



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

## **Η ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΗ ΖΙΡΚΟΝΙΑ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΟΠΙΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ**

**ΑΜ: 62916003**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΘΕΟΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
FACULTY OF HEALTH CARE SCIENCES  
**DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES**  
DIVISION OF DENTAL TECHNOLOGY

## **MONOLITHIC ZIRCONIA AND ITS USE IN POSTERIOR TEETH**

**DISSERTATION**

**NIKOLAOU DIMITRA**

**Candidate Number: 62916003**

**SUPERVISOR: THEOCHAROPOULOS ANTONIOS**

**ASSISTANT PROFESSOR**

**ATHENS 2024**

## ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΘΕΟΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ	
ΜΕΛΟΣ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ	
ΜΕΛΟΣ	ΕΛΕΝΗ ΚΟΣΜΑ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένη Νικολάου Δήμητρα του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 62916003 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Οδοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής 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



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	8
Summary.....	8
Γενικό Μέρος .....	12
<b>1. Ιστορική Αναδρομή .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Οδοντιατρικά Κεραμικά.....</b>	<b>15</b>
2.1. Κεραμικά Υαλώδους Μήτρας.....	15
2.1.1. Αστριούχα Κεραμικά .....	15
2.1.2. Συνθετικά Κεραμικά .....	16
2.1.3. Κεραμικά Διήθησης Υάλου.....	16
2.2. Κεραμικά Ρητινώδους Μήτρας .....	17
2.2.1. Νανοκεραμικά ρητίνης.....	18
2.2.2. Υαλοκεραμικά σε αλληλοδιεισδυτική μήτρα ρητίνης .....	18
2.2.3. Κεραμικά ζirkονία-πυριτίας σε αλληλοδιεισδυτική μήτρα ρητίνης.....	18
2.3. Πολυκρυσταλλικά Κεραμικά .....	18
2.3.1. Αλουμίνα .....	19
2.3.2. Αλουμίνα Ενισχυμένη με Ζirkονία και Ζirkονία Ενισχυμένη με Αλουμίνα.....	19
2.3.3. Σταθεροποιημένη Ζirkονία.....	19
<b>3. Ζirkονία .....</b>	<b>20</b>
3.1. Κρυσταλλικές φάσεις και μετασχηματισμός σκλήρυνσης.....	21
3.2. Σταθεροποιητές.....	22
3.2.1. Μερικώς σταθεροποιημένη με μαγνησία ζirkονία.....	22
3.2.2. Σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία.....	23
3.3. Γενιές Ζirkονίας.....	24

3.3.1.	Πρώτη γενιά ζirkονίας .....	24
3.3.2.	Δεύτερη γενιά ζirkονίας .....	25
3.3.3.	Τρίτη γενιά ζirkονίας .....	25
3.3.4.	Τέταρτη Γενιά Ζirkονίας.....	26
3.3.5.	Πέμπτη Γενιά Ζirkονίας .....	26
3.4.	Βιοσυμβατότητα.....	27
3.5.	Γήρανση .....	28
3.6.	Η ζirkονία στην προσθετική.....	29
3.6.1.	Κύριες εφαρμογές ζirkονίας στην οδοντιατρική.....	30
3.7.	Αισθητική των αποκαταστάσεων ζirkονίας.....	31
<b>4.</b>	<b>Κατασκευή Αποκαταστάσεων Μονολιθικής Ζirkονίας .....</b>	<b>33</b>
4.1.	Εκτροχισμός μερικής πυροσυσσωματωμένων πλακών .....	33
4.1.1.	Πυροσυσσωμάτωση των ψυχρά ισοστατικά πεπιεσμένων (CIP) πλακών.....	35
4.2.	Εκτροχισμός Πλήρως Πυροσυσσωματωμένων blocks.....	37
4.3.	Τρισδιάστατη Εκτύπωση .....	38
4.4.	Χρώση .....	38
4.5.	Ακρίβεια Ορίων και Εφαρμογή .....	40
4.6.	Επιφανειακή κατεργασία και συγκόλληση .....	40
	<b>Ειδικό Μέρος.....</b>	<b>42</b>
<b>5.</b>	<b>Κατασκευαστικά Στάδια .....</b>	<b>42</b>
<b>6.</b>	<b>Συζήτηση .....</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>Συμπέρασμα.....</b>	<b>55</b>
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>57</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.	Γέφυρα της Τουτα Ελ-Ασμάντ (3).....	11
Εικόνα 2.	Γέφυρα της Ελ-Κουάτα (2).....	11
Εικόνα 3.	Ταξινόμηση Οδοντιατρικών Κεραμικών Υλικών κατά Gracis.....	14
Εικόνα 4.	Κρυσταλλικές φάσεις ζirkονίας (32).....	20
Εικόνα 5.	Μετασχηματισμός σκλήρυνσης ζirkονίας (33).....	21
Εικόνα 6.	Ανάλυση παρασκευής και διευθέτηση του ορίου. Το όριο μπορεί να εντοπισθεί αυτόματα (38).....	41
Εικόνα 7.	Κάθετη τοποθέτηση εργασίας για να επιτευχθεί χρωματική διαβάθμιση (38) .....	43
Εικόνα 8.	Επεξεργασία σημείων επαφής με ελαστικό εργαλείο στίλβωσης (μήτρα πολυουρεθάνης με ενσωματωμένα σωματίδια βιομηχανικού διαμαντιού) (38).....	47
Εικόνα 9.	Πριν την χημική συγκόλληση της εργασίας, το εσωτερικό της αδροποιείται με αμμοβολή (38) .....	48
Εικόνα 10.	Περίληπτική περιγραφή της σχέσης μεταξύ της αντοχής της ζirkονίας και της περιεκτικότητας της ζirkονίας σε υτρία .....	53

## Περίληψη

Η οπίσθια περιοχή του στόματος χαρακτηρίζεται από μεγάλες δυνάμεις που πολλές φορές κάνουν την αποκατάσταση του οδοντικού φραγμού δύσκολη. Ως ανταπόκριση στους προβληματισμούς σχετικά με την αισθητική, και κυρίως την αντοχή, των εργασιών που προορίζονται για την αποκατάσταση οπίσθιων δοντιών, η βιομηχανία κοιτά προς την μονολιθική ζirkονία. Στην εργασία αυτή πρώτα περιγράφεται η θεωρία στην οποία βασίζεται η χρήση της ζirkονίας στην οδοντιατρική και η εξέλιξή της από γενιά σε γενιά. Αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της κάθε γενιάς και οι ενδείξεις τους, καθώς και οι χρήσεις της ζirkονίας στην οδοντιατρική. Αναφέρονται συντόμως οι διαφορετικές μέθοδοι κατασκευής αποκαταστάσεων ζirkονίας και στη συνέχεια περιγράφεται λεπτομερώς τα κατασκευαστικά στάδια μιας εργασίας μονολιθικής ζirkονίας που προορίζεται για την οπίσθια περιοχή του στόματος. Παράλληλα αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την βιωσιμότητα της εργασίας. Έπειτα περιγράφεται συνοπτικά η πορεία της βιομηχανίας που οδήγησε στην χρήση αποκαταστάσεων μονολιθικής ζirkονίας. Αναφέρονται, και στη συνέχεια ερευνώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των αποκαταστάσεων στο περιβάλλον της στοματικής κοιλότητας, δίνοντας έμφαση στην αντοχή. Στη συνέχεια συζητάται η περίπλοκη σχέση μεταξύ της αντοχής και της αισθητικής της μονολιθικής ζirkονίας, και τελικά περιγράφονται οι τεχνικές επιφανειακής επεξεργασίας των αποκαταστάσεων μονολιθικής ζirkονίας και η επίδραση που έχουν στην φθορά των ανταγωνιστών δοντιών. Τέλος, συμπεραίνεται πως η μονολιθική ζirkονία είναι ένα πολλά υποσχόμενο υλικό, που αποτελεί μια καλή επιλογή για αποκαταστάσεις της οπίσθιας περιοχής του στόματος, ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

## Summary

The posterior region of the oral cavity is characterized by by great forces that often make the restoration of the teeth difficult. In response to issues pertaining to the aesthetics, and especially the strength, of restorations intended to replace posterior teeth, the industry is looking towards monolithic zirconia. This paper first describes the theory regarding the use of zirconia in dentistry and its development from generation to generation. The characteristics of each generation and their indications, as well as the uses of zirconia in dentistry are mentioned. The different methods of fabricating zirconia restorations are



briefly mentioned and then the stages of the manufacturing of a monolithic zirconia restoration intended for the posterior region of the mouth are described in detail. In addition, the factors affecting the survivability of the restoration are mentioned. Then, the timeline that led to the use of monolithic zirconia restorations is briefly described. Then, there is a report, and later investigation, of the factors affecting the performance of a restoration in the environment of the oral cavity, with an emphasis on strength. There is a discussion on the complex relationship between the durability and aesthetics of monolithic zirconia, and finally the surface treatment techniques for monolithic zirconia restorations and their effect on the wear of the antagonists are described. Finally, it is concluded that monolithic zirconia is a promising material, and a good choice for restorations of the posterior region, however, further research is required.

## Εισαγωγή

Στο παρελθόν, οι μεταλλοκεραμικές εργασίες ήταν οι πιο διαδεδομένες αποκαταστάσεις που προορίζονταν για την οπίσθια περιοχή του στόματος. Με το πέρασμα του χρόνου άρχισαν να εμφανίζονται προβλήματα με την βιοσημβατότητά τους. Καθώς όμως η οπίσθια περιοχή του στόματος χαρακτηρίζεται από μεγάλες πιέσεις και δυνάμεις, η εύρεση ενός αξιόπιστου υλικού ήταν δύσκολη. Στην αναζήτηση για υλικά ικανά να ανταπεξέλθουν στις υψηλές αυτές απαιτήσεις, η ζirkονία αναδείχθηκε γρήγορα στον τομέα παρά την σχετική νεότητα της ως υλικό. Η ζirkονία είναι ένα υλικό με άριστη βίουςυμβατότητα και αντοχή, και με την μοναδική ιδιότητα του μετασχηματισμού σκλήρυνσης, που έχει χαρακτηριστεί ως «αυτό-επισκευαστική».

