



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΛΟΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ: ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΟΥΜΕΝΕΣ Ή ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΡΑΕΤΕ ALEXANDRA ANGELA

ΑΜ : 17038

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΘΕΟΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

DIVISION DENTAL TECHNOLOGY

ALL-CERAMIC BRIDGE DESIGN AND PRODUCTION: VENEERED OR MONOLITHIC RESTORATIONS

DISSERTATION

KRAETE ALEXANDRA ANGELA

Candidate Number: 17038

SUPERVISOR: THEOCHAROPOULOS ANTONIOS

TITLE: ASSISTANT PROFESSOR

ATHENS 2022

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΘΕΟΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΜΕΛΟΣ

ΓΙΑΝΝΙΚΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΜΕΛΟΣ

ΚΑΡΟΥΖΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Kreate Alexandra Angela του Alexandru, με αριθμό μητρώου 17038 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Υγείας & Προνοίας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου για την αμέριστη συμπαράσταση του όπως και την οικογένειά μου για τη συνολική της στήριξη σε όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
ΣΚΟΠΟΣ.....	13
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	14
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (CAD CAM)	17
1.1 Ορισμός CAD CAM.....	17
1.2 CAD CAM στην οδοντική τεχνολογία	18
1.3 Πλεονεκτήματα CAD CAM	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: CAD CAM - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	22
2.1. Υλικά επεξεργασίας CAD CAM	26
2.2 Στοιχεία	22
2.2.1 Σαρωτής (scanner).....	22
2.2.2 Λογισμικό σχεδίασης.....	23
2.2.3 Συσκευές επεξεργασίας	24
2.3 Ανασκόπηση συνηθέστερων συστημάτων CAD CAM	27
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΕΡΑΜΙΚΑ	35

3.1 Συστήματα ταξινόμησης ολοκεραμικών υλικών.....	35
3.1.1 Κεραμικά υαλώδους μήτρας.....	36
3.1.2 Πολυκρυσταλλικά κεραμικά.....	37
3.1.3 Κεραμικά ρητινώδους μήτρας	38
3.2 Σύνοψη ταξινόμησης ολοκεραμικών υλικών	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΖΙΡΚΟΝΙΑ.....	41
4.1 Επισκόπηση χρήσης της ζιρκονίας στην οδοντιατρική.....	41
4.2 Κρυσταλλογραφικές φάσεις ζιρκονίας	42
4.3 Ρόλος ύπτριας - Σταθεροποιημένη με υπτρία ζιρκονία (Y-TZP).....	43
4.4 Είδη ζιρκονίας στην οδοντιατρική.....	44
4.5 Ρόλος ύπτριας - Σταθεροποιημένη με υπτρία ζιρκονία (Y-TZP).....	45
4.6 Ιδιότητες της ζιρκονίας	46
4.6.1 Μετασχηματισμός φάσεων.....	47
4.6.2 Γήρανση ζιρκονίας	47
4.5.3 Αντοχή μονολιθικής ζιρκονίας	49
4.7 Εφαρμογή ζιρκονίας στις γέφυρες.....	50
4.8 Ζιρκονία και CAD CAM	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΦΥΡΕΣ.....	53
5.1 Τα μέρη της γέφυρας	53
5.1.1 Στήριγμα.....	54
5.1.2 Συγκράτημα.....	55
5.1.3 Γεφύρωμα	56
5.1.4 Σύνδεσμος	58
5.2 Σχεδίαση	59
5.2.1 Γέφυρα πρόσθιων δοντιών	59
5.2.2 Γέφυρα οπίσθιων δοντιών.....	61
5.3 Τύποι γεφυρών	63
5.3.1 Ολοκεραμική γέφυρα	63
5.4 Διασπρωματούμενες ολοκεραμικές γέφυρες ζιρκονίας	64
5.5 Μονολιθικές ολοκεραμικές γέφυρες ζιρκονίας.....	65
5.5.1 Οπτικές ιδιότητες, φθορά και κλινική απόδοση	65
5.6 Διαδικασία κατασκευής αποκαταστάσεων με τεχνολογία CAD CAM	67

5.7 Σύγκριση μεταλλοκεραμικών και ολοκεραμικών αποκαταστάσεων	71
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	72
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	81
SUMMARY.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Σύνοψη ταξινόμησης ολοκεραμικών και κεραμικών - υλικών αποκατάστασης και επισκόπηση των μεθόδων κατασκευής, τύπος χρήσης, πιθανότητα τροχισμού για συγκόλληση και κλινικές ενδείξεις σύμφωνα με τους κατασκευαστές	40
Πίνακας 2: Τύποι ζirkονίας με βάση τη συγκέντρωση υτρίας.....	45
Πίνακας 3. Σύγκριση Μεταλλοκεραμική και Ολοκεραμική (CAD CAM)	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατασκευή ακίνητων αποκαταστάσεων με τη βοήθεια συστήματος ελεγχόμενου από υπολογιστή	19
Εικόνα 2: Τεχνολογία CAD CAM - Χρήση ψηφιακής τεχνολογίας για κατασκευή αποκαταστάσεων υψηλής αισθητικής και ακρίβειας	19
Εικόνα 4. Μηχανικός σαρωτής Procera Scanner (Nobel Biocare, Göteborg).....	23
Εικόνα 5: Δυνατότητες άξονα εκτροχισμού: σε 3 κατευθύνσεις X, Y και Z (3 άξονες τροχισμού), 3 κατευθύνσεις X, Y, Z και ο άξονας περιστροφής A (4 άξονες τροχισμού), 3 κατευθύνσεις X, Y, Z, γέφυρα εφελκυσμού A και άξονας τροχισμού B (συσκευές 5 αξόνων τροχισμού)	25
Εικόνα 6: CEREC Τα σύστημα CEREC αποτελείται από: CAD – Μηχάνημα απεικόνισης με το ενδοστοματικό σκάνερ Cerec Omnicam & CAM – Κοπτικό Μηχάνημα	28
Εικόνα 7: Sirona 3M Dental CAD CAM.....	29
Εικόνα 8: Everest CAD CAM (KaVo, Bismarckring, Germany)	30
Εικόνα 9: Lava All-Ceramic System (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN)	31
Εικόνα 10: Procera All-Ceram CAD CAM (Excel Dental Lab Co., Ltd., Bangkok, Thailand)	31
Εικόνα 11: Cercon, DeguDent, Augsburg, Germany	32
Εικόνα 12: Εμφύτευμα με βάση το ζirkόνιο	41
Εικόνα 13: Σταδιακή αποδόμηση (γήρανση) κεραμικών ζirkονίας Y-TZP ...	48
Εικόνα 14: Στηρίγματα γέφυρας από φυσικά δόντια και εμφυτεύματα	55
Εικόνα 15: Συγκρατήματα γέφυρας.....	56
Εικόνα 16: Γεφύρωμα γέφυρας.....	57
Εικόνα 17: Ολοκεραμική γέφυρα με βάση τη ζirkονία	64
Εικόνα 18: Σκελετός ζirkονίας άνω πρόσθιας γέφυρας και μεμονωμένης στεφάνης πριν και μετά την τοποθέτηση της πορσελάνης επένδυσης.....	67
Εικόνα 19: Ολοκληρωμένη Οδοντική αποκατάσταση με CAD CAM	71
Εικόνα 20. Μονολιθική Γέφυρα Ζirkονίου	73
Εικόνα 21. Διαστρωματώμενη Γέφυρα Ζirkονίου	73
Εικόνα 22. Γέφυρα ή διαστρωματώμενη τριών τεμαχίων (Creation ZI-CT, Willi Geller, Mainingen, Austria, MDT Otto Prandtner, Munich, Germany)	74

Εικόνα 23. Θραύση εντός του κεραμικού επένδυσης (Initial Zr, GC) στον δεύτερο προγόμφιο γέφυρας διαστρωματούμενης τριών τεμαχίων μετά από 12 μήνες χρήσης 75

Εικόνα 24. Υπόδειγμα δοκιμής μετά τη μέτρηση της αντοχής σύζευξης μεταξύ ζirkονίου και κεραμικών επικάλυψης. Στην εικόνα απεικονίζεται ένα λεπτό στρώμα του κεραμικού επικάλυψης που προσκολλάται στη ζirkονία (φυσαλίδες) και δεν λαμβάνει χώρα κατάγμα απευθείας στη διεπαφή μεταξύ των δύο κεραμικών 75

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καθώς η οδοντιατρική επιστήμη και η οδοντική τεχνολογία εξελίσσονται και οι απαιτήσεις των οδοντιατρικών ασθενών αυξάνονται, ο ειδικός μπορεί να και είναι σε θέση να προσφέρει λύσεις, είτε η ζήτηση αφορά την αποκατάσταση της αισθητικής είτε της λειτουργικότητας, με την χρήση ολοκεραμικών αποκαταστάσεων – γεφυρών. Σημαντικό ζήτημα όμως αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου τύπου είτε μονολιθικής είτε διαστρωματούμενης ολοκεραμικής γέφυρας^{1, 2}.

Η προσθετική αποκατάσταση μερικών νωδών ασθενών με την τοποθέτηση γεφυρών είναι λύση εκλογής σε περιπτώσεις που ο ασθενής επιλέγει ως θεραπεία αποκατάστασης την ακίνητη προσθετική, την τοποθέτηση εμφυτευμάτων ή τη χρήση συνδέσμων ακριβείας. Η χρήση γεφυρών προσφέρει συγκράτηση, μασητική λειτουργικότητα και αισθητική υπεροχή³. Η ολοκεραμική γέφυρα μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης περιοδοντικών βλαβών, και καλύπτει τις αισθητικές και λειτουργικές απαιτήσεις των ασθενών³. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις επιτυχίας είναι: ο σωστός σχεδιασμός, η ακριβής κατασκευή και η επιλογή του κατάλληλου υλικού ανάλογα με τις ανάγκες του ασθενή³.

Η μονολιθική και η διαστρωματούμενη ολοκεραμική γέφυρα, αποτελούν σημαντικές οδοντιατρικές επιλογές, καθώς η ζirkονία ως υλικό επιδεικνύει εξαιρετική αντοχή, είναι λευκή και φωτοδιαπερατή. Ειδικότερα, οι μονολιθικές ολοκεραμικές γέφυρες, που κατασκευάζονται με την τεχνολογία CAD CAM, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην θραύση, περιορίζουν την φθορά ανταγωνιστών και απαιτούν μικρό χρόνο παραγωγής ενώ οι διαστρωματούμενες ολοκεραμικές γέφυρες επιδεικνύουν, υψηλή διαφάνεια και διακρίνονται για την βιοσυμβατότητα και την υψηλή αισθητική απόδοση⁴.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αναλυτική και με σαφήνεια παρουσίαση του σχεδιασμού και της παραγωγής ολοκεραμικών γεφυρών και η συγκριτική εξέταση των δύο βασικών τεχνικών κατασκευής τους (διαστρωματούμενες και μονολιθικές αποκαταστάσεις).

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο υπολογιστικός σχεδιασμός (CAD) και η κατασκευή με υπολογιστή (CAM) έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή στην οδοντιατρική τα τελευταία 25 έτη. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 για χρήση τόσο στην αεροναυπηγική όσο και στις αυτοκινητοβιομηχανίες και εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στην οδοντιατρική μια δεκαετία αργότερα. Ο Iven Sutherland στις αρχές της δεκαετίας του 1960, ανέπτυξε το λογισμικό CAD αλλά πριν από αυτόν ο Patrick J. Hanratty, είχε ήδη σχεδιάσει την πρώτη ελεγχόμενη CAM μηχανή που ονομάστηκε Pronto καθιστώντας τον ως πρωτεργάτη του CAD CAM⁶. Η εισαγωγή του CAD CAM στην οδοντιατρική ξεκίνησε με το έργο του Duret ο οποίος μέσω αποτύπωσης ενός δοντιού κατασκεύασε με CAD CAM μια οδοντική στεφάνη το 1971⁷. Ο Mormann ήταν το κεντρικό πρόσωπο που εισήγαγε το πρώτο εμπορικά σχεδιασμένο σύστημα CAD CAM το 1985 δίνοντάς του το όνομα CEREC⁸. Το συγκεκριμένο σύστημα, μετά από συνεχείς βελτιώσεις και εξελίξεις στη λειτουργία του, χρησιμοποιείται πλέον σε όλο τον κόσμο με επιτυχία για την κατασκευή στεφάνων, ένθετων, γεφυρών κ.λπ.⁹.

Ο Andersson ανέπτυξε το σύστημα Procega στα μέσα της δεκαετίας του 1980 χρησιμοποιώντας τιτάνιο σε αντικατάσταση των κραμάτων νικελίου χρωμίου. Παλαιότερα, στην τεχνική της χύτευσης, χρησιμοποιούνταν κυρίως κράματα χρυσού. Λόγω της σταθερά αυξανόμενης τιμής του χρυσού, έπρεπε να βρεθεί μια λύση που να αξιοποιεί οικονομικότερα υλικά στην οδοντιατρική, με αποτέλεσμα να ανθίσουν τα νέα συστήματα CAD CAM. Επίσης, το CEREC 2 παρουσιάστηκε το 1994 από τη Siemens κατασκευάζοντας ένθετα, επένθετα, μερικές και ολικές στεφάνες ενώ από το 2005 χρησιμοποιείται η 3^η γενιά του CEREC, αποτελώντας τη προηγμένη μορφή του CEREC που αρχικά έκανε την εμφάνισή της, νωρίτερα το 2000, από τη Sirona^{10, 11}.

Τα κεραμικά αποτελούν σημαντικό υλικό της αισθητικής οδοντιατρικής για περισσότερα από 100 χρόνια. Αρχικά, τα κεραμικά χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τα πρόσθια δόντια ενώ μετά την εισαγωγή της πορσελάνης με ενίσχυση αλουμίνιας από τον John McLean στα μέσα της δεκαετίας του 1960,

υπήρξαν συνεχείς βελτιώσεις στην αντοχή, την αισθητική και τις μεθόδους κατασκευής¹². Παρά την πρόταση των δοντιών πορσελάνης χρειάστηκε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι την κατασκευή τους από το Dubois de Chemant το 1789. Αργότερα το 1893 έχουμε την κατασκευή της πρώτης στεφάνης από πορσελάνη Jacket από το Charles Land. Πιο συγκεκριμένα, ο Charles Land στρώνει στο παρασκευασμένο δόντι του εκμαγείου ένα φύλλο πλατίνας και στη συνέχεια με τη βοήθεια ειδικού φούρνου που λειτουργούσε με γκάζι ψήνει χαμηλότηκτη πορσελάνη. Τέλος αφαιρούσε τη πλατίνα και η στεφάνη τοποθετούταν εντός της στοματικής κοιλότητας. Θα μεσολαβήσει ένα ακόμα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την αξιοποίηση των όψεων πορσελάνης από τους αστέρες του Hollywood της τότε εποχής³.

Φτάνοντας στο σήμερα όπου οι ολοκεραμικές αποκαταστάσεις αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο της οδοντιατρικής και οδοντικής τεχνολογίας, οι οποίες πλέον σχεδιάζονται με πρόγραμμα σχεδιασμού με την βοήθεια υπολογιστή³. Στις αρχές του 21ου αιώνα το CAM εισήγαγε τη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών. Το CAM, αν και απαιτεί μια υψηλή οικονομική δαπάνη, πλεονεκτεί στο μειωμένο κόστος εργασίας και στην ταχεία μετάβαση από το CAD με το τελικό προϊόν να εξασφαλίζει υψηλό ποσοστό επιτυχίας.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (CAD CAM)

1.1 Ορισμός CAD CAM

Ο όρος «CAD CAM», συντομογραφία του «Computer - Aided Design» και του «Computer Aided Manufacturing», στην οδοντιατρική τεχνολογία χρησιμοποιείται ως τεχνολογία κατασκευής οδοντιατρικών εργασιών. Οι διαδικασίες του ψηφιακού σχεδιασμού (CAD) και της ψηφιακής παραγωγής (CAM) είναι συμπληρωματικές: τα ψηφιακά σχεδιαζόμενα μοντέλα κωδικοποιούνται αριθμητικά μέσω του υπολογιστή και στη συνέχεια δρομολογείται η ψηφιακά καθοδηγούμενη παραγωγή τους σε κατάλληλες συσκευές. Όλα τα συστήματα CAD CAM αποτελούνται από τρία στοιχεία¹⁴:

1. Ένα εργαλείο/σαρωτή ψηφιοποίησης που μετατρέπει τα γεωμετρικά δεδομένα σε ψηφιακά και που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία από τον υπολογιστή.
2. Το λογισμικό σχεδίασης που επεξεργάζεται τα δεδομένα και, ανάλογα με την εφαρμογή, παράγει ένα ψηφιακό σχέδιο – μοντέλο για το προϊόν που πρόκειται να κατασκευαστεί.
3. Μια ψηφιακά καθοδηγούμενη τεχνολογία μηχανοποιημένης παραγωγής που, βασιζόμενη στο ψηφιακό σχέδιο, κατασκευάζει το επιθυμητό προϊόν.

Η διαδικασία CAD CAM στην οδοντιατρική ουσιαστικά αποτελεί μια έμμεση διαδικασία κατασκευής αποκαταστάσεων που σχεδιάζονται από έναν υπολογιστή. Ωστόσο, στο σχεδιασμό των αποκαταστάσεων με τη βοήθεια υπολογιστή υπάρχουν ανησυχίες που πρέπει να αξιολογηθούν και ενδέχεται να διακυβεύουν την ακρίβεια στο ψηφιακό μοντέλο και στο σχεδιασμό της αποκατάστασης¹⁵.

Η διαδικασία κατασκευής παρουσιάζει επίσης τις δικές της προκλήσεις, όπως η ακρίβεια της εφαρμογής της αποκατάστασης, ειδικά όταν πρέπει να αναπαραχθούν πολύπλοκες επιφάνειες. Μετά από ενδελεχή και συστηματική

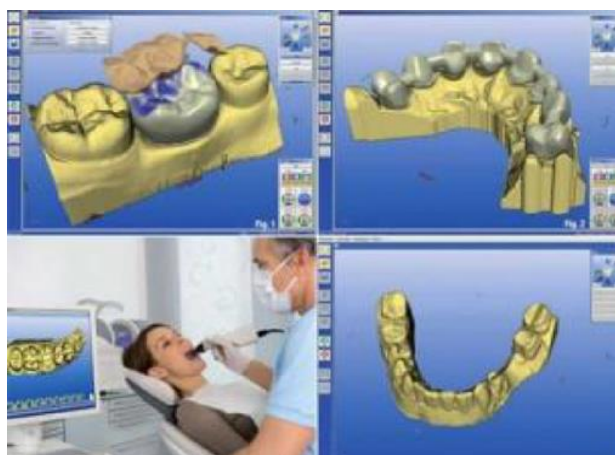
έρευνα πολλών αντίστοιχων προκλήσεων, τα συστήματα CAD CAM έχουν βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δύο δεκαετίες αποτελώντας πλέον μια πλήρως αποδεκτή τεχνολογία στα περισσότερα σύγχρονα εργαστήρια οδοντικής τεχνολογίας¹⁶.

1.2 CAD CAM στην οδοντική τεχνολογία

Το 1988 αποτέλεσε το έτος κλειδί για την εισαγωγή της τεχνολογίας στην οδοντιατρική καθώς έχουμε την πρώτη εμφάνιση του σύγχρονου συστήματος CAD CAM. Πλέον με τη βοήθεια ειδικών καμερών εκτελείται πολυδιάστατη μέτρηση, επιτρέποντας την ψηφιακή αποτύπωση και μεταφορά των πληροφοριών προς μέτρηση στην οθόνη του υπολογιστή. Η σάρωση γίνεται μέσω διαδικασιών τριγωνισμού (triangulation), δηλαδή, ακριβών μετρήσεων συντεταγμένων επιφανείας. Με τη βοήθεια του Η/Υ και κατάλληλου λογισμικού επεξεργασίας εικόνας παρέχονται πληθώρα δυνατοτήτων στην οδοντιατρική πρακτική όπως ο αυτόματος έλεγχος του ελάχιστου πάχους αποκατάστασης, η επαρκής αντοχή της αποκατάστασης, ειδικά για τα οπίσθια δόντια, η δημιουργία αποκαταστάσεων με φυσική εμφάνιση και η ευκολότερη, ταχύτερη και ακριβέστερη αποκατάσταση δοντιών. Επίσης, στο εικονικό μοντέλο επισημαίνονται και αναγνωρίζονται με σαφήνεια κρίσιμες περιοχές που μπορούν να διορθωθούν με διάφορα προσφερόμενα ψηφιακά εργαλεία^{14, 17}.

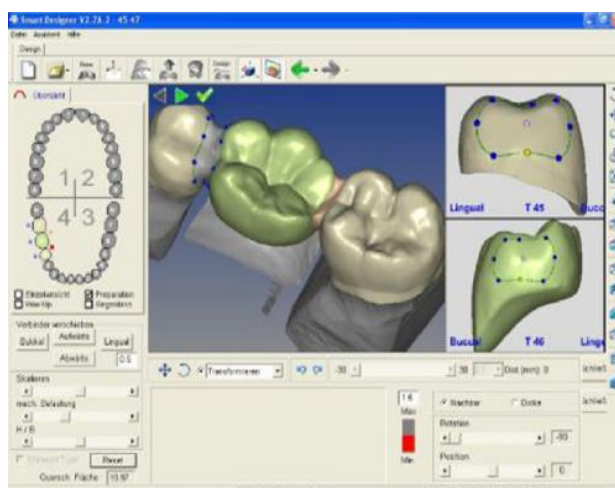
Η ανάπτυξη της οδοντικής τεχνολογίας πέρασε από τον εκτροχισμό με μηχανήμα κατά τα πρότυπα της αντιγραφής συμβατικά κατασκευασμένου προτύπου κεριού ή ρητίνης, σε ένα πλήρως ελεγχόμενο από υπολογιστή σύστημα, με μια μεγάλη γκάμα δυνατοτήτων που επιτρέπει την αυτοματοποιημένη παραγωγή στεφανών και γεφυρών. Σήμερα, τα συστήματα CAD CAM στην οδοντική τεχνολογία θεωρούνται ότι στο μέλλον θα έχουν πολύ μεγαλύτερη εφαρμογή στην παραγωγή ακινήτων αποκαταστάσεων. Η Εικόνα 1 δείχνει μια ακίνητη αποκατάσταση που παράγεται μέσω συστήματος ελεγχόμενου από υπολογιστή¹⁷. Πιο συγκεκριμένα κάτω αριστερά παρατηρούμε την διαδικασία λήψης αποτυπώματος με ενδοστοματικό σαρωτή. Πάνω αριστερά απεικονίζεται μια στεφάνη ενώ πάνω δεξιά μια

γέφυρα. Τέλος κάτω δεξιά απεικονίζεται ο οδοντικός φραγμός της κάτω γνάθου.



Εικόνα 1: Κατασκευή ακίνητων αποκαταστάσεων με τη βοήθεια συστήματος ελεγχόμενου από υπολογιστή¹⁷

Χάρη στην τεχνολογία CAD CAM και τις πολυάριθμες μελέτες, η οδοντιατρική τεχνολογία πλέον κατασκευάζει αποκαταστάσεις εξαιρετικής πιστότητας, η οποία όχι μόνο διαθέτει άρτια αισθητικά χαρακτηριστικά αλλά και βιοσυμβατότητα. Όλες οι αποκαταστάσεις που παράγονται σε εργαστήρια οδοντιατρικής τεχνολογίας, εξοπλισμένα με τεχνολογία CAD CAM, υπόσχονται αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια και αισθητική¹⁷.



Εικόνα 2: Τεχνολογία CAD CAM - Χρήση ψηφιακής τεχνολογίας για κατασκευή αποκαταστάσεων υψηλής αισθητικής και ακρίβειας¹⁷

Σχηματίζοντας μια τρισδιάστατη εικόνα των δοντιών και των ούλων στην οθόνη, επιτρέπει στον οδοντίατρο να σχηματίσει ψηφιακά έναν πολύ ακριβή και κατάλληλο ανατομικό σχεδιασμό της οδοντικής ουσίας που έχει απωλεσθεί. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που προκύπτουν παρέχουν μια ιδανική βάση για το σχεδιασμό αποκατάστασης. Κατά το σχεδιασμό, λαμβάνεται με πολύ απλό τρόπο υπόψη η σχέση με τα διπλανά δόντια, τα δόντια στην απέναντι γνάθο που δημιουργούν τις κατάλληλες επαφές, αλλά και η σχέση αποκατάστασης μεταξύ μαλακών ιστών και ούλων. Στη συνέχεια, το μηχάνημα CAM μέσω περαιτέρω υπολογιστικής διαδικασίας και το κατάλληλο λογισμικό παραγωγής, παράγει την αποκατάσταση των δοντιών που είναι ακριβές αντίγραφο των τρισδιάστατων σχεδίων που δημιουργήθηκαν στο λογισμικό CAD ¹⁷.

1.3 Πλεονεκτήματα CAD CAM

Οι τεχνολογίες CAD CAM έχουν ξεκινήσει μια νέα εποχή στην οδοντιατρική. Η ποιότητα των οδοντικών προθέσεων έχει βελτιωθεί σημαντικά μέσω τυποποιημένων διαδικασιών παραγωγής ενώ καθίσταται δυνατή και πολύ αποτελεσματική η διαχείριση της ποιότητας. Η εμφάνιση των CAD CAM αφενός αύξησε την παραγωγικότητα ενώ τα εργαστήρια οδοντικής τεχνολογίας εξελίχθηκαν με γοργούς ρυθμούς σε σύγχρονα ηλεκτρονικά κέντρα παραγωγής αποκαταστάσεων⁶.

Η τεχνολογία CAD CAM έχει καταστήσει δυνατή τη μηχανική κατεργασία με υψηλή ακρίβεια ενδιαφερόντων νέων υλικών όπως υψηλής απόδοσης κεραμικών και τιτανίου. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθούν ορισμένα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας όπως το υψηλό κόστος των μηχανημάτων καθώς και ότι ορισμένες εφαρμογές είναι περιορισμένες λόγω λογισμικού και διαδικασιών παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, κάθε λογισμικό διαθέσιμο στην αγορά διαθέτει διαφορετικό είδος δυνατοτήτων, οι οποίες είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν από τον χρήστη⁶.

