού και συγχώνευσης περιοχών. (a) Αρχική εικόνα, (b) έως (f) αποτελέσματα κατάτμησης χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *splitmerge* με την παράμετρο *midmin* να παίρνει διαδοχικά τις τιμές 32, 16, 8, 4 και 2 [87].

5.5 Κατάτμηση εικόνας με μορφολογικά *watersheds*

Μία μονοχρωματική εικόνα επιπέδων του γκρι μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τοπογραφικό ανάγλυφο, όπου η φωτεινότητα κάθε *pixel* θα αντιστοιχεί στο ύψος του ανάγλυφου σε εκείνο το σημείο. Αν ρίξουμε νερό σε μία τέτοια επιφάνεια, αυτό θα ρέει κατά μήκος ενός μονοπατιού, μέχρι να καταλήξει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο. Αν τώρα πλημμυρίσουμε την τοπογραφική επιφάνεια τοποθετώντας πηγές νερού στα τοπικά ελάχιστα και αν δεν επιτρέψουμε τη συνένωση των υδάτων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές χτίζοντας φράγματα μεταξύ τους, τότε θα διαιρέσουμε την επιφάνεια στις λεκάνες απορροής (*catchment basins*) και στους υδροκρίτες (*watersheds lines*) αυτών (Σχήμα 5.16) [89],[94].



Σχήμα 5.16: (α) Αρχική εικόνα κλίσης MRI καρδιάς και (β) η τοπογραφική της άποψη [88].

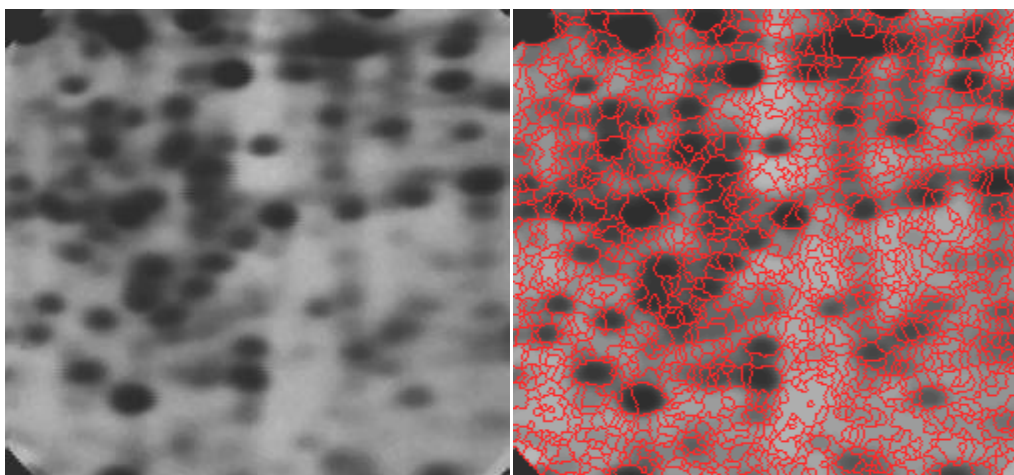
5.5.1 Κατάτμηση watershed χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό απόστασης

Ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με το μετασχηματισμό watershed για την κατάτμηση εικόνας είναι ο μετασχηματισμός απόστασης (distance transform). Ο μετασχηματισμός απόστασης μίας δυαδικής εικόνας είναι ουσιαστικά η απόσταση από κάθε pixel μέχρι το κοντινότερο μη μηδενικής τιμής pixel. Τα μοναδιαίας τιμής pixel έχουν μηδενική τιμή μετασχηματισμού απόστασης. Η συνάρτηση μετασχηματισμού απόστασης στο Matlab είναι

$$D = \text{bwdist}(f) , \quad (5.26)$$

5.5.2 Κατάτμηση watershed χρησιμοποιώντας την κλίση της εικόνας

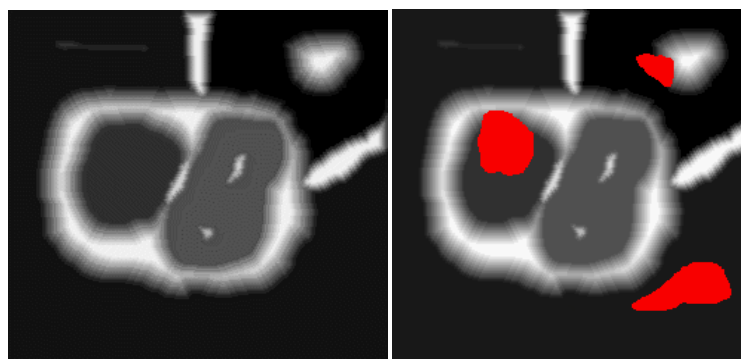
Η εφαρμογή του μετασχηματισμού watershed στην εικόνα κλίσης δημιουργεί πάρα πολλές λεκάνες απορροής, όπου η καθεμία αντιστοιχεί σε ένα τοπικό ελάχιστο στη συνάρτηση της κλίσης. Τα περισσότερα από αυτά τα ελάχιστα, δημιουργούνται είτε από θόρυβο είτε από τοπικές ανωμαλίες στην εικόνα και, τελικά, συμβάλλουν στην υπερ - κατάτμηση (Σχήμα 5.17). Τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να βελτιωθούν ως ένα βαθμό αν φιλτράρουμε την εικόνα των κλίσεων πριν το μετασχηματισμό.



Σχήμα 5.17: (a) Εικόνα ηλεκτροφόρησης, (b) το αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου κατάτμησης watershed πάνω στην εικόνα - κλίση [87].

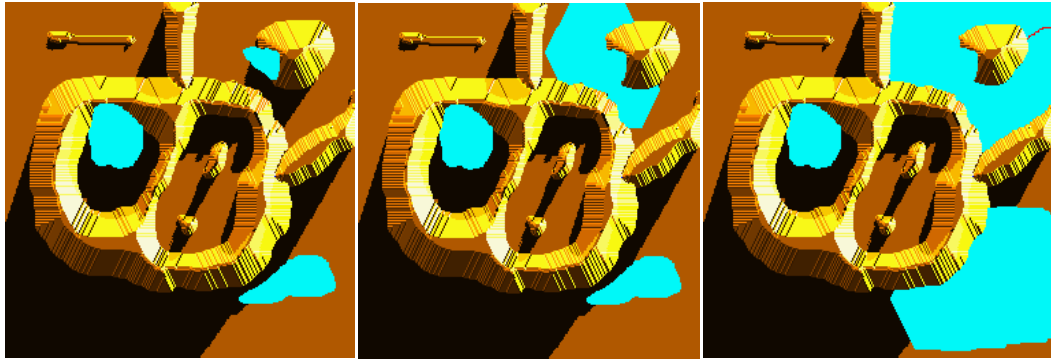
5.5.3 Η χρήση δεικτών

Μία εξαιρετικά σημαντική βελτίωση του μετασχηματισμού watershed αποτελεί το πλημμύρισμα της τοπογραφικής επιφάνειας, τοποθετώντας τις πηγές νερού, όχι πια στα τοπικά ελάχιστα της κλίσης της εικόνας, αλλά σε προκαθορισμένα σημεία τα οποία ονομάζονται δεικτές (markers). Το νερό θα αρχίσει να κυλάει στο ανάγλυφο, δημιουργώντας τόσες λεκάνες απορροής όσοι και οι δεικτές που ορίσαμε. Ένα παράδειγμα για τη λειτουργία του μετασχηματισμού watershed με τη χρήση δεικτών για την κατάτμηση μίας εικόνας σε τρεις περιοχές παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.18.



(a)

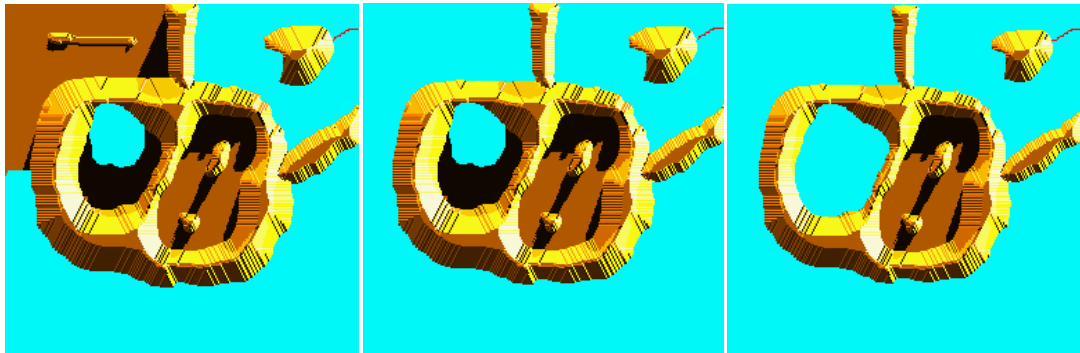
(b)



(c)

(d)

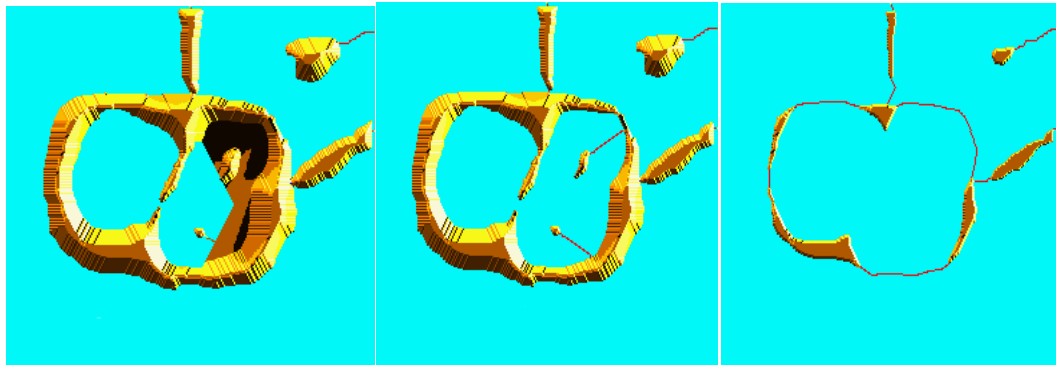
(e)