Η ζirkονία είναι ένα υλικό με πολλές γενιές, η κάθε μία με την δική της σύνθεση, ιδιότητες και ενδείξεις. Ταυτόχρονα, οι πιέσεις και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στην οπίσθια περιοχή του στόματος περιπλέκουν επιλογή αποκατάστασης και σύνθεσης ζirkονίας για την αποκατάσταση του φραγμού. Η πρώτη γενιά υλικών ζirkονίας υστερούσε σε αισθητική κάνοντας αναγκαία την επικάλυψη των αποκαταστάσεων με στρώμα αισθητικής πορσελάνης, εισάγοντας τον κίνδυνο αποφλοιώσης και απόσπασης του αισθητικού στρώματος. Η αποχώρηση από την χρήση αισθητικής επικάλυψης για αποκαταστάσεις μονολιθικής ζirkονίας παρουσίασε τις δικές τις επιπλοκές.

Η δεύτερη γενιά ζirkονίας έχει αυξημένη συγκέντρωση υττρίας, αυξάνοντας την ημιδιαφάνειά της, προκαλώντας όμως μείωση της αντοχής των αποκαταστάσεων. Με την τρίτη γενιά ζirkονίας, η ημιδιαφάνεια συνέχισε να βελτιώνεται με την περαιτέρω αύξηση της περιεκτικότητας του σταθεροποιητή υττρίας. Το αποτέλεσμα ήταν ένα υλικό πλήρως σταθεροποιημένης, κυβικής ζirkονίας. Ωστόσο, οι προσπάθειες βελτίωσης της αισθητικής των αποκαταστάσεων απέφεραν σημαντική μείωση της αντοχής, αφαιρώντας από την ζirkονία την ιδιότητα του μετασχηματισμού σκλήρυνσης. Η τέταρτη γενιά ζirkονίας μειώνει την υττρία και εισάγει υλικό με στρώματα που δημιουργούν μία διαβάθμιση χρώματος και σύνθεσης. Ομοίως, η πέμπτη γενιά φέρει χρωματική διαβάθμιση, καθώς και διαβάθμιση αντοχών των στρωμάτων και των ενδιάμεσων χώρων τους. Έτσι υφίσταται ένα ευρύ φάσμα υλικών για χρήση στην οδοντική τεχνολογία. Επιπλέον, η αυξημένη παρουσία υττρίου προκάλεσε ευαισθησία των μεταγενέστερων αυτών γενεών στη

γήρανση. Οι νέες γενιές ωστόσο παρουσιάζουν μια ενδιαφέρουσα ισορροπία μεταξύ αισθητικής και αντοχής.

Το πρόβλημα αυτό παραμένει μέχρι σήμερα, ωθώντας την βιομηχανία στη συνεχή ανάπτυξη των υλικών ζirkονίας. Αυτή η εργασία εξετάζει την ανάπτυξη του υλικού, τις χρήσεις της μονολιθικής ζirkονίας και επικεντρώνεται στην κατασκευή και την απόδοσή της στην οπίσθια περιοχή του στόματος.

## Γενικό Μέρος

---

### 1. Ιστορική Αναδρομή

Η οδοντιατρική, καθώς και η οδοντική τεχνολογία είναι μια από τις αρχαιότερες επιστήμες ασκούμενες από τον άνθρωπο. Προσθετικές αποκαταστάσεις εντοπίζονται πρώτη φορά περίπου το 2500 π.Χ. Δύο γέφυρες ανακαλύφθηκαν στην Αίγυπτο, η μία στη Γκίζα και η άλλη στη Ελ-Κουάτα. Και οι δύο βρέθηκαν μη συνδεδεμένες σε κρανίο και έτσι θεωρήθηκε ότι τοποθετήθηκαν μετά το θάνατο. Ωστόσο, μία τρίτη κατασκευή που βρέθηκε στην Τούτα Ελ-Ασμάντ, χρονολογούμενη από 333-330 π.Χ., βρέθηκε συνδεδεμένη σε κρανίο και ήταν η μόνη που βρέθηκε *in situ*. Θεωρείται ότι είναι η πρώτη πραγματική προσθετική κατασκευή και ανακαλύφθηκε στην αρχαία Αίγυπτο. (1)



Εικόνα 1. Γέφυρα της Τούτα Ελ-Ασμάντ (2)



Εικόνα 2. Γέφυρα της Ελ-Κουάτα (3)

Αναφορές στη ζirkονία εντοπίζονται παρομοίως παλαιά. Το ίδιο το όνομα Zirconium θεωρείται ότι προέρχεται από το περσικό "zar" για το χρυσό και "gun" για το χρώμα, μέσω του αραβικού "Zarqun". Αρχικά ονομάστηκε λυγκύριον "lyncurion" περίπου το 300 π.Χ από τον Θεόφραστο. Το διοξείδιο του ζirkονίου ( $ZrO_2$ ) ωστόσο ανακαλύφθηκε κατά λάθος από έναν Γερμανό χημικό που ονομαζόταν Martin Heinrich Claproth το 1789 ενώ εργαζόταν με ορισμένες διαδικασίες που περιλάμβαναν τη θέρμανση ορισμένων πολύτιμων λίθων. Στη συνέχεια, το διοξείδιο του ζirkονίου χρησιμοποιήθηκε ως σπάνια χρωστική ουσία για μεγάλο χρονικό διάστημα. (4) (5)

Ο δέκατος όγδοος αιώνας σηματοδοτεί την ουσιαστική ανάπτυξη της Οδοντιατρικής, καθώς παρατηρούνται πρωτότυπες προσθετικές αποκαταστάσεις. Υποψήφια υλικά για τεχνητά δόντια περιλάμβαναν ανθρώπινα δόντια, σκαλισμένα ή τροχισμένα δόντια ζώων, ελεφαντόδοντο, καθώς και «μεταλλικά» δόντια, ή δόντια «πορσελάνης». Το 1770 ένας φαρμακοποιός με το όνομα Alexis Duchateau, όντας δυσαρεστημένος με τις λεκιασμένες και κάκοσμες οδοντοστοιχίες του, συνεργάστηκε με τον Παριζιάνο οδοντίατρο Nicholas Dubois de Chémant. Κατάφεραν να δώσουν μια λύση στο πρόβλημά αυτό μέχρι το 1774, χρησιμοποιώντας σκευάσματα πορσελάνης σε συνδυασμό με τους κλιβάνους της Guehard Porcelain Factory. (6) (7)

Στεφάνες πορσελάνης εμφανίζονται ωστόσο στις αρχές του 1890, όταν ο Dr. Charles Land ανακατασκεύασε ένα σπασμένο δόντι με κάλυμμα από πορσελάνη, αποκαθιστώντας το με εξαιρετικό αισθητικό αποτέλεσμα. Η καινοτομία αυτή ώθησε την διεξαγωγή ερευνών για την ενίσχυση της αντοχής των πορσελάνων αστρίου και την κατασκευή ολοκεραμικών αποκαταστάσεων. (6) (7) (8)

Η αυξανόμενη έμφαση στην αισθητική, οδήγησε σε ζήτηση για υλικά αισθητικά αλλά και δυνατά για να αντικαταστήσουν τα κράματα μετάλλου. Το 1962, με την διαδικασία της «ασυνεχούς τήξης» συντέθηκαν κεραμικά υλικά με κύρια κρυσταλλική φάση που ονομάζεται λευκίτης. Ο λευκίτης παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή θερμική διαστολή, και τα κεραμικά λευκίτη ελαφρώς υψηλότερη από αυτή των μεταλλικών κραμάτων, κάνοντας τα υλικά αυτά ιδανικά για επικάλυψη μεταλλικού σκελετού. Σήμερα ο λευκίτης χρησιμοποιείται τόσο σε μεταλλοκεραμικά συστήματα όσο και σε ολοκεραμικά. Τα ενισχυμένα με λευκίτη ολοκεραμικά συστήματα ήταν μέχρι πριν μερικά χρόνια, από τα

πιο αισθητικά και δημοφιλή οδοντιατρικά κεραμικά. Ωστόσο, τα υλικά αυτά είχαν χαμηλή αντοχή στον εφελκυσμό, περιορίζοντας την χρήση τους σε μεμονωμένες αποκαταστάσεις στην πρόσθια περιοχή του στόματος. (7) (9) (10) (11)

Τα τέλη της δεκαετίας του '60 η χρήση του διοξειδίου του ζirkονίου ως βιοϋλικού εμφανίζεται για πρώτη φορά στην ιατρική σαν πρόταση για εφαρμογή στο πεδίο της ορθοπεδικής. (5) (12)

Στις αρχές της δεκαετίας του '70 οι Garvie και Nicholson ανακάλυψαν ότι ο συνδυασμός ζirkονίας με οξείδια όπως ασβεστίου, υτρίου, και μαγνησίας μπορούσαν να σταθεροποιήσουν την τετραγωνική φάση της ζirkονίας, εμποδίζοντας τον μετάσχηματισμο από τετραγωνική σε μονοκλινική φάση και παράγοντας κεραμικά με πρωτόγνωρη αντίσταση στις ρωγμές. (13)

Από τα τέλη της δεκαετίας του 80 έως τη δεκαετία του 90 άρχισαν να αναπτύσσονται όλο και πιο ανθεκτικές ολοκεραμικές αποκαταστάσεις. Από το 1990, έχουν επίσης πραγματοποιηθεί μελέτες in vitro με σκοπό την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την συμπεριφορά των κυττάρων ως προς τη ζirkονία. (8) (10) (12)