Μια επιφανειακή προσπάθεια σύγκρισης των πλεονεκτημάτων στις αποκαταστάσεις CAD CAM έναντι της συμβατικής οδοντικής τεχνολογίας,

πιθανόν θα οδηγούσε εύκολα στο συμπέρασμα υπεροχής των πρώτων. Τα συστήματα CAD CAM παρέχουν ποιοτικές αποκαταστάσεις με γρήγορη και εύκολη κατασκευή ενώ και η σάρωση των ενδοστοματικών ιστών απαιτεί λιγότερο χρόνο από ότι η συμβατική αποτύπωση. Όμως, παρά τα πλεονεκτήματα, το κόστος εξακολουθεί να είναι ένα σημαντικό ζήτημα ενώ και η λήψη ψηφιακού αποτυπώματος είναι μια μεγάλη πρόκληση για τους οδοντιάτρους, γιατί ενέχει μια καμπύλη εκμάθησης (πχ. ιδιαίτερη φροντίδα για την προστασία των μαλακών ιστών και τον έλεγχο της υγρασίας). Στη σύντομη σχετικά πορεία της όμως διαφαίνεται ότι η τεχνολογία CAD CAM έχει ήδη αλλάξει την οδοντιατρική και πιθανότατα σταδιακά θα αντικαθιστά όλο και περισσότερο τις παραδοσιακές τεχνικές στην κατασκευή οδοντικών αποκαταστάσεων¹⁸.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: CAD CAM - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

2.1 Στοιχεία

2.1.1 Σαρωτής (scanner)

Με τον όρο «σαρωτής» (scanner) στον τομέα της οδοντιατρικής θεωρείται το εργαλείο συλλογής δεδομένων και μέτρησης των τρισδιάστατων δομών της επιφάνειας της γνάθου και των δοντιών - σε αντίθεση με την μικροαξονική τομογραφία που σαρώνει και την εσωτερική μικροδομή - μετατρέποντας τις πληροφορίες αυτές σε ψηφιακά σύνολα δεδομένων. Βασικά υπάρχουν δύο διαφορετικές δυνατότητες σάρωσης^{19, 20}:

- 1) **Οπτικοί σαρωτές.** Η βάση αυτού του τύπου σαρωτή είναι η συλλογή τρισδιάστατων δομών μέσω διαδικασιών τριγωνισμού. Η πηγή φωτός (π.χ. λέιζερ) και η μονάδα υποδοχής βρίσκονται σε μια καθορισμένη γωνία ως προς τη μεταξύ τους σχέση. Μέσω αυτής της γωνίας, ο υπολογιστής μπορεί να υπολογίσει ένα τρισδιάστατο σύνολο ψηφιακών δεδομένων. Ως πηγές φωτισμού χρησιμοποιούνται είτε προβολές προτύπων λευκού φωτός είτε δέσμη λέιζερ. Τα ακόλουθα αποτελούν παραδείγματα οπτικών σαρωτών στην οδοντιατρική: Lava Scan ST (3M ESPE, λευκό φως), Σάρωση Everest (KaVo, λευκό φως) και es1 (etkon, ακτίνα λέιζερ).
- 2) **Μηχανικοί σαρωτές.** Σε αυτήν την παραλλαγή του σαρωτή, το κύριο εκμαγείο σαρώνεται μηχανικά γραμμή - γραμμή μέσω μιας σφαίρας και μετράται η τρισδιάστατη δομή του. Το Procera Scanner από την εταιρία Nobel Biocare (Göteborg) (Εικόνα 4) είναι παραδείγματα μηχανικού σαρωτή στην οδοντιατρική. Αυτός ο τύπος σαρωτή διακρίνεται από υψηλή ακρίβεια, που καθορίζεται από τη διάμετρο του στυλίσκου σάρωσης. Μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής μέτρησης δεδομένων

είναι η υπερβολικά περίπλοκη μηχανική που καθιστούν τη συσκευή ακριβή με μεγάλους χρόνους επεξεργασίας σε σύγκριση με τα οπτικά συστήματα, όπως επίσης και η περιορισμένη δυνατότητα σάρωσης εσοχών^{19, 20}.



Εικόνα 4. Μηχανικός σαρωτής Procera Scanner (Nobel Biocare, Göteborg)²²

2.1.2 Λογισμικό σχεδίασης

Το ειδικό λογισμικό σχεδίασης παρέχεται από τους κατασκευαστές για το σχεδιασμό διαφόρων ειδών οδοντικών αποκαταστάσεων. Ανάλογα με το παρεχόμενο λογισμικό, μπορούν να κατασκευαστούν στεφάνες ή γέφυρες προσφέροντας τη δυνατότητα σχεδιασμού υψηλής ακρίβειας. Το λογισμικό των συστημάτων CAD CAM που διατίθενται σήμερα στην αγορά βελτιώνεται συνεχώς ενώ οι πιο πρόσφατες δυνατότητες κατασκευής είναι συνεχώς διαθέσιμες στον χρήστη μέσω ενημερώσεων²³.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα CAD CAM στην οδοντιατρική προϋποθέτει την παρουσία λογισμικού σχεδίασης και επεξεργασίας. Αποτελεί βασικό στοιχείο συλλογής και διαλογής των δεδομένων που συγκεντρώνονται από τη σάρωση αλλά και για τη μετέπειτα επεξεργασία τους. Το λογισμικό σχεδίασης

αποτελεί βασικό εργαλείο ανάλυσης των στοιχείων που σαρώθηκαν (δόντια, ούλα κ.λ.π) αλλά και πρόβλεψης σε μεγάλο βαθμό της ανατομίας της προς σχεδιασμό αποκατάστασης μέσω αλγορίθμων. Με την παρέμβαση του χειριστή, πραγματοποιούνται οι απαραίτητες μετατροπές και προσαρμογές για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Τα δεδομένα της κατασκευής μπορούν να αποθηκευτούν σε διάφορες μορφές βάσεων δεδομένων. Συχνά χρησιμοποιούνται τυπικές γλώσσες μετασχηματισμού δεδομένων ή/και αρχείων (π.χ. τύπου .stl) ωστόσο ο εκάστοτε κατασκευαστής χρησιμοποιεί τις δικές τους μορφές δεδομένων / αρχείων με αποτέλεσμα τα δεδομένα / αρχεία κάποιων προγραμμάτων να μην είναι συμβατά μεταξύ τους. Τα συστήματα που διατίθενται στην αγορά διαφοροποιούνται κυρίως στο CAM λογισμικό. Ενώ πολλά συστήματα δίνουν έμφαση σε ένα όσο το δυνατόν ευρύτερο φάσμα ενδείξεων, αρκετοί κατασκευαστές δίνουν έμφαση στη χρηστικότητα και στη φιλικότητα προς τον χρήστη²³.

2.1.3 Συσκευές επεξεργασίας

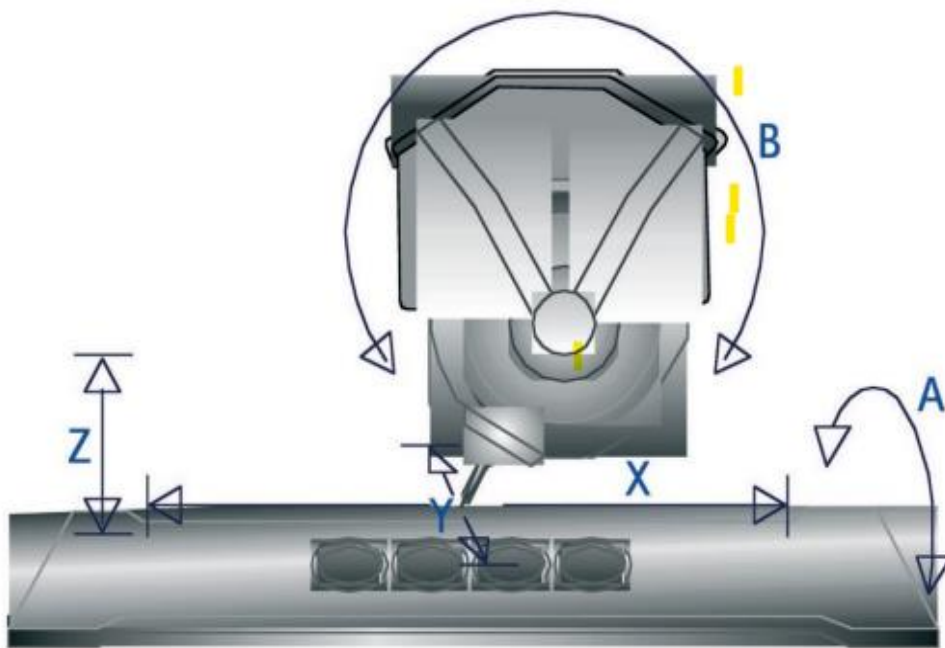
Τα δεδομένα κατασκευής που παράγονται με το λογισμικό του CAD CAM μεταφέρονται στις συσκευές επεξεργασίας. Οι συσκευές επεξεργασίας διακρίνονται από τον αριθμό των αξόνων εκτροχισμού¹⁴:

- 1) Συσκευές τριών (3) αξόνων. Αυτός ο τύπος συσκευής έχει βαθμούς κίνησης στις τρεις χωρικές κατευθύνσεις. Έτσι, τα σημεία διαδρομής ορίζονται μοναδικά από τις τιμές X, Y και Z. Όλες οι συσκευές τριών αξόνων που χρησιμοποιούνται στην οδοντική τεχνολογία μπορούν επίσης να περιστραφούν κατά 180° κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συσκευών είναι οι σύντομοι χρόνοι και ο απλοποιημένος έλεγχος μέσω των τριών αξόνων. Επιπλέον, τέτοιες συσκευές διατίθενται σε χαμηλότερο κόστος από τις τεσσάρων και πέντε αξόνων. Παραδείγματα αποτελούν οι inLab (Sirona), Lava (3M ESPE), και Cercon brain (DeguDent).
- 2) Συσκευές τεσσάρων (4) αξόνων. Η συσκευή τεσσάρων αξόνων μπορεί να περιστραφεί απεριόριστα. Ως αποτέλεσμα αυτής της

δυνατότητας, είναι η προσαρμογή κατασκευών γεφυρών με μια μεγάλη κατακόρυφο μετατόπισης ύψους στις συνήθεις διαστάσεις του καλουπιού εξοικονομώντας χρόνο και υλικό. Παράδειγμα αποτελεί η Zeno (Wieland-Imes).

- 3) Συσκευές πέντε (5) αξόνων. Η συσκευή πέντε αξόνων αποτελεί μια επιπλέον επιλογή πέραν των προηγούμενων με δυνατότητα περιστροφής σε έναν πέμπτο άξονα που επιτρέπει την κατασκευή σύνθετων γεωμετριών. Παράδειγμα σε Εργαστήριο: Everest Engine (KaVo) και παράδειγμα σε Κέντρο Παραγωγής: HSC Milling Device (etkon).

Η ποιότητα της αποκατάστασης δεν αυξάνεται απαραίτητα με τον αριθμό των αξόνων επεξεργασίας αλλά προκύπτει πολύ περισσότερο από το αποτέλεσμα της διαδικασίας ψηφιοποίησης, επεξεργασίας και παραγωγής των δεδομένων. Η Εικόνα 4 απεικονίζει τις διαφορετικές δυνατότητες του άξονα εκτροχισμού¹⁴.



Εικόνα 5: Δυνατότητες άξονα εκτροχισμού: σε 3 κατευθύνσεις X, Y και Z (3 άξονες τροχισμού), 3 κατευθύνσεις X, Y, Z και ο άξονας περιστροφής A (4 άξονες τροχισμού), 3 κατευθύνσεις X, Y, Z, γέφυρα εφελκυσμού A και άξονας τροχισμού B (συσκευές 5 αξόνων τροχισμού) ¹⁴

2.2. Υλικά επεξεργασίας CAD CAM

Ο Gracis και οι συνεργάτες του (2015) περιέγραψαν μια κατηγοριοποίηση των κεραμικών και παρόμοιων με αυτά υλικών σε τρεις «οικογένειες»³:

1) Κεραμικά Υαλώδους Μήτρας (Glass-Matrix Ceramics)

- ✓ Αστριούχα (; Vitadur, Vita VMK 68, Vitablocs, Vident)
- ✓ Συνθετικό: με βάση λευκίτη (IPS d.Sign, Ivoclar Vivadent; Vita VM7, VM9, VM13, Vident; Noritake EX-3, Cerabien, Cerabien ZR, Noritake), με βάση διπυριτικό λίθιο και παράγωγα (3G HS, Pentron Ceramics; IPS e.max CAD, IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent; Obsidian, Glidewell Laboratories; Suprinity, Vita; Celtra Duo, Dentsply), με βάση φθοραπατίτη (IPS e.max Ceram, ZirPress, Ivoclar Vivadent)
- ✓ Διηθημένο σε γυαλί: αλουμίνα (π.χ. In-Ceram Alumina, Vita), αλουμίνα και μαγνήσιο (π.χ. In-Ceram Spinell, Vita), αλουμίνα και ζirkόνιο (π.χ. In-Ceram Zirconia, Vita)

2) Πολυκρυσταλλικά Κεραμικά (Polycrystalline Ceramics):

- ✓ Αλουμίνα (π.χ. Procera AllCeram, Nobel Biocare, In-Ceram AL)
- ✓ Σταθεροποιημένη ζirkονία (π.χ. NobelProcera Zirconia, Nobel Biocare; Lava/Lava Plus, 3M ESPE, In-Ceram YZ, Vita, Zirkon, DCS, Katana Zirconia ML, Noritake, Cercon ht, Dentsply,; Prettau e Zirconia, max ZirCAD, Ivoclar Vivadent, Zenostar, Wieland)
- ✓ Ζirkονία – Ενισχυμένη με Αλουμίνα & Αλουμίνα – Ενισχυμένη με Ζirkονία

3) Κεραμικά Ρητινώδους Μήτρας (Resin-Matrix Ceramics)

- ✓ Νανοκεραμική ρητίνη (Resin nanoceramic): πχ. Lava Ultimate, 3M ESPE)
- ✓ Υαλοκεραμικό σε μήτρα αλληλοδιδυτικής ρητίνης (Glass ceramic in a resin interpenetrating matrix): πχ. Enamic, Vita.
- ✓ Κεραμικό ζirkονία - πυρίτιο σε αλληλοδιδυτική μήτρα ρητίνης (Zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix)

Ο κατάλογος των υλικών για επεξεργασία από συσκευές CAD CAM εξαρτάται από το εκάστοτε σύστημα παραγωγής. Τα υλικά που μπορούν να

υποβληθούν σε επεξεργασία για οδοντιατρικές συσκευές CAD CAM και είναι διαθέσιμα στην αγορά είναι (ενδεικτικά) κύβοι Αστριούχων, Υαλοκεραμικών ενισχυμένων με Λευκίτη ή διπυριτικό λίθιο και πολυκρυσταλλικών υλικών π.χ. Ζirkονίας²⁴.

Επιπλέον, αυξημένο ενδιαφέρον υπάρχει για τα ρητινώδη υλικά ^{25, 26} στα οποία αποδίδονται οι όροι Κεραμικό Δίκτυο Διηθημένο Με Πολυμερή, Κεραμικά Με Ρητινώδη Μήτρα, Ρητινώδη Νανοκεραμικά, Υβριδικά Κεραμικά. Ωστόσο, η διάκριση των ρητινώδων υλικών CAD CAM μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο κύριες κατηγορίες με πρωταρχικό κριτήριο τη μικροδομή του υλικού, τα Υλικά Σύνθετης Ρητίνης Με Διασκορπισμένες Ενισχυτικές Ουσίες (Paradigm MZ100, Lava Ultimate (3M ESPE, St Paul, MN, USA), Cerasmart (GC, Tokyo, Japan), Block HC (Shofu Inc, Kyoto, Japan) και Brilliant Crios (Coltene/ Whaledent GmbH+, Germany) και το Κεραμικό Δίκτυο Διηθημένο Με Πολυμερή²⁷.

2.3 Ανασκόπηση συνηθέστερων συστημάτων CAD CAM

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας συστημάτων CAD CAM συνέβαλλε καθοριστικά στο να διατίθενται νέα συστήματα για ψηφιακή αποτύπωση σε οδοντιατρικές εργασίες. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται τα ακόλουθα²⁸:

- 1) **Cerec CAD CAM.** Το σύστημα CEREC (CEramic REConstruction) του εργοστασίου SIRONA DENTAL SYSTEMS GmbH Γερμανίας, είναι μηχανήμα που βασίζεται στην τεχνολογία CAD CAM για την κατασκευή ολοκεραμικών αποκαταστάσεων: στεφανών, όψεων, ενθέτων, επενθέτων, σκελετών γεφυρών και στεφανών καθώς και προσωρινών αποκαταστάσεων με υψηλής ποιότητας πορσελάνη, λευκίτη, διπυριτικό λίθιο, ρητίνη, υβριδικά υλικά κ.ά.. Το σύστημα CEREC αποτελείται από CAD – μηχανήμα απεικόνισης με το ενδοστοματικό σαρωτή Cerec Omnicam όπου μέσω της κάμερας φωτογραφίζονται τα παρασκευασμένα δόντια, σχεδιάζεται το όριο και το λογισμικό σχεδιάζει την τελική αποκατάσταση και το CAM – Κοπτικό Μηχάνημα όπου η

αποκατάσταση μπορεί να παραχθεί άμεσα στο ιατρείο ή έμμεσα με την παρεμβολή του εργαστηρίου οδοντικής τεχνολογίας¹⁷.

CEREC του εργοστασίου SIRONA DENTAL SYSTEMS GmbH Γερμανίας

CAD – Μηχάνημα απεικόνισης
με το ενδοστοματικό σκάνερ Cerec
Omniscam



CAM – Κοπτικό Μηχάνημα



Εικόνα 6: CEREC Το σύστημα CEREC αποτελείται από: CAD – Μηχάνημα απεικόνισης με το ενδοστοματικό σκάνερ Cerec Omniscam & CAM – Κοπτικό Μηχάνημα ²⁹

Το σύστημα Cerec περιλαμβάνει μια διαδικασία CAD CAM για τη δημιουργία ολοκεραμικών στεφανών και γεφυρών για πρόσθιες και οπίσθιες εφαρμογές με υψηλής ποιότητας πορσελάνη, υαλοκεραμικά λευκίτη και διπυριτικού λιθίου, ρητίνη, υβριδικά υλικά κ.ά.. Οι αποκαταστάσεις κατασκευάζονται με τη χρήση διαδικασιών CAD CAM (ενδοστοματική σάρωση, σχεδιασμός αποκατάστασης με τη βοήθεια υπολογιστή και παραγωγή μέσω εκτροχισμού του κατάλληλου υλικού) από τα διάφορα υλικά. Στην περίπτωση των σκελετών από προσυντηγμένα τεμάχια ζirkονίας, το σύστημα παράγει αποκαταστάσεις υψηλής αντοχής με αρκετά ικανοποιητική εφαρμογή. Το μέγεθος της παραγόμενης αποκατάστασης είναι αυξημένο για να αντισταθμιστεί η συρρίκνωση κατά τη σύντηξη. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων περιλαμβάνονται η μακροχρόνια ανθεκτικότητα των εργασιών, η βιοσυμβατότητα, η υψηλή αισθητική και η αντοχή στη

διακύμανση της θερμοκρασίας και των μειονεκτημάτων όπως η αγορά ειδικού εξοπλισμού, το υψηλό κόστος αγοράς του εξοπλισμού, η προϋπόθεση της εκπαίδευσης του χειριστή και του υψηλού οικονομικού κόστους της οδοντιατρικής εργασίας³⁰.

Το σύστημα CEREC είναι διαθέσιμο για την κατασκευή ψηφιακών αποτυπωμάτων στην οδοντιατρική και έχει λάβει πολλαπλές μορφές ανάλογα με την εταιρία παραγωγής του και την χώρα προέλευσής του. Επομένως είναι διαθέσιμα τα CEREC AC (Sirona, Charlotte, NC, ΗΠΑ) (Εικόνα 7), iTero (Cadent, Carlstadt, NJ, USA), E4D Dentist (D4D - Technologies, Richardson, TX, USA) και Lava COS (3M ESPE, St Paul, MN, ΗΠΑ). Κάθε σύστημα χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνικές για την παραγωγή ψηφιακών εικόνων. Σημειώνεται πως στο παρελθόν το CEREC-1 το έτος 1986 εισήχθη ως το πρώτο σύστημα, μετά ακολούθησε το CEREC-2 ως δεύτερο σύστημα το έτος 1994, ενώ το CEREC-3 θεωρείται ως το τρίτο σύστημα το οποίο παρουσιάστηκε μετά το 2000³¹.



Εικόνα 7: *Sirona 3M Dental CAD CAM*³²

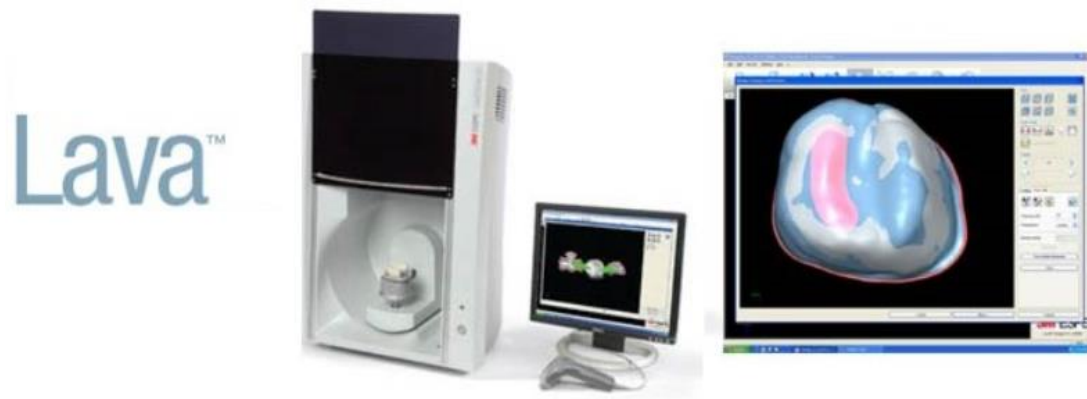
- 2) **Everest CAD CAM (KaVo, Bismarckring, Germany).** Το σύστημα Everest εφαρμόζει τεχνολογία πέντε (5) αξόνων με υψηλή απόδοση, διαδρομές με μεγάλες γωνίες λειτουργίας που επιτρέπουν την αβίαστη πλήρη κατεργασία ακόμη και των πιο απαιτητικών γεωμετρικά σχεδίων. Οι πέντε άξονες X, Y, Z, A και B προσφέρουν ιδιαίτερα

μεγάλες αποστάσεις και γωνίες κίνησης για μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Στο Everest προσφέρεται μια μεγάλη ποικιλία υλικών – από τιτάνιο, ζirkόνιο μέχρι υαλοκεραμικά^{33, 34}.



Εικόνα 8: Everest CAD CAM (KaVo, Bismarckring, Germany) ³⁵

- 3) **Lava All-Ceramic System (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN).** Το ολοκεραμικό σύστημα Lava από την 3M ESPE περιλαμβάνει μια διαδικασία CAD CAM για δημιουργία ολοκεραμικών στεφανών και γεφυρών για πρόσθιες και οπίσθιες εφαρμογές. Οι αποκαταστάσεις κατασκευάζονται με τη χρήση διαδικασιών CAD CAM (σάρωση, σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή και εκτροχισμό) από προσυντηγμένα τεμάχια ζirkονίας. Το Lava είναι ένα σύστημα ζirkονίας υψηλής αντοχής, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ολοκεραμικών στεφανών και σκελετών γεφυρών για χρήση στις πρόσθιες και οπίσθιες περιοχές της στοματικής κοιλότητας. Το σύστημα παράγει αποκαταστάσεις υψηλής αντοχής με εξαιρετική εφαρμογή και που χαρακτηρίζονται από υψηλή βιοσυμβατότητα, εξαιρετική αισθητική και ανθεκτικότητα ^{36, 37}. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για το ολοκεραμικό σύστημα Lava σε ένα οδοντιατρικό εργαστήριο περιλαμβάνει έναν ειδικό σαρωτή (Lava Scan), μια ηλεκτρονική μηχανή εκτροχισμού (CAM) (Lava Form) και έναν φούρνο πυροσυσσωμάτωσης (Lava Therm) και επιπλέον την τεχνολογία λογισμικού CAD CAM (Εικόνα 9).

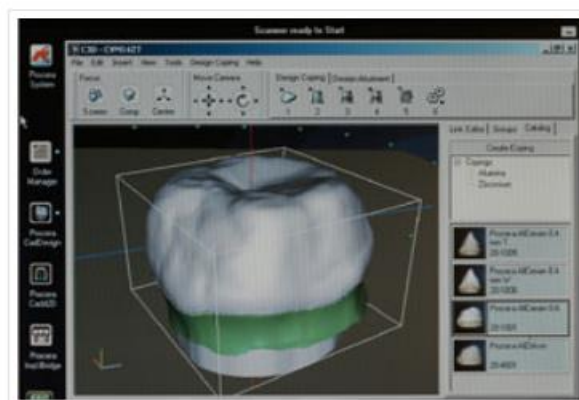


Εικόνα 9: *Lava All-Ceramic System (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN)* ³⁸

4) **Procera All-Ceram CAD CAM (Excel Dental Lab Co., Ltd., Bangkok, Thailand).** Η τεχνολογία του συστήματος All-Ceram της Procera με CAD CAM αποτελείται από ένα σαρωτή και ένα λογισμικό (Εικόνα 10). Το σύστημα Procera All-Ceram χρησιμοποιεί μια ποικιλία πυρήνων οξειδίου του αλουμινίου με εξαιρετικά πυκνή σύντηξη, ιδανική για στεφάνες, γέφυρες και κολοβώματα εμφυτευμάτων. Το Procera All-Ceram χρησιμοποιεί 99,5% καθαρό οξείδιο του αλουμινίου το οποίο είναι βιοσυμβατό που ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο αλλεργικών αντιδράσεων. Επιπλέον, προσφέρει ολοκεραμικές οδοντιατρικές εργασίες υψηλής αισθητικής και ανθεκτικότητας στη διάβρωση. Το σύστημα Procera διαθέτει πολλαπλές παραλλαγές, όπως τα Procera AllCeram 0,4 mm, AllCeram 0,6 mm και AllZirkon.