(f)

(g)

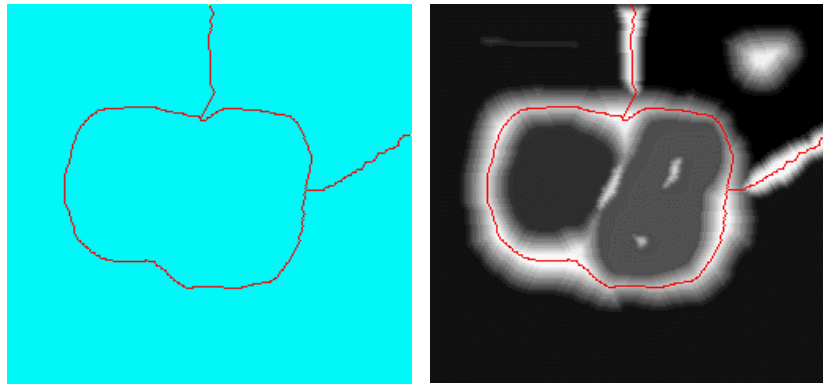
(h)



(i)

(j)

(k)



(l)

(m)

Σχήμα 5.18: (a) Αρχική εικόνα, (b) επιλογή των δεικτών, (c) – (l) στάδια πλημμυρίσματος και (m) οι τελικές γραμμές διαχωρισμού του νερού [87].

5.6 Περίληψη

Η κατάτμηση εικόνας συνιστά ένα αναγκαίο προκαταρκτικό βήμα στις περισσότερες εφαρμογές ανάλυσης σκηνής και αυτοματοποιημένης αναγνώρισης προτύπων σε εικόνες. Η επιλογή της μιας τεχνικής κατάτμησης έναντι της άλλης υπαγορεύεται κυρίως από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος που θεωρούμε. Οι μέθοδοι που συζητήθηκαν παραπάνω είναι ενδεικτικές των τεχνικών που χρησιμοποιούνται συνήθως στην πράξη.

Κεφάλαιο 6

Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων – Επεξεργασία εικόνας στο Matlab

6.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται από τη στιγμή της λήψης της φωτογραφίας ενός δοντιού μέχρι την επεξεργασία της από τον οδοντίατρο και την αυτόματη ανάλυση της από το λογισμικό του Matlab. Αρχικά, εισέρχεται μία εικόνα ασθενή, η οποία εισάγεται στη βάση δεδομένων. Ο γιατρός επεξεργάζεται την εικόνα με χρήση του αντίστοιχου εργαλείου στο Matlab και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων. Στη συνέχεια, η εικόνα του ασθενούς ανακτάται από τη βάση και «τρέχει» το εργαλείο το οποίο εντοπίζει αυτόματα τις περιοχές της τερηδόνας. Η εικόνα που προκύπτει συγκρίνεται με αυτήν που χαρακτήρισε ο γιατρός.

6.2 Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων

Το πρώτο μέρος αυτής της διαδικασίας είναι η συλλογή και η αποθήκευση των εικόνων σε ένα σύστημα εύκολα προσβάσιμο από τον γιατρό, το οποίο θα επιτρέπει την ανάκτηση της εκάστοτε εικόνας ενός ασθενούς, καθώς και την περαιτέρω επεξεργασία της. Οι εικόνες θα πρέπει να απεικονίζουν ένα δόντι και να έχουν ληφθεί σε συνθήκες εργαστηρίου (in vitro). Το σύστημα αυτό που περιλαμβάνει εικόνες οι οποίες απεικονίζουν περιοχές μασητικής τερηδόνας αποτελεί τη βάση δεδομένων.

6.2.1 Εισαγωγή στη Βάση Δεδομένων

Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (database-management system - DBMS) είναι ένα σύνολο από σχετιζόμενα δεδομένα και ένα σύνολο από προγράμματα που χρησιμοποιούνται για πρόσβαση σε αυτά τα δεδομένα. Με τον όρο “βάση δεδομένων” καλούμε μία συλλογή δεδομένων που περιέχει πληροφορίες σχετικές με έναν οργανισμό.

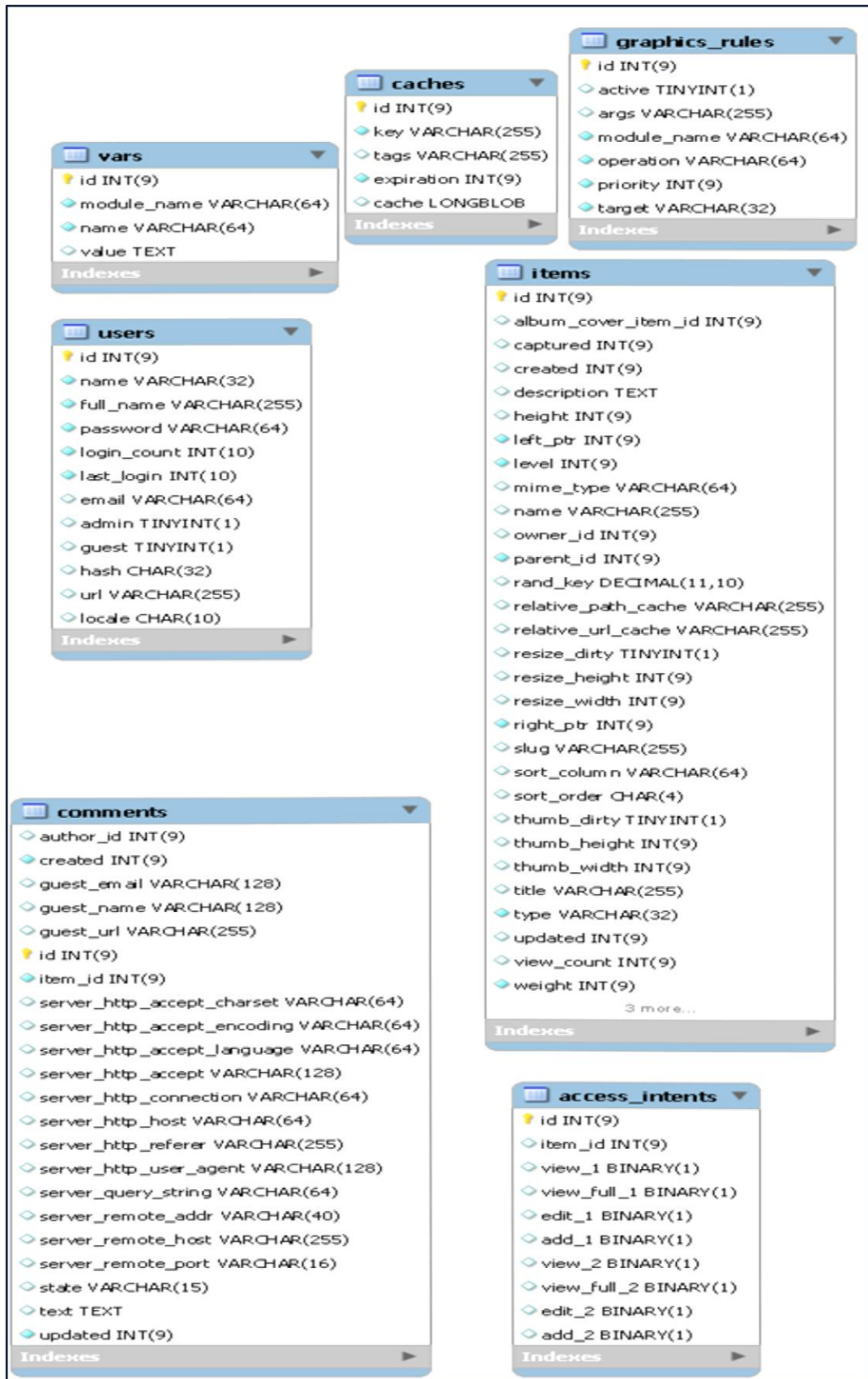
Κάτω από την δομή μίας βάσης δεδομένων είναι το μοντέλο δεδομένων, δηλαδή ένα σύνολο από λογικά εργαλεία για περιγραφή των δεδομένων, των σχέσεων τους, της σημασίας τους και τον περιορισμό συνέπειας. Ένα μοντέλο δεδομένων παρέχει έναν τρόπο να περιγραφεί η σχεδίαση μίας βάσης δεδομένων σε λογικό επίπεδο, φυσικό επίπεδο και επίπεδο προβολής. Το φυσικό επίπεδο περιγράφει τον τρόπο που αποθηκεύονται τα δεδομένα, ενώ το λογικό επίπεδο περιγράφει ποια δεδομένα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων και ποιες σχέσεις υπάρχουν μεταξύ τους. Τέλος, το επίπεδο προβολής περιγράφει μέρος μόνο ολόκληρης της βάσης δεδομένων.