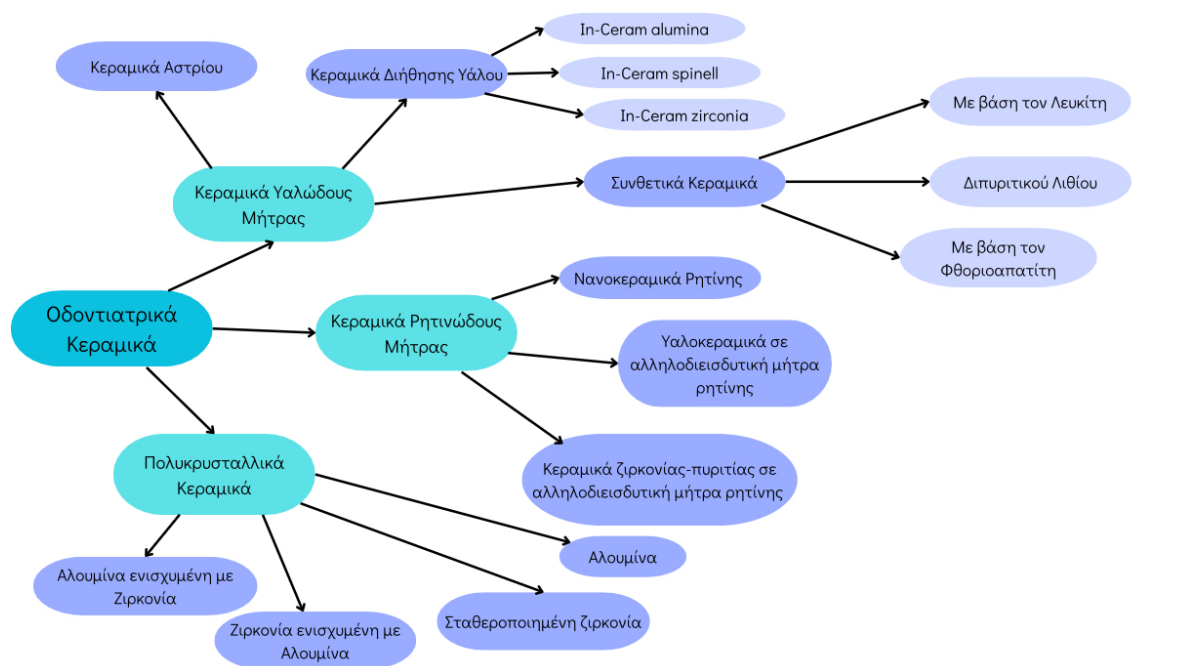
Ταυτόχρονα χάρη στους Mormann και Brandestini υπήρξε η ανάπτυξη αποκαταστάσεων με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστών (Computer-Aided Design/Computer-Aided Machining). Η ικανότητα λήψης και χειρισμού τρισδιάστατων συνόλων δεδομένων οδήγησε στην εισαγωγή της τεχνικής του τρισδιάστατου εκτροχισμού. (8)

Στα μέσα της δεκαετίας του 90 πρωτοεμφανίζονται εμφυτεύματικά στηρίγματα από ζirkονία. (14)

Υπάρχουν πια πολλές διαδικασίες και μέθοδοι που αξιοποιούν την τεχνολογία της τρισδιάστατης αποτύπωσης σε συνδυασμό με τεχνικές που χρησιμοποιούν κεραμικά υλικά. Οι μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις παραμένουν οι πιο ευρέως και πιο επιτυχημένα χρησιμοποιούμενες για μόνιμες αποκαταστάσεις. Ωστόσο, η χρήση μετάλλου στη στοματική κοιλότητα έχει παρουσιάσει το ενδεχόμενο κινδύνων λόγω βιολογικής ασυμβατότητάς. Επομένως οι ολοκεραμικές αποκαταστάσεις, εμφανίζονται όλο και περισσότερο ως εναλλακτική λύση. (15)

## 2. Οδοντιατρικά Κεραμικά

Τα οδοντικά κεραμικά είναι υλικά που χρησιμοποιούνται ως μέρος συστημάτων που αντικαθιστούν τις οδοντικές δομές, όταν αυτές έχουν υποστεί βλάβη ή λείπουν. Σύμφωνα με την πρόσφατη ταξινόμηση του S.Gracis, (Εικόνα 3) τα κεραμικά κατηγοριοποιούνται ως κεραμικά υαλώδους μήτρας, πολυκρυσταλλικά κεραμικά και κεραμικά ρητινώδους μήτρας. (16)



Εικόνα 3. Ταξινόμηση Οδοντιατρικών Κεραμικών Υλικών κατά Gracis

### 2.1. Κεραμικά Υαλώδους Μήτρας

Τα κεραμικά αυτής της κατηγορίας περιέχουν κυρίως υαλώδη φάση και μιμούνται αρκετά ικανοποιητικά τις οπτικές ιδιότητες της οδοντίνης και της αδαμαντίνης. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα κεραμικά αστρίου, τα συνθετικά κεραμικά και τα κεραμικά διήθησης υάλου. (17) (18)

#### 2.1.1. Αστριούχα Κεραμικά

Τα αστριούχα κεραμικά αποτελούνται από άργιλο, χαλαζία και φυσικώς απαντώμενο άστριο και είναι ανθεκτικά στην κρυσταλλοποίηση (αποϋαλοποίηση) κατά τη διάρκεια της όπτησης. Έχουν μεγάλα θερμοκρασιακά εύρη όπτησης, θεωρείται ότι έχουν καλύτερη

θερμομηχανική σταθερότητα από τα κρυσταλλικά κεραμικά και είναι εξαιρετικά βιοσυμβατά. (17) (19) (20)

Στα αστριούχα σκευάσματα, συχνά έχουν προστεθεί μικρές ποσότητες πληρωτικών ή/και ενισχυτικών σωματιδίων με σκοπό τον έλεγχο των οπτικών και μηχανικών ιδιοτήτων, όπως του ιριδισμού, του χρώματος, της αντοχής και θερμικής διαστολής. Οι κρύσταλλοι λευκίτη καθιστούν δυνατό τον έλεγχο του συντελεστή θερμικής διαστολής ώστε να είναι παρόμοιος με διάφορους ισχυρότερους σκελετούς προς επικάλυψη. Τα υλικά αυτά συνεπώς χρησιμοποιούνται συχνά ως υλικά επικάλυψης διαφόρων μεταλλικών και κεραμικών σκελετών, αλλά και ως μονολιθικά αισθητικά υλικά για αποκαταστάσεις πολλών ή μεμονωμένων δοντιών αντίστοιχα. (17) (18)

### 2.1.2. Συνθετικά Κεραμικά

Συνθετικά ονομάζονται τα Οδοντιατρικά κεραμικά στα οποία η μήτρα είναι συνήθως υάλος, με μικρό ή μεγάλο ποσοστό ενισχυτικών κρυστάλλων που αναπτύσσονται στην υαλώδη μήτρα με έναν μηχανισμό, ο οποίος βασίζεται στην ελεγχόμενη ετερογενή πυρηνοποίηση και κρυστάλλωση. Τα κυριότερα εμπορικά διαθέσιμα συνθετικά κεραμικά που χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική είναι κεραμικά με βάση τον **λευκίτη**, τον **φθοριοαπατίτη** καθώς και κεραμικά **διπυριτικού λιθίου**, ανάλογα με τους διαφορετικούς κρυστάλλους που έχουν αναπτυχθεί μέσα στην υαλώδη μήτρα.

Μετά από περαιτέρω ανάπτυξη των υλικών αυτών, υπάρχουν συστήματα διπυριτικού λιθίου που επιδεικνύουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες, επαρκείς για χρήση ως ένθετα, επένθετα, στεφάνες και γέφυρες τριών μονάδων στην οπίσθια περιοχή του στόματος. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί κεραμικά πυριτικού λιθίου ( $\text{Li}_2\text{O}_3\text{Si}$ ) ενισχυμένα με ζirkονία. (16) (18) (21)

### 2.1.3. Κεραμικά Διήθησης Υάλου

Τα υλικά αυτά εμπορευματοποιήθηκαν με το όνομα In-Ceram ως εναλλακτική λύση στα συμβατικά μεταλλοκεραμικά συστήματα. Εμφάνιζαν λιγότερη πορότητα, έφεραν λιγότερα ελαττώματα μετά από κατεργασία και είχαν μεγαλύτερη αντοχή από τις συμβατικές πορσελάνες αστρίου. Η εργαστηριακή διαδικασία κατασκευής τους ήταν ωστόσο κοπιώδης. Λόγω της αδιαφάνειας του υλικού, οι σκελετοί επικαλύπτονταν με



κεραμικό αστρίου για σκοπούς αισθητικής. Το σύστημα In-Ceram της εταιρίας Vita χρησιμοποιούσε τρία διαφορετικά υλικά για να επιτευχθεί μια καλή ισορροπία μεταξύ αισθητικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Συγκεκριμένα:

- **In-Ceram alumina**

Ήταν το πρώτο υλικό αυτού του τύπου. Η δομή του ήταν ομοιογενής, από εξαιρετικά λεπτά σωματίδια  $Al_2O_3$ , που σχηματίζουν ένα πορώδη σκελετό ο οποίος διηθείται με ειδική ύαλο.

- **In-Ceram spinell**

Υφίσταντο παρόμοια επεξεργασία με τη διαφορά ότι η ύαλος διεισδύει σε πυρήνα από σπινέλιο του μαγνησίου και αλουμίνιας. Είχε ωστόσο πάνω από την διπλάσια φωτοδιαπερατότητα από το In-Ceram Alumina, λόγω των εξαιρετικών οπτικών ιδιοτήτων του σπινέλιου.

- **In-Ceram zirconia**

Έκανε χρήση μείγματος διοξειδίου του ζirkονίου και οξειδίου του αργιλίου ως σκελετός για την επίτευξη μιας σημαντικής αύξησης της αντοχής στη κάμψη του σκελετού. Η αντοχή του ήταν πολύ υψηλή, περίπου 700 MPa, αλλά είχε πολύ χαμηλή διαφάνεια. Καθώς τα υλικά διπυριτικού λιθίου και ζirkονίας έγιναν πιο δημοφιλή, η χρήση του συστήματος In-Ceram έχει σταματήσει. (16) (18)

## 2.2. Κεραμικά Ρητινώδους Μήτρας

Αυτή η κατηγορία αποτελείται από υλικά με πολυμερείς μήτρες που αποτελούνται γενικά από ανόργανες πυρίμαχες ενώσεις. Τα υλικά αυτά αναφέρονται στη κατάταξη κατά Gracis υπό τον όρο «κεραμικά και παρόμοια υλικά» ωστόσο δεν θεωρούνται αμιγώς κεραμικά λόγω της οργανικής τους φάσης. Μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη σύσταση τους σε ναοκεραμικά ρητίνης, υαλοκεραμικά σε αλληλοδιεισδυτική μήτρα ρητίνης και κεραμικά ζirkονίας-πυριτίας σε αλληλοδιεισδυτική μήτρα ρητίνης.