Scanner Machine



CAD-CAM Software

Εικόνα 10: *Procera All-Ceram CAD CAM (Excel Dental Lab Co., Ltd., Bangkok, Thailand)* ⁴⁰

5) **Σύστημα Cercon της Deugent (Cercon, DeguDent, Augsburg, Germany).** Το σύστημα Cercon προσφέρει πολλές δυνατότητες αποκατάστασης και βασίζεται στην εργασία που πραγματοποιήθηκε από Ελβετούς ερευνητές από το Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Ζυρίχης, σε συντονισμό με την Οδοντιατρική Σχολή της Ζυρίχης. Η διαδικασία περιεγράφηκε στη βιβλιογραφία με την ονομασία DCM (Direct Ceramic Machining). Με τη συνεργασία της εταιρίας Deugent βελτιώθηκε η παραπάνω εργασία και τέθηκε στην αγορά της οδοντικής τεχνολογίας. Το σύστημα περιλαμβάνει: Cercon Eye: Σαρωτή Λείζερ Ακριβείας CerConScan. Cercon Brain Cut: Μονάδα Τροχισμού και Cercon Heat Sintering: Κλίβανο Πυροσυσσωμάτωσης. Το σύστημα αξιοποιεί την εξαιρετική αντοχή σε θραύση (μεταξύ 900 και 1200 MPa) και την αισθητική, έχει την ικανότητα να δημιουργεί ολοκεραμικές γέφυρες με μακροχρόνια ανθεκτικότητα και καθώς και μεμονωμένες αποκαταστάσεις. Η προσθήκη του Cercon Art μείωσε κατασκευαστικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την καλύτερη αισθητική αποτύπωση των οδοντιατρικών αποκαταστάσεων (Εικόνα 11) ⁴¹.

DeauDent CAD/CAM



Εικόνα 11: Cercon, DeguDent, Augsburg, Germany ⁴²

6) Άλλα συστήματα που μπορούν να αναφερθούν είναι τα εξής⁴³:

- Celay System (MIKRONA, Switzerland)

- Cicero CAD/CAM (Elephant Industries, Hoorn, The Netherlands)
- COMET System (Comet Tooling Technology Co.,LTD, Germany)
- SOPHA System (Duret, France)
- DUX System (Zurich. Switzerland)
- DentiCAD (Waltham, Mass, USA)
- TurboDent system (urboDent System, Taichung, Taiwan)
- DCS PRECIDENT
- HAPTIC TECHNOLOGY
- 3 SHAPE DENTAL SYSTEM
- D700 SCANNER
- INTRASCAN 3D
- SPECTRO SHADE
- CERAC OMNICAM
- E4D PLANSCAN D4D Technology

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΕΡΑΜΙΚΑ

3.1 Συστήματα ταξινόμησης ολοκεραμικών υλικών

Το σύστημα ταξινόμησης των κεραμικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική είναι χρήσιμο για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της συνεννόησης μεταξύ των επαγγελματιών και της εκπαίδευσης. Ιδανικά, ένα σύστημα ταξινόμησης θα πρέπει να είναι χρήσιμο για την παροχή κλινικά σχετικών πληροφοριών με το πού να χρησιμοποιηθεί το υλικό (πρόσθια ή οπίσθια) και για ποιον τύπο αποκατάστασης. Έχουν προταθεί διαφορετικά συστήματα ταξινόμησης που επικεντρώνονται στις κλινικές ενδείξεις, τη σύνθεση, την ικανότητα αδροποίησης, τις μεθόδους επεξεργασίας, τις θερμοκρασίες, τη μικροδομή, τη διαφάνεια, την αντοχή σε θραύση και τη φθορά ανταγωνιστή. Αυτές οι ταξινομήσεις, ωστόσο, τείνουν να είναι είτε ασαφείς είτε ανακριβείς και δεν επιτρέπουν εύκολα την ένταξη νέων υλικών αποκατάστασης ^{44, 45, 46}. Η ταξινόμηση των κεραμικών σύμφωνα με τη σύνθεσή τους είναι ένα λογικό βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, επειδή η κατανόηση της κεραμικής σύνθεσης τόσο από τον τεχνικό όσο και από τον κλινικό είναι απαραίτητη για βέλτιστα αποτελέσματα ^{47, 48, 49}.

Οι Gracis et al ³ πρότειναν μια νέα προσέγγιση για την ταξινόμηση των κεραμικών υλικών αποκατάστασης σε τρεις κατηγορίες με βάση την παρουσία συγκεκριμένων χαρακτηριστικών στη σύνθεσή τους, ως εξής:

- 1) Κεραμικά υαλώδους μήτρας
- 2) Πολυκρυσταλλικά κεραμικά
- 3) Κεραμικά ρητινώδους μήτρας

3.1.1 Κεραμικά υαλώδους μήτρας

Στα κεραμικά υαλώδους μήτρας συναντάται πληθώρα υλικών. Αυτή η παραδοσιακή ομάδα κεραμικών βασίζεται σε ένα τριμερές σύστημα υλικών που αποτελείται από άργιλο/καολίνη, χαλαζία (πυρίτιο) και φυσικώς απαντώμενο άστριο (μίγμα καλίου και αργιλοπυριτικού νατρίου). Ο καλιούχος άστριος κάλιο $K_2A_{12}Si_6O_{16}$ σχηματίζει κρυστάλλους λευκίτη (κρυσταλλική φάση), οι οποίοι, ανάλογα με την ποσότητα, όχι μόνο αυξάνουν την εγγενή αντοχή της αποκατάστασης αλλά καθιστούν και την πορσελάνη κατάλληλη για επένδυση μεταλλικών υποδομών ρυθμίζοντας κατάλληλα τον συντελεστή θερμικής διαστολής της ώστε να ταιριάζει με των οδοντιατρικών κραμάτων. Αυτά τα υλικά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ως υλικό επένδυσης σε μεταλλικά κράματα και κεραμικά υποστρώματα αλλά και ως μονολιθικό αισθητικό υλικό επικάλυψης των δοντιών ^{46, 50, 51}.

Πέραν αυτών, για να παραμείνει λιγότερο εξαρτημένη από τους φυσικούς πόρους των πρώτων υλών και τις εγγενείς παραλλαγές τους, η κεραμική βιομηχανία χρησιμοποιεί συχνά συνθετικά υλικά. Η σύνθεση ποικίλλει μεταξύ των κατασκευαστών, αλλά συνήθως περιλαμβάνει διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), οξείδιο του καλίου (K_2O), οξείδιο του νατρίου (Na_2O) και οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3). Στις υαλώδεις φάσεις τους μπορούν να συνδυαστούν με κρυστάλλους απατίτη, εκτός από λευκίτη, για συμβατότητα θερμικής διαστολής με κράματα και για βελτιωμένη αντοχή. Τέλος, παλαιότερα σημαντικά υλικά σε αυτή την κατηγορία αποτέλεσαν τα κεραμικά διήθησης υάλου (ή κεραμικά υψηλής κρυσταλλικότητας) με συνδυασμό αλουμίνας με σπινέλιο του μαγνησίου και αλουμίνας με ζirkονία ή απλής αλουμίνας. Η χρήση αυτών των τριών υλικών έχει πρακτικά σταματήσει λόγω της αυξημένης δημοτικότητας του διπυριτικού λιθίου και της ζirkονίας, ιδιαίτερα για την κατασκευή CAD CAM³.

3.1.2 Πολυκρυσταλλικά κεραμικά

Το κύριο χαρακτηριστικό των κεραμικών που ταξινομούνται στην ομάδα των πολυκρυσταλλικών κεραμικών είναι η λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή που παρέχει αντοχή και ανθεκτικότητα στη θραύση, αλλά τείνει να έχει περιορισμένη ημιδιαφάνεια. Επιπλέον, η απουσία υαλώδους φάσης καθιστά τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά δύσκολα στην αδροποίηση με υδροφθορικό οξύ, που απαιτούν μεγάλους χρόνους ή υψηλότερη θερμοκρασία⁵². Η αλουμίνα αποτελεί υλικό υψηλής καθαρότητας Al_2O_3 (έως 99,5%). Εισήχθη για πρώτη φορά από τη Nobel Biocare στα μέσα της δεκαετίας του 1990 ως βασικό υλικό για κατασκευή με CAD CAM. Έχει πολύ υψηλή σκληρότητα (17 έως 20 GPa) και σχετικά υψηλή αντοχή ενώ και το μέτρο ελαστικότητας ($E = 300$ GPa), είναι πολύ υψηλότερο από όλα τα οδοντικά κεραμικά οδηγώντας σε ευπάθεια στα εγκάρσια κατάγματα^{3, 53}.

Η καθαρή ζirkονία βρίσκεται σε διάφορες μορφές: μονοκλινική, η οποία είναι σταθερή μέχρι τους $1.170^\circ C$, όπου μετατρέπεται σε τετραγωνική και στη συνέχεια κυβική όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους $2.370^\circ C$ ⁵⁴. Είναι ένα υλικό πάρα πολύ ανθεκτικό, μπορεί να δεχτεί πιέσεις μεγαλύτερες από 700MPa για αυτό το λόγο το ζirkόνιο χρησιμοποιείται σε μόνιμες αποκαταστάσεις. Χρησιμοποιώντας αυτόν τον μετασχηματισμό, η σκλήρυνση στην πράξη απαιτεί σταθεροποίηση του καθαρού ζirkονίου με σταθεροποιητικούς παράγοντες/οξειδία όπως το ύτριο, το μαγνήσιο, το ασβέστιο. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να σταθεροποιήσουν πλήρως ή μερικώς οποιαδήποτε από αυτές τις φάσεις ανάλογα με την ποσότητα με την οποία θα χρησιμοποιηθούν. Έχει προταθεί μια ταξινόμηση των κεραμικών ζirkονίας σύμφωνα με τη μικροδομή τους ως Πλήρως Σταθεροποιημένη Ζirkονία (FSZ), Μερικώς Σταθεροποιημένη Ζirkονία (PSZ) Και Πολυκρυσταλλική Ζirkονία (TZP)⁵⁵. Η ζirkονία είναι ένα υλικό πάρα πολύ ανθεκτικό, που μπορεί να δεχτεί πιέσεις μεγαλύτερες από 700MPa για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται σε μόνιμες αποκαταστάσεις. Η ζirkονία χρησιμοποιήθηκε ιστορικά ως προσθετικό υλικό για επένδυση με κεραμικά, αλλά μπορεί πλέον επίσης να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μονολιθικών αποκαταστάσεων. Επειδή η ζirkονία γενικά παραμένει μερικώς σταθεροποιημένη στην τετραγωνική φάση και η αλουμίνα παρουσιάζει μέτρια σκληρότητα, υπάρχει μια τάση στην

ανάπτυξη συνθέσεων Αλουμίνας – Ζirkονίας (Αλουμίνας Ενισχυμένη με Ζirkονία) και Ζirkονίας - Αλουμίνας (Ζirkονία Ενισχυμένη με Αλουμίνα) ^{3, 56}.

3.1.3 Κεραμικά ρητινώδους μήτρας

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει υλικά όπου τα κεραμικά σωματίδια πλεονεκτούν συντριπτικά στη μάζα. Σε παλαιότερη έκδοση του κώδικα ADA για τις οδοντιατρικές διαδικασίες και την ονοματολογία όριζε τα κεραμικά ως υλικά που περιέχουν κατά κύριο λόγο ανόργανες πυρίμαχες ενώσεις συμπεριλαμβανομένων πορσελάνων, υάλων, κεραμικών και υαλοκεραμικών. Επομένως, τα υλικά που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία επειδή αποτελούνται κυρίως (> 50% κατά βάρος) από πυρίμαχες ανόργανες ενώσεις⁵⁷.

Οι κατασκευαστές προτείνουν ένα ευρύ φάσμα ενδείξεων για αυτά τα κεραμικά υλικά στην επανορθωτική οδοντιατρική. Ωστόσο, παρά τις διαφωνίες που σχετίζονται με τον ορισμό, το σκεπτικό των κατασκευαστών για την ανάπτυξη κεραμικών υλικών με μήτρα ρητίνης ήταν ^{58, 47}:

- 1) Η απόκτηση ενός υλικού που προσομοιώνει περισσότερο το μέτρο ελαστικότητας της οδοντίνης σε σύγκριση με τα παραδοσιακά κεραμικά
- 2) Η ανάπτυξη ενός υλικού πιο εύκολου στον εκτροχισμό μέσω CAD CAM και καλύτερη εφαρμογή από τα κεραμικά με μήτρα υάλου (π.χ. συνθετικά κεραμικά της οικογένειας του διπυριτικού λιθίου) ή τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά.
- 3) Η διευκόλυνση στην επιδιόρθωση με σύνθετη ρητίνη.

Η σύνθεση στα κεραμικά ρητινώδους μήτρας ποικίλλει σημαντικά, αλλά γενικά είναι ειδικά διαμορφωμένα για CAD CAM. Τα κεραμικά ρητινώδους μήτρας μπορούν να χωριστούν σε διάφορες υποκατηγορίες, ανάλογα με την ανόργανη σύστασή τους, ως εξής ^{47, 59}:

- 1) Νανοκεραμική ρητίνη (Resin nanoceramic). Αποτελείται από μια μήτρα ρητίνης υψηλής γήρανσης ενισχυμένη με περίπου 80% κατά βάρος νανοκεραμικό υλικό. Ο συνδυασμός διακριτών νανοσωματιδίων πυριτίου (διάμετρος 20 nm), νανοσωματιδίων

ζirkονίας (διάμετρος 4 έως 11 nm) και πυριτίας ζirkονίας μειώνουν την ενδιάμεση απόσταση των σωματιδίων πλήρωσης, επιτρέποντας αυτό το υψηλό περιεχόμενο νανοκεραμικών.

- 2) Υαλοκεραμικό σε αλληλοδισδυτική μήτρα ρητίνης (Glass ceramic in a resin interpenetrating matrix). Αποτελούνται κατά 86% από ένα σύμπλεγμα αστρίου κεραμικών και ένα σύνολο πολυμερών κατά 14%. Το κεραμικό μέρος είναι από 58% έως 63% SiO_2 , 20% έως 23% Al_2O_3 , 9% έως 11% Na_2O , 4% έως 6% K_2O , 0,5% έως 2% B_2O_3 , λιγότερο από 1% Zr_2O και CaO . Το πολυμερές σύνολο αποτελείται από διμεθακρυλική ουρεθάνη και διμεθακρυλική τριαιθυλενογλυκόλη.
- 3) Κεραμικό ζirkονίας - πυριτίου σε αλληλοδισδυτική μήτρα ρητίνης (Zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix). Προσαρμοσμένο σε διαφορετικές οργανικές ενώσεις καθώς και με διακύμανση στο ποσοστό βάρους του κεραμικού.

3.2 Σύνοψη ταξινόμησης ολοκεραμικών υλικών

Ο Πίνακας 1 παρέχει μια επισκόπηση ολοκεραμικών και κεραμικών υλικών που κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την προτεινόμενη ταξινόμηση και τη σχετική μέθοδο κατασκευής τους, τη χρήση (σκελετός προς επένδυση ή μονολιθική αποκατάσταση), την ικανότητα τροχισμού και τις κλινικές ενδείξεις σύμφωνα με τις κατασκευαστικές οδηγίες.

Πίνακας 1. Σύνοψη ταξινόμησης ολοκεραμικών και κεραμικών - υλικών αποκατάστασης και επισκόπηση των μεθόδων κατασκευής, τύπος χρήσης, πιθανότητα τροχισμού για συγκόλληση και κλινικές ενδείξεις σύμφωνα με τους κατασκευαστές³

	Fabrication method	Framework (F) Monolithic (M) Veneer (V)	Etchable	Clinical indications				
				Veneer	Partial coverage restoration	Full-crown Anterior (A) Posterior (P)	FPD	Implant abutment
1. Glass-matrix ceramics								
1.1. Feldspathic ceramics	Refractory die, platinum foil, press	M/V	Yes	✓				
1.2. Synthetic ceramics								
a. Leucite-based	Press or CAD/CAM	F/M	Yes	✓	✓	✓(A)		
b. Lithium disilicate and derivatives	Press or CAD/CAM	F/M	Yes	✓	✓	✓(A/P)	3-unit up to 2nd premolar	✓
c. Fluorapatite-based*	Press or layering	V	Yes	-	-	-	-	-
1.3. Glass-infiltrated								
a. Alumina	CAD/CAM or Slip-casting	F	Yes			✓(A/P)	3-unit anterior	
b. Alumina and magnesium	CAD/CAM or Slip-casting	F	Yes			✓(A)		
c. Alumina and zirconia	CAD/CAM or Slip-casting	F	Yes			✓(A/P)	3-unit posterior	
2. Polycrystalline ceramics								
2.1. Alumina	CAD/CAM	F	No	✓		✓(A/P)		✓
2.2. Stabilized zirconia	CAD/CAM	F/M	No		✓	✓(A/P)	✓	✓
2.3. Zirconia-toughened alumina and alumina-toughened zirconia	CAD/CAM	F/M	No		✓	✓(A/P)	✓	✓
3. Resin-matrix ceramics								
3.1. Resin nanoceramics	CAD/CAM	M	No	✓	✓	✓(A/P)		
3.2. Glass-ceramics in a resin interpenetrating polymer network	CAD/CAM	M	Yes	✓	✓	✓(A/P)		
3.3. Zirconia-silica in a resin interpenetrating polymer network	CAD/CAM	M	No	✓	✓	✓(A/P)		

CAD/CAM = computer-aided design/computer-assisted manufacture; FPD = fixed partial denture.

*Fluorapatite-based ceramics are used as veneering materials over metal alloy or zirconia substructures.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΖΙΡΚΟΝΙΑ

4.1 Επισκόπηση χρήσης της ζirkονίας στην οδοντιατρική

Η απαίτηση για αισθητικά αποτελέσματα από όλες τις κεραμικές οδοντιατρικές αποκαταστάσεις, ώθησε ουσιαστικά την ανάπτυξη νέων υλικών. Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται ολοκεραμικές αποκαταστάσεις για πρόσθια δόντια, τυχόν μεταλλικά υλικά μπορεί να οδηγήσουν σε δυσμενή αισθητικά αποτελέσματα, όπως γκρι αποχρωματισμό των ημιδιαφανών ολοκεραμικών στεφανών. Επιπλέον, οι διαβρωτικές αντιδράσεις μπορεί να προκαλέσουν επιπλοκές στους περιβάλλοντες ιστούς και το στοματικό περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της αλκαλικής γεύσης, του στοματικού καύσου, της ευαισθητοποίησης και του στοματικού πόνου⁶⁰. Αυτές οι ανησυχίες οδήγησαν στην ανάπτυξη του υλικού της ζirkονίας^{61, 62}.

Οι πολλαπλές δυνατότητες της κεραμικής ζirkονίας ενθάρρυνε την επέκταση της χρήσης της στην εφαρμογή της σε εμφυτεύματα. Η χρήση ζirkονίας σε επιεμφυτευματικές αποκαταστάσεις επιλέγεται λόγω της υψηλότερης σκληρότητας και του χαμηλότερου μέτρου ελαστικότητάς της. Σε σταθεροποιημένες και σκληρυμένες με μετασχηματισμό μορφές, η ζirkονία παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι της αλουμίνας προκειμένου να λύσει το πρόβλημα της ευθραυστότητας της αλουμίνας και την επακόλουθη πιθανή αστοχία των εμφυτευμάτων. Τα μονοφασικά και διφασικά κεραμικά εμφυτεύματα είναι απαλλαγμένα από κράμα, φιλικά με το ανθρώπινο σώμα και κατάλληλα ακόμα και για αλλεργικούς ή ασθενείς με δυσανεξία, τα οποία διακρίνονται από υψηλή αντοχή στην θραύση⁶³.



Εικόνα 12: Εμφύτευμα με βάση το ζirkόνιο ⁶⁴

Σε πλήθος κλινικών μελετών αναφέρεται η υψηλή αξιοπιστία της ζirkονίας ως κολοβώματος καθώς και υλικού για στεφάνες και ακίνητες αποκαταστάσεις. Η ζirkονία επιτρέπει τη σύνδεση των ιστών και την αναστολή της βακτηριακής προσκόλλησης^{65, 66}. Εκτός από τις διάφορες οδοντιατρικές εφαρμογές η ζirkονία χρησιμοποιείται και σε άγκιστρα, συγκεκριμένα η πολυκρυσταλλική ζirkονία που έχει τη μεγαλύτερη σκληρότητα μεταξύ όλων των κεραμικών και είναι φθηνότερη από τα κεραμικά μονοκρυσταλλικής αλουμίνας⁶⁷.

4.2 Κρυσταλλογραφικές φάσεις ζirkονίας

Η καθαρή ζirkονία σε ατμοσφαιρική πίεση, ανάλογα με τη θερμοκρασία, παρουσιάζει τρεις θερμοεξαρτώμενες κρυσταλλικές φάσεις^{72, 73}:

- 1) Η **μονοκλινική φάση** είναι σταθερή σε χαμηλή θερμοκρασία (κάτω από 1.170 °C για καθαρή ζirkονία.
- 2) Η **τετραγωνική φάση** υπάρχει μεταξύ 1.170 και 2360 °C.
- 3) Η **κυβική φάση** είναι σταθερή σε υψηλή θερμοκρασία, από περίπου 2.360 °C έως το σημείο τήξης 2.680 °C.

Η μεταβολή της ζirkονίας από ένα ασταθές πολύμορφο κατά τη μονοκλινική φάση σε ένα σταθερό υλικό στη τετραγωνική φάση επεξηγεί την απόκτηση ιδιοτήτων μέσα από τον μηχανισμό σκλήρυνσής της. Οι μηχανικές ιδιότητες και η αντοχή της ζirkονίας συνδέονται άμεσα με την κρυσταλλογραφία τους. Τόσο η τετραγωνική όσο και η κυβική φάση της καθαρής ζirkονίας δεν υφίστανται ως κρυσταλλικές φάσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες ως υλικά όγκου. Εντούτοις μπορούν και οι δύο να σταθεροποιηθούν στη θερμοκρασία δωματίου από τις προσθήκες συγκεκριμένων οξειδίων, όπως το οξείδιο του υτρίου (Y_2O_3), το οξείδιο του δημητρίου (CeO_2), το οξείδιο του μαγνησίου (MgO) ή το οξείδιο του ασβεστίου (CaO). Η σταθεροποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε δύο διαφορετικές μορφές^{55, 74}:

- 1) Η σταθεροποίηση του υλικού επιτυγχάνεται με την προσθήκη οξειδίου του μαγνησίου ή ασβεστίου τα κεραμικά ζirkονίας που

προκύπτουν είναι μερικώς σταθεροποιημένα (PSZ - Partially Stabilized Zirconia). Τα PSZ κεραμικά ζirkονίας είναι υλικά υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω της ύπαρξης κενών οξυγόνου στο πλέγμα (αντικατάσταση ατόμων ζirkονίου με σταθεροποιητικά ιόντα χαμηλότερου σθένους) και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε υψηλής θερμοκρασίας κυψέλες καυσίμων.

- 2) Με την προσθήκη οξειδίου του υτρίου ή του δημητρίου δημιουργούνται τετραγωνικής δομής πολυκρυσταλλικά κεραμικά ζirkονίας (TZP-Tetragonal Zirconia Polycrystal). Τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά TZP συνίστανται από κρυστάλλους τετραγωνικής ή μονοκλινούς φάσης μεγέθους νανομέτρων ιζηματοποιημένων μέσα σε μήτρα κυβικής φάσης και σχηματίζονται από την προσθήκη CaO ή MgO.

4.3. Ρόλος ύττριας - Σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία (Y-TZP)

Το γεγονός ότι η σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία (Y-TZP) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα στον τομέα των οδοντιατρικών υλικών αποκατάστασης βασίζεται στην υπεροχή του υλικού όσον αφορά στις μηχανικές του ιδιότητες σε σύγκριση με τα άλλα ολοκεραμικά συστήματα. Η μέγιστη διαλυτότητα της Y_2O_3 στη ζirkονία είναι 8% κατά mol είναι πολύ καλύτερη από άλλα οξείδια όπως το CaO ή το MgO. Οι υψηλές μηχανικές ιδιότητες της Y-TZP ^{75, 76, 77}.

Με προσθήκη 8% κατά mol Y_2O_3 αναπτύσσεται η Πλήρως Σταθεροποιημένη Ζirkονία FSZ (Fully Stabilized Zirconium) που έχει κυβική δομή και παρουσιάζει ιοντική αγωγιμότητα. Σε ποσοστό από 3% έως 5% προκύπτει η Μερικώς Σταθεροποιημένη Ζirkονία PSZ (Partially Stabilized Zirconium) η οποία αποτελείται και από τις τρεις φάσεις (κυβική, τετραγωνική, μονοκλινής). Έτσι σήμερα, τα Y-TZP κεραμικά ζirkονίας (σταθεροποιημένα με 3-5% οξείδιο του υτρίου) χρησιμοποιούνται στην κλινική πράξη λόγω της υψηλότερης αντοχής τους, η οποία οφείλεται στην σταθεροποιημένη

τετραγωνική φάση, τα οποία διαθέτουν καλές μηχανικές ιδιότητες, όπως σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας, εξαιρετική αντοχή στη φθορά, χαμηλή ευθραυστότητα, χημική διαλυτότητα καθώς και υψηλότερο βαθμό μηχανικής κατεργασίας^{78, 79}.

4.4 Είδη ζirkονίας στην οδοντιατρική

Το ζirkόνιο (Zr) είναι ένα μεταλλικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 40 και βάρος 91.22, σπλιπνό και κατ' εξαίρεση ανθεκτικό στη διάβρωση. Το καθαρό ζirkόνιο απαντάται σε κρυσταλλική μορφή ως ένα λευκό και όλκιμο μέταλλο και σε άμορφη φάση ως μπλε-μαύρη σκόνη⁶⁸. Η ζirkονία στην οδοντιατρική μπορεί να χωριστεί σε πέντε κύριες ομάδες που εντάσσονται σε τρεις γενιές με βάση τη συγκέντρωση υττρίας (Πίνακας 2), ήτοι:

- 1) Πρώτη γενιά: 3Y-TZP σχετική αδιαφάνεια, διαστρωμάτωση
- 2) Δεύτερη γενιά: 3Y-TZP σχετική ημιδιαφάνεια, μονολιθική εφαρμογή στα πρόσθια δόντια
- 3) Τρίτη γενιά: 4 ή 5Y-TZP σχετικά υψηλή ημιδιαφάνεια, μονολιθική εφαρμογή και στα πρόσθια δόντια

ά Η ποσοστιαία αναλογία σε mol είναι υπεύθυνη για τη διαφορά στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σε κάθε κατηγορία ζirkονίας. Η ισχυρότερη είναι η αδιαφανής ζirkονία που περιέχει περίπου 3 mol.% ύττρια (85 - 90% τετραγωνική φάση) ενώ η ημιδιαφανής ζirkονία με περίπου 5 mol.% ύττρια, έχει περίπου 50%. Η ύττρια μειώνει τον συντελεστή θερμικής διαστολής και αυξάνει το μέγεθος των κόκκων ζirkονίας. Για τη μερική σταθεροποίηση της τετραγωνικής φάσης, η αδιαφανής ζirkονία έχει 3 mol.% ύττριας. Αυτή η σύνθεση επιδεικνύει τη μέγιστη δυσθραυστότητα (3,5 - 4,5 MPam^{1/2}) και αντοχή σε κάμψη (1200 - 1500 MPa)⁶⁹. Παρά την υψηλή αντοχή, η αδιαφάνεια της 3Y-TZP περιορίζει σημαντικά την εφαρμογή της σχεδόν αποκλειστικά στα οπίσθια δόντια. Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση αλουμίνιας μειώνεται από 0,25% κατά βάρος σε 0,05% για να διατηρηθούν ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες και ημιδιαφάνεια. Πρόσφατες συνθέσεις και των δύο, 4 και 5 mol.%

Y-TZP διατηρούν την αλουμίνα στο 0,05% κατά βάρος ενώ αυξάνουν την ύπτρια από 3 σε 4 ή 5 mol.%⁷⁰.