Ένα μοντέλο δεδομένων το οποίο χρησιμοποιείται συχνά στη σχεδίαση βάσεων δεδομένων είναι το μοντέλο Οντότητας - Σχέσης (Entity-Relationship Model - E-R). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί ένα σύνολο από απλά αντικείμενα, που ονομάζονται οντότητες και τις σχέσεις μεταξύ αυτών των αντικειμένων. Μία οντότητα είναι ένα “πράγμα” ή ένα “αντικείμενο” του φυσικού κόσμου που ξεχωρίζει από άλλα αντικείμενα και περιγράφεται σε μία βάση δεδομένων από ένα σύνολο ιδιοτήτων. Οι ιδιότητες είναι περιγραφικά χαρακτηριστικά που έχει κάθε μέλος ενός συνόλου οντοτήτων και καθμία παίρνει μία τιμή για κάθε οντότητα. Εντούτοις, οι τιμές των ιδιοτήτων μίας οντότητας πρέπει να είναι τέτοιες που να μπορούν να προσδιορίζουν μοναδικά την οντότητα. Χρησιμοποιούμε τον όρο “πρωτεύον κλειδί” για να περιγράψουμε εκείνο το σύνολο ιδιοτήτων μίας οντότητας που αρκεί για να την διαχωρίσει από τις υπόλοιπες.

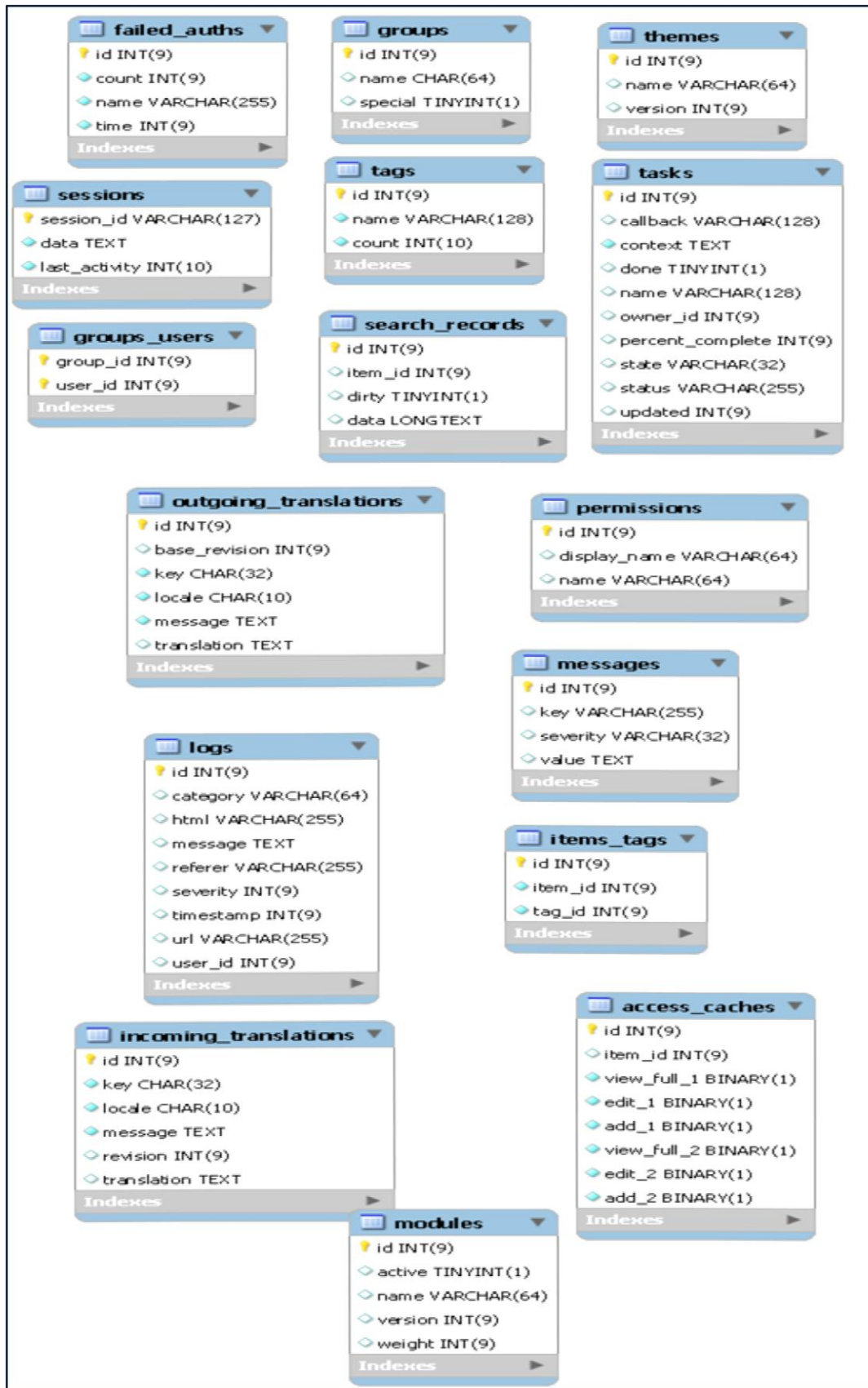
Η γενική λογική δομή (σχήμα) μίας βάσης δεδομένων μπορεί να εκφράζεται γραφικά από ένα διάγραμμα οντότητας - σχέσης (E-R), όπου, συνήθως, τα σύνολα οντοτήτων αντιπροσωπεύονται από ένα ορθογώνιο πλαίσιο, με το όνομα του συνόλου οντοτήτων στην επικεφαλίδα και τις ιδιότητες από κάτω. Η πρώτη γραμμή των ιδιοτήτων σε κάθε πλαίσιο αποτελεί το πρωτεύον κλειδί της κάθε οντότητας. Το σύνολο οντοτήτων της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία φαίνεται στο *Σχήμα 6.1a,β*.

Τέλος, ένα σύστημα βάσης δεδομένων παρέχει μία γλώσσα ορισμού των δεδομένων (DDL), με την οποία καθορίζεται το σχήμα της βάσης δεδομένων και μία γλώσσα χειρισμού των δεδομένων (DML), για να εκφράζονται τα ερωτήματα και οι ενημερώσεις στη βάση δεδομένων. Οι γλώσσες αυτές αποτελούν μέρη της γλώσσας SQL. Κάποιοι από τους ενσωματωμένους τύπους που υποστηρίζονται από το πρότυπο SQL και εμφανίζονται και στις ιδιότητες του Σχήματος 6.1 είναι οι εξής [26]:

- INT: ένας ακέραιος (integer).
- CHAR(n): μία συμβολοσειρά σταθερού μήκους n καθορισμένου από το χρήστη.
- VARCHAR(n): μία συμβολοσειρά μεταβλητού μήκους με μέγιστο μήκος n καθορισμένο από το χρήστη.



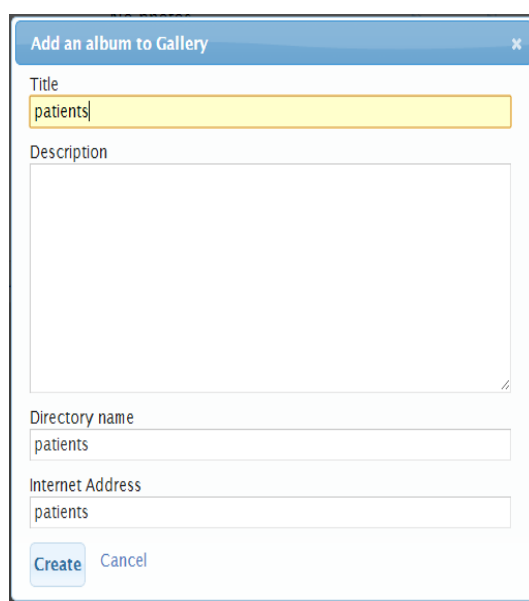
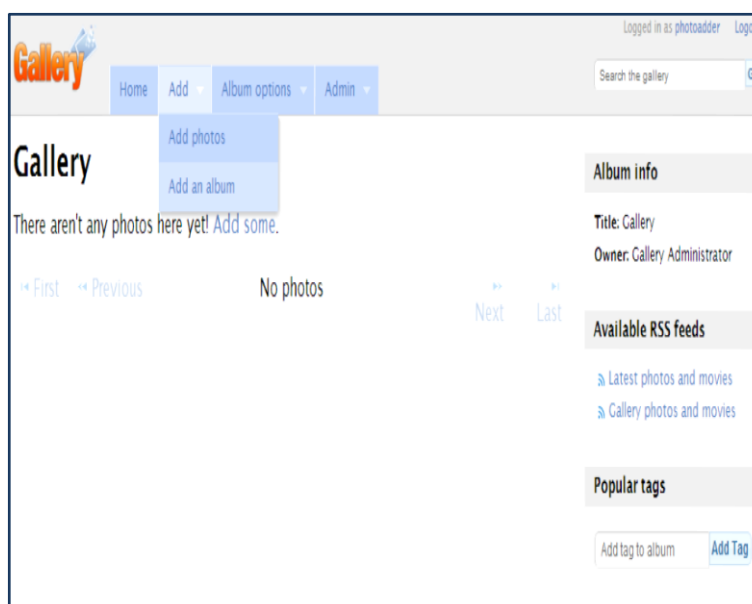
Σχήμα 6.1α: Σύνολο οντοτήτων της βάσης δεδομένων.



Σχήμα 6.1β: Σύνολο οντοτήτων της βάσης δεδομένων.