Ο σκοπός των υλικών αυτών είναι να συνδυάσουν τις θετικές ιδιότητες των κεραμικών με βελτιωμένες ικανότητες κάμψης και την χαμηλότερη αποτριπτικότητα των σύνθετων ρητινών, σε συμπαγή μπλοκ για εκτροχισμό, χωρίς να υπάρχει φυσικοχημική αλλοίωση που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μηχανικές ιδιότητες των αποκαταστάσεων. Αν και

ανήκουν στην ίδια ομάδα, τα υλικά αυτά παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα υπόλοιπα κεραμικά της κατάταξης, λόγω της μικροδομής τους. (22) (23)

Οι αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται από αυτά τα υλικά φέρουν ανώτερες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και βελτιωμένη αντοχή στη φθορά. Ενδέχεται ωστόσο να παρουσιάζουν αδυναμία όσον αφορά την χρωματική απόδοση, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό όταν αφορά την πρόσθια περιοχή. (23)

### **2.2.1. Νανοκεραμικά ρητίνης**

Παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 2012, επιδεικνύοντας βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Αποτελούνται από πολυμερή μήτρα ενισχυμένη με περίπου 80% κατά βάρος νανοκεραμικά σωματίδια.

### **2.2.2. Υαλοκεραμικά σε αλληλοδισδυτική μήτρα ρητίνης**

Εμφανίστηκαν στις αρχές του 2013. Αποτελούνται τυπικά από κεραμική μήτρα αστρίου, 86% κατά βάρος ή 75% κατά όγκο και μια πολυμερή μήτρα 14% κατά βάρος ή 25% κατά όγκο. Οι κατασκευαστές τους, τους αποδίδουν το χαρακτηρισμό «υβριδικά κεραμικά». (18) (24)

### **2.2.3. Κεραμικά ζirkονία-πυριτίας σε αλληλοδισδυτική μήτρα ρητίνης**

Κατασκευασμένα με διαφορετικές οργανικές μήτρες, καθώς και με διακυμάνσεις όσον αφορά το ποσοστό βάρους κεραμικών, η περιεκτικότητα σε μη οργανικό υλικό είναι παραπάνω από 60% κατά βάρος. (18) (22)

## **2.3. Πολυκρυσταλλικά Κεραμικά**

Τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά δεν περιέχουν ύαλο. Τα άτομα είναι πυκνά στοιβαγμένα σε τακτές πλεγματικές δομές όπου είναι πολύ πιο δύσκολο να διαπεράσει ρωγμή, σε σχέση με το πιο αραιό και ακανόνιστο δίκτυο που απαντάται στις υάλους. Για αυτό τον λόγο, τα πολυκρυσταλλικά κεραμικά είναι πολύ πιο ανθεκτικά από τα κεραμικά υάλου. Η απουσία υαλώδους φάσης ωστόσο έχει σαν αποτέλεσμα μειωμένη ημιδιαφάνεια και μεγαλύτερη δυσκολία στη κατεργασία. (18) (21)

Οι προσθετικές αποκαταστάσεις με καλή εφαρμογή ορίων από πολυκρυσταλλικά κεραμικά δεν ήταν πρακτικές πριν από την δυνατότητα κατασκευής τους με τη βοήθεια υπολογιστή. (21)

### **2.3.1. Αλουμίνα**

Το υλικό αυτό εισήχθη πρώτη φορά από την Nobel Biocare στα μέσα του 1990. Αποτελείται από υψηλής καθαρότητας  $Al_2O_3$  (μέχρι 99.5%). Έχει πολύ υψηλή σκληρότητα (17 με 20 GPa) και σχετικά υψηλή αντοχή. Το μέτρο ελαστικότητάς της ( $E = 300$  GPa), που είναι υψηλότερο από όλα τα άλλα οδοντιατρικά κεραμικά, την κάνει επιρρεπή σε εγκάρσια κατάγματα, που διατρέχουν όλη τη δομή του υλικού. Αυτό σε συνδυασμό με την εισαγωγή υλικών με βελτιωμένη μηχανικές ιδιότητες, όπως η ικανότητα μετασχηματισμού σκλήρυνσης της σταθεροποιημένης ζirkονίας, έχει οδηγήσει στη μειωμένη χρήση της αλουμίνας. (18)

### **2.3.2. Αλουμίνα Ενισχυμένη με Ζirkονία και Ζirkονία Ενισχυμένη με Αλουμίνα**

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της γήρανσης της Y-TZP σε θερμοκρασία δωματίου, προτάθηκε ένας συνδυασμός ζirkονίας και αλουμίνας. (25)

Η ανάπτυξη σύνθετων, ενισχυμένης με ζirkονία αλουμίνας [ZTA] και ενισχυμένης με αλουμίνα ζirkονίας [ATZ], συνδύασε τα χαρακτηριστικά της αλουμίνας και της ζirkονίας, βελτιώνοντας την αντοχή στη θραύση των υλικών και μειώνοντας την επίδραση της γήρανσης. Παρόλο που τα υλικά ATZ δείχνουν βελτιωμένη αντίσταση στη γήρανση σε σύγκριση με την Y-TZP, τα υλικά αυτά εξακολουθούν να παρουσιάζουν ένα ορισμένο βαθμό γήρανσης. Τα υλικά ZTA από την άλλη, παρουσιάζουν πολύ καλύτερη αντοχή στη γήρανση από την μονολιθική Y-TZP.

Έως τώρα, η κύρια εφαρμογή υλικών ZTA ως βιοϋλικών είναι στην αρθροπλαστική ισχίου και γόνατος. (18) (26) (27) (28)

### **2.3.3. Σταθεροποιημένη Ζirkονία**

Η ζirkονία είναι ένα υλικό με ειδικά χαρακτηριστικά μετατροπής κρυσταλλικής δομής. Παρουσιάζει μονοκλινική κρυσταλλική δομή σε θερμοκρασία δωματίου και μεταβαίνει σε τετραγωνική και κυβική σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η καθαρή ζirkονία διατηρεί

μονοκλινική μορφή σε θερμοκρασία δωματίου και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη κατασκευή οδοντιατρικών αποκαταστάσεων – λόγω εγγενούς αδυναμίας παραγωγής συμπαγών αντικειμένων από μονοκλινική ζirkονία - εκτός κι αν σταθεροποιηθεί στις μορφές που, χωρίς σταθεροποίηση, εμφανίζονται μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως «σταθεροποιημένη ζirkονία» συνεπώς αναφέρεται η ζirkονία στην οποία έχει προστεθεί ένα σταθεροποιητικό στοιχείο που της επιτρέπει να παραμείνει σε τετραγωνική ή κυβική δομή σε θερμοκρασία δωματίου. Περαιτέρω εξηγήσεις δύνονται παρακάτω.

Η σταθεροποιημένη ζirkονία διαθέτει σημαντικά βελτιωμένες ιδιότητες όπως η υψηλή αντοχή σε κάμψη, υψηλή αντοχή στη θραύση, εξαιρετική ιοντική αγωγιμότητα, θερμική και χημική σταθερότητα, καλή βιοσυμβατότητα και αντοχή στη διάβρωση. Με βάση αυτές τις ιδιότητες, στα κεραμικά ζirkονίας, ειδικά η σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία (YSZ), έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές. Χάρη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τη βιοσυμβατότητά της, η ζirkονία ήταν πολύ δημοφιλής σε βιοϊατρικές εφαρμογές και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην οδοντιατρική. Στεφάνες, γέφυρες, εμφυτεύματα και όψεις ζirkονίας έχουν υιοθετηθεί με επιτυχία σε Οδοντιατρικές κλινικές. Τα κεραμικά ζirkονίας χρησιμοποιούνται ως υλικά πυρήνα αποκαταστάσεων, για επένδυση με αισθητικά κεραμικά, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μονολιθικών αποκαταστάσεων. (18) (29)

Τα κεραμικά ζirkονίας αναλύονται περαιτέρω παρακάτω, καθώς η ζirkονία αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

### **3. Ζirkονία**

Το διοξείδιο του ζirkονίου ( $ZrO_2$ ), γνωστό και ως Ζirkονία είναι ένα πολυκρυσταλλικό κεραμικό υλικό με ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες (σκληρότητα: 5–10 MPa, αντοχή στη κάμψη: 500–1200 MPa, μέτρο του Young: 210 GPa) για την παρασκευή ιατρικών συσκευών. Οι μηχανικές της ιδιότητες είναι πολύ όμοιες με αυτές των μετάλλων και το χρώμα της πολύ κοντά στο φυσικό χρώμα των δοντιών. Η σταθεροποιημένη με υτρία ( $Y_2O_3$ ) ζirkονία έχει τις καλύτερες ιδιότητες για αυτές τις χρήσεις. (12) (30)

Η κατασκευή σκελετών ζirkονίας πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνολογίας σχεδιασμού και εκτροχισμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD/CAM). Η συγκόλληση των

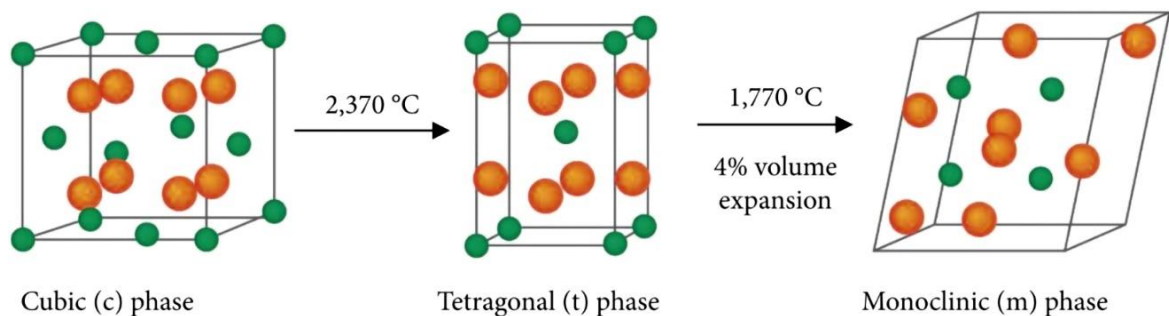
αποκαταστάσεων ζirkονίου μπορεί να γίνει με ειδική διαδικασία συγκόλλησης. Οι μηχανικές ιδιότητες των ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων οξειδίου του ζirkονίου έχουν αποδειχθεί ανώτερες από εκείνες άλλων αποκαταστάσεων χωρίς μέταλλο. (12)

### 3.1. Κρυσταλλικές φάσεις και μετασχηματισμός σκλήρυνσης

Σε περιβαλλοντική πίεση, η καθαρή ζirkονία μπορεί να βρεθεί σε τρεις κρυσταλλογραφικές μορφές ανάλογα με τη θερμοκρασία:

- 1) Την μονοκλινή φάση (M), που είναι σταθερή σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι 1170°C και κατέχει μειωμένες μηχανικές ιδιότητες
- 2) Την κυβική φάση (C), που είναι σταθερή σε θερμοκρασία 2370°C με μέτριες μηχανικές ιδιότητες και
- 3) την τετραγωνική φάση (T) που είναι σταθερή μεταξύ 1170°C και 2370°C με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες.