Πίνακας 2: Τύποι ζirkονίας με βάση τη συγκέντρωση υπτριάς⁷¹

3Y-ZP	4Y-TZP	5Y-TZP
IPS e.max [®] ZirCad LT and MO (Ivoclar Vivadent) ivoclarvivadent.com (accessed on 22 December 2021)	IPS e.max ZirCAD MT (Ivoclar Vivadent) ivoclarvivadent.com (accessed on 22 December 2021)	Cercon [®] XT, Dentsply Sirona, dentsplysirona.com (accessed on 22 December 2021)
BruxZir [®] (Glidewell Laboratories) glidewell dental.com (accessed on 22 December 2021)		BruxZir Anterior (Glidewell Laboratories) glidewell dental.com (accessed on 22 December 2021)
KATANA [™] HT (Kuraray Noritake) KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)	KATANA [™] ST/STML (Kuraray Noritake) KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)	KATANA [™] UT/UTML (Kuraray Noritake) KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)
Lava [™] Plus, 3M ESPE		Lava Esthetic, 3M ESPE
Zpex 3Y (Tosoh)	Zpex [®] 4, Kraun, (Tosoh) kraun.eu (accessed on 22 December 2021)	Zpex Smile (Tosoh)
Zenostar MO (Wieland Dental)	Zenostar MT (Wieland Dental)	Prettue Zir (Zirconzhan)

4.5 Ρόλος υπτριάς - Σταθεροποιημένη με υπτρία ζirkονία (Y-TZP)

Το γεγονός ότι η σταθεροποιημένη με υπτρία ζirkονία (Y-TZP) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα στον τομέα των οδοντιατρικών υλικών αποκατάστασης βασίζεται στην υπεροχή του υλικού όσον αφορά στις μηχανικές του ιδιότητες σε σύγκριση με τα άλλα ολοκεραμικά συστήματα. Η μέγιστη διαλυτότητα της Y₂O₃ στη ζirkονία είναι 8% κατά mol είναι πολύ καλύτερη από άλλα οξειδία όπως το CaO ή το MgO. Οι υψηλές μηχανικές ιδιότητες της Y-TZP ^{75, 76, 77}.

Με προσθήκη 8% κατά mol Y₂O₃ αναπτύσσεται η Πλήρως Σταθεροποιημένη Ζirkονία FSZ (Fully Stabilized Zirconium) που έχει κυβική δομή και παρουσιάζει ιοντική αγωγιμότητα. Σε ποσοστό από 3% έως 5% προκύπτει η Μερικώς Σταθεροποιημένη Ζirkονία PSZ (Partially Stabilized Zirconium) η οποία αποτελείται και από τις τρεις φάσεις (κυβική, τετραγωνική, μονοκλινής). Έτσι σήμερα, τα Y-TZP κεραμικά ζirkονίας (σταθεροποιημένα με 3-5% οξείδιο του υπτρίου) χρησιμοποιούνται στην κλινική πράξη λόγω της υψηλότερης αντοχής τους, η οποία οφείλεται στην σταθεροποιημένη τετραγωνική φάση, τα οποία διαθέτουν καλές μηχανικές ιδιότητες, όπως

σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας, εξαιρετική αντοχή στη φθορά, χαμηλή ευθραυστότητα, χημική διαλυτότητα καθώς και υψηλότερο βαθμό μηχανικής κατεργασίας^{78, 79}.

4.6 Ιδιότητες της ζirkονίας

Υπάρχει αφθονία πρώτων υλών που μπορεί να βρεθεί στη φύση για την παραγωγή ζirkονίας όπως ορυκτά ζirkονίου ($ZrSiO_4$) και βαδελειίτης (β - ZrO_2). Η ζirkονία έχει καθαρή κρυσταλλική μορφή ως λευκό και όλκιμο μέταλλο και έχει άμορφη μορφή ως μπλε - μαύρη σκόνη. Μετά την εφαρμογή της του ως υλικό οδοντικών αποκαταστάσεων, η ζirkονία με διάφορες μορφές, χρησιμοποιείται παγκοσμίως για να αντικαταστήσει τις μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις. Η χρήση κεραμικών - ζirkονίας έναντι μεταλλοκεραμικών αποκαταστάσεων είναι πιο επιθυμητή λόγω της βιοσυμβατότητας, της εμφάνισης όσο το δυνατόν πιο κοντά στα φυσικά δόντια. Οι μονολιθικές αποκαταστάσεις ζirkονίας έχουν αποδειχθεί καλύτερες στις μηχανικές ιδιότητες, αλλά προσφέρουν περιορισμένη αναπαραγωγή του χρώματος των δοντιών, ενώ η κατάσταση της τελικής επιφάνειας και η συμπεριφορά φθοράς εξακολουθούν να εγείρουν ορισμένα ερωτήματα. Οι ιδιότητές της ζirkονίας είναι οι εξής⁸⁰:

- 1) Ακτινοσκιερότητα
- 1) Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa) >650
- 2) Αντοχή σε κάμψη (MPa) 900-1300
- 3) Αντοχή στη συμπίεση (MPa) >2000
- 4) Δυσθραυστότητα ($MNm^{-3/2}$) 7-9
- 2) Λευκό χρώμα που μοιάζει με του φυσικού δοντιού
- 5) Μέσο μέγεθος κόκκων (μm) 0.2-0.4
- 6) Μέτρο ελαστικότητας (GPa) 150-210
- 7) Περιεκτικότητα σε Y_2O_3 (%) 3-5
- 8) Περιεκτικότητα σε ZrO_2 (%) 95-97
- 9) Πυκνότητα (mgm^{-1}) 6.05-6.09

- 10) Σκληρότητα Vickers (HV0.1) 1200-1300
- 3) Υψηλή βιοσυμβατότητα

4.6.1 Μετασχηματισμός φάσεων

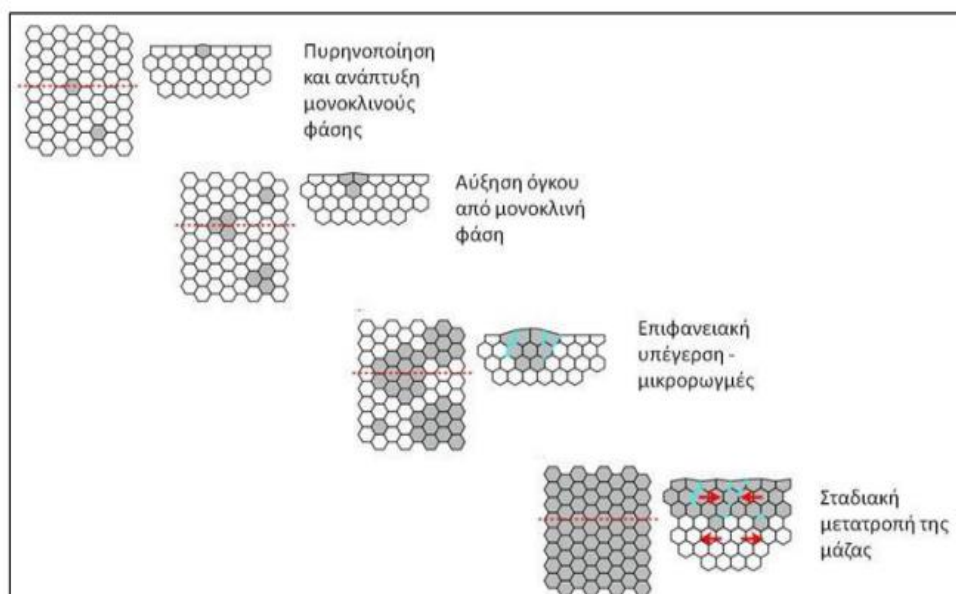
Τα Υ-TZP κεραμικά χαρακτηρίζονται από την τάση μετασχηματισμού των κρυσταλλικών τους φάσεων, καθώς η τετραγωνική φάση (t) η οποία ορίζεται ως φάση υψηλής ενεργειακής κατάστασης μετασχηματίζεται σε μονοκλινή (m) η οποία ορίζεται ως φάση χαμηλής ενεργειακής κατάστασης. Ο προαναφερόμενος μετασχηματισμός φάσεων (t→m) ενεργοποιείται από την εφαρμογή τάσεων και συνοδεύεται από διαστολή του όγκου του υλικού της τάξης του 4% λόγω του μεγαλύτερου όγκου που καταλαμβάνει η μονοκλινής φάση στη μάζα του σε σύγκριση με την τετραγωνική. Παρά το γεγονός ότι στο φαινόμενο μετασχηματισμού αποδίδεται η υψηλή αντοχή στη θραύση των Υ-TZP κεραμικών, η ενεργοποίηση αυτού και η επακόλουθη υπέρμετρη ογκομετρική διαστολή του σε κάποιες περιπτώσεις αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία αποτυχίας των ολοκεραμικών αποκαταστάσεων των Υ-TZP κεραμικών ζirkονίας λόγω θραύσης. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την αποφυγή της θραύσης του υλικού είναι τόσο η υψηλή πυκνότητα της τετραγωνικής και μονοκλινούς δομής του, όσο και η αποφυγή της ανεξέλεγκτης ογκομετρικής διαστολής του κατά τη διάρκεια του μετασχηματισμού.^{73, 81, 82.}

4.6.2 Γήρανση ζirkονίας

Τα κεραμικά ζirkονίας μπορεί να εμφανίσουν μια σταδιακή αποδόμηση σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, (Low Temperature Degradation - LTD) γνωστή ως γήρανση. Η διαδικασία της γήρανσης συμπεριλαμβάνει τον αυθόρμητο και σταδιακό μετασχηματισμό της τετραγωνικής σε μονοκλινή φάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μηχανικές ιδιότητες της Υ-TZP, και ιδιαίτερα η αντοχή, να υποβαθμίζονται. Πιο συγκεκριμένα, σε περιβάλλον

υγρασίας, η επιφάνεια της τετραγωνικής ζirkονίας μετατρέπεται προοδευτικά στην μονοκλινή της φάση, φαινόμενο που ενώ πραγματοποιείται ταχύτερα στη θερμοκρασία των 250 °C, ωστόσο μπορεί να συμβεί και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Chevalier σε δημοσιεύσεις του το 2006, 2007 και 2009 υπό μπορεί να συμβεί και με νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Σε αρκετά πειράματα, έχει αποδειχθεί η αποδόμηση της ζirkονίας όταν εκτίθεται σε υγρασκοπικό περιβάλλον. Στα βασικά στοιχεία τη γήρανσης παρατηρείται το φαινόμενο να εμφανίζεται σε ένα κρίσιμο θερμοκρασιακό εύρος 200-300° C, και να εξαρτάται από το χρόνο, να καταγράφεται πάντα αύξηση του ποσοστού μονοκλινούς φάσης, η αποδόμηση/έκπτωση των μηχανικών ιδιοτήτων να πραγματοποιείται με εμφάνιση μικρο- και μακρορωγμών του υλικού, το φαινόμενο ξεκινά από την επιφάνεια και επεκτείνεται στη μάζα του υλικού, να διακρίνεται υψηλότερη περιεκτικότητα οξειδίων σταθεροποίησης και μικρότερο μέγεθος κόκκων αυξάνει την αντίσταση στο μετασχηματισμό και ο μετασχηματισμός να ενισχύεται σε περιβάλλον νερού ή σε ατμό⁸³⁻⁸⁷.

Ο μετασχηματισμός λαμβάνει χώρα αρχικά σε μεμονωμένους κρυστάλλους τετραγωνικής φάσης στην επιφάνεια όπως φαίνεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Σταδιακή αποδόμηση (γήρανση) κεραμικών ζirkονίας Y-TZP⁸⁷

4.6.3 Αντοχή μονολιθικής ζirkονίας

Οι στεφάνες ή οι αποκαταστάσεις από μονολιθική ζirkονία, έχει παρατηρηθεί, ότι έχουν μεγαλύτερη συνολική αντοχή από τις παλαιότερες μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις, ειδικότερα, έχει αναφερθεί ότι η αντοχή σε κάμψη του υλικού είναι κατά 2/3 υψηλότερη σε σύγκριση με τις παλαιότερες μεταλλοκεραμικές^{2, 88}. Η αύξηση της κυβικής φάσης για τη βελτίωση της διαφάνειας μειώνει την αντοχή του υλικού. Συνεπώς, το 5Y-TZP δεν συνίσταται να χρησιμοποιείται σε οπίσθιες αποκαταστάσεις με περισσότερο από τρία δόντια. Επίσης, το υλικό αυτό δεν παρουσιάζει τον μηχανισμό μετασχηματισμού σκλήρυνσης. Για το λόγο αυτόν, η πλήρως σταθεροποιημένη ζirkονία προσφέρει λιγότερα μηχανικά οφέλη και προτείνεται για εφαρμογές που δέχονται λιγότερες τάσεις^{89, 90, 91}.

Λόγω των προβλημάτων με τη βιοσυμβατότητα των κραμάτων, επιλέγεται η αντικατάσταση των απολεσθέντων δοντιών με ολοκεραμικές αποκαταστάσεις χωρίς μεταλλικό σκελετό. Οι ολοκεραμικές αποκαταστάσεις ζirkονίας είναι δυνατόν να κατασκευαστούν με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος περιλαμβάνει την κατασκευή ενός κεραμικού πυρήνα ζirkονίου (Y-TZP) πάνω στον οποίο επικάθεται ένα στρώμα αστριούχου πορσελάνης, προκειμένου να επιτευχθεί υψηλός βαθμός διαφάνειας και αισθητικής απόδοσης. Λόγω της διστρωματικής κατασκευής (bilayered structure) παρατηρούνται προβλήματα αποφλοίωσης του αισθητικού αστριούχου κεραμικού (chipping) με ή χωρίς έκθεση του πυρήνα, θραύση του πυρήνα (fracture) και αποκόλληση της αποκατάστασης (debonding). Μελέτες αναφέρουν ποσοστό αποφλοίωσης 6%-15% σε 3-5 χρόνια, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τις μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις ανέρχεται στο 4%-10% έπειτα από 10 χρόνια παρακολούθησης. Η αποφλοίωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με την αντοχή του δεσμού μεταξύ του πυρήνα ζirkονίας και του αισθητικού υλικού επικάλυψης⁹².

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του δεσμού πυρήνα ζirkονίας αισθητικού υλικού επικάλυψης είναι⁹³: ο διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής (Coefficient Of Thermal Expansion - CTE), η διαβροχή του πυρήνα από το αισθητικό υλικό επικάλυψης, η συρρίκνωση του αισθητικού υλικού επικάλυψης κατά την όπτηση, η αναλογία πάχους πυρήνα-αισθητικού υλικού

επικάλυψης και τέλος οι εργαστηριακές διαδικασίες – τεχνικές επεξεργασίας. Λόγω των ανωτέρω προβλημάτων, η οδοντιατρική βιομηχανία έχει στραφεί τα τελευταία πέντε χρόνια στην κατασκευή Μονολιθικών Αποκαταστάσεων Ολικού Σχήματος (Full-Contour Monolithic Restorations).

Σήμερα, οι αποκαταστάσεις από μονολιθική ζirkονία παρασκευάζονται αποκλειστικά μέσω της CAD/CAM τεχνολογίας και διαθέτουν υψηλή μηχανική αντοχή, ιδιότητα καθοριστική για τις αποκαταστάσεις αυτές, καθώς θα πρέπει να ανθίσταται στα υψηλά συγκλεισιακά φορτία που αναπτύσσονται κατά τη μάσηση, ιδιαίτερα στην περιοχή των συνδέσμων των γεφυρών⁹⁴.

4.7 Εφαρμογή ζirkονίας στις γέφυρες

Για πολλά χρόνια το πρότυπο για ακίνητες γέφυρες βασιζόταν στη χρήση της πορσελάνης ως επικαλύπτον υλικό. Αυτές οι αποκαταστάσεις παρείχαν καλή αισθητική και είναι ανθεκτικές στη φθορά. Ωστόσο, δεδομένου ότι η τεχνολογία και η έρευνα έχουν προχωρήσει, έχουν εισαχθεί νεότερα ολοκεραμικά υλικά, μερικά από τα οποία είναι ιδανικά για αποκαταστάσεις εντός της αισθητικής ζώνης⁹⁵. Η εισαγωγή της ζirkονίας στις γέφυρες ήρθε να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα, συνδυάζοντας την εξαιρετική αντοχή με την αισθητική. Η ζirkονία είναι αρκετά ισχυρή ώστε να επιτρέπει τη μείωση του πάχους του υλικού του πυρήνα, κάτι που μπορεί να είναι χρήσιμο από αισθητική άποψη. Το 5Y-TZP έχει μελετηθεί προσεκτικά για τη βιοσυμβατότητά του και έχει βρεθεί ότι έχει καλή συμβατότητα με τους ιστούς. Είναι ένα ελκυστικό υλικό για άτομα που θα προτιμούσαν να έχουν γέφυρες χωρίς κράματα λόγω αλλεργιών αν και οι ευαισθησίες στα οδοντικά κράματα είναι αρκετά σπάνιες. Σε αυτή την περίπτωση, μια γέφυρα ζirkονίας είναι μια εξαιρετική βιοσυμβατή και υψηλής αισθητικής επιλογή⁹⁶.

Για την κατασκευή γεφυρών έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι ζirkονίας, παρέχοντας νέες προοπτικές σε οδοντοστοιχίες χωρίς κράματα και προσθέσεις ενός δοντιού με ελπιδοφόρα αλλά πρώιμα κλινικά αποτελέσματα. Σε μια μελέτη που χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία DCS Precident για την παραγωγή 65 γεφυρών ζirkονίας και πραγματοποιήθηκε παρακολούθησή

τους κατά μέσο όρο για τρία χρόνια, προέκυψε ότι το 6% των γεφυρών είχαν περιορισμένη αποφλοίωση του υλικού επένδυσης, υποδεικνύοντας ένα αθροιστικό ποσοστό επιβίωσης της τάξης του 86% σε αυτές ⁹⁷. Η ζirkονία έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών οδοντιατρικών υλικών, γεγονός που καθιστά δυνατή τη χρήση της στην κατασκευή γεφυρών ^{69, 98}.

4.8 Ζirkονία και CAD CAM

Για περισσότερες από τρεις δεκαετίες, συλλέγονται στοιχεία που υποστηρίζουν την αξιοπιστία των στοματικών εμφυτευμάτων ως θεραπευτική επιλογή για την αντικατάσταση των δοντιών που έχουν απωλεσθεί. Η τεχνική CAD CAM επιτρέπει την κατασκευή αποκαταστάσεων από διάφορες κατηγορίες κεραμικών μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η ζirkονία. Τα κεραμικά ζirkονίας CAD CAM αποτελούνται ως επί το πλείστον από σταθεροποιημένη με 3 mol % υτρία (Y_2O_3) (3 Y-TZP) ενώ υπάρχει διαθέσιμη και η μερικώς σταθεροποιημένη ζirkονία με μαγνήσιο (Mg) (Mg-PSZ). Τα κεραμικά ζirkονίας παρασκευάζονται αποκλειστικά μέσω της τεχνολογίας CAD CAM τεχνολογίας και υπάρχουν δύο δυνατότητες κοπής ανάλογα με το βαθμό πυροσυσσωμάτωσης της ζirkονίας ⁹⁹.

Στην περίπτωση της Ζirkονίας Μερικής Πυροσυσσωμάτωσης (Soft Machining) πραγματοποιείται η κοπή ενός μερικώς πυροσυσσωματούμενου κεραμικού με πορώδη δομή σε σύντομο χρόνο και με μικρότερο κόστος και στη συνέχεια ακολουθεί η όπτηση του κεραμικού για την ολοκλήρωση της πυροσυσσωμάτωσης, τη σκλήρυνση και την επίτευξη της τελικής πυκνότητας του υλικού. Η συγκεκριμένη τεχνική χαρακτηρίζεται από ευκολία κοπής και μικρότερο κόστος ενώ το βασικό μειονέκτημα είναι η συστολή μετά την όπτηση η οποία θα πρέπει να προϋπολογιστεί, ώστε να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή στα αυχενικά όρια⁹⁹.

Στη Ζirkονία Πλήρους Πυροσυσσωμάτωσης (Hard Machining), η κοπή διενεργείται εξολοκλήρου σε πλήρως πυροσυσσωματωμένο μπλοκ κεραμικού. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, οδηγεί σε καταστροφή των κοπτικών εξαρτημάτων και ανάπτυξη θερμότητας με

επακόλουθο τη δημιουργία ρωγμών στο υλικό που επηρεάζουν τη μηχανική αντοχή του. Ταυτόχρονα όμως το γεγονός ότι δεν απαιτείται επιπρόσθετη όπτηση, εξαλείφει τη συστολή και τα υλικό παρουσιάζει μικρότερο πορώδες (αυξημένη αντοχή)^{99, 100}. Η χρήση της ζirkονίας σε συστήματα CAD CAM για την δημιουργία εμφυτεύσιμων προσθετικών έχει αποδειχθεί ότι συνεισφέρει σημαντικά σε πολλαπλά επίπεδα, όπως στην υψηλή αντοχή σε εφαρμοζόμενο μασητικό φορτίο της τάξης των 300 - 460N¹⁰¹.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΦΥΡΕΣ

5.1 Τα μέρη της γέφυρας

Οι ακίνητες οδοντικές προσθέσεις που προορίζονται για αναπλήρωση κενού στον οδοντικό φραγμό ύστερα από απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών, ονομάζονται γέφυρες. Οι γέφυρες, ανεξάρτητα από την αιτία δημιουργίας του κενού, αποτελούν συνήθη κλινικά και θεραπευτικά μέσα που αποκαθιστούν τη φυσιολογική λειτουργία του στοματογναθικού συστήματος. Ακόμη και η απώλεια ενός μόνο δοντιού, διαταράσσει τις σχέσεις των υπολοίπων. Οι γέφυρες κατασκευάζονται με σκοπό την αισθητική αποκατάσταση του ατόμου, την ομαλή λειτουργία της μάσησης, της φώνησης καθώς της ισορροπίας του στοματογναθικού συστήματος, παράγοντες που διαταράσσονται μετά την απώλεια των δοντιών ¹⁰².

Τα αίτια που οδηγούν στην απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών είναι συνήθως η εκτεταμένη τερηδόνα, η φλεγμονή του πολφού ή των περιακρορριζικών ιστών, οι νόσοι του περιοδοντίου, τραυματισμός μετά από ατύχημα, ή μια γενικότερη νόσος. Όταν η απώλεια των οδοντικών ιστών είναι εκτεταμένη καθιστά δύσκολη και την τοποθέτηση της γέφυρας λόγω του μεσοφραγματικού χώρου ενώ παράλληλα, με την αποκάλυψη των ριζών, προκαλείται υπερευαισθησία. Επίσης, παρουσιάζεται διαταραχή της συγκλεισιακής σχέσης με τους ανταγωνιστές όταν υπάρχουν πρόωρες επαφές των φυμάτων, οι οποίες προκαλούν παρεμβολές στις κινήσεις της κάτω γνάθου, ενώ δεν πρέπει να παραβλέπεται και η πιθανή μετατόπισή της, που έχει σαν επακόλουθο τη δυσαρμονία μεταξύ της κεντρικής σχέσης και της σύγκλεισης των μέγιστων επαφών ¹⁰³.

Η εκτεταμένη απώλεια των οπίσθιων δοντιών και, κατά συνέπεια, των μέγιστων επαφών τους, οδηγεί στη μεταβολή ή και την απώλεια της κατά μήκος διάστασης του προσώπου, ακόμη και στην απώλεια του πρόσθιου οδηγού. Η σταδιακή απορρόφηση της φατνιακής ακρολοφίας μετά την απώλεια των δοντιών, έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο αισθητικό αποτέλεσμα, ιδίως όταν πρόκειται για την κατασκευή πρόσθιας γέφυρας¹⁰².

Η τοποθέτηση μιας γέφυρας είναι δυνατή υπό την προϋπόθεση ότι και στα δύο άκρα του νωδού τμήματος, υπάρχουν φυσικά δόντια ή ρίζες που θα μπορέσει να στηριχθεί. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή μιας γέφυρας εξαρτάται επίσης από παράγοντες όπως οι σχέσεις των φυσικών δοντιών με τα παρακείμενα και τους ανταγωνιστές τους, η υγεία του περιοδοντίου, η διατήρηση της στοματικής υγείας, η ηλικία του ατόμου. Ο καθοριστικότερος παράγοντας για τη σχεδίαση της γέφυρας είναι ο αριθμός των δοντιών που θα αποτελέσουν τα στηρίγματα της. Η γέφυρα αποτελείται από τα φυσικά δόντια ή ρίζες στα οποία στηρίζεται και ονομάζονται στηρίγματα, από τις προσθετικές κατασκευές που εφαρμόζουν στα στηρίγματα και ονομάζονται συγκρατήματα, από το γεφύρωμα που αποτελεί μέρος της γέφυρας και αναπληρώνει τα κενά δόντια και από το σύνδεσμο^{103, 104}.