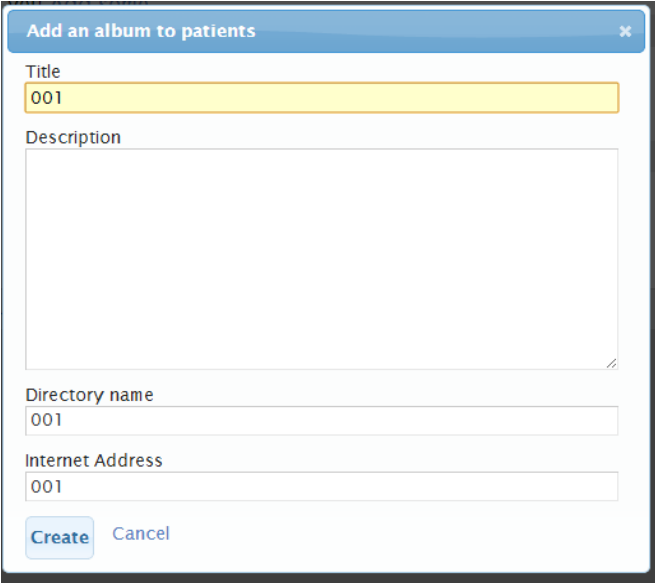
6.2.2 Επεξεργασία Βάσης Δεδομένων

Αρχικά, η πρόσβαση στο σύστημα γίνεται μέσω του server <http://195.130.121.3/gallery3/index.php/>. Έπειτα, επιλέγοντας την καρτέλα “Add” και εν συνεχεία “Add an album”, δημιουργούμε μία συλλογή με το όνομα “patients” που θα περιλαμβάνει τις εικόνες των ασθενών (Σχήμα 6.2).

The screenshot shows a dialog box titled 'Add an album to Gallery'. It contains the following fields: 'Title' with the value 'patients', 'Description' (empty), 'Directory name' with the value 'patients', and 'Internet Address' with the value 'patients'. At the bottom, there are 'Create' and 'Cancel' buttons.

Σχήμα 6.2: Δημιουργία ενός άλμπουμ για τις εικόνες ασθενών.

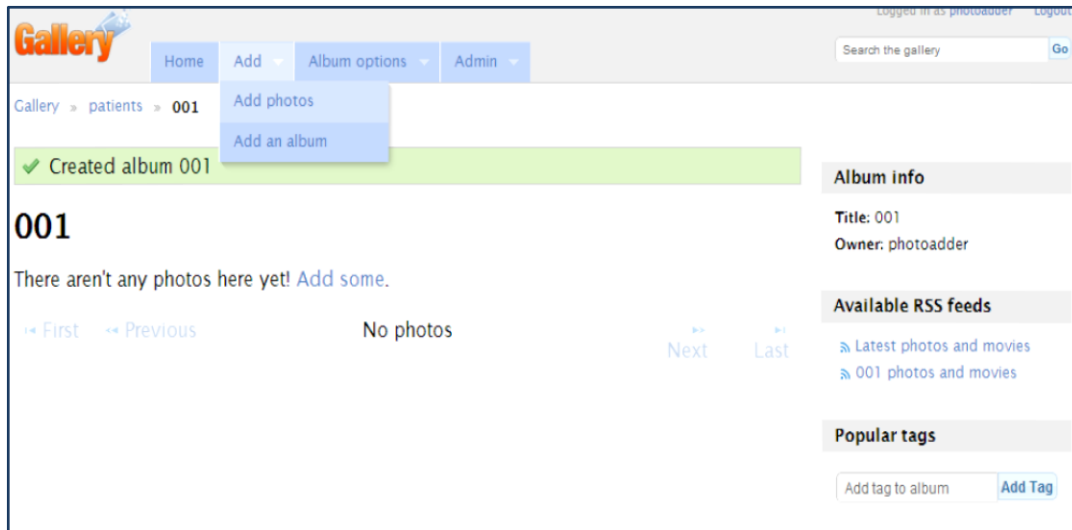
Στη συνέχεια, μέσα σε αυτό το άλμπουμ, δημιουργούμε καινούργιο άλμπουμ για κάθε ασθενή, που θα περιλαμβάνει τις φωτογραφίες των μασητικών επιφανειών. Ο τίτλος του άλμπουμ για τον πρώτο ασθενή είναι “001”, για τον δεύτερο ασθενή “002” κ.ο.κ. (Σχήμα 6.3). Η συλλογή που δημιουργήσαμε περιλαμβάνει ένα δείγμα 146 ασθενών.



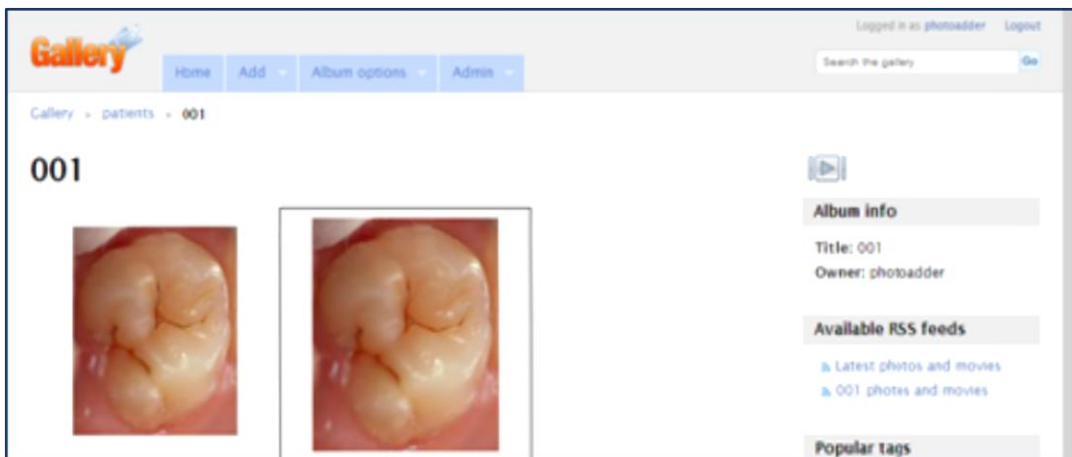
The image shows a web form titled "Add an album to patients". The form has a blue header with a close button. It contains four input fields: "Title" with the value "001", "Description" (empty), "Directory name" with the value "001", and "Internet Address" with the value "001". At the bottom, there are "Create" and "Cancel" buttons.

Σχήμα 6.3: Δημιουργία άλμπουμ για κάθε ασθενή.

Ακολούθως, σε κάθε ένα από αυτά τα καινούργια άλμπουμ εισάγουμε τις εικόνες του εκάστοτε ασθενή. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας την καρτέλα “Add” → “Add photos” και, έπειτα, την καρτέλα “select photos”, με την οποία μεταβαίνουμε στο φάκελο που περιέχει την επιθυμητή εικόνα (Σχήμα 6.4). Ο γιατρός, μπορεί να ανακτά την εικόνα που επιθυμεί από τη βάση δεδομένων, και αφού την επεξεργαστεί όπως θα δούμε στη συνέχεια, να εισάγει τη νέα εικόνα στο άλμπουμ του αντίστοιχου ασθενούς. Τελικά, κάθε άλμπουμ της συλλογής “patients” περιλαμβάνει δύο εικόνες, την αρχική και την χαρακτηρισμένη από το γιατρό εικόνα (Σχήμα 6.5).



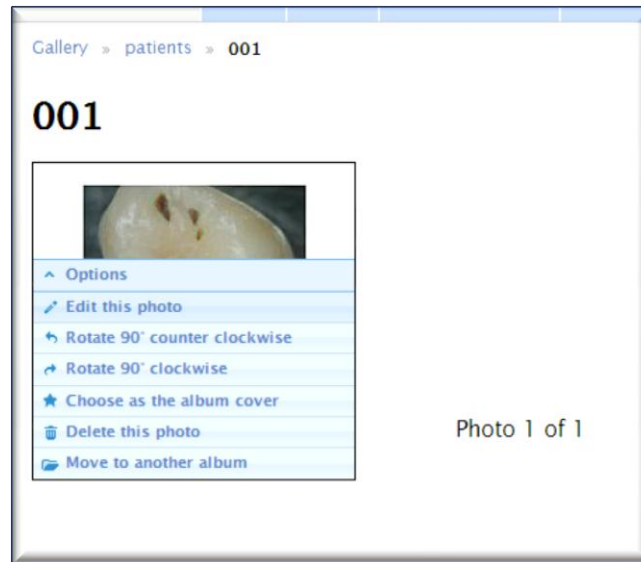
Σχήμα 6.4: Εισαγωγή εικόνων στο άλμπουμ.