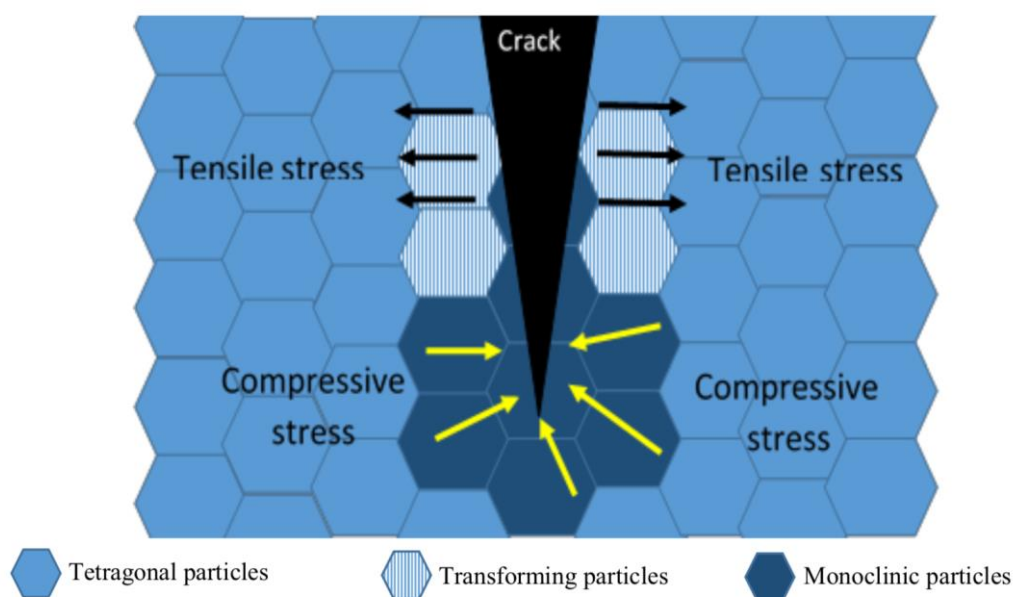
Μετατροπές στη θερμοκρασία και άσκηση δύναμης στην επιφάνεια της ζirkονίας προκαλούν μετάπτωση μεταξύ των διαφορετικών κρυσταλλικών φάσεων. (Εικόνα 4) (31)



**Εικόνα 4. Κρυσταλλικές φάσεις ζirkονίας (32)**

Η τετραγωνική ζirkονία χρησιμοποιείται στην οδοντιατρική λόγω της υψηλής αντοχής που της προσδίδει ο μηχανισμός σκλήρυνσης της ζirkονίας. Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται σε υπό πίεση αλλαγή κρυσταλλικής δομής από τετραγωνική σε μονοκλινή, έτσι ώστε να απορροφήσει την ενέργεια μιας αναπτυσσόμενης ρωγμής. Στην άκρη των ρωγμών αναπτύσσεται πεδίο συμπιεστικής τάσης, που σχετίζεται με επέκταση όγκου των μετασχηματισμένων τετραγωνικών κόκκων ~4,5% (αντισταθμίζοντας το πεδίο

εφελκυστικής τάσης, το οποίο θα προήγαγε την διάδοση των ρωγμών) και εμποδίζει την περαιτέρω διάδοσή τους (Εικόνα 5). (5) (31)



Εικόνα 5. Μετασηματισμός σκλήρυνσης ζirkονίας (33)

### 3.2. Σταθεροποιητές

Όπως αναφέρθηκε, η τετραγωνική φάση που απαιτείται για οδοντιατρικές κατασκευές είναι σταθερή μεταξύ 1170°C και 2370°C. Η δημιουργία μιγμάτων καθαρής ζirkονίας με σταθεροποιητικά οξείδια χαμηλότερου σθένους όπως CaO, MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub> ή La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> επιτρέπει την διατήρηση της τετραγωνικής φάσης σε θερμοκρασία δωματίου και κατά συνέπεια τον έλεγχο του μετασηματισμού σε μονοκλινική φάση. Η σταθεροποίηση με τέτοια οξείδια δημιουργεί ισχυρά κεραμικά, μειώνοντας την ποσότητα παραμορφωμένης (m) φάσης σε θερμοκρασία δωματίου και ευνοώντας περισσότερο συμμετρικές (c) και (t) πλεγματικές δομές. (5) (31)

Χρησιμοποιούνται τρεις κύριοι τύποι ζirkονίας στην οδοντιατρική. Η σταθεροποιημένη ή μερικώς σταθεροποιημένη ζirkονία με κατιόντα μαγνησίας, η αλουμίνα ενισχυμένη με ζirkονία, και η σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία. (12) (31) (33)

#### 3.2.1. Μερικώς σταθεροποιημένη με μαγνησία ζirkονία

Παρόλο που έχει αφιερωθεί σημαντικός όγκος έρευνας στη μερικώς σταθεροποιημένη ζirkονία με μαγνησία (Mg-PSZ) για πιθανές βιοϊατρικές εφαρμογές, αυτό το υλικό δεν

ήταν επιτυχές λόγω κυρίως της υψηλής παρουσίας πορώδους και μεγάλο μέγεθος κόκκων (30-60  $\mu\text{m}$ ), που μπορεί να προκαλέσει επιφανειακή φθορά και μεγάλη διάδοση ρωγμών. Επιπλέον, η Mg-PSZ έχει κακή σταθερότητα, η οποία μπορεί να μειώσει ελαφρώς την ενέργεια που απαιτείται για την ενεργοποίηση του μετασχηματισμού τετραγωνικής σε μονοκλινική φάση. Επιπροσθέτως, η θερμοκρασία σύντηξης αυτού του υλικού είναι υψηλότερη (1680°C–1800°C).

Αποτελείται από τετραγωνικά ιζήματα μέσα σε μια κυβικά σταθεροποιημένη μήτρα ζirkονίας. Η ποσότητα του σταθεροποιητή MgO στη σύνθεση των εμπορικών υλικών κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 8 και 10 mol%.

Λόγω της δυσκολίας απόκτησης προδρόμων Mg-PSZ χωρίς SiO<sub>2</sub>, μπορεί να σχηματιστούν πυριτικά μαγνήσια που μειώνουν την περιεκτικότητα σε Mg στους κόκκους και προάγουν τον μετασχηματισμό  $t \rightarrow m$ . Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες, καθώς και υλικό μειωμένης σταθερότητας. Πλήρως συντηγμένα blocks έχουν παρασκευασθεί με αυτό το υλικό και απαιτούν ισχυρά συστήματα για την επεξεργασία τους. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το Denzir-M® (Dentronic AB), που διατίθεται επί του παρόντος για εκτροχισμό πλήρως πυροσυσσωματωμένων οδοντικών αποκαταστάσεων.

(31) (34)

### 3.2.2. Σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία

Η Ζirkονία σταθεροποιημένη με υτρία είναι σήμερα η πιο μελετημένη μορφή και ο κύριος τύπος ζirkονίας που λαμβάνεται υπόψη για ιατρική χρήση, καθώς οι ιδιότητές της είναι ανώτερες από εκείνες άλλων υλικών με βάση το ZrO<sub>2</sub>. (12) (31) (34)

Η προσθήκη 2-3% mol υτρίας επιτρέπει την σύντηξη πλήρως τετραγωνικού, λεπτόκοκκου κεραμικού ζirkονίας, που αποτελείται από 100% μικρούς μεταστατικούς τετραγωνικούς κόκκους, και είναι γνωστό ως Y-TZP (Yttrium-Tetragonal Zirconia Polycrystals). Η ζirkονία σταθεροποιημένη με 3% mol (3Y-TZP) έχει χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές οδοντιατρικές εφαρμογές καθώς οι μηχανικές της ιδιότητες είναι παρόμοιες με αυτές των μετάλλων, ενώ το χρώμα προσεγγίζει αυτό των φυσικών δοντιών. Μέχρι σήμερα, οι μελέτες σχετικά με τις δυνατότητες των βιοκεραμικών ζirkονίας 3Y-TZP σε οδοντιατρικές εφαρμογές συνεχίζουν να αυξάνονται. (34)

### 3.3. Γενιές Ζιρκονίας

#### 3.3.1. Πρώτη γενιά ζιρκονίας

Πριν από περίπου 20 χρόνια, αναπτύχθηκε η μερικώς σταθεροποιημένη τετραγωνική ζιρκονία. Επίσης γνωστή και ως συμβατική ζιρκονία, είχε καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, σε σχέση με τα τότε εμπορικά διαθέσιμα υλικά, ωστόσο η σύντηξή της ήταν πολύ πιο δύσκολη. (12)

Οι κρύσταλλοι ζιρκονίας είναι κατανεμημένοι στο χώρο, εν μέρει με 3 mol% υττρίας ( $Y_2O_3$ ). Η τελείως κρυσταλλική μικροδομή της, της προσδίδει εξαιρετικά μεγάλη αδιαφάνεια, δημιουργώντας έτσι ένα αισθητικό μειονέκτημα που εμποδίζει την επίτευξη φυσικών, ρεαλιστικών αποκαταστάσεων. Αυτό έκανε αναγκαία την επικάλυψη των σκελετών ζιρκονίας με αισθητική πορσελάνη για πιο αποδεκτό αποτέλεσμα. Προσθήσεις με αισθητική επικάλυψη μπορούν να είναι αρκετά αληθοφανείς, καθώς η πρώτη γενιά ζιρκονίας μπορεί να χρωματιστεί εξωτερικά αλλά και να είναι εσωτερικά χρωματισμένη, όπως και το διπυριτικό λίθιο. Επιπλέον διατίθεται σε μπλοκ που φέρουν χρωματική διαβάθμιση. (12) (33) (35) (36)