5.1.1 Στήριγμα

Τα φυσικά δόντια ή ρίζες που βρίσκονται γύρω από τη νωδή περιοχή αποτελούν τα στηρίγματα στα οποία στηρίζεται η γέφυρα. Τα συγκεκριμένα δόντια επιβαρύνονται με τις ασκούμενες δυνάμεις της μάσησης, στις οποίες επιπλέον, προστίθενται και οι δυνάμεις που αντιστοιχούν στα δόντια που απουσιάζουν. Για να αντέξουν τα δόντια στο συγκεκριμένο φορτίο αλλά και για να προσφέρουν την αντοχή και τη συγκράτηση που απαιτεί η γέφυρα, θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, όπως το ικανοποιητικό μέγεθος μύλης, η απαλλαγή από τερηδόνα, η ευμεγέθης ρίζα, το υγιές περιοδόντιο, η σχέση τους με τους ανταγωνιστές να είναι αρμονική, χωρίς παρεμβολές και να υπάρχει ο απαιτούμενος μεσοφραγματικός χώρος^{102, 103}.

Από τα υπάρχοντα φυσικά δόντια ως καταλληλότερα για στήριγμα της γέφυρας είναι οι γομφίοι, οι προγόμφιοι, οι κυνόδοντες άνω και κάτω γνάθου και οι κεντρικοί τομείς της άνω. Οι πλάγιοι τομείς της άνω και οι κεντρικοί και πλάγιοι τομείς της κάτω γνάθου, δεν διαθέτουν την απαιτούμενη στηρικτική και συγκρατητική ικανότητα. Στήριγμα της γέφυρας μπορούν επίσης να αποτελέσουν και ρίζες δοντιών, οι οποίες κρίνονται κατάλληλες μετά από αξιολόγηση της στηρικτικής τους ικανότητας ενώ αν επιδέχονται ενδοδοντική θεραπεία θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν από την προσθήκη γέφυρας. Ο

αριθμός των στηριγμάτων μιας γέφυρας εξαρτάται βασικά από την έκταση της νωδής περιοχής. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει απώλεια ενός μόνο δοντιού, τα στηρίγματα είναι συνήθως δύο. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, όπου η νωδότητα είναι μεγαλύτερη, ο αριθμός τους εξαρτάται από την κατάσταση των όμορων δοντιών. Για να εκτιμηθεί η δυνατότητα των φυσικών δοντιών να στηρίξουν μια γέφυρα, θα πρέπει το άθροισμα του εμβαδού της στηρικτικής επιφάνειας των δοντιών στηριγμάτων να είναι ίσο ή μεγαλύτερο του αθροίσματος που αντιστοιχεί στα απολεσθέντα δόντια. Παράλληλα, συνεκτιμώνται η κατάσταση των περιοδοντικών ιστών, η οστική στήριξη ή ύπαρξη κινητικότητας των δοντιών ^{102, 103, 104}.



Εικόνα 14: Στηρίγματα γέφυρας από φυσικά δόντια και εμφυτεύματα¹⁰²

5.1.2 Συγκράτημα

Το συγκράτημα αποτελεί το μέρος εκείνο της γέφυρας που εφαρμόζει πάνω στο δόντι στήριγμα. Αυτό, προηγουμένως έχει παρασκευαστεί κατάλληλα ακολουθώντας πιστά τη μορφολογία του δοντιού, αποκαθιστώντας τη σχέση του με τα παρακείμενα δόντια και τους ανταγωνιστές. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του, είναι το μέρος της γέφυρας που συγκολλάται σταθερά στο δόντι στήριγμα. Η επιλογή και το είδος του συγκρατήματος της εκάστοτε γέφυρας εξαρτάται από τη θέση που καταλαμβάνει η γέφυρα στον οδοντικό φραγμό (άνω ή κάτω γνάθου), την πρόσθια ή οπίσθια θέση της στο οδοντικό τόξο, την έκταση της νωδής περιοχής, τον αριθμό και την κατάσταση των φυσικών δοντιών που θα στηρίξουν τη γέφυρα, το μεσοφραγματικό χώρο και τις συγκλεισιακές σχέσεις ¹⁰³. Κατά περίπτωση, το συγκράτημα μπορεί να είναι ολική χυτή στεφάνη,

ολική χυτή στεφάνη με όψη, μεταλλοκεραμική στεφάνη, ολοκεραμική στεφάνη ή στεφάνη από ενισχυμένα πολυμερή υλικά. Σε συγκεκριμένες προϋποθέσεις, το συγκράτημα μπορεί επίσης να είναι ένθετο, επένθετο ή στεφάνη μερικής επικάλυψης^{102, 104}.



Εικόνα 15: Συγκρατήματα γέφυρας¹⁰²

5.1.3 Γεφύρωμα

Το γεφύρωμα αποτελεί το μέρος της γέφυρας το οποίο αντικαθιστά ένα ή περισσότερα δόντια που έχουν απωλεσθεί. Τοποθετείται στη θέση των δοντιών που λείπουν για να καλύψει το κενό διάστημα του φραγμού και συνδέεται με τα συγκρατήματα που έχουν εφαρμόσει στα φυσικά δόντια στηρίγματα. Το γεφύρωμα, με τη σχεδίαση και την κατασκευή του, θα πρέπει να εστιάζει στην αποκατάσταση της λειτουργικότητας των δοντιών, την ευκολία κατά την εξάσκηση της στοματικής υγιεινής, την άνεση για τον ασθενή, να πληροί τις ανάγκες της αισθητικής, να μην ευνοεί το σχηματισμό μικροβιακής πλάκας, να είναι βιολογικά ανεκτό και να αντέχει στις δυνάμεις της μάσησης χωρίς τον κίνδυνο παραμόρφωσης ή θραύσης. Οι βασικοί παράγοντες που δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την κατασκευή ενός σωστού γεφυρώματος είναι η επιλογή των υλικών και η σχεδίασή του, έτσι ώστε να είναι ανθεκτικό στις μασητικές δυνάμεις και να αποδίδει το επιθυμητό, αισθητικό αποτέλεσμα^{102, 103}.

Η γέφυρα που κατασκευάζεται με στόχο την αναπλήρωση της έλλειψης ενός ή περισσότερων δοντιών, δέχεται αυξημένες δυνάμεις κατά τη μάσηση, οι οποίες, εκτός από το ότι επιβαρύνουν τα φυσικά δόντια, μπορεί να

προκαλέσουν κάμψη στην περιοχή του γεφυρώματος, δημιουργώντας δυσμενείς συνέπειες στα δόντια στηρίγματα, κακώσεις στη νωδή περιοχή και πρόκληση προβλημάτων στη σύγκλειση των δοντιών. Η κάμψη είναι αποτέλεσμα της πλαστικής παραμόρφωσης που υφίσταται το γεφύρωμα, όταν ασκείται σε αυτό δύναμη κάθετη στον επιμήκη άξονά του και συναρτάται από τη δύναμη που ασκείται αλλά και των υλικών που επιλέγονται για την κατασκευή του. Η αντοχή του γεφυρώματος βασίζεται στη σχεδίαση ενώ το μήκος του καθορίζεται από την έκταση της νωδής περιοχής^{102, 104}.

Η ακαμψία στο γεφύρωμα επιτυγχάνεται στη σχεδίασή λαμβάνοντας υπόψη τη θεωρία των δοκών. Με βάση τη συγκεκριμένη θεωρία, όταν το μήκος του γεφυρώματος αυξάνεται στο διπλάσιο, η κάμψη οκταπλασιάζεται και αυτό σημαίνει ότι, η αντοχή του γεφυρώματος μειώνεται σε επίπεδα του 1/8. Όταν το ύψος του γεφυρώματος, κατά την αυχενομασητική του διάσταση, μειωθεί κατά 1/2, η κάμψη ανάλογα οκταπλασιάζεται γιατί είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους. Μείωση κατά την παρειογλωσσική διάσταση του πλάτους του γεφυρώματος στο 1/2, μειώνει ανάλογα την αντοχή του¹⁰³.

Το γεφύρωμα κατασκευάζεται από μεταλλοκεραμικά ή ολοκεραμικά υλικά. Το βασικό κριτήριο επιλογής του υλικού είναι η αντοχή, η βιολογική του συμπεριφορά και η συμβολή του στη διατήρηση της υγείας των μαλακών ιστών της νωδής περιοχής. Πέρα από την επιλογή των κατάλληλων υλικών και την από μέρους του ασθενή προσπάθεια διατήρησης της καλής στοματικής υγιεινής, εκείνο που έχει μεγάλη σημασία για την επιτυχία ή την αποτυχία μιας γέφυρας, είναι η ορθή σχεδίαση του γεφυρώματος. Το σωστά σχεδιασμένο γεφύρωμα μιας ακίνητης γέφυρας, εκτός από το ότι θα καλύψει τις ανάγκες της λειτουργικότητας και της αισθητικής, θα εξασφαλίσει τη διατήρηση της υγείας του υποκείμενου βλεννογόνου^{102, 103}.



Εικόνα 16: Γεφύρωμα γέφυρας¹⁰²

5.1.4 Σύνδεσμος

Ως σύνδεσμος ονομάζεται το μέρος εκείνο της γέφυρας που ενώνει το γεφύρωμα με τα συγκρατήματα ή τα γεφυρώματα μεταξύ τους όταν αυτά είναι περισσότερα του ενός. Συνδέει επίσης, μεμονωμένες στεφάνες παρακείμενων δοντιών, οι οποίες αποτελούν συγκρατήματα της ίδιας γέφυρας ή παρακείμενες στεφάνες. Ο σύνδεσμος τοποθετείται στις όμορες επιφάνειες, μεταξύ συγκρατήματος και γεφυρώματος, στη θέση που αντιστοιχεί στο σημείο επαφής των δύο παρακείμενων δοντιών, χωρίς να αποτελεί όμως σημείο αλλά επιφάνεια με έκταση η οποία είναι αναγκαία για να εξασφαλίζεται η αντοχή του συνδέσμου στις δυνάμεις της μάσησης χωρίς να διατρέχεται ο κίνδυνος θραύσης ή παραμόρφωσης ¹⁰³.

Η θέση στην οποία τοποθετείται καθώς και το σχήμα του συνδέσμου, διαμορφώνεται ανάλογα με το αν πρόκειται για πρόσθια ή οπίσθια γέφυρες. Οι αποκαταστάσεις πρέπει να εμφανίζουν ικανοποιητικό συνδυασμό αισθητικής και αντοχής, όμως η κύρια περιπλοκή συνδέεται με τη θραύση του κεραμικού ιδιαίτερος στην περιοχή των συνδέσμων (αυξημένες εφελκυστικές τάσεις). Για το λόγο αυτό απαιτούνται διαστάσεις συνδέσμων τουλάχιστον 4 – 5 χιλ αυχενομασητικά και 3 – 4 χιλ παρειογλωσσικά. Ιδιαίτερα καθοριστικός παράγοντας είναι και το συνολικό εμβαδόν του συνδέσμου που σε εγκάρσια τομή θα πρέπει να είναι $\geq 9 \text{ mm}^2$ αλλά και η ανατομική σχεδίαση του σκελετού που εξασφαλίζει και ομοιόμορφο πάχος αισθητικού κεραμικού επικάλυψης. Αυτό επιδρά θετικά στη μείωση των καταγμάτων και του chipping^{99, 102, 103, 104}.

5.2 Σχεδίαση

Η επιλογή του είδους της γέφυρας που θα κατασκευαστεί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι μεταξύ άλλων, η θέση που καταλαμβάνει το νωδό τμήμα αν δηλαδή βρίσκεται στο πρόσθιο ή οπίσθιο μέρος του φραγμού. Το συγκεκριμένο στοιχείο διαφοροποιεί τη σχεδίαση της γέφυρας, σύμφωνα με διαφορετικές προϋποθέσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Στις ενότητες που θα ακολουθήσουν, θα παρατεθούν κατά περίπτωση τα απαιτούμενα στοιχεία για την επιτυχία σχεδιασμού μιας γέφυρας πρόσθιων και οπίσθιων δοντιών ¹⁰³.

5.2.1 Γέφυρα πρόσθιων δοντιών

Οι γέφυρες των πρόσθιων δοντιών, σε σημεία που είναι εύκολα ορατά κατά τη διάνοιξη του στόματος, σχεδιάζονται με απώτερο στόχο να προσφέρουν το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα, που θα προσεγγίζει την εικόνα των φυσικών δοντιών χωρίς ωστόσο να μην συνεκτιμάται ο βιολογικός, ο μηχανικός και ο λειτουργικός παράγοντας. Η πρόσθια γέφυρα σε επίπεδο σχεδιασμού και διαμόρφωσης αποσκοπεί στη δημιουργία του πρόσθιου οδηγού, που θα εξυπηρετήσει τις συγκλεισιακές σχέσεις των προσθίων δοντιών. Τα βασικά στοιχεία που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ώστε να υπάρχει επιτυχημένη σχεδίαση στη γέφυρα των πρόσθιων δοντιών είναι τα ακόλουθα ^{102, 103}:

- 1) Αισθητικό αποτέλεσμα. Η απόδοση της αισθητικής, είναι από τους κυριότερους παράγοντες επιτυχίας μιας γέφυρας προσθίων δοντιών. Απαραίτητη προϋπόθεση να συνεκτιμάται η εκλογή των υλικών, η σωστή απεικόνιση μεγέθους, σχήματος και θέσης των φυσικών δοντιών, η απόδοση του σωστού χρωματισμού χωρίς να παραβλέπεται η αντοχή και η μακροβιότητα της γέφυρας.
- 2) Σχήμα και κυρτότητα του οδοντικού τόξου. Οι χειλικές επιφάνειες των δοντιών της πρόσθιας γέφυρας, συμβάλλουν στη στήριξη του

άνω χείλους και την αρμονική του σχέση με το χείλος της κάτω. Εκτός από τα δόντια στηρίγματα, τα γεφυρώματα θα πρέπει να τοποθετούνται στην ίδια θέση που είχαν τα φυσικά δόντια που απωλέσθηκαν ώστε να αναπαραχθεί η κυρτότητα του οδοντικού τόξου.

- 3) Επιμήκεις άξονες των δοντιών. Οι αυχένες των τομέων της άνω γνάθου αποκλίνουν προς τα άνω της μέσης γραμμής παρουσιάζοντας ένα αισθητικό αποτέλεσμα. Η βελτίωση του αισθητικού αποτελέσματος μπορεί να επιτευχθεί με διαφοροποίηση της αξονικής κλίσης.
- 4) Γραμμή γέλωτος. Το σχήμα και η καμπυλότητά της ουσιαστικά καθορίζει το βαθμό αποκάλυψης των πρόσθιων δοντιών ο οποίος μεταβάλλεται με την ηλικία και σχετίζεται άμεσα με την καλαισθησία του προσώπου.
- 5) Χειλική επιφάνεια γεφυρώματος. Η διαμόρφωσή του καθορίζεται από τις διαστάσεις και την μορφολογία των δοντιών που αντικαθιστά.
- 6) Αυχενοκοπτικό ύψος γεφυρώματος. Θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι αντίστοιχο της μορφολογίας των δοντιών που αντικαθιστά και να καλύπτει το κενό μέχρι την φατνιακή ακρολοφία.
- 7) Κοπτικό τελείωμα προσθίων δοντιών της άνω γνάθου. Διαμορφώνονται σύμφωνα με τα ανατομικά δεδομένα και προσαρμόζονται στην ηλικία, το φύλο, το βαθμό αποτριβής και γενικά την εικόνα και τα χαρακτηριστικά των υπολοίπων δοντιών του ασθενή. Το αντίστοιχο της κάτω γνάθου έχει σημαντική συμβολή στο αισθητικό και λειτουργικό αποτέλεσμα.
- 8) Σημεία επαφής με τα φυσικά δόντια. Τοποθετούνται κατά την αυχενοκοπτική διάσταση, στο κοπτικό τριτημόριο της μύλης και λίγο πιο κάτω από το κοπτικό χείλος, αφήνοντας έτσι κοπτικά έναν μικρό, τριγωνικό χώρο.
- 9) Μεσοδόντια διαστήματα στην περιοχή των προσθίων. Σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να μην ασκείται συμπίεση στα ελεύθερα ούλα και να διευκολύνεται ο καθαρισμός της περιοχής.

- 10) Γλωσσικές επιφάνειες της πρόσθιας γέφυρας. Διαμορφώνονται, κατά το μεγαλύτερο μέρος τους, σύμφωνα με την τυπική μορφολογία των δοντιών και στοχεύουν στη δημιουργία του πρόσθιου οδηγού.
- 11) Ουλική επιφάνεια γεφυρώματος. Πρέπει να είναι λεία και στιλβωμένη και να σχεδιάζεται κυρτή με κλίση προς τη χειλική πλευρά της φατνιακής ακρολοφίας.

5.2.2 Γέφυρα οπίσθιων δοντιών

Η σχεδίαση της γέφυρας των οπίσθιων δοντιών αποσκοπεί στην αποκατάσταση της λειτουργικότητας και της αισθητικής, χωρίς ωστόσο η τελευταία να έχει τον κύριο λόγο όπως συμβαίνει με τις πρόσθιες γέφυρες αφού η προσθετική αποκατάσταση τοποθετείται σε σημεία του φραγμού που είναι λιγότερο ορατά. Η αναπλήρωση του κενού, που προκύπτει από την απώλεια των φυσικών δοντιών, επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της οπίσθιας γέφυρας, η οποία αναπαράγει τη μορφολογία των δοντιών, συμπληρώνει το οδοντικό τόξο, αποκαθιστά την κάθετη διάσταση του προσώπου και διατηρεί την κλίση του μασητικού επιπέδου ^{102, 103}.

Το μασητικό επίπεδο, στις περισσότερες των περιπτώσεων διατηρείται από τα φυσικά δόντια του φραγμού, στις περιπτώσεις ωστόσο που υφίσταται εκτεταμένη απώλεια οπίσθιων δοντιών κρίνεται αναγκαίος ο επαναπροσδιορισμός του. Η σωστή κλίση του μασητικού επιπέδου, συμβάλλει καθοριστικά στην απόδοση της αισθητικής, στην αποσυναρμογή των οπίσθιων δοντιών κατά την προσθιολίσθηση και στην αποσυναρμογή της μη εργαζόμενης πλευράς κατά την πλαγιολίσθηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τοποθέτηση της οπίσθιας γέφυρας παρουσιάζει δυσκολίες, ιδιαίτερα όταν έχει μεσολαβήσει αρκετό χρονικό διάστημα από την εξαγωγή των δοντιών μέχρι την προσθετική αποκατάσταση, διότι μικραίνει το κενό διάστημα μεταξύ των δοντιών στηριγμάτων. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις εξετάζεται η δυνατότητα κατασκευής γεφυρώματος σε σχήμα δοντιού άλλης ομάδας ^{102, 103}.

Μερικές φορές, η παρειογλωσσική διάσταση της μασητικής επιφάνειας ενός γεφυρώματος, μπορεί να υπολείπεται εκείνης των φυσικών δοντιών ώστε να της ασκείται μικρότερη επιβάρυνση κατά τη μάσηση. Οι μασητικές επιφάνειες από την άλλη πλευρά διαμορφώνονται με βάση την τυπική μορφολογία των φυσικών δοντιών, με προσαρμογή στη γενικότερη κατάσταση του στόματος και με την πρόβλεψη του απαιτούμενου χώρου για την αποκατάσταση. Για τη διαμόρφωση της μασητικής επιφάνειας, που ξεκινά από τα λειτουργικά φύματα, σημαντική είναι η ορθή τοποθέτησή τους. Στη συνέχεια, τοποθετούνται τα οδηγά φύματα που είναι λίγο πιο χαμηλά από τα υπόλοιπα, δεν αρθρώνουν με τις μασητικές επιφάνειες των ανταγωνιστών, συμβάλλουν όμως σημαντικά στη μάσηση^{102, 103}..

Ο σύνδεσμος στις γέφυρες οπίσθιων δοντιών, τοποθετείται, στο μασητικό τριτημόριο της μύλης των δοντιών εκτός από τα οπίσθια δόντια της κάτω όπου τοποθετείται στο μέσο τριτημόριο. Κατά την παρειογλωσσική διάσταση τοποθετείται παρειακά της μεσότητας των δοντιών, ενώ μεταξύ του α' και β' γομφίου της άνω, τοποθετείται ακριβώς στη μέση. Κατά την αυχενομασητική διάσταση, τοποθετείται κάτω από την οριακή ακρολοφία της μασητικής επιφάνειας, σχηματίζοντας έναν μικρό τριγωνικό χώρο για τη μεσοδόντια θηλή των ούλων¹⁰³.

Η ουλική επιφάνεια του γεφυρώματος σε μια γέφυρα οπίσθιων δοντιών, επειδή γειτνιάζει με το βλεννογόνο, πρέπει να είναι λεία και καλά στιλβωμένη ενώ σχεδιάζεται κυρτή, με στρογγυλεμένα άκρα και με κλίση προς την παρειακή πλευρά της φατνιακής ακρολοφίας. Στην οπίσθια γέφυρα, το γεφύρωμα μπορεί να μην εφάπτεται με το βλεννογόνο αλλά αντίθετα, να απέχει από αυτόν ώστε να διευκολύνεται ο καθαρισμός της περιοχής. Η απόσταση του γεφυρώματος από την κορυφή της φατνιακής ακρολοφίας μπορεί να είναι 3 mm ή και περισσότερο, ανάλογα με το βαθμό απορρόφησης της ακρολοφίας, το τμήμα του φραγμού που καταλαμβάνει η γέφυρα, τις ανάγκες της αισθητικής και το διαθέσιμο μεσοφραγματικό χώρο¹⁰².

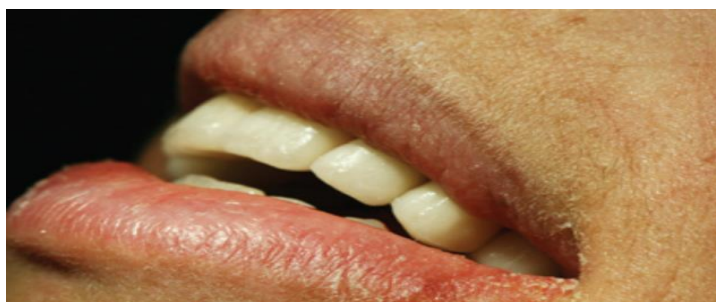
5.3 Τύποι γεφυρών

5.3.1 Ολοκεραμική γέφυρα

Οι ολοκεραμικές γέφυρες είναι μια εναλλακτική λύση χωρίς κράματα στις ευρέως διαδεδομένες σύνθετες κατασκευές μετάλλου - κεραμικού. Τα τελευταία χρόνια, πολλά ολοκεραμικά συστήματα έχουν καθιερωθεί στην αγορά. Η ημιδιαφάνεια και η φωτεινότητά τους επέτρεψαν την επίτευξη καλύτερων αισθητικών αποτελεσμάτων από ότι οι μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις¹⁰².

Στη σύγχρονη οδοντική τεχνολογία, διατίθενται συστήματα ενισχυμένων κεραμικών με βάση τη ζirkόνια, από τα οποία κατασκευάζονται εκτεταμένες γέφυρες, με το σύστημα CAD CAM, ακόμη και σε περιοχές υψηλής φόρτισης. Η σχεδίαση και η κατασκευή μιας ολοκεραμικής γέφυρας προσαρμόζεται στις ανάγκες του εκάστοτε ασθενούς και δεν ακολουθεί αυστηρά συγκεκριμένους τύπους. Σε αρκετές περιπτώσεις επιβάλλεται ο συνδυασμός του είδους της πρόσθεσης και των υλικών δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μια γέφυρα στην οποία περιλαμβάνονται διάφοροι τύποι αποκαταστάσεων¹⁰².

Οι ολοκεραμικές γέφυρες παρουσιάζουν εξαιρετική αισθητική και βιοσυμβατότητα. Ωστόσο, μια προβληματική πτυχή τους είναι η περιορισμένη ικανότητα φόρτισης. Αυτό είναι κρίσιμο για γέφυρες μεγάλου εύρους και ειδικά στην περίπτωση μιας οπίσθιας γέφυρας, επειδή οι δυνάμεις μάσησης είναι πολύ υψηλότερες στην περιοχή των γομφίων παρά στην πρόσθια. Η περιορισμένη ικανότητα φόρτισης προκαλείται από την περιορισμένη αντοχή και τη χαμηλή αντοχή στη θραύση των κεραμικών υλικών. Η μηχανική μακροπρόθεσμη συμπεριφορά είναι ακόμη πιο κρίσιμη, καθώς τα κεραμικά παρουσιάζουν μια εξαρτώμενη από το χρόνο μείωση αντοχής. Όσο περισσότερο μεγαλώνουν οι μικροσκοπικές ρωγμές, τόσο μικρότερη είναι η αντοχή του κεραμικού υλικού, δηλαδή τόσο μικρότερη είναι η ικανότητα φόρτισης της ολοκεραμικής γέφυρας¹⁰³.



Εικόνα 17: Ολοκεραμική γέφυρα με βάση τη ζirkονία ¹⁰²

5.4 Διαστρωματούμενες ολοκεραμικές γέφυρες ζirkονίας

Η ζirkονία αποτελεί ένα υλικό το οποίο καλείται να αντικαταστήσει τους παραδοσιακούς μεταλλικούς σκελετούς οι οποίοι χρησιμοποιούνταν ευρέως διαχρονικά και αποτελεί ένα επίτευγμα της αισθητικής οδοντιατρικής ¹⁰⁶. Η ζirkονία ως υλικό στις διαστρωματούμενες ολοκεραμικές γέφυρες, παρουσιάζει όχι μόνο αρκετά ικανοποιητική αντοχή, έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι λευκή και φωτοδιαπερατή. Επιπλέον η υψηλή της βιοσυμβατότητα και η αντοχή στην διάβρωση την καθιστούν ιδανικό υλικό για ακίνητες προσθετικές εργασίες ¹⁰⁷. Οι γέφυρες ζirkονίας έχουν ως μειονέκτημά τους το υψηλό κόστος κατασκευής, την αποκόλληση της πορσελάνης επίστρωσης (χαμηλή αντοχή δεσμού μεταξύ πορσελάνης - ζirkονίας). Επιπλέον κύρια επιπλοκή αποτελεί η πιθανή θραύση του κεραμικού υλικού, η οποία μπορεί να εκδηλωθεί ως κάταγμα στα αυχενικά όρια, ως κάταγμα στη μάζα της πορσελάνης και απόσπαση τμήματος χωρίς αποκάλυψη του κεραμικού σκελετού (chipping)⁹⁹.