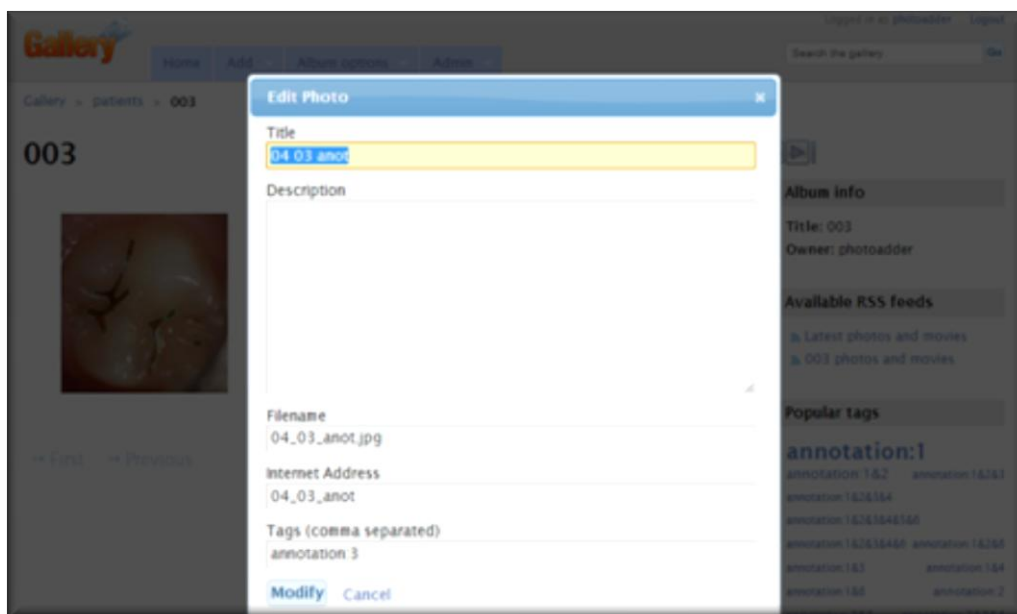
Σχήμα 6.5: Άλμπουμ ενός ασθενούς.

Μετά την προσθήκη της χαρακτηρισμένης εικόνας, από την καρτέλα “Options” επιλέγουμε “Edit this photo” και στο μενού που εμφανίζεται συμπληρώνουμε τις πληροφορίες που έχουμε από το γιατρό (Σχήμα 6.6). Στο δείγμα εικόνων που υπάρχουν συγκεντρωμένες στη βάση δεδομένων, οι πληροφορίες αφορούν στην κατηγοριοποίηση της μασητικής τερηδόνας με βάση το πρότυπο ICDAS. Συνεπώς, κάθε μασητική επιφάνεια φέρει σαν χαρακτηρισμό τη λέξη “annotation” ακολουθούμενη από μία ή και περισσότερες τιμές από το 1 (για ICDAS 0) έως το 7 (για ICDAS 6), ανάλογα

με την κατηγορία στην οποία ανήκει, σύμφωνα πάντα με την αξιολόγηση του γιατρού (Σχήμα 6.7).



Σχήμα 6.6: Επεξεργασία των πληροφοριών μίας εικόνας.



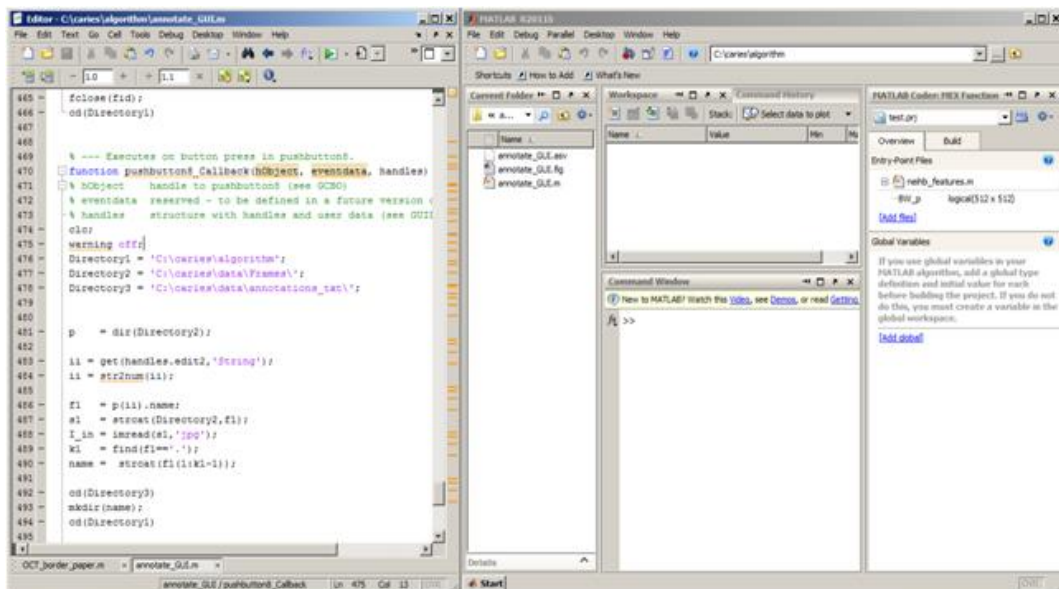
Σχήμα 6.7: Χαρακτηρισμός μασητικής επιφάνειας.

6.3 Επεξεργασία εικόνας στο Matlab

Όπως προαναφέρθηκε, μετά την αποθήκευση των εικόνων στη βάση δεδομένων μπορεί να γίνει ανάκτησή τους από το γιατρό για περαιτέρω επεξεργασία. Η επεξεργασία αυτή πραγματοποιείται στο Matlab με σκοπό την εύρεση των τερηδονικών αλλοιώσεων και επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: είτε από τον ίδιο το γιατρό, οποίος εντοπίζει και χαρακτηρίζει τις περιοχές μασητικής τερηδόνας, είτε αυτόματα από το Matlab, με χρήση ενός κώδικα που επιτρέπει μόνο τον εντοπισμό των υπό βλάβη περιοχών.

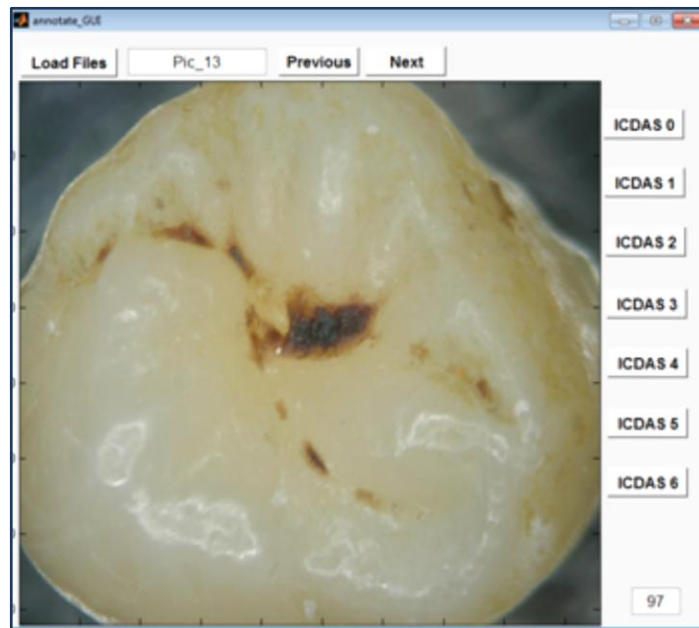
6.3.1 Χαρακτηρισμός δεδομένων από τον γιατρό

Για τον χαρακτηρισμό των εικόνων από το γιατρό έχει αναπτυχθεί πρόγραμμα με γραφικό περιβάλλον σε Matlab που ονομάζεται `annotate_GUI.m`. Αρχικά, ο γιατρός επιλέγει από τη βάση δεδομένων την εικόνα του ασθενούς που θέλει να αξιολογήσει και την αποθηκεύει στο φάκελο "C:\caries\data\Frames". Ακολούθως, στο φάκελο "algorithm" επιλέγει το αρχείο `annotate_GUI.m` και ανοίγει το Matlab (Σχήμα 6.8).

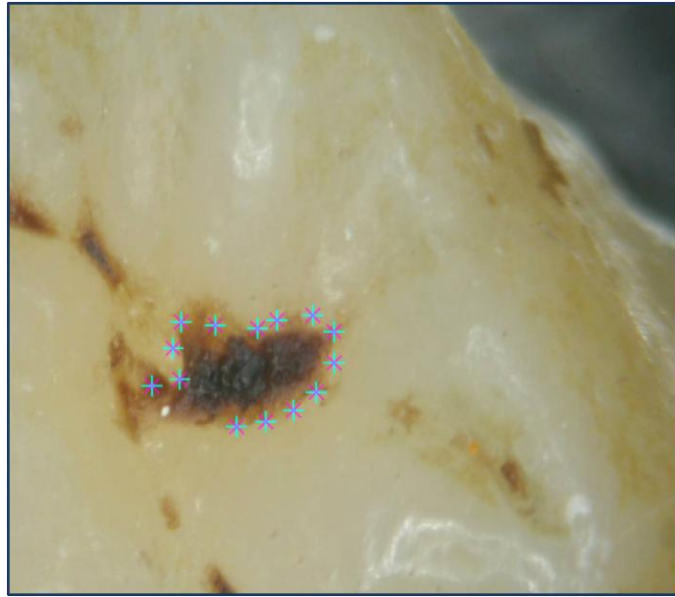


Σχήμα 6.8: Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται για τη χρήση του λογισμικού Matlab.

Επιλέγοντας το αρχείο `annotate_GUI.m` στο “editor window”, εμφανίζεται το εργαλείο χαρακτηρισμού τερηδόνας, στο οποίο μεταφορτώνονται οι εικόνες από τον φάκελο “Frames” (Σχήμα 6.9). Στη συνέχεια, ο γιατρός επιλέγει μία από τις 7 κατηγορίες μασητικής τερηδόνας, σύμφωνα με το πρότυπο ICDAS, έτσι ώστε να χαρακτηρίσει την αντίστοιχη τερηδονισμένη περιοχή (Σχήμα 6.10).



Σχήμα 6.9: Εικόνα δοντιού στο παράθυρο του εργαλείου χαρακτηρισμού τερηδόνας.



Σχήμα 6.10: Κυκλική επιλογή της περιοχής που θέλουμε να χαρακτηρίσουμε.