Ωστόσο οι αποκαταστάσεις με επικάλυψη πορσελάνης έχουν το γνωστό μειονέκτημα της απόσπασης ή/και αποφλοίωσης του κεραμικού επικάλυψης. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα άρχισαν να εισάγονται στην οδοντιατρική οι μονολιθικές αποκαταστάσεις ζιρκονίας. Εφόσον δεν εφαρμόζεται πια πορσελάνη επικάλυψης, ο χώρος που χρειάζεται η αποκατάσταση μειώνεται και έτσι χρειάζεται λιγότερη μείωση της οδοντικής μάζας. Έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές προσεγγίσεις για την ενίσχυση της διαφάνειας των μονολιθικών αποκαταστάσεων ζιρκονίας. Μια τέτοια προσέγγιση των κατασκευαστών είναι η κατασκευή μπλοκ ζιρκονίας με πολυστρωματική διαβάθμιση ημιδιαφάνειας. Μια άλλη προσέγγιση ήταν η τροποποίηση της θερμοκρασίας πυροσυσσωμάτωσης της πρώτης γενιάς ζιρκονίας, που οδήγησε στην διαπίστωση ότι μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της ημιδιαφάνειας με μεταβολές της θερμοκρασίας πυροσυσσωμάτωσης, του χρόνου παραμονής στον κλίβανο και του ρυθμού ψύξης της ζιρκονίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο μέγεθος σωματιδίων που βελτιώνει την ημιδιαφάνεια αλλά έχει αρνητικό αντίκτυπο στην αντοχή του υλικού. (33)



### 3.3.2. Δεύτερη γενιά ζirkονίας

Η δεύτερη γενιά ζirkονίας παρουσιάστηκε στα τέλη του 2012 με αρχές του 2013, η κρυσταλλική δομή της ζirkονίας άλλαξε έχοντας μικρότερη ποσότητα οξειδίου του αργιλίου ( $Al_2O_3$ ) με μικρότερα μεγέθη κόκκων αργιλίου. Η μικροδομή του υλικού, επιτρέπει περισσότερη φωτοδιαπερατότητα, καθιστώντας το πιο ημιδιαφανές, με καλή μακροπρόθεσμη σταθερότητα και αντοχή. Επιπλέον η μεγαλύτερη θερμοκρασία πυροσυσσωμάτωσης οδήγησε σε μειωμένη πορότητα. In vitro μελέτες επιβεβαιώνουν ότι αυτή η γενιά δεν είναι μόνο πιο ημιδιαφανής, αλλά έχει επίσης υψηλή αντοχή, πριν και μετά από διαδικασίες κόπωσης. (33) (37)

### 3.3.3. Τρίτη γενιά ζirkονίας

Μέχρι την εισαγωγή της τρίτης γενιάς ζirkονίας, το πιο ευρέως χρησιμοποιημένο και με καλύτερες ιδιότητες υλικό ήταν η 3Y-TZP. Η ποσότητα mol  $Y_2O_3$  αυξήθηκε σε 5%, αποτελείται από 53% κυβική φάση, και έτσι θεωρείται πλήρως σταθεροποιημένη με μικτή κυβική/τετραγωνική δομή. Εισήχθη το 2015 με σκοπό την δημιουργία αποκαταστάσεων ζirkονίας με παρόμοια ημιδιαφάνεια με αυτές παρασκευασμένες από υαλοκεραμικά υλικά. Καθώς το υλικό είναι πιο πορώδες, μειώνεται η διασπορά του φωτός στα όρια των σωματιδίων του υλικού, κάνοντάς το πιο φωτοδιαπερατό. Επιπλέον, η ιστροπική φύση των κυβικών κρυστάλλων της έχει ως αποτέλεσμα την ομοιόμορφη διάχυση φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο, καθιστώντας την ημιδιαφάνεια της είναι ακόμα καλύτερη. (33)

Η μετάβαση από μερικός σε πλήρως σταθεροποιημένη ζirkονία μειώνει την αντοχή στη θραύση και θα μπορούσε επιπλέον να προκαλέσει αυξημένο κίνδυνο γήρανσης, σύμφωνα με τους Deville et. al. Οι Nordahl et al. παρατήρησαν ότι δεν υπάρχει διαφορά στα φορτία καταπόνησης μεταξύ της δεύτερης και της τρίτης γενιάς ζirkονίας. Έχουν υπάρξει ωστόσο έρευνες που διατυπώνουν ότι τα υλικά αυτής της γενιάς παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή σε σύγκριση με κλασικά υλικά ζirkονίας περιεκτικότητας 3 mol% υττρίας. (30) (33) (38) (39) (40) (41) (42)

Αναφέρεται ότι τα υλικά ζirkονίας της τρίτης γενιάς είναι κατάλληλα για αποκαταστάσεις μονών στεφανών και μόνιμων προσθετικών αποκαταστάσεων 3 μονάδων μέχρι τον πρώτο προγόμφιο. (34) (40)

Δοκιμαστικές μελέτες για τρίτης γενιάς ζirkονία είναι λίγες και χρειάζεται περισσότερη έρευνα σε αυτόν το τομέα. (33)

#### **3.3.4. Τέταρτη Γενιά Ζirkονίας**

Η τέταρτη γενιά υλικών ζirkονίας περιέχει 4 mol% υττρίας. Αν και αυτό οδηγεί σε ελαφρά μείωση της διαφάνειας σε σύγκριση με τα υαλοκεραμικά υψηλής αντοχής, η μέση αντοχή σε κάμψη αυξάνεται στα 850–1.000 MPa. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από στρώματα με διάφορες αποχρώσεις ή/και συνθέσεις.

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, αυτά τα υλικά είναι κατάλληλα για την κατασκευή μεμονωμένων στεφανών προγομφίων και γομφίων καθώς και ακίνητες αποκαταστάσεις 3 μονάδων. Επιπλέον, λόγω της αυξημένης αντοχής του υλικού, το ελάχιστο πάχος των αποκαταστάσεων μπορεί να μειωθεί σε 0,6–0,7 mm. Αυτή η ομάδα υλικών έχει εγκριθεί για προσωρινή κόλληση. (40) (41) (42)

Έτσι, τα υλικά ζirkονίας τέταρτης γενιάς επιτρέπουν ένα ευρύτερο φάσμα ενδείξεων ενώ ταυτόχρονα απαιτείται λιγότερο επεμβατική προετοιμασία δοντιών. Τα υλικά ζirkονίας τέταρτης γενιάς ενδείκνυνται να χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση για την κατασκευή μονών στεφάνων και μόνιμων αποκαταστάσεων 3 μονάδων. Ωστόσο, η αντοχή της στη γήρανση είναι χαμηλότερη από την ζirkονία τρίτης γενιάς, ως επακόλουθο της κυβικής φάσης που βρίσκεται στην ζirkονία τρίτης γενιάς. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ακόμα υπάρχει έλλειψη δεδομένων για τις αποκαταστάσεις αυτού του υλικού και έτσι οι οδηγίες των κατασκευαστών θα πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά. (40) (43)

#### **3.3.5. Πέμπτη Γενιά Ζirkονίας**

Η πέμπτη γενιά ζirkονίας είναι το νεότερο υλικό που εισήχθη στην αγορά. Η σύνθεση της σχεδιάστηκε με σκοπό την επίτευξη μιας φυσικής ημιδιαφάνειας. Όπως και η ζirkονία της τέταρτης γενιάς, χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό ZrO<sub>2</sub> διαφορετικής σύνθεσης που της προσφέρει διαβάθμιση ημιδιαφάνειας και αντοχής στη κάμψη σε έναν δίσκο, με την

διαφορά ότι τα στρώματα φέρουν διαφαθμίσεις στην σύνθεση ή/και αποχρωσή στις διεπιφανιές τους. Το υλικό περιγράφεται ως ευέλικτο και με εύρος ενδείξεων, από μικρές πρόσθιες γέφυρες τριών μονάδων, μέχρι ακόμα και αποκαταστάσεις έως 14 μονάδες. Αναφέρεται ότι προσφέρει υψηλή ακρίβεια εφαρμογής ορίων και ότι μπορεί να συντηχθεί σε 54 λεπτά, κάνοντάς το ικανό να ετοιμαστεί με τεχνικές εξοικονόμησης χρόνου. Σύμφωνα με αναφορές αυτή η γενιά ζirkονίας προσφέρει την βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής αποκαταστάσεων και την ελαχιστοποίηση των πιθανών σφαλμάτων που μπορεί να εμφανιστούν σε αποκαταστάσεις που συνδυάζουν διαφορετικά κεραμικά υλικά. (44) (45) (46)

### 3.4. Βιοσυμβατότητα

Η ζirkονία θεωρείται χημικά αδρανές κεραμικό. Τα αδρανή κεραμικά δεν προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις και είναι πιο σταθερά σε σύγκριση με μέταλλα *in vivo*. (47)

Η βιοσυμβατότητά της έχει μελετηθεί *in vivo*, χωρίς να έχουν αναφερθεί δυσμενείς αντιδράσεις μετά την εισαγωγή δειγμάτων  $ZrO_2$  σε οστό ή μυ. Πειραματισμός *in vitro* έδειξε απουσία μεταλλάξεων και καλή βιωσιμότητα σε κύτταρα που καλλιεργήθηκαν σε αυτό το υλικό. Επιπλέον, το διοξείδιο  $ZrO_2$  δημιουργεί λιγότερη φλεγμονώδη αντίδραση στους ιστούς από άλλα υλικά αποκαταστάσεων, όπως το τιτάνιο. Επιπροσθέτως οι Rimondi et al παρατήρησαν ιδιαίτερα μικρότερη συγκέντρωση βακτηρίων στην επιφάνεια Y-TZP σε σύγκριση με του τιτανίου. Οι επιφάνειες τιτανίου εμφάνισαν μια ομοιόμορφη επικάλυψη με συγκροτημένο βιοϋμένιο ενώ στις επιφάνειες ζirkονίου εντοπίστηκαν συστάδες βακτηρίων. Οι πυρήνες ζirkονίας είναι πλέον διαθέσιμοι για ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις σε πρόσθια και οπίσθια δόντια καθώς και για εμφυτεύματα. (48) (49)