Οι γέφυρες ζirkονίας ενδείκνυται σε γέφυρες των 3 - 4 δοντιών, προσθίων ή οπίσθιων δοντιών. Ωστόσο, αν οι ασκούμενες μασητικές πιέσεις δεν είναι ιδιαίτερα έντονες, μπορούν να κατασκευαστούν και μεγαλύτερες σε έκταση γέφυρες ενώ η διεύρυνση της χρήσης διαφανούς ζirkονίας παρακάμπτει το σύνηθες πρωτόκολλο σκελετού – κεραμικού ¹⁰⁸.

5.5 Μονολιθικές ολοκεραμικές γέφυρες ζirkονίας

Οι μονολιθικές γέφυρες ζirkονίας, που κατασκευάζονται αποκλειστικά με την τεχνολογία CAD CAM, έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα: παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην κάμψη, απαιτούν πιο συντηρητική οδοντιατρική προετοιμασία, ελαχιστοποιούν την πιθανότητα φθοράς των ανταγωνιστών, επιδεικνύουν ικανοποιητική αισθητική, απαιτούν λιγότερο εργαστηριακό χρόνο και λιγότερες οδοντιατρικές συνεδρίες.^{109, 110, 111}

Το βασικό τους μειονέκτημα, μέχρι πριν από λίγα χρόνια, ήταν η χαμηλή αισθητική τους απόδοση λόγω της αδυναμίας επίτευξης ικανοποιητικής διαφάνειας. Ωστόσο, πρόσφατες τροποποιήσεις στη σύνθεση, τη δομή και τις μεθόδους κατασκευής στις ολοκεραμικές αποκαταστάσεις έχουν οδηγήσει σε μονολιθικά κεραμικά ζirkονίας ανώτερης διαφάνειας, αλλά με μείωση της αντοχής και της μακροβιότητας εξαιτίας του υλικού με βάση τις μηχανικές ιδιότητες και τον τρόπο κατασκευής του^{111,112,113}. Προτεινόμενες ενδείξεις για τη χρήση μονολιθικών αποκαταστάσεων αποτελούν οι περιπτώσεις ασθενών με παραλειπουργικές συνήθειες, ιστορικό κατάγματος, καθώς και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει περιορισμένος χώρος για υλικά αποκατάστασης^{112, 114, 115}.

5.5.1 Οπτικές ιδιότητες, φθορά και κλινική απόδοση

Με βάση τα όσα ορίζονται σε θεωρητικό επίπεδο, όταν μια δέσμη φωτός πέφτει πάνω σε ένα πολυκρυσταλλικό υλικό, ένα μέρος της ανακλάται από την επιφάνειά του, ένα μέρος μεταδίδεται μέσω της μάζας και ένα τμήμα διασκορπίζεται ή απορροφάται από τον όγκο του. Η ποσότητα του φωτός που μεταδίδεται σχετίζεται με την ανακλαστικότητα της επιφάνειας και με τον τρόπο που το φως διαδίδεται μέσω του μέσου. Για να αποκτήσει η μονολιθική ζirkονία υψηλό επίπεδο αισθητικής και ημιδιαφάνειας, είναι σημαντική η κατάλληλη διασκόρπιση φωτός στο υλικό^{116, 117}

Οι αποκαταστάσεις ζirkονίας παρουσιάζουν σχεδόν συγκρίσιμα αποτελέσματα με άλλους τύπους οδοντικών αποκαταστάσεων. Για

παράδειγμα οι μεταλλοκεραμικές στεφάνες παρουσιάζουν ποσοστά επιτυχίας που κυμαίνονται από 88,8% έως 100% για παρακολούθηση περιόδου από 58,7 έως 60 μήνες ¹²². Όσον αφορά τις ακίνητες οδοντικές προθέσεις με επένδυση από πορσελάνη - ζirkονία, τα ποσοστά επιτυχίας κυμαίνονται από 67% έως 100% για μια περίοδο παρακολούθησης από 60 έως 128,4 μήνες ¹²³. Στη μετα-ανάλυση των Pjetursson και των συνεργατών του, αναφέρθηκε ποσοστό επιβίωσης 90,1% για τις ακίνητες οδοντικές προθέσεις με ζirkονία σε παρακολούθηση 5 ετών, ενώ σε μια συστηματική ανασκόπηση, το ποσοστό επιβίωσης των ακίνητων οδοντικών προθέσεων με ζirkονία ήταν 89,43%. Οι πρόσθιες αποκαταστάσεις ζirkονίας έχουν καλύτερη κλινική απόδοση ενώ μεταξύ των επιπλοκών καταγράφεται η αποκόλληση της αποκατάστασης (15%) και ο θρυμματισμός της επένδυσης πορσελάνης (4,1%)¹²⁴.

Τα μονολιθικά κεραμικά ζirkονίας παρουσιάζουν σημαντικά βελτιωμένη αισθητική και ημιδιαφάνεια, αλλά πρέπει να αξιολογηθούν περαιτέρω τόσο in vitro όσο και in vivo για τη μακροπρόθεσμη δυνατότητά τους να διατηρήσουν τις εξαιρετικές τους ιδιότητες. Σε σύγκριση με άλλα κεραμικά υλικά, η μονολιθική ζirkονία προκαλεί ελάχιστη φθορά των ανταγωνιστών, ειδικά εάν γυαλίζεται κατάλληλα, επομένως οι αρχικές ανησυχίες ότι η ζirkονία, ως σκληρό πολυκρυσταλλικό υλικό, θα προκαλούσε σημαντική απώλεια της δομής των δοντιών έχουν ξεπεραστεί σημαντικά ¹²⁵.

5.6 Διαδικασία κατασκευής αποκαταστάσεων με τεχνολογία CAD CAM

Η ζirkονία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους στην κατασκευή εργασιών, όπως μονηρών πρόσθιων και οπίσθιων στεφανών, γεφυρών στην πρόσθια και οπίσθια περιοχή, αξόνων, κολοβωμάτων και επιεμφυτευματικών προσθετικών αποκαταστάσεων ¹²⁶. Ως υλικό κατασκευής σκελετού, η ζirkονία επιλέγεται λόγω των σημαντικών χαρακτηριστικών της όπως η μεγάλη αντοχή σε φορτία και η αδιαφάνειά της ¹²⁷. Παράδειγμα αποτελεί η εικόνα που ακολουθεί όπου απεικονίζεται το πριν(αριστερά) και το μετά(δεξιά) της τοποθέτησης γέφυρας και στεφάνης σκελετού ζirkονίας.



Εικόνα 18: Σκελετός ζirkονίας άνω πρόσθιας γέφυρας και μεμονωμένης στεφάνης πριν και μετά την τοποθέτηση της πορσελάνης επένδυσης ¹³¹

Ως προς το κατασκευαστικό μέρος με χρήση της τεχνολογίας CAD CAM η προσθετική αποκατάσταση από σταθεροποιημένη με ύτριο ζirkονία κατασκευάζεται, είτε ως σκελετός, είτε ως μονολιθική αποκατάσταση. Ως προς τη διαδικασία παρασκευής των αποκαταστάσεων ισχύουν γενικά τα εξής ¹³²:

- 1) Η παρασκευή εκλογής στην αυχενική περιοχή αποτελεί το αποστρογγυλεμένο βάθρο και στα πρόσθια δόντια. Οι οδοντικοί ιστοί είναι το λιγότερο 1,5 mm και αξονικά στην αισθητική ζώνη 1,5 mm με κλίση 4° - 6°. Το ύψος του κολοβώματος, σε περίπτωση μη ύπαρξης μεταλλικού σκελετού, θεωρείται σημαντικό για την εξασφάλιση σωστού σχήματος και μεγέθους του σκελετού, ώστε να επιτευχθεί υψηλή μηχανική αντίσταση της αποκατάστασης ενώ και η ανατομία των ελεύθερων ούλων πρέπει να ακολουθείται πιστά.

- 2) Επιλογή χρώματος για τον πυρήνα της ζirkονίας.
- 3) Αποτύπωση και κατασκευή εκμαγείου εργασίας.
- 4) Εφαρμογή του συστήματος CAD CAM για την κατασκευή του σκελετού με το όριο της παρασκευής να είναι διακριτό ώστε να πραγματοποιηθεί η σωστή σάρωσή του.

Ο σκελετός μιας προσθετικής αποκατάστασης από ζirkονία μπορεί να κατασκευαστεί με δύο μεθόδους μέσω της τεχνολογίας CAD CAM^{130, 131, 133}:

1) Στην 1^η μέθοδο κατασκευής, δημιουργείται ένα εκμαγείο ή αποτύπωμα το οποίο σαρώνεται από τον ηλεκτρονικό σαρωτή. Στην συνέχεια προκύπτει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ένα ψηφιακό αντίγραφο σε μεγέθυνση. Η μεγέθυνση, η οποία υφίσταται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή κρίνεται απαραίτητη διαδικασία καθώς μετά την προσθήκη της εργασίας στον κλίβανο έχουμε συρρίκνωση της ζirkονίας. Επομένως τα βήματα που ακολουθούνται είναι ότι ο μεγεθυμένος πυρήνας ζirkονίας σχεδιάζεται στο αντίστοιχα μεγεθυμένο κολόβωμα του εκμαγείου. Στη συνέχεια κόβεται από ένα μερικώς συντηγμένο κομμάτι ζirkονίας. Έπειτα, τοποθετείται στο κλίβανο όπου κατά τη διάρκεια της σύντηξης συρρικνώνεται (25 - 30%) σε θερμοκρασία (1.000° C – 1.500° C) μέχρι να αποκτήσει τις διαστάσεις του αρχικού κολοβώματος.

2) Στη 2^η μέθοδο, εντάσσεται η κατασκευή πυρήνα ή σκελετού ζirkονίας, σε επιλεγμένο χρωματισμό, με χρήση υλικού που δεν συρρικνώνεται και δεν απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία. Οι σκελετοί ή οι πυρήνες βάζονται με εμβύθιση σε διαλύματα ή με χρήση πινέλου. Η πορσελάνη επένδυσης επιλέγεται ώστε να ταιριάζει στο συντελεστή θερμικής διαστολής της ζirkονίας και ακολουθεί η επιθυμητή όπτηση ή διαδοχικές διαστρωματώσεις – οπτήσεις.

Η διαδικασία παραγωγής κεραμικών αποκαταστάσεων με τεχνολογία CAD CAM είναι πιο ακριβής από τη συμβατική διαδικασία παραγωγής μεταλλοκεραμικών γεφυρών. Στην εικόνα 19 που ακολουθεί παρέχεται μια επισκόπηση του συστήματος CAD CAM στη διαδικασία παραγωγής γεφυρών⁶.

Η ροή εργασιών του συστήματος CAD CAM ψηφιοποιεί τα δόντια μέσα στη στοματική κοιλότητα αντί να λαμβάνονται συμβατικά αποτυπώματα. Οι

αποκαταστάσεις σχεδιάζονται στην οθόνη υπολογιστή με χρήση λογισμικού CAD που βασίζεται στα ψηφιοποιημένα δεδομένα ως εικονική αποτυπώση. Στη συνέχεια, οι αποκαταστάσεις υποβάλλονται σε επεξεργασία από μια μηχανή με τη βοήθεια υπολογιστή, συνήθως μια μηχανή εκτροχισμού⁶. Ακολουθεί η διαμόρφωση των αποκαταστάσεων και τέλος η συγκόλληση τους στο στόμα από τον οδοντίατρο. Στο τελευταίο στάδιο μιας πλήρους οδοντικής αποκατάστασης σε σύστημα ψηφιακής οδοντιατρικής, είναι η τελική κατασκευή της με τη χρήση κοπτικού μηχανήματος και η στίλβωση και εφυάλωση εάν χρειάζεται σε φούρνο σύντηξης. Τα ψηφιακά δεδομένα της επεξεργασίας από το λογισμικό CAD μετατρέπονται στο φυσικό προϊόν από τα κοπτικά μηχανήματα.

Η προσθετική αποκατάσταση μέσω CAD CAM γίνεται σε διάφορες φάσεις, οι οποίες έχουν με την ακόλουθη σειρά ^{32, 134}:

- 1) Επισκόπηση και ιστορικό. Με βάση τις ενδείξεις και την κατάσταση του δοντιού, ο οδοντίατρος διαγιγνώσκει και προτείνει διάφορες επιλογές, εξηγώντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, ανάλογα με την ένδειξη.
- 2) Παρασκευή κολοβωμάτων για τοποθέτηση προσθετικών αποκαταστάσεων. Η διαδικασία ξεκινά από τον οδοντίατρο ανάλογα με τον τύπο των κεραμικών που θα χρησιμοποιηθούν για την συγκεκριμένη κλινική περίπτωση, δηλαδή τη δημιουργία προσθετικής αποκατάστασης.
- 3) Λήψη του αποτυπώματος των δοντιών. Ο οδοντίατρος εκτελεί το αποτύπωμα των δοντιών. Η λήψη μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση σιλικόνης ή με χρήση ενδοστοματικού σκάνερ. Το ενδοστοματικό σκάνερ συνοδεύεται από λογισμικό ψηφιακής αποτύπωσης (λογισμικό σάρωσης).
- 4) Επεξεργασία και σχεδιασμός. Η τρισδιάστατη κάμερα καταγράφει τα δόντια και μετά η εικόνα μεταφέρεται σε υπολογιστή όπου και επεξεργάζεται χρησιμοποιώντας το λογισμικό σχεδίασης. Το λογισμικό αποτύπωσης αναλύει τα στοιχεία που έχουν σαρωθεί (δόντια, ιστούς) και προβλέπει την ανατομία τους μέσω εξειδικευμένων αλγορίθμων. Με την παρέμβαση του χειριστή, πάνω στο σαρωμένο αποτύπωμα πραγματοποιούνται οι

κατάλληλες διαφοροποιήσεις όπως π.χ. να κοπούν κάποια άχρηστα για τον οδοντίατρο τμήματα, να σχεδιαστούν τα όρια στην γέφυρα. Σε αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο να γίνει και η χρωματοληψία. Εφόσον λοιπόν, ο οδοντίατρος ή ο οδοντοτεχνίτης έχει τελειώσει με το σχεδιασμό της επιθυμητής αποκατάστασης και έχει ρυθμίσει όλες τις παραμέτρους που αφορούν τον ασθενή του, σειρά έχει η παραγωγή της. Μέσω του λογισμικού CAD (σχεδιαστικό), η εργασία αποστέλλεται αυτόματα μέσω ενός πλήκτρου στο λογισμικό CAM (παραγωγής), εάν πρόκειται για λογισμικά της ίδιας εταιρείας. Το λογισμικό CAM περιέχει όλες τις εντολές και ρυθμίσεις που αφορούν στα μηχανήματα παραγωγής. Είναι δηλαδή το λογισμικό που μετατρέπει την επεξεργασμένη αποκατάσταση σε γλώσσα μηχανής ώστε να δοθούν οι σωστές οδηγίες κίνησης, πίεσης, δύναμης, τριβής χρόνου στο κοπτικό μηχανήμα για να προχωρήσει στην κοπή.

- 5) Τελική κατασκευή της με τη χρήση κοπτικού μηχανήματος και ολοκλήρωση της κατασκευής που μπορεί να περιλαμβάνει διαστρωμάτωση με κεραμικό, στίλβωση καθώς και εφυάλωση. Τα ψηφιακά δεδομένα της επεξεργασίας από το λογισμικό CAD μετατρέπονται στο φυσικό προϊόν από τα κοπτικά μηχανήματα που χρησιμοποιούν υψηλής ποιότητας εγγλυφίδες διαμαντιού σε διάφορες διαμέτρους, οι οποίες διαμορφώνουν από έξω προς τα μέσα το υλικό και σχηματίζουν όλες τις λεπτομέρειες που έχουν σχεδιαστεί στο πρόγραμμα CAD. Στο λογισμικό CAM κάθε φορά δηλώνονται από το χειριστή οι εγγλυφίδες που έχουν μπει στο κάθε σετ. Έτσι, ανάλογα το υλικό που πρόκειται να κοπεί, επιλέγονται από το λογισμικό οι αντίστοιχες εγγλυφίδες. Τα κοπτικά μηχανήματα χωρίζονται σε 3 αξόνων, 4 αξόνων και 5 αξόνων. Τα κοπτικά μηχανήματα διαθέτουν δύο επιλογές κοπής υλικών. Είτε υγρή κοπή, είτε ξηρή κοπή. Το τελευταίο στάδιο της παραγωγής μιας οδοντικής αποκατάστασης είναι η τοποθέτηση της στο κλίβανο σύντηξης. Οι κλίβανοι είναι απαραίτητοι για να φτάσουν ορισμένα υλικά στη μέγιστη σκληρότητα τους. Οι κλίβανοι επίσης χρησιμοποιούνται για αποξήρανση και

εφυάλωση. Παρακάτω ακολουθεί ως παράδειγμα μια εικόνα που απεικονίζει μία γέφυρα τριών τεμαχίων.



Εικόνα 19: Ολοκληρωμένη Οδοντική αποκατάσταση με CAD CAM ³²

5.7 Σύγκριση μεταλλοκεραμικών και ολοκεραμικών αποκαταστάσεων

Οι οδοντιατρικές αποκαταστάσεις με ζirkονία αποτελούν μια πρόκληση. Οι αποκαταστάσεις ζirkονίας διακρίνονται ως μια ασφαλής επιλογή σε επίπεδο αισθητικού αποτελέσματος, υψηλής λειτουργικότητας και αντοχής. Τα βασικά συγκριτικά στοιχεία μιας ολοκεραμικής προσθετικής αποκατάστασης και μιας μεταλλοκεραμικής, παρατίθενται στον Πίνακα 3.^{135, 136}

Πίνακας 3. Σύγκριση Μεταλλοκεραμική και Ολοκεραμική (CAD CAM) ^{135, 136}

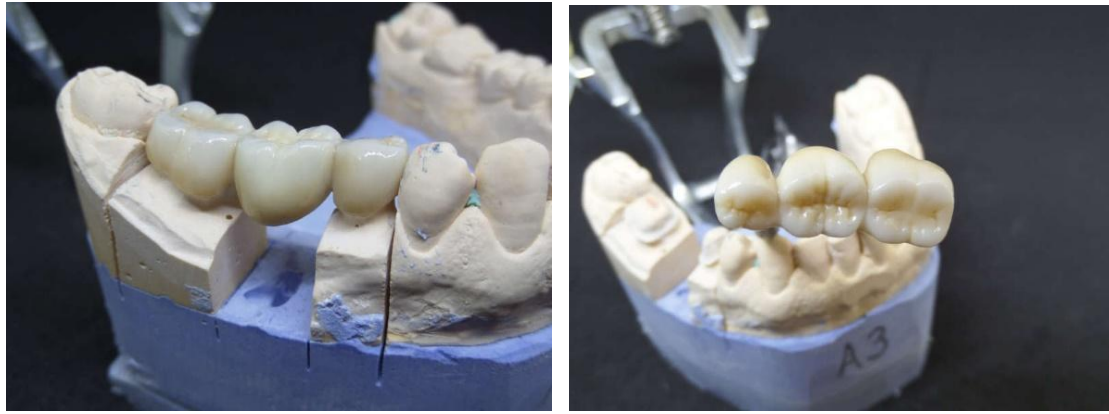
	Μεταλλοκεραμική	Ολοκεραμική
Δυνατότητες αισθητικής απόδοσης	-	+
Δυνατότητες επιλογής χρώματος και βαθμού διαφάνειας του πυρήνα	-	+
Επαρκής εξειδίκευση ειδικών	+	+
Ευκολία κατασκευής και τοποθέτησης	-	+

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όλο και περισσότεροι ασθενείς επιλέγουν ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις χωρίς την παρουσία κραμάτων, επειδή επιθυμούν να επωφεληθούν από τα πολλαπλά οφέλη των ολοκεραμικών εργασιών. Ειδικότερα, οι ιδιότητες της ομοιότητας με τη φυσική δομή των δοντιών, η επίτευξη εξαιρετικών αισθητικών αποτελεσμάτων, αλλά και η συμβατότητα των βιολογικών υλικών και με την ανοχή από τον ασθενή είναι υψίστης σημασίας¹³⁷. Ωστόσο, η αισθητική και η βιοσυμβατότητα δεν είναι τα μόνα απαραίτητα κριτήρια για την επιλογή μιας ολοκεραμικής αποκατάστασης. Οι μηχανικές ιδιότητες των σύγχρονων ολοκεραμικών υλικών¹³⁸, πλέον επιτρέπουν τη χρήση τους για οδοντιατρικές εργασίες για την παραγωγή γεφυρών¹³⁹.

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την σύγκριση μεταξύ της Διαστρωματούμενης και της Μονολιθικής Αποκατάστασης στην δημιουργία μιας Ολοκεραμικής Γέφυρας. Ερωτήματα που προκύπτουν αφορούν τις διαφορές τους καθώς και ποια από τις δύο είναι προτιμότερη. Πολλοί παρόμοιοι προβληματισμοί οδήγησαν ερευνητές σε παγκόσμιο επίπεδο να ενασχοληθούν με το συγκεκριμένο θέμα.

Οι παρακάτω εικόνες μπορούν να αναδείξουν την διαφορετικότητα των δύο αποκαταστάσεων: στην Εικόνα 20 απεικονίζεται μια αποκατάσταση οπίσθιων δοντιών με κατασκευή μονολιθικής γέφυρας ζirkονίου σε δύο στηρίγματα με απουσία του μεταλλικού σκελετού, μια ολοκεραμική επιλογή για οπίσθια δόντια και με καλό αισθητικό αποτέλεσμα. Οι γέφυρες κατασκευασμένες από μονολιθικό ζirkόνιο CAD-CAM είναι ίσως η πιο εξελιγμένη τεχνολογία οδοντιατρικού υλικού στην ακίνητη προσθετική. Έχουν ικανοποιητική αντοχή και το υλικό από το οποίο αποτελούνται επιτρέπει στο φως να το διαπεράσει δίνοντας με αυτό το τρόπο ένα σχετικά ικανοποιητικό αισθητικά αποτέλεσμα, το οποίο φέρει αρκετά χαρακτηριστικά ενός φυσικού δοντιού. Διαθέτουν ιδιαίτερη αντοχή και για αυτό επιλέγονται για εφαρμογή στις οπίσθιες περιοχές λόγω της μάσησης και των μεγάλων δυνάμεων που ασκούνται σ' αυτές⁴.



Εικόνα 20. Μονολιθική Γέφυρα Ζιρκονίου¹⁴⁰

Στην Εικόνα 21 απεικονίζεται μια αποκατάσταση Ζιρκονίου: Πυρήνες ζιρκονίου με διαστρωμάτωση πορσελάνης INITIAL GC.

Οι ολοκεραμικές γέφυρες από ζιρκονία αποτελούν αποκαταστάσεις νέας τεχνολογίας στην προσθετική αποκατάσταση, όπου εξ ολοκλήρου είναι κατασκευασμένες και επικαλυμμένες από ειδικού τύπου κεραμικό υλικό με σκελετό από ζιρκονία, χωρίς την προσθήκη μετάλλου. Τα αισθητικά αποτελέσματα της ολοκεραμικής γέφυρας είναι ικανοποιητικά. Γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται στην πρόσθια περιοχή λόγω της καλύτερης αισθητικής.



Εικόνα 21. Διαστρωματώμενη Γέφυρα Ζιρκονίου¹⁴¹

Μια σημαντική τοποθέτηση στο συγκεκριμένο ζήτημα αποτελεί η δημοσίευση των Stawarczyk et al. οι οποίοι μελέτησαν διάφορους παράγοντες για τους δύο τύπους γεφυρών, της διαστρωματούμενης και της μονολιθικής. Αρχικά, αναφέρθηκαν στην διαστρωματούμενη γέφυρα με επικάλυψη υαλοκεραμικού υλικού ζirkονίας τρίτης γενιάς ώστε να διασφαλιστεί αυξημένο αισθητικό αποτέλεσμα (Εικόνα 22) ⁴.



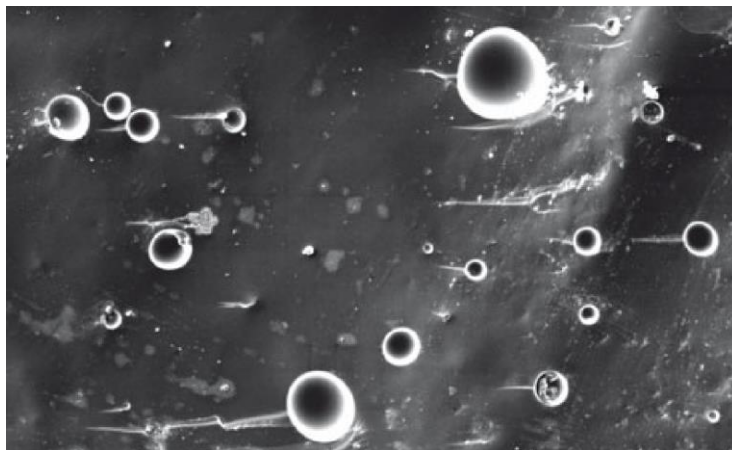
Εικόνα 22. Διαστρωματώμενη γέφυρα τριών τεμαχίων (Creation ZI-CT, Willi Geller, Mainingen, Austria, MDT Otto Prandtner, Munich, Germany) ⁴

Η συνολική μακροβιότητα και η αντοχή της διαστρωματούμενης ολοκεραμικής γέφυρας αποδίδεται από τους ερευνητές σε εσωτερικές δυνάμεις / τάσεις που προκύπτουν, με τη σειρά τους, από τη διαφορά που παρατηρείται στους συντελεστές θερμικής διαστολής (CTE) του ολοκεραμικού υλικού σκελετού και επένδυσης αλλά και από τη γεωμετρική δομή της κατασκευής. Αυτές οι εσωτερικές τάσεις επιβαρύνονται περισσότερο από εξωτερικά προερχόμενες δυνάμεις από την λειτουργία μάσησης. Όταν το άθροισμα των εσωτερικών και των εξωτερικά επαγόμενων δυνάμεων υπερβαίνει την αντοχή των υλικών, δημιουργείται θραύση. Ο συνδυασμός των στρωμάτων επένδυσης ζirkονίας διαμορφώνει ένα συνολικά εύθραυστο υλικό στο οποίο δεν είναι σε θέση να αντισταθμίσει τις συνολικές επιβαρυντικές δυνάμεις. Έτσι, ένας σημαντικός περιορισμός του συγκεκριμένου τύπου γέφυρας είναι η χαμηλή αντοχή, τα συνήθη κατάγματα και ο θρυμματισμός και ειδικότερα εντός του κεραμικού επένδυσης. Ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα από κεραμικό διαστρωμάτωσης παραμένει στο υλικό του σκελετού, και αυτό ορίζεται ως ένα συνεκτικό κάταγμα (Εικόνα 23) ⁴.