Κάθε τιμή του προτύπου ICDAS στο συγκεκριμένο εργαλείο αντιστοιχεί σε διαφορετικό αριθμό και χρώμα, τα οποία προστίθενται στις πληροφορίες της εικόνας όταν εκείνη εισάγεται στη βάση δεδομένων. Η αντιστοίχιση αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1: Αντιστοίχιση τιμών- χρωμάτων για το χαρακτηρισμό εικόνας.

ICDAS 0	annotation: 1	κίτρινο
ICDAS 1	annotation: 2	πράσινο
ICDAS 2	annotation: 3	κυανό
ICDAS 3	annotation: 4	μωβ
ICDAS 4	annotation: 5	μπλε
ICDAS 5	annotation: 6	κόκκινο
ICDAS 6	annotation: 7	μαύρο

6.3.2 Αυτόματος εντοπισμός μασητικής τερηδόνας

Για τον εντοπισμό της τερηδόνας στις μασητικές επιφάνειες χωρίς την επέμβαση του γιατρού, έχει δημιουργηθεί ένας κώδικας στο Matlab, οποίος δέχεται σαν είσοδο την αρχική εικόνα και επιστρέφει σαν έξοδο την κατατμημένη εικόνα, όπου εμφανίζονται οι περιοχές τερηδονικής αλλοίωσης.

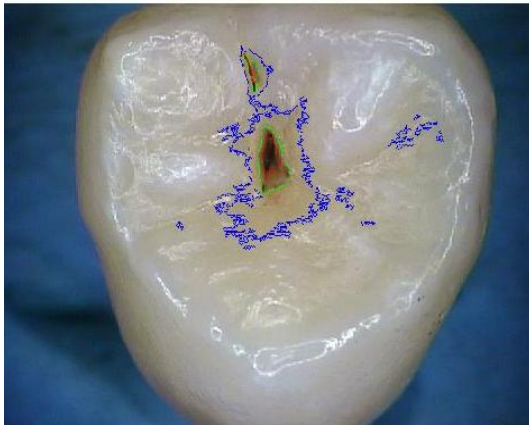
Για την κατάτμηση της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες από τις τεχνικές που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 5, καθώς και άλλα μορφολογικά φίλτρα. Μία από αυτές τις τεχνικές είναι η μέθοδος Otsu για την υλοποίηση της ολικής κατωφλίωσης με χρήση της συνάρτησης “graythresh”. Αφού υπολογιστεί το κατάλληλο κατώφλι που πρέπει να εφαρμοστεί στην εικόνα για να τη μετατρέψει σε δυαδική, εντοπίζει τα αντικείμενα σε αυτή και διώχνει ότι υπάρχει εκτός της περιοχής του δοντιού.

Μία άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται στη συνέχεια, είναι η ανάπτυξη περιοχών (region growing), με χρήση της συνάρτησης “regionprops”, η οποία δημιουργεί το πλαίσιο οριοθέτησης του δοντιού και των αντικειμένων της εικόνας. Η επεξεργασία γίνεται σε τρία διαφορετικά κανάλια, τα οποία ενώνονται στο τέλος σε μία εικόνα.

Τέλος, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως η μέση αντίθεση και το μέτρο της ομοιομορφίας, και εμφανίζεται η τελική εικόνα. Στην εικόνα αυτή, εμφανίζονται οι περιοχές μασητικής τερηδόνας, αλλά δεν υπάρχει κάποιος χαρακτηρισμός για την κατηγορία στην οποία ανήκουν αυτές οι περιοχές σύμφωνα με το πρότυπο ICDAS (Σχήμα 6.11, Σχήμα 6.12).



Occlusal Caries Areas



Final Image



Σχήμα 6.11: Αρχική εικόνα (πάνω), περιοχές μασητικής τερηδόνας στα τρία κανάλια (κάτω αριστερά) και τελική εικόνα (κάτω δεξιά).



Σχήμα 6.12: Αρχική εικόνα (πάνω), περιοχές μασητικής τερηδόνας στα τρία κανάλια (κάτω αριστερά) και τελική εικόνα (κάτω δεξιά).

6.3.3 Σύγκριση επεξεργασμένων εικόνων

Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιάσουμε ορισμένα αποτελέσματα από τις εικόνες που χαρακτηρίστηκαν από τον γιατρό σε σχέση με εκείνες που προέκυψαν αυτόματα με τη χρήση του Matlab. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 6.13 έως Σχήμα 6.18), πάνω θα απεικονίζεται η αρχική εικόνα, στη μέση η εικόνα χαρακτηρισμένη από τον γιατρό και κάτω θα φαίνεται η εικόνα που μας δίνει ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε στο Matlab.



Final Image



Σχήμα 6.13: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 3.



Final Image



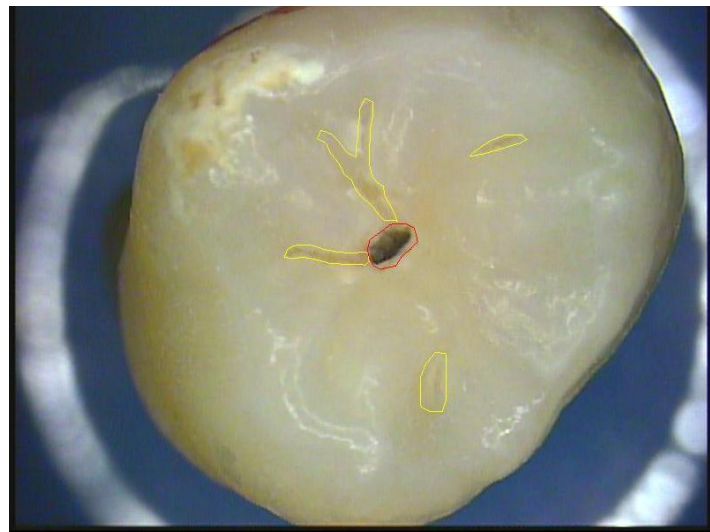
Σχήμα 6.14: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 2.



Final Image



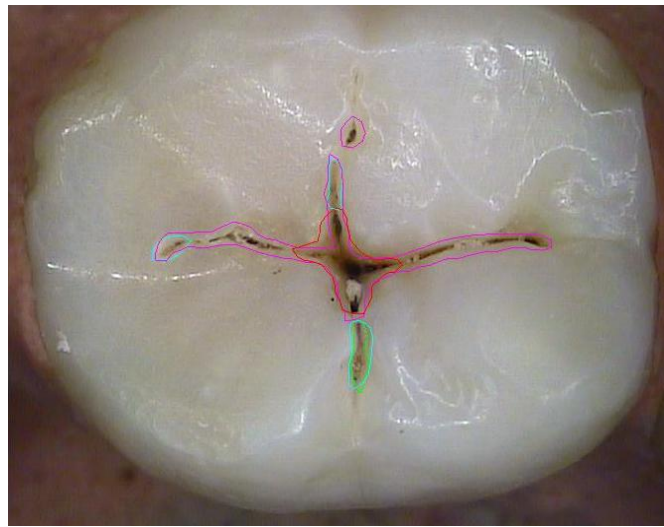
Σχήμα 6.15: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 3 και ICDAS 5.



Final Image



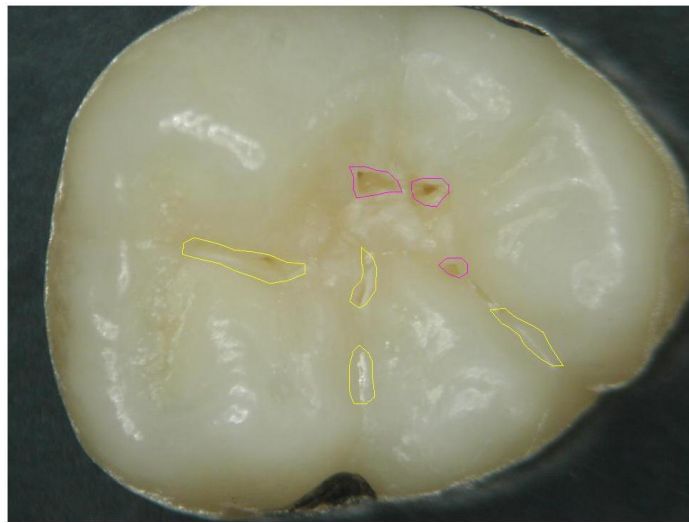
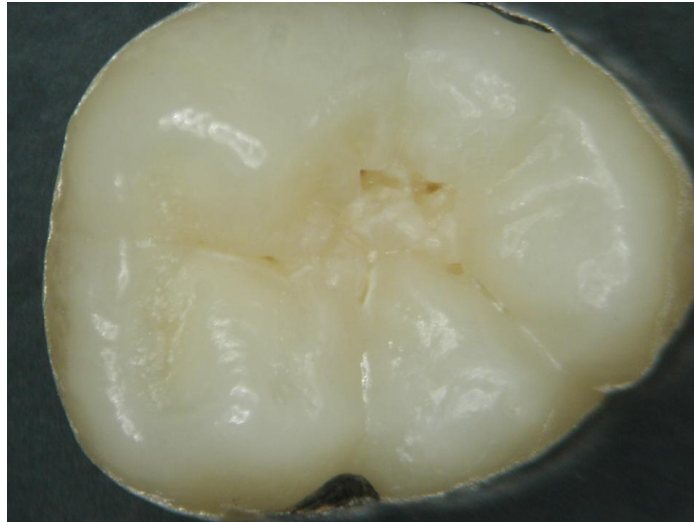
Σχήμα 6.16: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 0 και ICDAS 5.