Δεδομένου ωστόσο ότι το κεραμικό αυτό προορίζεται για χρήση στο περιβάλλον του στόματος όπου αναπτύσσονται μεγάλα φορτία, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι συνδυασμένες μηχανικές, χημικές και βιολογικές επιδράσεις, καθώς και η μακροπρόθεσμη σταθερότητα της ζirkονίας σε σχέση με τις δυνάμεις αυτές. (47)

### 3.5. Γήρανση

Παρά την αντοχή τους τα κεραμικά Y-TZP είναι επιρρεπή σε γήρανση. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό στον κλάδο από την δεκαετία του 80 λόγω της έρευνα των Kobayashi et al. που ανακάλυψαν ότι σε θερμοκρασία δωματίου, τα υλικά αυτά μπορεί να υποστούν μια αυθόρμητη και μη αναστρέψιμη μετατροπή από τετραγωνική σε μονοκλινική φάση, ακόμη και απουσία μηχανικής καταπόνησης. (50) (51) (30)

Η γήρανση της ζirkονίας είναι πλέον ένα καλά καταγεγραμμένο φαινόμενο, μετά από μια σειρά αποτυχιών 400 κεφαλών ισχίου σε μικρό χρονικό διάστημα. Ακολούθησε η εκπόνηση μεγάλου όγκου ερευνών, αρκετές από τις οποίες συμφωνούν πως η γήρανση συμβαίνει με έναν αργό μετασχηματισμό τετραγωνικής σε μονοκλινική φάση παρουσία νερού ή υδρατμών και προχωρεί από την εξωτερική επιφάνεια προς τα έσω. Ο μετασχηματισμός ξεκινά πρώτα σε μεμονωμένους κόκκους στην επιφάνεια με έναν μηχανισμό τύπου διάβρωσης. Επηρεάζεται από την παρουσία σταθεροποιητών καθώς και το μέγεθος των κόκκων και είναι εξαρτημένος από το χρόνο. Προχωράει πιο γρήγορα σε θερμοκρασίες μεταξύ 65°C και 500°C, με τον μέγιστο βαθμό να εμφανίζεται από 250°C και πάνω. (50) (51) (52) (53) (31) (33)

Έχει επίσης αναφερθεί πως ο αρχικός αυτός μετασχηματισμός συγκεκριμένων κόκκων μπορεί να σχετίζεται με μία κατάσταση ανισορροπίας στη σύνθεση τους, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Όπως π.χ. σε κόκκους μεγαλύτερου μεγέθους, σε χαμηλότερη περιεκτικότητα ύττριας, σε συγκεκριμένο προσανατολισμό των πλεγματικών δομών των κόκκων του υλικού σε σχέση με την επιφάνεια, σε παρουσία υπολειμματικών τάσεων ή ακόμα και στην παρουσία κυβικής φάσης. Οι Koenig et. al. προσθέτουν πως η διαδικασία του αργού μετασχηματισμού επηρεάζεται από κατασκευαστικές τεχνικές και τεχνικές επικάλυψης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οξυνθεί από μασητική μηχανική καταπόνηση. (50) (52)

Σήμερα, τα θεωρητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν το φαινόμενο της γήρανσης σε υγρό περιβάλλον βασίζονται κυρίως στην εξάντληση του σταθεροποιητή ύττριας. Αυτή μπορεί να γίνει είτε με υδρόλυση στους 100°C σε υγρό περιβάλλον η οποία δίνει υδροξείδιο το υτρίου και οδηγεί σε μετασχηματισμό τετραγωνικής σε μονοκλινική φάση, ή με τον σχηματισμό υδροξειδίων του ζirkονίου από την χημική απορρόφηση

νερού, που οδηγεί στην συσσώρευση ενέργειας παραμόρφωσης και πιθανώς επηρεάζει την σταθερότητα της ζirkονίας. (53) (33)

Μέχρι τώρα η διαδικασία του αργού μετασχηματισμού της ζirkονίας έχει μελετηθεί εκτενώς *in vitro*. Παρόλο που η γήρανση θεωρείται παράγοντας κινδύνου για μηχανική αστοχία, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει αποδεδειγμένος αδιαμφισβήτητος συσχετισμός μεταξύ του φαινομένου και των αποτυχιών που επηρεάζουν την κλινική απόδοση της ζirkονίας στην οδοντιατρική. Ωστόσο, η γήρανση προκαλεί επιδείνωση των χαρακτηριστικών της ζirkονίας, όπως επιφανειακή υποβάθμιση με απομάκρυνση κόκκων, συμβάλλοντας στην εμφάνιση μικρορωγμών, μείωση της αντοχής, αυξημένη φθορά και επιφανειακή τραχύτητα. Επιπλέον συμβάλει στην αυξημένη συσσώρευση πλάκας. Όλοι αυτοί οι παράγοντες κάνουν πιθανή την εμφάνιση σοβαρής υποβάθμισης της επιφάνειας, επηρεάζοντας τόσο τις μηχανικές όσο και τις οπτικές ιδιότητες. Υπάρχουν ωστόσο δεδομένα που υποστηρίζουν πως το φαινόμενο γήρανσης δεν επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες τετραγωνικής ζirkονίας, ακόμα και παρουσία ευρειών μετασχηματισμένων μονοκλινικών περιοχών. (30) (31) (51) (52) (54)

Αν και δεν υπάρχουν διαθέσιμα κλινικά δεδομένα ακόμη, αναμένεται οι διαφορετικές τεχνικές κατασκευής και επεξεργασίας πλαισίων Y-TZP να επηρεάζουν την αντοχή τους στην γήρανση, η οποία με τη σειρά της θα επηρεάζει την κλινική συμπεριφορά της αποκατάστασης. Απαιτείται επιπλέον έρευνα για να διαπιστωθεί εάν η γήρανση επηρεάζει την κλινική απόδοση οδοντικών αποκαταστάσεων ζirkονίας. (33)

### **3.6. Η ζirkονία στην προσθετική**

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, τα κεραμικά διοξειδίου του ζirkονίου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στο πεδίο της ιατρικής. Λόγω των εξαιρετικών τους μηχανικών ιδιοτήτων έγινε προσπάθεια από το 1985 να χρησιμοποιηθούν τα κεραμικά Y-TZP σε αποκαταστάσεις κεφαλών ισχίου, ωστόσο μια σειρά αποτυχιών το 2001, δημιούργησε ένα κλίμα διστακτικότητας γύρω από το υλικό. Στην οδοντιατρική, τα κεραμικά Y-TZP έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για ορθοδοντικά άγκιστρα από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. (52) (55)

### 3.6.1. Κύριες εφαρμογές ζirkονίας στην οδοντιατρική

#### Στεφάνες και ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις

Οι στεφάνες και οι σταθερές προσθετικές αποκαταστάσεις πολλαπλών μονάδων που κατασκευάζονται από ζirkόνιο είναι λιγότερο δαπανηρές από μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις πορσελάνης έχοντας συγκρίσιμες μηχανικές ιδιότητες. Επιπλέον, τα υλικά ζirkονίας σε συνδυασμό με την φυσική ημιδιαφάνεια των στεφάνων μπορούν να παρέχουν συγκρίσιμα ή ακόμη και βέλτιστα αισθητικά αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, υπήρξε μια σημαντική στροφή προς τη χρήση αυτών των υλικών στην οδοντιατρική. (33) (34)

#### Εμφυτευματικές προσθέσεις πλήρους τόξου

Η ανασκόπηση μελετών in vitro προτείνει ότι οι προσθέσεις μονολιθικής ζirkονίας μπορεί να παρέχουν βελτιωμένη αντοχή στη φθορά, υψηλή αισθητική ποιότητα και βελτίωση όσο αφορά την συσσώρευση βιοφίλμ στην επιφάνεια των εμφυτευματικών αποκαταστάσεων. Ωστόσο, στοιχεία από κλινικές μελέτες, που υποστηρίζουν αυτούς τους ισχυρισμούς, δεν έχουν δημοσιευθεί. (33) (34) (56) (57)

#### Εμφυτεύματα

Εμφυτεύματα ζirkονίας έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο από πολλούς κατασκευαστές με σκοπό να καταπολεμηθούν τα αισθητικά μειονεκτήματα των εμφυτευμάτων τιτανίου. Μελέτες in vitro έδειξαν ότι η άμεση επαφή των οστών στα εμφυτεύματα ζirkονίας με τροποποιημένη επιφάνεια, (αδροποιημένοι με οξύ ύττρια τετραγωνικοί πολυκρύσταλλοι) ήταν συγκρίσιμη με τα εμφυτεύματα τιτανίου. Μια πρόσφατα δημοσιευμένη κλινική έρευνα ανέφερε αποτελέσματα τριών ετών σε 105 εμφυτεύματα ζirkονίας. Ο συγγραφέας ανέφερε ποσοστό επιβίωσης εμφυτευμάτων 100% και ποσοστό επιτυχίας 95,4%. Τα στατιστικά στοιχεία μακροπρόθεσμης επιβίωσης των εμφυτευμάτων ζirkονίας δεν είναι ακόμη διαθέσιμα. (33) (34) (58)

## **Κολοβώματα οδοντικών εμφυτευμάτων**

Επί του παρόντος, η πλειονότητα των κατασκευαστών εμφυτευμάτων προσφέρουν κολοβώματα ζirkονίας για αισθητικές αποκαταστάσεις που υποστηρίζονται από εμφυτεύματα. Διατίθενται προκατασκευασμένα ή προσαρμοζόμενα κολοβώματα και μπορούν να παρασκευαστούν στο οδοντιατρικό εργαστήριο είτε από τον τεχνικό είτε με τη χρήση τεχνικών CAD/CAM. Τα κολοβώματα ζirkονίας κατείχαν καλύτερη ακτινοσκιερότητα και αντοχή στη θραύση από τα στηρίγματα αλουμίνιας ( $Al_2O_3$ ) που χρησιμοποιούντο, και σήμερα η απόδοσή τους είναι συγκρίσιμη με στηρίγματα τιτανίου.