Εικόνα 23. Θραύση εντός του κεραμικού επένδυσης (Initial Zr, GC) στον δεύτερο προγόμφιο διαστρωματούμενης γέφυρας τριών τεμαχίων μετά από 12 μήνες χρήσης ⁴

Επειδή το συνεκτικό κάταγμα συμβαίνει στο κεραμικό επένδυσης, μπορεί εύλογα να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι αντοχές συγκόλλησης μεταξύ του ζirkονίου ως υλικού πλαισίου και του κεραμικού επένδυσης είναι ικανοποιητικές. Μόνο ο πιο αδύναμος κρίκος της αλυσίδας, το κεραμικό διαστρωμάτωσης, σπάει (Εικόνα 24). Ένας μεγάλος αριθμός κλινικών μελετών για διαστρωματούμενες αποκαταστάσεις με ζirkονία αναφέρει αυτό το πρόβλημα ¹⁴².



Εικόνα 24. Υπόδειγμα δοκιμής μετά τη μέτρηση της αντοχής σύζευξης μεταξύ ζirkονίου και κεραμικών επικάλυψης. Στην εικόνα απεικονίζεται ένα λεπτό στρώμα του κεραμικού επικάλυψης που προσκολλάται στη ζirkονία (φυσσαλίδες) και δεν λαμβάνει χώρα κάταγμα απευθείας στη διεπιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο κεραμικών ¹⁴²

Ο σχεδιασμός της διαστρωματούμενης αποκατάστασης έχει κρίσιμη επίδραση στη συνολική σταθερότητά της. Οι σκελετοί ζirkονίας πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να είναι ανατομικά υποστηρικτικοί και στρογγυλεμένοι, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται υψηλότερη αντοχή σε φορτία, να αποφεύγονται τα κατάγματα και να ελαχιστοποιείται ο θρυμματισμός^{143, 144}.

Ο παράγοντας της **θραύσης** αποτέλεσε αντικείμενο ενασχόλησης του ερευνητή Gühgör και των συνεργατών του¹ οι οποίοι αξιολόγησαν και συνέκριναν την αντοχή σε αυτή μεταξύ μονολιθικών και διαστρωματούμενων ολοκεραμικών γεφυρών τεσσάρων οπίσθιων δοντιών που δημιουργήσαν από σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστικού συστήματος CAD CAM και υπέβαλαν σε γήρανση με προσομοιωτή μάσησης. Οι ολοκεραμικές γέφυρες σχεδιάστηκαν από έξι διαφορετικά ολοκεραμικά συστήματα: 1) μονολιθικό διπυριτικό λίθιο (M-E), 2) μονολιθικό ζirkόνιο (M-TZI), 3) διαστρωματούμενη ζirkονία με συμβατική επίστρωση (V-L), 4) διαστρωματούμενη ζirkονία με θερμοσυμπιεζόμενη επικάλυψη διπυριτικού λιθίου (V-P), 5) διαστρωματούμενη ζirkονία με σύντηξη επικάλυψης CAD CAM διπυριτικού λιθίου (CAD-F-E) και 6) διαστρωματούμενη ζirkονία (CAD-C-CB). Τα δείγματα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, στην Ομάδα Ελέγχου και στην Ομάδα Γήρανσης. Κάθε Ομάδα αποτελούταν από 10 δείγματα. Η διαδικασία γήρανσης περιλάμβανε τόσο την υποβολή σε θερμικούς κύκλους όσο και τη μηχανική φόρτιση και στη συνέχεια ακολουθήθηκε η δοκιμή αντοχής σε θραύση. Όλα τα δείγματα στις ομάδες M-E, M-TZI και V-L επέζησαν. Ωστόσο, όλα τα δείγματα στην ομάδα V-P υπέστησαν κάταγμα κατά τη διάρκεια της τεχνητής γήρανσης. Οι υψηλότερες τιμές αντοχής σε κάταγμα παρατηρήθηκαν στην ομάδα M-TZI. Σύμφωνα με τη δοκιμή αντοχής σε θραύση, τα κατάγματα του συνδέσμου ήταν ο πιο συχνός τύπος αστοχίας. Τα δείγματα στις ομάδες M-TZI και M-E FDPs δεν αποκάλυψαν αστοχίες κατά τη διάρκεια της γήρανσης και έδειξαν υψηλότερη αντοχή σε κάταγμα από τις ομάδες με διαστρωματούμενη ζirkονία. Τα δείγματα στην ομάδα V-L FDPs έδειξαν το υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας κατά τη γήρανση, ενώ η αντοχή στο κάταγμα ήταν παρόμοια μεταξύ όλων των ομάδων διαστρωματούμενης ζirkονίας. Μολονότι τα αποτελέσματα των ερευνών είναι συγκεκριμένα απαιτείται η συνέχεια της έρευνας σε κλινικές συνθήκες ώστε να είναι δυνατή η διαμόρφωση μίας επιστημονικά ορθής άποψης.

Οι ερευνητές Stawarczyk και οι συνεργάτες τους⁴ έρχονται να παρατηρήσουν έναν παράγοντα που τους κεντρίζει το ενδιαφέρον και διεξοδικά μελέτησαν την **ημιδιαφάνεια**. Για να υπάρχει χρήση μονολιθικού υλικού, πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Εκτός από τη μακροβιότητα, είναι σημαντικό το υλικό να γίνεται πιο ημιδιαφανές και επομένως πιο αισθητικά ευχάριστο από οπτική άποψη. Λόγω της αρνητικής συμπεριφοράς όσον αφορά την αντοχή και πιο συγκεκριμένα τη μακροβιότητα, η πρώτη μονολιθική γενιά ζirkονίας απέτυχε να καθιερωθεί ¹⁴⁵, ¹⁴⁶. Για την δεύτερης γενιάς ζirkονία μελέτες in vitro παρουσιάζουν όχι μόνο υψηλότερες διαφάνειες αλλά και υψηλότερες αντοχές τόσο αρχικά όσο και μετά από δοκιμασίες τεχνητής γήρανσης ¹⁴⁷. Αναφορικά με την Υ-3TZP μελέτες απέδωσαν ανησυχίες για την μειωμένη φωτοδιαπερατότητα λόγω του ότι το υλικό είναι πιο διαφανές και πορώδες ¹⁴⁸. Οι μονολιθικές αποκαταστάσεις ζirkονίας διαθέτουν αποδεκτή αντοχή, συγκρίσιμη με τις μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις⁴, ενώ είναι ανώτερες από αυτές αισθητικά. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν δυσκολίες για την απόκτηση βέλτιστης αναπαραγωγής απόχρωσης και χρωματικής αντιστοίχισης με μονολιθικές αποκαταστάσεις ζirkονίας. Την τελευταία δεκαετία, η αναπαραγωγή χρώματος των μονολιθικών αποκαταστάσεων ζirkονίας έχει λάβει μεγάλες διαστάσεις στην έρευνα. Παρά το γεγονός ότι οι μονολιθικές αποκαταστάσεις αποδίδουν καλύτερα αισθητικά από τις μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις ακόμη απαιτούνται περαιτέρω βελτιώσεις στη διαδικασία κατασκευής για την παραγωγή κεραμικών ζirkονίας που να ομοιάζουν πλήρως με φυσικά δόντια⁴.

Οι ερευνητές Stawarczyk et al.⁴ αναφέρουν πως ένα λογισμικό CAM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει τον προσδιορισμό της αλληλουχίας και της έντασης των χρωμάτων στην κατασκευασμένη διαστρωματούμενης αποκατάσταση. Ένα πλεονέκτημα που προκύπτει από τον συνδυασμό ανοιχτόχρωμων εξαιρετικά λεπτών επιστρώσεων είναι η υψηλή αισθητική μιας γέφυρας, με την αποτύπωση του χρώματος και της ημιδιαφάνειας να είναι παρόμοιες με εκείνες των φυσικών δοντιών. Επιπλέον, οι διαστρωματούμενες αποκαταστάσεις είναι αποτέλεσμα του πολύ αξιόπιστου υλικού της ζirkονίας, η επεξεργασία της οποίας διασφαλίζει όχι μόνο την μακροβιότητα αλλά και την διαμόρφωση γεφυρών υψηλών απαιτήσεων. Ειδικότερα, στην έρευνα επισημάνθηκε πως οι

διαστρωματούμενες αποκαταστάσεις προσφέρουν πλεονεκτήματα όσον αφορά την αισθητική σε σύγκριση με τα μονολιθικά υλικά. Οι διαστρωματούμενες αποκαταστάσεις επιλέγονται κυρίως εξαιτίας της φυσικής εμφάνισης και των βελτιωμένων αισθητικών αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τις μονολιθικές αποκαταστάσεις. Στην εξέλιξη της ζirkονίας για οδοντιατρικές εφαρμογές, οι διαστρωματούμενες αποκαταστάσεις, απέδωσαν πολλαπλά πλεονεκτήματα με έμφαση στις δυνατότητες του υλικού για την κατασκευή αποκαταστάσεων υψηλής ποιότητας.

Μια ακόμη μεταβλητή στην συγκριτική απόδοση μεταξύ των μονολιθικών και διαστρωματούμενων ολοκεραμικών γεφυρών αποτελεί το **κάταγμα**. Οι Lopez-Suarez και οι συνεργάτες του ¹⁵¹ διαμόρφωσαν μια μελέτη ώστε να αξιολογήσουν και να συγκρίνουν το φορτίο κατάγματος αλλά και το μοτίβο κατάγματος μονολιθικών και διαστρωματούμενων ακίνητων ολοκεραμικών γεφυρών τριών οπίσθιων δοντιών (FDPs). Τα δείγματα 20 γεφυρών χωρίστηκαν τυχαία σε 2 Ομάδες (n=10): (1) Lava Zirconia και (2) Lava Plus. Όλες οι γέφυρες υποβλήθηκαν σε θερμομηχανικούς κύκλους καταπόνησης στους 5-55°C με χρόνο παραμονής 30 δευτερόλεπτα για 120.000 μασητικούς κύκλους. Όλα τα δείγματα υποβλήθηκαν σε δοκιμή κάμψης τριών σημείων μέχρι το κάταγμα. Οι ερευνητές δεν παρατήρησαν διαφορές στο φορτίο κατάγματος μεταξύ των μονολιθικών και διαστρωματούμενων ολοκεραμικών γεφυρών που δοκιμάστηκαν και αποδόθηκαν κλινικά αποδεκτές τιμές φορτίου κατάγματος. Το μοτίβο του κατάγματος ήταν διαφορετικό στις δύο ομάδες. Οι μονολιθικές αποκαταστάσεις έδειξαν το κάταγμα να προκαλείται στην μασητική επιφάνεια μεταξύ του των συγκρατημάτων και του ενδιάμεσου δοντιού.

Ενώ, στις διαστρωματούμενες γέφυρες η αστοχία παρουσιάστηκε κυρίως στην αυχενική περιοχή του συνδετήρα η οποία έχει διερευνηθεί και ανευρεθεί και σε προηγούμενες μελέτες ^{152, 153, 154}. Έτσι, τα αποτελέσματα υποστηρίζουν ότι ο σχεδιασμός του συνδετήρα είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αντοχή σε κατάγματα με την μονολιθική αποκατάσταση να υπερτερεί της διαστρωματούμενης η οποία «λύνει το πρόβλημα του θρυμματισμού».

Μια μελέτη των Diéguez - Pereira και των συνεργατών του¹⁵⁵ αποτύπωσε την καλή κλινική συμπεριφορά μονολιθικών και

διαστρωματούμενων ολοκεραμικών επιεμφυτευματικών γεφυρών ζirkονίας την οποία ανέλυσαν και απέδωσαν ένα σύνολο επιπλοκών για τις αποκαταστάσεις σε χρονικό διάστημα παρακολούθησης 5 ετών. Στην έρευνα συμπεριλήφθηκαν συνολικά 154 αποκαταστάσεις, 82 μονολιθικές και 72 διαστρωματούμενες. Οι 93 αποκαταστάσεις παρακολουθήθηκαν σε χρονικό διάστημα 24 - 60 μηνών και οι 61 αποκαταστάσεις για 12 έως 24 μήνες. Η μελέτη απέδωσε ορισμένες επιπλοκές, όπως ποσοστό 2,08% τεχνική επιπλοκή όπου επρόκειτο για θραύση, 8,33% μηχανική επιπλοκή με ρωγμές και 4,17% χαλαρώσεις βίδας των επιεμφυτευματικών εργασιών. Πιο ειδικά στις διαστρωματούμενες αποκαταστάσεις η πιο συχνή επιπλοκή ήταν η αποκόλληση ή ο θρυμματισμός των επιστρώσεων, ενώ τα εκτεταμένα κατάγματα της δομής ήταν περισσότερο συνήθη σε μονολιθικές αποκαταστάσεις όπως υποστηρίζουν οι Cheng και οι συνεργάτες τους¹⁵⁶.

Μάλιστα, οι Zhang και Lawn¹⁵⁷ αναφέρουν πως η μηχανική ακεραιότητα των οδοντικών κεραμικών ζirkονίας είναι άμεσα σχετιζόμενη με τη θραύση και την τυχόν παραμόρφωση, χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχουν τη διάρκεια ζωής των ολοκεραμικών γεφυρών ζirkονίας. Οι δοκιμές που προτείνουν είναι απλές και παρέχουν μια βάση για την ανάλυση της αντοχής στη φθορά των ανατομικά πολύπλοκων οδοντικών προσθέσεων, όπως η δοκιμή επίπεδων στρώσεων ζirkονίου (Testing of flat layer zirconia layers) που φέρνει πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες μασητικής φόρτισης από ότι η «τυποποιημένη» δύναμη και τα πρωτόκολλα δοκιμής σκληρότητας. Αλλά και η δοκιμή μέσω δεισδυτή (Indentation testing) που είναι μια μεθοδολογία που μπορεί να αποσαφηνίσει τους ρόλους των εσωτερικών διεπαφών, να αξιολογηθούν οι παραμένουσες τάσεις από την αναντιστοιχία θερμικής διαστολής και η ανθεκτικότητα της διεπαφής. Η χαρτογράφηση των συμπεριφορών των αποκαταστάσεων είναι όλο και περισσότερο χρήσιμη καθώς αναπτύσσονται περισσότερα βιομιμητικά οδοντικά υλικά με περίτεχνες μικροδομές. Οι ερευνητές καταλήγουν πως η συμπεριφορά των διαστρωματούμενων ολοκεραμικών αποκαταστάσεων είναι αρκετά διαφορετική από των μονολιθικών με συνηθέστερα τα κατάγματα - ρωγμές που προέρχονται από ρήγματα στη ζirkονία και της αδυναμίας της διεπιφάνειας επαφής που προέρχονται από τις επιστρώσεις του ολοκεραμικού υλικού.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα επιμέρους συμπεράσματα που εξήχθησαν έχουν ως ακολούθως:

- 1) Η χρήση ολοκεραμικών αποκαταστάσεων – γεφυρών αποτελεί λύση υψηλής αισθητικής και λειτουργικότητας.
- 2) Οι απαραίτητες προϋποθέσεις επιτυχίας μιας ολοκεραμικής γέφυρας είναι ο σωστός σχεδιασμός, η ακριβής κατασκευή και η επιλογή του κατάλληλου υλικού ανάλογα με τις ανάγκες του ασθενή.
- 3) Η μονολιθική και η διαστρωματούμενη ολοκεραμική γέφυρα ζirkονίας, αποτελούν σημαντικές οδοντιατρικές επιλογές, καθώς η ζirkονία ως υλικό επιδεικνύει εξαιρετική αντοχή, παρουσιάζει φωτοδιαπερατότητα και μπορεί να αποδώσει ικανοποιητικά στις φυσικές αποχρώσεις των δοντιών.
- 4) Οι μονολιθικές ολοκεραμικές γέφυρες παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην θραύση, περιορίζουν την φθορά ανταγωνιστών και απαιτούν μικρό χρόνο παραγωγής
- 5) Οι διαστρωματούμενες ολοκεραμικές γέφυρες επιδεικνύουν, υψηλή διαφάνεια και διακρίνονται για την βιοσυμβατότητα και την υψηλή αισθητική απόδοσή τους.
- 6) Τα ολοκεραμικά ζirkονίας για οδοντικές αποκαταστάσεις βρίσκονται συνεχώς υπό ανάπτυξη, με στόχο τη διατήρηση της μηχανικής ακεραιότητας με παράλληλη βελτίωση της ημιδιαφάνειας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση του σχεδιασμού και της παραγωγής ολοκεραμικών γεφυρών και η σύγκριση δύο τύπων της, της διαστρωματούμενης και της μονολιθικής.

Για την διεξαγωγή της εργασίας βιβλιογραφικές πηγές αναζητήθηκαν σε διαδικτυακές πλατφόρμες δημοσιευμένου υλικού μελετών υψηλής αξιοπιστίας και εγκυρότητας, όπως η Pub Med και η Google Scholar.

Από την βιβλιογραφική επισκόπηση των μελετών και των θεωρητικών βιβλιογραφικών πηγών προέκυψε πως οι ολοκεραμικές αποκαταστάσεις είναι μια συχνή επιλογή των ασθενών, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν μεταξύ πολλαπλών επιλογών καθώς η χρήση της ζirkονίας ως υλικό στην οδοντιατρική έχει εξελιχθεί αλλά και τα Συστήματα Ηλεκτρονικά Υποβοηθούμενου Σχεδιασμού και Κατασκευής (CAD CAM) έχουν πάρα πολλές δυνατότητες.

Συμπερασματικά, προέκυψε πως οι μονολιθικές ολοκεραμικές γέφυρες παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην θραύση, περιορίζουν την φθορά των ανταγωνιστών και απαιτούν μικρό χρόνο παραγωγής ενώ οι διαστρωματούμενες ολοκεραμικές γέφυρες επιδεικνύουν, υψηλή διαφάνεια και διακρίνονται για την βιοσυμβατότητα και την υψηλή αισθητική απόδοσή τους.

Λέξεις κλειδιά: *Ολοκεραμική Γέφυρα, Διαστρωματούμενη, Μονολιθική, Ζirkονία, Συστήματα CAD CAM*

SUMMARY

The purpose of the work is the analysis of the design and production of all-ceramic bridges and the comparison of two types, veneered and monolithic.

In order to carry out the work, bibliographic sources were searched in online platforms of published study materials of high reliability and validity, such as PubMed and Google Scholar.

From the bibliographic review of studies and theoretical bibliographic sources, it emerged that all-ceramic restorations are a frequent patients choice, as the use of zirconia as a material in dentistry has evolved, but also Electronically Manufactured Systems (CAD CAM) have many possibilities.

In conclusion, it emerged that monolithic all-ceramic bridges show high fracture resistance, reduce antagonistic wear and require a short production time, while veneered all-ceramic bridges exhibit high transparency and are distinguished for their biocompatibility and high aesthetic performance.

Keywords: All-Ceramic Bridge, Veneered, Monolithic, CAD CAM Systems

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

1. Güngör, M. B., Nemli, S. K., Bal, B. T., Tamam, E., Yılmaz, H., & Aydın, C. Fracture resistance of monolithic and veneered all-ceramic four-unit posterior fixed dental prostheses after artificial aging. *Journal of Oral Science*, 2019; 61(2): 246-254.
2. Güngör, M. B., Nemli, S. K., Bal, B. T., Tamam, E., Yılmaz, H., & Aydın, C. Fracture strength of monolithic all-ceramic crowns made of high translucent yttrium oxide-stabilized zirconium dioxide compared to porcelain-veneered crowns and lithium disilicate crowns. *Acta Odontologica Scandinavica*, 2014; 72 (2): 145-153.
3. Gracis, S., Thompson, V. P., Ferencz, J. L., Silva, N. R., & Bonfante, E. A. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *The International Journal Of Prosthodontics*, 2015; 28(3): 227-235.
4. Stawarczyk, B., Keul, C., Eichberger, M., Figge, D., Edelhoff, D., & Lümke, N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence International*, 2017; 48 (5): 369-380.
5. Zeid, Ibrahim, *Cad/Cam Theory and Practice*, 1991, McGraw-Hill.
6. Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental Materials Journal*, 2009; 28 (1): 44-56.
7. Duret, F., and J. D. Preston. CAD/CAM imaging in dentistry. *Current Opinion In Dentistry*, 1999; 11 (2): 150-154.
8. Mormann, W. H. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int*, 1989; 20 (1): 329-339.
9. Kashif, A., & Nadim, R. A review on cad cam in dentistry. *Journal of Pakistan Dental Association*, 2015; 24 (3): 112.
10. Irfan, U.B., Aslam, K., & Nadim, R. A review on cad cam in dentistry. *Journal of Pakistan Dental Association*, 2015; 24(3):112-116.
11. Werner, M. The evolution of the CEREC system. *The Journal of the American Dental Association*, 2006; 137 (1): 7S-13S.

12. McLean, J. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *British Dental Journal*, 1965; 119 (1): 251-267.
13. Gracis, S., Thompson, V. P., Ferencz, J. L., Silva, N. R., & Bonfante, E. A. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *The International Journal Of Prosthodontics*, 2015; 28(3): 227-35.
14. Beuer, Florian, Josef Schweiger, and Daniel Edelhoff. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British Dental Journal*. 2008; 204(9): 505-11.
15. Reich, S., Gozdowski, S., Trentzsch, L., Frankenberger, R., & Lohbauer, U. (2008). Marginal fit of heat-pressed vs. CAD/CAM processed all-ceramic onlays using a milling unit prototype. *Operative dentistry*. 2008; 33(6): 644-50.
16. Van Noort, R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater [Review]*. 2012; 28(1): 3-12.
17. Susic, I., M. Travar, & M. Susic. The application of CAD / CAM technology in Dentistry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017; 200 (1): 1-13.
18. Williams, R. J., Bibb, R., Eggbeer, D., & Collis, J. Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2006; 96(2): 96-9.
19. Van Noort, R. The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 2012; 28 (1): 3-12.
20. Webber, B., McDonald, A., & Knowles, J. An in vitro study of the compressive load at fracture of Procera All Ceram crowns with varying thickness of veneer porcelain. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2003; 89 (2): 154-160.
21. Padrós, R., Giner, L., Herrero-Climent, M., Falcao-Costa, C., Ríos-Santos, J. V., & Gil, F. J. Influence of the CAD-CAM systems on the marginal accuracy and mechanical properties of dental restorations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020; 17 (12): 4276.
22. Μηχανικός σαρωτής Procera Scanner (Nobel Biocare, Göteborg) [Internet]. [cited 2022 August 20]. Available from:

<https://img.yumpu.com/30178061/1/500x640/proceraar-scanners-nobel-biocare.jpg>

23. Reiss, B. Cerec Standard 3-D Occlusal Contouring in Comparison with the New Biogeneric Occlusal Morphing: A Case Report. *International Journal Of Computerized Dentistry*, 2007; 10 (1): 69-75.
24. Raigrodski, A. J., & Chiche, G. J. All-ceramic fixed partial dentures, part I: in vitro studies. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 2002; 14 (3): 188-191.
25. Nguyen, J. F., Migonney, V., Ruse, N. D., & Sadoun, M. Properties of experimental urethane dimethacrylate - based dental resin composite blocks obtained via thermo-polymerization under high pressure. *Dental Materials*, 2003; 29 (5): 535-541.
26. Attia, A., Abdelaziz, K. M., Freitag, S., & Kern, M. Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD / CAM crowns. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2006; 95 (2): 117-123.
27. Mainjot A.. Recent advances in composite CAD/CAM blocks. *The International Journal Of Esthetic Dentistry*, 2016; 11(2): 275-280.
28. Abdulla, M. A., Ali, H., & Jamel, R. S. CAD-CAM technology: a literature review. *Al-Rafidain Dental Journal*, 2020; 20(1): 95-113.
29. Τα σύστημα CEREC αποτελείται από: CAD - Μηχάνημα απεικόνισης με το ενδοστοματικό σκάνερ Cerec Omnicam & CAM - Κοπτικό Μηχάνημα [Internet]. [cited 2022 August 17]. Available from: <https://dentica.gr/dental-products/cerec-cad-cam/>
30. Santos, G. C., Jr, Santos, M. J., Jr, Rizkalla, A. S., Madani, D. A., & El-Mowafy, O. Overview of CEREC CAD/CAM chairside system. *General Dentistry*, 2013; 61(1): 36-41.
31. Marras, I., Nikolaidis, N., Mikrogeorgis, G., Lyroudia, K., & Pitas, I. A virtual system for cavity preparation in endodontics. *Journal Of Dental Education*, 2008; 72(4): 494-502.
32. D'Souza, K. M., & Aras, M. A. Applications of CAD/CAM technology in dental implant planning and implant surgery. In *Advances in Dental Implantology using Nanomaterials and Allied Technology Applications* Springer, Cham, 2021; pp. 247-286.

33. Abt E. Computer-aided design/ computer-aided manufacturing crown survival rates. *Evidence-based dentistry*, 2010; 11(1): 25-26.
34. Hamza, T. A., Ezzat, H. A., El-Hossary, M. M., Katamish, H. A., Shokry, T. E., & Rosenstiel, S. F. Accuracy of ceramic restorations made with two CAD/CAM systems. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2013; 109(2): 83-87.
35. KaVo Everest CAD/CAM System, KaVo Everest - highest precision, [Internet]. [cited 2022 August 10]. Available from: www.medicalsintl.com/Content/uploads/Division/150819102027715-Everest_CAD_CAM_System_en_1_004_7802.pdf
36. Memari, Y., Mohajerfar, M., Armin, A., Kamalian, F., Rezayani, V., & Beyabanaki, E. Marginal Adaptation of CAD/CAM All-Ceramic Crowns Made by Different Impression Methods: A Literature Review. *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 2019; 28(2): e536-e544.
37. Piwowarczyk, A., Ottl, P., Lauer, H. C., & Kuretzky, T. A clinical report and overview of scientific studies and clinical procedures conducted on the 3M ESPE Lava All-Ceramic System. *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 2005; 14(1): 39-45.
38. Lava All-Ceramic System (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN) [Internet]. [cited 2022 August 10]. Available from: <http://www.kingsbridge-dl.co.uk/all-ceramic.htm>
39. Anu, G., Bansal, Y., & Girdhar, P. An overview of CAD/CAM in dental restorations. *Baba Farid University Dental Journal*, 2020; 10 (2): 31-35.
40. Procera All-Ceram CAD CAM (Excel Dental Lab Co., Ltd., Bangkok, Thailand) [Internet]. [cited 2022 August 10]. Available from: <http://www.excel-dental.com/product/6/>
41. Bodereau, E. F., Bessone, L., Cabanillas, G., FernÁNdez Bodereau, E., Bessone, L. M., & Cabanillas, G. Aesthetic All-ceramic Restorations. CAD-CAM System. *Int. J. Odontostomat*, 2013; 7(1): 139-47.