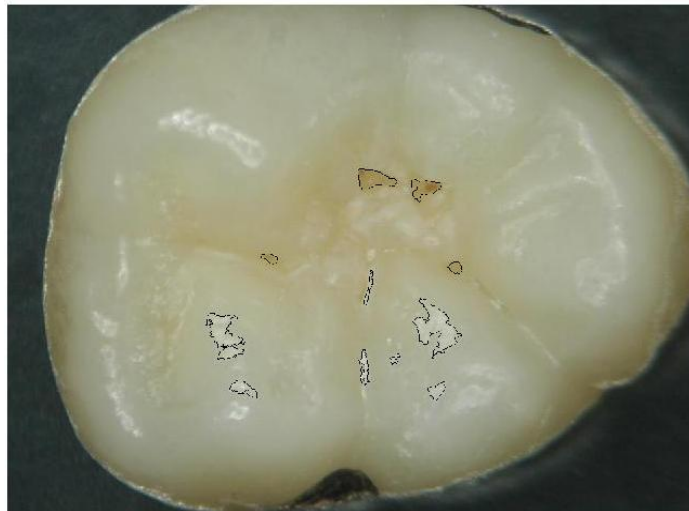
Final Image



Σχήμα 6.17: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 1, ICDAS 2, ICDAS 3 και ICDAS 5.



Final Image



Σχήμα 6.18: Μασητική επιφάνεια με ICDAS 0 και ICDAS 3.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η εικόνα που μας δίνει ο κώδικας του Matlab πλησιάζει αρκετά την εικόνα που έχει χαρακτηρίσει ο γιατρός. Ωστόσο, τις μασητικές επιφάνειες που έχουν χαρακτηριστεί από τον γιατρό είναι εύκολο να τις κατατάξουμε με βάση το πρότυπο ICDAS, ανάλογα με το χρώμα τους, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό στη δεύτερη περίπτωση. Παρόλ' αυτά, ο χαρακτηρισμός της τερηδόνας από τον γιατρό είναι υποκειμενικός και δε μας δίνει πάντα σωστή εκτίμηση.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Αφού έγινε μία περιγραφή της φυσιολογίας του δοντιού, εξετάσαμε, στη συνέχεια, τους παράγοντες που σχετίζονται με τον τερηδονικό κίνδυνο ενός ατόμου, τους τύπους τερηδονικών βλαβών, καθώς και τους τρόπους πρόληψης και θεραπείας της τερηδόνας.

Από τη μελέτη των διαγνωστικών μεθόδων τερηδόνας προέκυψε ότι κάθε μέθοδος διαφοροποιείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τερηδονικής βλάβης και, συνεπώς, δε μπορεί κάποια μέθοδος να χαρακτηριστεί ως ιδανική για όλες τις περιπτώσεις. Παρότι μια χρήσιμη εφαρμογή είναι ο συνδυασμός αυτών των τεχνικών, στην πράξη χρησιμοποιούνται συχνότερα η οπτική παρατήρηση και η ακτινογραφική απεικόνιση. Ο συνδυασμός αυτών των δύο μεθόδων παρέχει στον εξεταστή το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών για την ανίχνευση τερηδόνας, μόνο, όμως, στις περιπτώσεις σοβαρών βλαβών. Η ανίχνευση αλλοιώσεων σε αρχικό στάδιο μπορεί να επιτευχθεί με χρήση συμπληρωματικών, υπολογιστικών μεθόδων, όπως της ψηφιακής ακτινογραφίας, των συσκευών φθορισμού με ακτίνες laser (DIAGNOdent και DIAGNOdent pen), της ψηφιακής απεικόνισης με διερχόμενο φωτισμό οπτικών ινών (DIFOTI) και άλλων οπτικών τεχνικών. Θα πρέπει, ωστόσο, να γίνεται σωστή χρήση αυτών των συσκευών και να λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες που τις επηρεάζουν.

Στην συνέχεια, έγινε μία εκτενής αναφορά στις τεχνικές κατάτμησης εικόνων, η επιλογή των οποίων υπαγορεύεται κάθε φορά από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε προβλήματος. Ορισμένες από αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα του Matlab, από τον οποίο προέκυψαν οι επιφάνειες μασητικής τερηδόνας χωρίς την επέμβαση του εξεταστή. Από τη σύγκριση αυτών των

εικόνων με εκείνες που χαρακτήρισε ο γιατρός, προέκυψε ότι τις περισσότερες φορές οι δύο εικόνες είχαν πολλά κοινά. Ωστόσο, για την κατάταξη κάθε μασητικής επιφάνειας σύμφωνα με το πρότυπο ICDAS, θα πρέπει να έχουμε κατά νου την υποκειμενικότητα του κάθε εξεταστή, καθώς και την ποιότητα της εικόνας που μπορεί να δυσχεραίνει τον χαρακτηρισμό της.

Βιβλιογραφία

- [1] Τζιαφάς Δ. Βιολογία των οδοντικών ιστών, Ανάπτυξη, δομή και λειτουργία. Εκδόσεις University studio press. Πρώτη έκδοση: Θεσσαλονίκη 1999.
- [2] Κακαμπούρα Α., Βουγιουκλάκης Γ. Βασικές αρχές Οδοντικής Χειρουργικής. Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης, 2012.
- [3] <http://www.scripps.org/articles/3366-gingivitis>, 12/08/2013.
- [4] Mandel IH. Relation of saliva and plaque to caries. J Dent Res 1974;53:246-266.
- [5] Marsh PD. Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. Adv Dent Res 1994;8:263-271.
- [6] Barberia E, Maroto M, Arenas M, Silva CC. A clinical study of caries diagnosis with a laser fluorescence system. J Am Dent Assoc. 2008;139(5):572-9.
- [7] Featherstone JBD Dental caries: a dynamic disease process. Australian Dental Journal 2008;53:286-291.
- [8] <http://www.apagard.com/en/web/oral/index.html>, 3/09/2013.
- [9] Loesche WJ. Role of Streptococcus mutans in human dental decay. Microbiol Rev 1986;50:353-380.
- [10] Selwitz R. H, Ismail A. I, Pitts N. B. :Dental caries Lancet 2007;369:51-59.
- [11] Fejerskov O. Concepts of dental caries and their consequences for understanding the disease. Community Dent Oral Epidemiol. 1997;25(1):5-12.
- [12] <http://www.dentalcare.com>,12/08/2013.
- [13] Featherstone JBD. Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. Community Dent Oral Epidemiol. 1999;27:31-40.
- [14] Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A. Dental plaque and caries on occlusal surfaces of first permanent molars in relation to stage of eruption. J Dent Res 1989;68(5):773-9.

- [15] Thomson W M: Dental caries experience in older people over time: what can the large cohort studies tell us? *British Dental Journal* 2004;196:89-92.
- [16] Featherstone JBD. The continuum of dental caries- evidence for a dynamic disease process. *J Dent Res.*2004;83:39-42.
- [17]<http://www.aquafreshscienceacademy.com/oral-health/enamel-protection/dental-cavities.html>,20/08/2013.
- [18] Ekstrand KR, Bjorndal L. Structural analyses of plaque and caries in relation to the morphology of the groove-fossa system on erupting mandibular third molars. *Caries Res.* 1997;31(5):336-48.
- [19] Λουλουδιάδης Κ. Αιτιοπαθογένεια και πρόληψη της τερηδόνας ρίζας. *Οδοντοστοματολογική Πρόοδος* 1997;51:283-290.
- [20] Axelsson. *Diagnosis and Risk Prediction of Dental Caries.* Quintessence Publishing Co, Inc 2000, Karlstad, Sweden.
- [21] Τριχόπουλος Δ. *Επιδημιολογία. Αρχές – Μέθοδοι- Εφαρμογές.* Εκδόσεις Γ. Παρισιάνος Αθήνα 1982.
- [22] Ismail AI. Visual and visuo-tactile detection of dental caries. *J Dent Res* 2004;82:C56-66.
- [23] Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA. Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 1997;31:224–31.
- [24] Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB. The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 2007; 35:170–178.
- [25] Chesters RK, Pitts NB, Matuliene G, Kvedariene A, Huntington E, Bendinskaite R, et al. An abbreviated caries clinical trial design validated over 24 months. *J Dent Res* 2002;81:637–40.

- [26] Abraham Silberschatz, Henry F. Korth [2011]. Database System Concepts, sixth edition.
- [27] <http://www.edental.gr>, 3/09/2013.
- [28] http://www.ododo.gr/index.php?category_id=64, 4/09/2013.
- [29] http://aktinologiaradiologia.blogspot.gr/2011/03/blog-post_24.html, 20/08/2013.
- [30] <http://blog.smile-clinic.gr/?p=526>, 4/09/2013.
- [31] Lazarchik DA, Firestone AR, Heaven TJ, Filler SJ, Lussi A. Radiographic evaluation of occlusal caries: Effect of training and experience. *Caries Res* 1995;29:355-358.
- [32] Gelfand M, Sunderman EJ, Goldman M. Reliability of radiographical interpretations. *J Endodont* 1983;9:71-75.
- [33] Espelid I, Tveit AB, Fjelltveit A. Variations among dentists in radiographic caries detection of occlusal caries. *Caries Res* 1994;28:169-175.
- [34] Creanor SL, Russell JI, Stang DM, Stephen KW, Burchell CK. The prevalence of clinically undetected occlusal dentine caries in Scottish adolescents. *Br Dent J* 1990;169:126-129.
- [35] Ricketts DN, Kidd EA, Smith BG, Wilson RF. Clinical and radiographic diagnosis of occlusal caries: a study in vitro. *J Oral Rehabil* 1995c;22:15-20.
- [36] <http://www.wooddental.com/Technology/DigitalRadiography/tabid/141/Default.aspx>, 12/08/2013.
- [37] Hafström- Björkman U, Sundström F, de Josselin de Jong E, Oliveby A, Angmar-Mansson B. Comparison of laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries. *Caries Res* 1992;26:241-247.
- [38] Brinkman J, ten Bosch JJ, Borsboom PCF. Optimal quantification of natural caries in smooth surfaces of extracted teeth. *Caries Res* 1988;22:257-262.
- [39] Bjelkhagen H, Sundström F, Angmar-Mansson B, Ryden H. Early detection of enamel caries by the luminescence excited by visible laser light. *Swed Dent J* 1982;6:1-7.
- [40] de Josselin de Jong E, Sundström F, Westerling H, Tranaeus S, ten Bosch JJ, Angmar-Mansson B. A new method for in vivo quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. *Caries Res* 1995;29:2-7.

- [41] Hibst R, Gall R. Development of a diode laser-based fluorescence caries detector. *Caries Res* 1998;32:294.
- [42] <http://www.baskingridgedentalarts.com/Technology.html>, 20/08/2013.
- [43] Lussi A, Megert B, Longbottom C, Pitts NB, Reich E, Francescut P. Clinical performance of a laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions. *Eur J Oral Sci* 2001;109:14-19.
- [44] Sheehy EC, Brailsford SR, Kidd EAM, Beighton D, Zoitopoulos L. Comparison between visual examination and laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 2001;35:421-426.
- [45] Cortes D. F., Ellwood R. P., Ekstrand K. R. An in vitro Comparison of a Combined FOTI/Visual Examination of Occlusal Caries with Other Caries Diagnostic Methods and the Effect of Stain on Their Diagnostic Performance. *Caries Res* 2003;37:8-16.
- [46] Pretty IA. Caries detection and diagnosis: Novel technologies. *J of Dent* 2006;34:727-739.
- [47] Tranaeus S, Shi XQ, Angmar-Mansson B. Caries risk assessment: methods available to clinicians for caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 2005;33(4):265-73.
- [48] http://www.dimensionsofdentalhygiene.com/2003/10_October/Features/The_Evolution_of_Caries_Detection.aspx, 22/08/2013.
- [49] Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A. Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 1987;21:368-374.
- [50] Mejare I, Gröndahl HG, Carlstedt K, Grever AC, Ottosson E. Accuracy at radiography and probing for the diagnosis of proximal caries. *Scand J Dent Res* 1985;93:178-184.
- [51] Pincus P. A new method of examination of molar teeth grooves for the presence of dental caries. *J Physiol* 1951;113:13-14.
- [52] Scholberg HPF, Borggreven JMPM, Driessens FCM. A phenomenological interpretation of the frequency-dependent impedance behaviour of bovine dental enamel. *Arch Oral Biol* 1984;29:965-970.
- [53] van de Rijke JW. Use of dyes in cariology. *Int Dent J* 1991;41:111-116.
- [54] Fusuyama T. Clinical guide for removing caries using caries-detecting solution. *Quintessence Int* 1988;19:397-401.

- [55] Kidd EA, Joyston-Bechal S, Smith MM, Allan R, Howe L, Smith SR. The use of a caries detector dye in cavity preparation. *Br Dent J* 1989;167:132-134.
- [56] <http://www.westvalleydentalsupply.com/preventives/caries-finder-red.html>, 22/082013.
- [57] Bakhos Y, Brudevold F. Effect of initial demineralization on the permeability of human tooth enamel to iodine. *Arch Oral Biol* 1982;22:193-196.
- [58] Shern RJ, Kennedy JB, Roberts MW. An in vivo evaluation of fluorescein for testing the permeability of white spots on tooth enamel. *Ped Dent* 1990;12:308-311.
- [59] Pitts NB, Longbottom C. An initial comparison between endoscopic and conventional methods of caries diagnosis. *Quintessence Int* 1990;21:531-540.
- [60] Kamburoglu K, Senel B, Yuksel SP, Ozen T. A comparison of the diagnostic accuracy of in vivo and in vitro photostimulable phosphor digital images in the detection of occlusal caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 2010; 39: 17-22.
- [61] van der Stelt, P. F. (2008). Better imaging: the advantages of digital radiography. *Journal of the American Dental Association*, Vol. 139, No. Suppl, (June), pp. 7S-13S, ISSN 0002-8177.
- [62] Wenzel A. Digital radiography and caries diagnosis. *Dentomaxillofacial Radiology* 1998;27(1): 3-11.
- [63] Wenzel A, Gotfredsen E, Borg E, Grondahl H-G. Impact of lossy image compression on accuracy of caries detection in digital images taken with storage phosphor system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996;81:351-355.
- [64] Wenzel A. Influence of computerized information technologies on image quality in dental radiographs. *Tandlaegebladet* 1991;95:527-559.
- [65] Tyndall D, Clifton L, Webber RL, Ludlow JB. TACT imaging of primary caries. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;84:214-225.
- [66] www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1079210403000611, 22/08/2013.
- [67] Pitts NB. Detection and measurement of approximal radiolucencies by computer-aided image analysis of bitewing radiographs. *Oral Surg* 1984b;58:366.
- [68] Heaven TJ, Firestone AR, Feagin FF. Computer-based image analysis of natural approximal caries on radiographic films. *J Dent Res* 1992;71:846-849.

- [69] Pitts NB, Renson CE. Further development of a computer-aided image analysis method of quantifying radiolucencies in approximal enamel. *Caries Res* 1986;20:361-370.
- [70] Forner L, Llana MC, Almerich JM, Garcia-Godoy F. Digital radiology and image analysis for approximal caries diagnosis. *Oper Dent* 1999;24:312-315.
- [71] <http://www.dentistrytoday.com/technology/1906>, 4/09/2013.
- [72] Lussi A, Hibst R, Paulus R. DIAGNOdent: an optical method for caries detection. *J Dent Res* 2004;83:80-3.
- [73] Zandona AF, Zero DT. Diagnostic tools for early caries detection *J Am Dent Assoc* 2006;137(12):1675-84.
- [74] <http://www.medicalexpo.com/prod/kavo/laser-fluorescence-carie-detectors>, 12/08/2013.
- [75] Michele Baffi Diniz, Jonas de Almeida Rodrigues , Adrian Lussi. Traditional and Novel Caries Detection Methods/Contemporary Approach to Dental Caries. Edited by Dr. Ming-Yu Li.
- [76] Thoms M. Detection of intraoral lesions using a fluorescence camera. *Proceedings of SPIE Lasers in Dentistry XII*, 2006;6137(5): 1-7.
- [77] Rodrigues J. A., Hug I, Diniz, M. B. & Lussi A. Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Research* 2008;42(4):297-304.
- [78] Rodrigues JA, Hug I, Neuhaus, K. W, Lussi A. Light-emitting diode and laser fluorescence-based devices in detecting occlusal caries. *Journal of Biomedical Optics* 2011;16(10):107003-1-107003-5.
- [79] Raggio D. P, Braga M. M, Rodrigues J. A, Freitas P. M, Imparato J. C, Mendes F. M. Reliability and discriminatory power of methods for dental plaque quantification. *Journal of Applied Oral Science* 2010;18(2):186-193.
- [80] Strassler H. E, Sensi L. G. Technology-enhanced caries detection and diagnosis. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 2008;29(8):464-465.
- [81] <http://www.dentalcompare.com/Featured-Articles/2101-Caries-Detection-in-the-21st-Century/>, 20/08/2013.

- [82] Bin-Shuwaish M, Dennison J. B, Yaman P, Neiva G. Estimation of clinical axial extension of class II caries lesions with ultraspeed and digital radiographs: an invivo study. *Operative Dentistry* 2008;33(6): 613-621.
- [83] Young D. A, Featherstone J. D. Digital imaging fiber-optic trans-illumination, Fspeed radiographic film and depth of approximal lesions. *Journal of the American Dental Association* 2005;136(12):1682-1687.
- [84] Ashley PF, Blinkhorn AS, Davies RM. Occlusal caries diagnosis: an in vitro histological validation of the Electronic Caries Monitor (ECM) and other methods. *J Dent.* 1998;26(2):83-8.
- [85] Huang D, Swanson EA, Lin P. Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178-81.
- [86] Fried D, Featherstone JDB, Darling CL, Jones RS, Ngaotheppitak P, Bühler CM. Early caries imaging and monitoring with near-infrared light. *Dent Clin North Am* 2005;49(4):771-793.
- [87] Gonzales R, Woods R, Eddins S. [2003]. Digital image processing using Matlab .
- [88] [http://en.wikipedia.org/wiki/Watershed_\(image_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Watershed_(image_processing)), 3/09/2013.
- [89] Gonzales R. C, Woods R. E. [2002]. Digital image processing, 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- [90] Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection. *Proc. R. Soc. Lond. B* 1980;207(1167):187-217.
- [91] Canny J. A computational approach to Edge Detection. *IEEE Trans.Pattern.Anal.Machine Intel.* 1986;8(6):679-698.
- [92] Hough PVC. [1962]. Methods and means for recognizing complex patterns. U.S.Patent 3,069,654.
- [93] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histogram," *IEEE Transactions on System Man Cybernetics* 1979;9(1):62-66.
- [94] d'Ornellas MC. multi-scale gradient approach for color-based morphological segmentation. *Pattern Recognition*, 2000. Proceedings. 15th International Conference on 2000;3:363-366.