42. Cercon, DeguDent, Augsburg, Germany [Internet]. [cited 2022 August 10]. <http://docplayer.net/44146741-Degudent-cad-cam-cercon-smart-ceramics-compartis-integrated-system.html>
43. Amudhalakshmi, K., Sethalakshmi, A. & Biswas, K., P. A Review of CAD-CAM in Dentistry. *Journal of Indira Gandhi Institute Of Medical Sciences*, 2016; 2 (2): 16.
44. Helvey G. A. Classifying dental ceramics: numerous materials and formulations available for indirect restorations. *Compendium Of Continuing Education In Dentistry* (Jamesburg, N.J. : 1995), 2014; 35(1): 38-43.
45. Guess, P. C., Schultheis, S., Bonfante, E. A., Coelho, P. G., Ferencz, J. L., & Silva, N. R. All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dental clinics of North America*, 2011; 55(2): 333-352.
46. O'Brien, W. J. Color and appearance. *Dental materials and their selection*. 4th ed. Chicago: Quintessence Publishing Co, 2008; pp. 25-38.
47. McLaren, E., & Cao, P., T. Ceramics in dentistry-part I: classes of materials. *Inside Dentistry*, 2009; 5 (9): 94-103.
48. Shenoy, A., & Shenoy, N. Dental ceramics: An update. *Journal Of Conservative Dentistry*, 2010; 13(4): 195-203.
49. Martin, M. Material and clinical considerations for full-coverage indirect restorations. *Compendium of Continuing Education In Dentistry*, 2012; 33 (1): 2-5.
50. Shen, C., Rawls, H. R., & Esquivel-Upshaw, J. F. (Eds.). *Phillips' Science of Dental Materials E-Book*. Elsevier Health Sciences, 2021.
51. Sakaguchi, R. L., & Powers, J. M. Testing of dental materials and biomechanics. *Craig's Restorative Dental Materials*. 13th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Mosby, 2012; pp. 85.
52. Sriamporn, T., Thamrongananskul, N., Busabok, C., Poolthong, S., Uo, M., & Tagami, J. Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dental Materials Journal*, 201; 33(1): 79-85.
53. Scherrer, S. S., Quinn, G. D., & Quinn, J. B. Fractographic failure analysis of a Procera AllCeram crown using stereo and scanning electron microscopy. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 2008; 24(8): 1107-1113.

54. Kim, B., Zhang, Y., Pines, M., & Thompson, V. P. Fracture of porcelain-veneered structures in fatigue. *Journal of Dental Research*, 2007; 86(2): 142-146.
55. Chevalier, J., Gremillard, L., Virkar, A., & Clarke, D. The tetragonal-monoclinic transformation in zirconia: lessons learned and future trends. *Journal Of The American Ceramic Society*, 2009; 92 (9): 1901-1920.
56. Roualdes, O., Duclos, M. E., Gutknecht, D., Frappart, L., Chevalier, J., & Hartmann, D. J. In vitro and in vivo evaluation of an alumina-zirconia composite for arthroplasty applications. *Biomaterials*, 2010; 31(8): 2043-2054.
57. Ahlberg, J. P., Kovero, O. A., Hurmerinta, K. A., Zepa, I., Nissinen, M. J., & Könönen, M. H. Maximal bite force and its association with signs and symptoms of TMD, occlusion, and body mass index in a cohort of young adults. *Cranio: The Journal Of Craniomandibular Practice*, 2003; 21(4): 248-252.
58. Powers, J.M., & Sakaguchi, R.L. *Craig's Restorative Dental Materials*. 12th Edition, Mosby, Missouri, 2006; 386-393.
59. Kelly, J. R., & Benetti, P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Australian dental journal*, 2011; 56 (1): 84-96.
60. Kedici, S. P., Aksüt, A. A., Kılıfçarslan, M. A., Bayramoğlu, G., & Gökdemir, K. Corrosion behaviour of dental metals and alloys in different media. *Journal of oral rehabilitation*, 1998; 25(10): 800-808.
61. Michalakis, K. X., Hirayama, H., Sfolkos, J., & Sfolkos, K. Light transmission of posts and cores used for the anterior esthetic region. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 2004; 24(5): 462-469.
62. Madfa A., Al-Sanabani F., Amran, A. Use of zirconia in dentistry: An overview. *The Open Biomaterials Journal*, 2014; 5 (1) 1-9.
63. Sturzenegger B, Fehér A, Lüthy H, Schumacher M, Filser F, Kocher P, Gauckler L und Schärer P. Clinical evaluation in the posterior segments of zirconia bridges fabricated with the DCM-System (in German). *Acta Medicinae Dentium Helvetica*, 2000; 5 (12): 131-139.

64. Vagkopoulou, T. Zirconia in dentistry: part 2. Evidence-based clinical breakthrough. *European Journal Of Esthetic Dentistry: Official Journal Of The European Academy Of Esthetic Dentistry*, 2009; 4(4): 348-80.
65. Gehrt, M., Wolfart, S., Rafai, N., Reich, S., & Edelhoff, D. Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. *Clinical Oral Investigations*, 2012; 17(1): 275-284.
66. Hanawa T. Zirconia versus titanium in dentistry: A review. *Dental Materials Journal*, 2000; 39(1): 24-36.
67. Kusy R. P. Orthodontic biomaterials: from the past to the present. *The Angle Orthodontist*, 2002; 72(6): 501-512.
68. Vagkopoulou, T., Koutayas, S. O., Koidis, P., & Strub, J. R. Zirconia in dentistry: Part 1. Discovering the nature of an upcoming bioceramic. *The European Journal Of Esthetic Dentistry: Official Journal Of The European Academy Of Esthetic Dentistry*, 2009; 4(2): 130-151.
69. Alqutaibi, A. Y., Ghulam, O., Krsoum, M., Binmahmoud, S., Taher, H., Elmalky, W., & Zafar, M. S. Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2022; 27(5): 1699.
70. Zhang, Y., & Lawn, B. R. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal Of Dental Research*, 2018; 97(2): 140-147.
71. Zhang, F., Inokoshi, M., Batuk, M., Hadermann, J., Naert, I., Van Meerbeek, B., & Vleugels, J. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dental Materials: Official Publication Of The Academy of Dental Materials*, 2013; 32(12): e327-e337.
72. Nicholls, R. J., Ni, N., Lozano-Perez, S., London, A., McComb, D. W., Nellist, P. D., Grovenor, C. R., Pickard, C. J., & Yates, J. R. Crystal Structure of the ZrO Phase at Zirconium/Zirconium Oxide Interfaces. *Advanced Engineering Materials*, 2015; 17(2): 211-215.
73. Denry, I. L., & Holloway, J. A. Microstructural and crystallographic surface changes after grinding zirconia-based dental ceramics. *Journal Of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 2006; 76(2): 440-448.

74. Götsch, T., Wallisch, W., Stöger-Pollach, M., Klötzer, B., & Penner, S. From zirconia to yttria: Sampling the YSZ phase diagram using sputter-deposited thin films. *AIP Advances*, 2016; 6(2): 025119.
75. Srichumpong, T., Phokhinchatchanan, P., Thongpun, N., Chaysuwan, D., & Suputtamongkol, K. Fracture toughness of experimental mica-based glass-ceramics and four commercial glass-ceramics restorative dental materials. *Dental Materials Journal*, 2019; 2018-077.
76. Baldissara, P., Llukacej, A., Ciocca, L., Valandro, F. L., & Scotti, R. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2010; 104(1): 6-12.
77. Aborasa, M., Muchtara, A., Azharia C. H. & Yahaya, N. Role of Yttrium Oxide Additive in Stabilizing Zirconia for Dental Applications, November 2016, Conference: 1st International Research Conference on Engineering, Science and Humanities 2016; 1-42.
78. Ban, S., Suzuki, T., Yoshihara, K., Sasaki, K., Kawai, T., & Kono, H. Effect of Coloring on Mechanical Properties of Dental Zirconia. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2014; 34 (1): 24-29.
79. Soubelet, C. G., & Albano, M. P. Mechanical properties and aging behaviour of Y-TZP with 64S bioglass additions for dental restorations. *Advances in Applied Ceramics*. 2019; 118(6): 1-19.
80. Nistor, L., Grădinaru, M., Rîcă, R., Mărășescu, P., Stan, M., Manolea, H., Ionescu, A., & Moraru, I. Zirconia Use in Dentistry - Manufacturing and Properties. *Current Health Sciences Journal*, 2019; 45(1): 28-35.
81. Bergler, M., Blatz, M.B., & Mante, F.K. Translucency of Full-Contour Zirconia Ceramic. *Journal of Dental Research*, 2015; 94 (1): 3534.
82. Kelly, J. R., & Denry, I. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dental materials: Official Publication Of The Academy Of Dental Materials*, 2008; 24(3): 289-298.
83. Lawson, S. Environmental degradation of zirconia ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 1995; 15(6): 485-502.
84. Chevalier, J. What future for zirconia as a biomaterial?. *Biomaterials*, 2006; 27(4): 535-543.

85. Chevalier, J., Gremillard, L., & Deville, S. Low-temperature degradation of zirconia and implications for biomedical implants. *Annual Review of Materials Research*, 2007; 37 (1): 1-32.
86. Lughi, V., & Clarke, D. R. High temperature aging of YSZ coatings and subsequent transformation at low temperature. *Surface and Coatings Technology*, 2005; 200 (5-6): 1287-1291.
87. Lughi, V., & Clarke, D. R. Low-temperature transformation kinetics of electron-beam deposited 5 wt.% yttria-stabilized zirconia. *Acta Materialia*, 2007; 55(6): 2049-2055.
88. Beuer, F., Stimmelmayer, M., Gueth, J. F., Edelhoff, D., & Naumann, M. In vitro performance of full-contour zirconia single crowns. *Dental materials*, 2012; 28(4): 449-456.
89. Kwon, S. J., Lawson, N. C., McLaren, E. E., Nejat, A. H., & Burgess, J. O. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2018; 120(1): 132-137.
90. Shahmiri, R., Standard, O. C., Hart, J. N., & Sorrell, C. C. Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2018; 119(1): 36-46.
91. Zesewitz, T. F., Knauber, A. W., & Nothdurft, F. P. Fracture resistance of a selection of full-contour all-ceramic crowns: an in vitro study. *Int J Prosthodont*, 2014; 27(3): 264-6.
92. Volpato, C. Â. M., Garbelotto, L. G. D., Fredel, M. C., & Bondioli, F. Application of zirconia in dentistry: biological, mechanical and optical considerations. *Advances In Ceramics-Electric And Magnetic Ceramics, Bioceramics, Ceramics And Environment*, 2011, 25.
93. Moustafa, A. Fusion sputtering for bonding to zirconia-based materials. *Journal of Adhesive Dentistry*, 2012; 14 (4): 323.
94. Matsuzaki, F., Sekine, H., Honma, S., Takanashi, T., Furuya, K., Yajima, Y., & Yoshinari, M. Translucency and flexural strength of monolithic translucent zirconia and porcelain-layered zirconia. *Dental Materials Journal*, 2015; 34(6): 910-917.

95. Luthardt, R. G., Sandkuhl, O. & Reitz, B. Zirconia-TZP and alumina-advanced technologies for the manufacturing of single crowns. *The European Journal Of Prosthodontics And Restorative Dentistry*, 1999; 7 (4): 113-119.
96. Tinschert, J., Natt, G., Mautsch, W., Augthun, M., & Spiekermann, H.. Fracture Resistance of Lithium Disilicate--, Alumina-, and Zirconia-Based Three-Unit Fixed Partial Dentures: A Laboratory Study. *International Journal of Prosthodontics*, 2001; 14(3): 231-238.
97. Tinschert, J. Vollkeramische Brucken aus DC-Zircon-ein klinisches Konzept mit Erfolg?. *Deutsche Zahnarztliche Zeitschrift*, 2005; 10 (1): 435-445.
98. Lee J. H. Fabricating a custom zirconia post-and-core without a post-and-core pattern or a scan post. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2018; 120(2): 186-189.
99. Κοντονασάκη, Ε., Σιαραμπή, Ε. & Τορτοπίδης, Δ. Σύγχρονα ολοκεραμικά συστήματα: Ταξινόμηση, τεχνικές κατασκευής και κλινικές εφαρμογές., *Στόμα*, 2013; 41 (1): 87-106.
100. Pallesen, U., & van Dijken, J. W. An 8-year evaluation of sintered ceramic and glass ceramic inlays processed by the Cerec CAD/CAM system. *European Journal Of Oral Sciences*, 2000; 108(3): 239-246.
101. Zimmer, S., Göhlich, O., Rüttermann, S., Lang, H., Raab, W. H., & Barthel, C. R.. Long-term survival of Cerec restorations: a 10-year study. *Operative Dentistry*, 2008; 33(5): 484-487.
102. Στάππα - Μουρτζίνη, Μ., & Μενεγάκης, Γ. Θεωρία Οδοντοτεχνίας II, Β Έκδοση, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2020.
103. Δημητροπούλου, Ε. Η εργαστηριακή διαδικασία στην ακίνητη προσθετική. Αθήνα, Εκδόσεις Ζαχαρόπουλος, 2004.
104. Smith Dendy, Howe Leslie Planning and making crowns and bridges, 4th Edition, Informa Healthcare, 2007.
105. Krishnakumar, S., & Senthilvelan, T. Polymer composites in dentistry and orthopedic applications-a review. *Materials Today: Proceedings*, 2021; 46 (1): 9707-9713.
106. Quinn, G. D., Studart, A. R., Hebert, C., VerHoef, J. R., & Arola, D. Fatigue of zirconia and dental bridge geometry: Design implications.

- Dental Materials: Official Publication Of The Academy Of Dental Materials, 2010; 26(12): 1133-1136.
107. Perry, R. D., Kugel, G., Sharma, S., Ferreira, S., & Magnuson, B. Two-year evaluation indicates zirconia bridges acceptable alternative to PFMs. *Compendium of continuing education in dentistry* (Jamesburg, N.J.: 1995), 2012; 33(1): e1-e5.
 108. Burke, F. T., Ali, A., & Palin, W. M. Zirconia-based all-ceramic crowns and bridges: three case reports. *Dental update*, 2006; 33(7): 401-410.
 109. Albashaireh, Z.S.M., Ghazal, M., & Kern, M. Two-body wear of different ceramic materials opposed to zirconia ceramic. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2010; 104 (2): 105-113.
 110. Griffin, J.D. Combining monolithic zirconia crowns, digital impressing, and regenerative cement for a predictable restorative alternative to PFM. *Compendium of continuing education in dentistry* (Jamesburg, N.J.: 1995), 2013; 34(3): 212-222.
 111. Zhang, Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dental Materials: Official Publication Of The Academy Of Dental Materials*, 2014; 30(10): 1195-1203.
 112. Rinke, S., & Fischer, C. Range of indications for translucent zirconia modifications: Clinical and technical aspects. *Quintessence International* (Berlin, Germany : 1985), 2013; 44(8): 557-566.
 113. Muñoz, E. M., Longhini, D., Antonio, S. G., & Adabo, G. L. The effects of mechanical and hydrothermal aging on microstructure and biaxial flexural strength of an anterior and a posterior monolithic zirconia. *Journal of dentistry*, 2017; 63 (1): 94-102.
 114. Kontonasaki, E., Rigos, A. E., Ilija, C., & Istantos, T. Monolithic Zirconia: An Update to Current Knowledge. *Optical Properties, Wear, and Clinical Performance. Dentistry Journal*, 2019; 7(3): 90.
 115. Lameira, D. P., Buarque e Silva, W. A., Andrade e Silva, F., & De Souza, G. M. Fracture Strength of Aged Monolithic and Bilayer Zirconia-Based Crowns. *BioMed research international*, 2015; 418641.
 116. Sakka, Y., Suzuki, T.S., Morita, K., Nakano, K., & Hiraga, K. Colloidal processing and superplastic properties of zirconia- and alumina-based nanocomposites. *Scr. Mater.* 2001; 44 (1): 2075-2078.

117. Vasylykiv, O., Sakka, Y., & Skorokhod, V.V. Hardness and Fracture Toughness of Alumina-Doped Tetragonal Zirconia with Different Yttria Contents. *Mater. Trans.* 2003; 44 (1): 2235-2238.
118. Liebermann, A., Freitas Rafael, C., Colle Kauling, A. E., Edelhoff, D., Ueda, K., Seiffert, A., Maziero Volpato, C. A., & Güth, J. F. Transmittance of visible and blue light through zirconia. *Dental Materials Journal*, 2018; 37(5): 812-817.
119. Tuncel, İ., Turp, I., & Üşümez, A. Evaluation of translucency of monolithic zirconia and framework zirconia materials. *The journal of advanced prosthodontics*, 2016; 8(3): 181-186.
120. Klimke, J., Trunec, M., & Krell, A. Transparent tetragonal yttria-stabilized zirconia ceramics: influence of scattering caused by birefringence. *Journal of the American Ceramic Society*, 2011; 94(6): 1850-1858.
121. Gómez, S., Suárez, G., Rendtorff, N. M., & Aglietti, E. F. Relation between mechanical and textural properties of dense materials of tetragonal and cubic zirconia. *Science of Sintering*, 2016; 48(1): 119-130.
122. Dogan, S., Raigrodski, A. J., Zhang, H., & Mancl, L. A. Prospective cohort clinical study assessing the 5-year survival and success of anterior maxillary zirconia-based crowns with customized zirconia copings. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2017; 117(2): 226-232.
123. Burke, F. J. T., Crisp, R. J., Cowan, A. J., Lamb, J., Thompson, O., & Tulloch, N. Five-year clinical evaluation of zirconia-based bridges in patients in UK general dental practices. *Journal of Dentistry*, 2013; 41(11): 992-999.
124. Pjetursson, B. E., Sailer, I., Makarov, N. A., Zwahlen, M., & Thoma, D. S. Corrigendum to " All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs [*Dental Materials* 31 (6)(2015) 624-639]. *Dental materials*, 2017; 33(1): e48-e51.
125. Alessandretti, R., Borba, M., & Della Bona, A. Cyclic contact fatigue resistance of ceramics for monolithic and multilayer dental restorations. *Dental Materials*, 2020; 36(4): 535-541.

126. Baba, N. Z., Golden, G., & Goodacre, C. J. Nonmetallic prefabricated dowels: a review of compositions, properties, laboratory, and clinical test results. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 2009; 18(6): 527-536.
127. Mizrahi B. The anterior all-ceramic crown: a rationale for the choice of ceramic and cement. *British Dental Journal*, 2008; 5(1): 251-55.
128. Ozkurt, Z., İşeri, U., & Kazazoğlu, E. Zirconia ceramic post systems: a literature review and a case report. *Dent Mater J*. 2010; 29(3): 233-45.
129. Suttor, D., Bunke, K., Hoescheler, S., Hauptmann, H., & Hertlein, G. LAVA--the system for all-ceramic ZrO₂ crown and bridge frameworks. *International journal of computerized dentistry*, 2011; 4(3): 195-206.
130. Miyazaki, T., & Hotta, Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J*. 2011; 56 (1): 97-106.
131. Καραγιάννη, Μ., Πασχάλη, Μ., Ξιμίνης, Ε., & Χατζηκυριάκος, Α. Η ζirkονία ως υλικό προσθετικών αποκαταστάσεων. *Στόμα*, 2012; 40(1): 249 -260.
132. Σολδάτος, Ν., Κοντακιώτης, Γ., Γούσιας, Η., Χριστόπουλος, Π., & Μελακόπουλος, Ι. Ζirkονία. Ιδιότητες, κλινικές εφαρμογές και παρουσίαση κλινικών περιπτώσεων. *Στοματολογία*, 2009; 66(1): 3-16.
133. Conrad, H. J., Seong, W. J., & Pesun, I. J. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2007; 98(5): 389-404
134. Joda, T., & Buser, D. Digital implant dentistry-a workflow in five steps. *CAD/CAM*, 2013; 4 (1): 16-20.
135. Abraham, C. A brief historical perspective on dental implants, their surface coatings and treatments. *The Open Dentistry Journal*, 2014; 8(1): 50-55.
136. Βαΐρακτάρης, Ε., Αυγουστίδης, Δ., Νισύριος, Θ., & Βασιλείου, Σ. Παράγοντες που καθορίζουν την επιτυχία των εμφυτευμάτων. *Οδοντιατρικό Βήμα*, 2010; 70(1): 4-39.
137. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999; 20 (1): 1-25.
138. Filser, F., Kocher, P., Weibel, F., Luthy, H., Scharer, P., & Gauckler, L. J. Reliability and strength of all-ceramic dental restorations fabricated by

- direct ceramic machining (DCM). *International Journal Of Computerized Dentistry*, 2001; 4(2): 89-106.
139. Lüthy, H., Filser, F., Loeffel, O., Schumacher, M., Gauckler, L. J., & Hammerle, C. H. Strength and reliability of four-unit all-ceramic posterior bridges. *Dental Materials*, 2005; 21(10): 930-937.
140. Μονολιθική Γέφυρα Ζιρκονίου, [Internet]. [cited 2022 August 10]. Available from: https://odontorama.gr/wp-content/uploads/2016/12/SAM_0694.jpg
141. Διαστρωματώμενη Γέφυρα Ζιρκονίου, [Internet]. [cited 2022 August 10]. Available from: https://odontorama.gr/wp-content/uploads/2016/02/SAM_0298.jpg
142. Heintze, S. D., & Rousson, V. Survival of zirconia-and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review. *International Journal of Prosthodontics*, 2010; 23(6): 493-502.
143. Pjetursson, B. E., Sailer, I., Zwahlen, M., & Hämmerle, C. H. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns. *Clinical Oral Implants Research*, 2007; 18(3): 73-85.
144. Sailer, I., Pjetursson, B. E., Zwahlen, M., & Hämmerle, C. H.. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clinical Oral Implants Research*, 2007; 18(3): 86-96.
144. Tabatabaian F. Color Aspect of Monolithic Zirconia Restorations: A Review of the Literature. *Journal Of Prosthodontics : Official Journal Of The American College Of Prosthodontists*, 2019; 28(3): 276-287.
145. Stawarczyk, B., Ozcan, M., Hallmann, L., Ender, A., Mehl, A., & Hämmerlet, C. H. The effect of zirconia sintering temperature on flexural strength, grain size, and contrast ratio. *Clinical oral investigations*, 2013; 17(1): 269-274.
146. Stawarczyk, B., Emslander, A., Roos, M., Sener, B., Noack, F., & Keul, C. Zirconia ceramics, their contrast ratio and grain size depending on sintering parameters. *Dental Materials Journal*, 2014; 33(5): 591-598.

147. Stawarczyk, B., Frevert, K., Ender, A., Roos, M., Sener, B., & Wimmer, T. Comparison of four monolithic zirconia materials with conventional ones: Contrast ratio, grain size, four-point flexural strength and two-body wear. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 2016; 59 (1): 128-138.
148. Tosoh Corporation. Manufacturer's data on in-house studies of structural transformation in the monoclinic phase. Tokyo: Tosoh Corporation, 2014.
149. Ilie, N., & Stawarczyk, B. Quantification of the amount of light passing through zirconia: the effect of material shade, thickness, and curing conditions. *Journal of Dentistry*, 2014; 42(6): 684-690.
150. Ueda, K., Güth, J. F., Erdelt, K., Stimmelmayer, M., Kappert, H., & Beuer, F. (2015). Light transmittance by a multi-coloured zirconia material. *Dental Materials Journal*, 2015; 34(3): 310-314.
151. Lopez-Suarez, C., Rodriguez, V., Pelaez, J., Agustin-Panadero, R., & Suarez, M. J. Comparative fracture behavior of monolithic and veneered zirconia posterior fixed dental prostheses. *Dental Materials Journal*, 2017; 36(6): 816-821.
152. López-Suárez, C., Gonzalo, E., Peláez, J., Rodríguez, V., & Suárez, M. J. Fracture resistance and failure mode of posterior fixed dental prostheses fabricated with two zirconia CAD/CAM systems. *Journal Of Clinical And Experimental Dentistry*, 2015; 7(2): e250-e253.
153. Agustín-Panadero, R., Román-Rodríguez, J. L., Ferreira, A., Solá-Ruiz, M. F., & Fons-Font, A. Zirconia in fixed prosthesis. A literature review. *Journal Of Clinical And Experimental Dentistry*, 2014; 6(1): e66-e73.
154. Beuer, F., Schweiger, J., Eichberger, M., Kappert, H. F., Gernet, W., & Edelhoff, D. High-strength CAD/CAM-fabricated veneering material sintered to zirconia copings-a new fabrication mode for all-ceramic restorations. *Dental Materials: Official Publication Of The Academy Of Dental Materials*, 2009; 25(1): 121-128.
155. Diéguez-Pereira, M., Chávarri-Prado, D., Estrada-Martínez, A., Pérez-Pevida, E., & Brizuela-Velasco, A. Monolithic and Minimally Veneered Zirconia Complications as Implant-Supported Restorative Material: A

- Retrospective Clinical Study up to 5 Years. *Biomed Research International*, 2020; 8821068.
156. Cheng, C. W., Chien, C. H., Chen, C. J., & Papaspyridakos, P. Clinical Results and Technical Complications of Posterior Implant-Supported Modified Monolithic Zirconia Single Crowns and Short-Span Fixed Dental Prostheses: A 2-Year Pilot Study. *Journal Of Prosthodontics: Official Journal Of The American College Of Prosthodontists*, 2018; 27(2): 108-114.
157. Zhang, Y., & Lawn, BR. Evaluating dental zirconia. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 2019; 35(1): 15-23.
158. Zhang, Y., & Lawn, B.R. Novel zirconia materials in dentistry. *Journal Of Dental Research*, 2018; 97(2): 140-147.
159. Mao, L., Kaizer, M. R., Zhao, M., Guo, B., Song, Y. F., & Zhang, Y. Graded Ultra-Translucent Zirconia (5Y-PSZ) for Strength and Functionalities. *Journal Of Dental Research*, 2018; 97(11): 1222-1228.
160. Zhang, Y., Mai, Z., Barani, A., Bush, M., & Lawn, B. Fracture-resistant monolithic dental crowns. *Dental Materials: Official Publication Of The Academy Of Dental Materials*, 2016; 32(3): 442-449.