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Butz et al, τα κολοβώματα ζirkονίας ενισχυμένα με τιτάνιο έχουν παρόμοια απόδοση με τα μεταλλικά και είναι επομένως μια αισθητική εναλλακτική για την αποκατάσταση μεμονωμένων εμφυτευμάτων στην πρόσθια περιοχή. (34) (59) (14) (60)

### **3.7. Αισθητική των αποκαταστάσεων ζirkονίας**

Η ζirkονία έχει άριστες μηχανικές ιδιότητες. Ωστόσο, ανεξαρτήτως της γενιάς, η ζirkονια χαρακτηρίζεται από υψηλό δείκτη διάθλασης φωτός. Ο εξαιρετικά μεγάλος αριθμός σημείων επαφής που δημιουργούνται από πολυάριθμες πολύ μικρές κρυσταλλικές δομές μέσω των οποίων πρέπει να περάσει το φως έκανε την πρώτη γενιά ζirkονίας σχεδόν οπτικά αδιαφανή. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, είναι αναγκαία η επικάλυψη των αποκαταστάσεων με πορσελάνη. Επιπροσθέτως, οι τροχισμένες πορώδεις αποκαταστάσεις μπορούν να χρωματιστούν με διήθηση σε οξειδία χρώσης πριν από την τελική πυροσυσσωμάτωση ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν χρωστικές για την εφαρμογή μιας χρωματικής διαβάθμισης. Οι μη πορώδεις στεφάνες ή οι πυρήνες από πυροσυσσωματωμένη ζirkονία μπορούν να χρωματιστούν επιφανειακά πριν από την επένδυση με πορσελάνη αστρίου ή με υαλοκεραμικό φθοριοαπατίτη. (33)

Με τη ζirkονία δεύτερης γενιάς, τα σωματίδια του οξειδίου του αργιλίου αναδιατάχθηκαν στο πλαίσιο της ζirkονίας, επιτρέποντας περισσότερη φωτοδιαπερατότητακατέχει μικροδομή που της επιτρέπει περισσότερη φωτοδιαπερατότητα, καθιστώντας το υλικό πιο ημιδιαφανές. (33) (37)

Η τρίτη γενιά ζirkονίας κατέχει ακόμα υψηλότερη ημιδιαφάνεια. Η ιστροπική φύση των κυβικών κρυστάλλων της έχει ως αποτέλεσμα την ομοιόμορφη διάχυση φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο, καθιστώντας την ημιδιαφάνεια της ακόμα καλύτερη. Η φωτοδιαπερατότητα των μπλοκ ζirkονίας πολυστρωματικού χρωματισμού αξιολογήθηκε από τους Udea et al, δείχνοντας ότι προχρωματισμένα μπλοκ ζirkονίας με διαβάθμιση τεσσάρων χρωμάτων, με διαφορετική διαπερατότητα φωτός για κάθε στρώμα, προσφέρουν καλύτερη αισθητική σε σύγκριση με τα μονοχρωματικά υλικά. Μια ερευνητική μελέτη συγκεκριμένα των Hagada et. al. αναφέρει καλύτερη ημιδιαφάνεια από αμφότερες τις γενιές της ζirkονίας, στο επίπεδο του υαλοκεραμικού διπυριτικού λιθίου IPS e.max. (33) (35) (42)

Η τέταρτη γενιά ζirkονίας, παρόλο που υστερεί σε αντοχή, παρέχεται σε ιδιαίτερα ρεαλιστικές, πολυχρωματικές, πολυστρωματικές πλάκες που επιπροσθέτως φέρουν διαβάθμιση αντοχής ανά στρώμα. Η σύνθεση αυτής της γενιάς επιτρέπει τον έλεγχο της αισθητικής, κάνοντας ικανή την τοποθέτηση της αποκατάστασης αρκετά ελεύθερα στον δίσκο. Η πέμπτη γενιά ζirkονίας δίνει μια εξίσου ρεαλιστική διαβάθμιση στο χρώμα καθώς και στην ημιδιαφάνεια. Η συνθέσεις των δύο αυτών γενιών επιτρέπουν τον έλεγχο της αισθητικής, κάνοντας ικανή την τοποθέτηση της αποκατάστασης αρκετά ελεύθερα στον δίσκο. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη πως έντονα δυσχρωματισμένα κολοβώματα ενδέχεται να επηρεάσουν το χρώμα των αποκαταστάσεων. Καθώς η ημιδιαφάνεια των υλικών αυτών αυξάνεται σε σημεία όπου το πάχος των αποκαταστάσεων μειώνεται, όπως στην περιοχή του αυχένα. (40) (46)

Η αδιαφάνεια της ζirkονίας είναι πολύ χρήσιμη σε δυσμενείς κλινικές καταστάσεις, όπως για την προαναφερθείσα κάλυψη κολοβωμάτων με έντονη δυσχρωμία. Επιπλέον, η ακτινοσκιερότητα των αποκαταστάσεων, μπορεί να βοηθήσει κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης με ακτινογραφικούς ελέγχους. (12)

Η αισθητική ωστόσο, δεν είναι ένας καθοριστικός όσο αφορά κατασκευές της οπίσθιας περιοχής του στόματος.



## 4. Κατασκευή Αποκαταστάσεων Μονολιθικής Ζιρκονίας

Αν και νέες τεχνολογίες προσθετικών μεθόδων εμφανίζονται χάρη στην έρευνα σε οδοντιατρικά υλικά, μέχρι σήμερα, η ζιρκονία εξακολουθεί να κατασκευάζεται με διαδικασίες CAD-CAM, σύμφωνα με δύο διαφορετικές τεχνικές: Είτε μηχανική κατεργασία προ-πυροσυσσωματωμένης ζιρκονίας (Cecron, Procera Zirconia κ.ά.), είτε μηχανική κατεργασία πλήρως συντηγμένης ζιρκονίας (Denzir Y-TZP, DC-Zircon κ.α). Και οι δύο διαδικασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε βιομηχανικά κέντρα εκτροχισμού ή σε εργαστήρια οδοντικής τεχνολογίας. Έχουν επίσης υπάρξει εξελίξεις που έστρεψαν την προσοχή κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση για κατασκευή αποκαταστάσεων ζιρκονίας. (30)

### 4.1. Εκτροχισμός μερικώς πυροσυσσωματωμένων πλακών

Η μηχανική κατεργασία μερικώς πυροσυσσωματωμένης 3Y-TZP γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής τεχνική κατασκευής. Η κατασκευή της αποκατάστασης απαιτεί την σάρωση του κολοβώματος, του δοντιού ή του κέρινου προτύπου. Παρόλο που στο παρελθόν διετίθεντο τόσο σαρωτές επαφής όσο και σαρωτές χωρίς επαφή, οι σαρωτές επαφής δεν χρησιμοποιούνται πια, παρόλο που είχαν περισσότερη ακρίβεια στην απεικόνιση λεπτομεριών. Συνολικά, οι σαρωτές χωρίς επαφή χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα ψηφιακών σημείων σάρωσης και ταχύτητα ψηφιοποίησης σε σύγκριση με τους σαρωτές επαφής, αλλά κυρίως την δυνατότητά τους να αποτυπώσουν τις υποουλικές περιοχές και άλλες πιθανές εσοχές και υποσκαφές, σε σχέση με τους σαρωτές επαφής. Η αποκατάσταση σχεδιάζεται μεγεθυμένη με το λογισμικό (CAD) και τροχίζεται στη συνέχεια από προ-πυροσυσσωματωμένο κεραμικό block ή δίσκο. Στη συνέχεια οι αποκαταστάσεις πυροσυσσωματώνονται σε υψηλή θερμοκρασία. Ο σχεδιασμός της αποκατάστασης σε μεγέθυνση αντισταθμίζει την προκύπτουσα ελεγχόμενη συρρίκνωση (~25% για 3Y-TZP) που θα υποστεί το υλικό κατά την πυροσυσσωμάτωση στο επιθυμητό μέγεθος αποκατάστασης. (31) (33) (61)

Οι δίσκοι κατασκευάζονται βιομηχανικά με ψυχρή ισοστατική πίεση (CIP) ενός μείγματος σκόνης ζιρκονίας, σταθεροποιητικών οξειδίων και συνδετικών παραγόντων. Η πίεση ασκείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αυξάνοντας σταδιακά από 50 σε 400-1000 MPa και μεταδίδεται ομοιόμορφα στη σκόνη της ζιρκονίας έως ότου τα blocks ζιρκονίας

φτάσουν το 40-60% της θεωρητικής πυκνότητάς τους πριν από την πυροσυσσωμάτωση. Με αυτήν την τεχνική, η ζirkονία είναι εξαιρετικά ομοιογενής και επεξεργάζεται ευκολότερα, μειώνοντας τους χρόνους παραγωγής, τη φθορά των μηχανημάτων και των εργαλείων κοπής καθώς και τις επιφανειακές ατέλειες. Επιπλέον η συγκεκριμένη μέθοδος εκτροχισμού δημιουργεί αμελητέο εσωτερικό πορώδες (περίπου 20–30 nm), με πολύ περιορισμένη κατανομή μεγέθους πόρων. (30) (31) (41)

Ο συνδέτης αφαιρείται κατά τη διάρκεια μιας θερμικής επεξεργασίας πριν από την τελική πυροσυσσωμάτωση. Σε αυτό το βήμα πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά από τους κατασκευαστές κάθε παράμετρος, ιδιαίτερα δε ο ρυθμός ανόδου και η τελική θερμοκρασία. Η τελική θερμοκρασία επηρεάζει τη σκληρότητα και την ικανότητα της μετέπειτα κατεργασίας. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως απαιτείται επαρκής σκληρότητα για το χειρισμό των αποκαταστάσεων, αλλά εάν η σκληρότητα είναι πολύ υψηλή, μπορεί να είναι επιζήμια όσον αφορά την ικανότητα κατεργασίας τους. Εάν ο ρυθμός ανόδου είναι πολύ γρήγορος, η εξάλειψη του συνδέτη και των σχετικών προϊόντων καύσης μπορεί να προκαλέσει ρωγμές. Ως εκ τούτου, προτιμώνται οι αργοί ρυθμοί ανόδου. (30) (31)

Η τελική θερμοκρασία κατά την θερμική κατεργασία πριν την πυροσυσσωμάτωση επηρεάζει επίσης την τραχύτητα των επεξεργασμένων blocks. Οι συνολικά υψηλότερες τελικές θερμοκρασίες προ-πυροσυσσωμάτωσης έχουν σαν αποτέλεσμα πιο τραχείες επιφάνειες. Οι συνθήκες πυροσυσσωμάτωσης είναι συγκεκριμένες για κάθε προϊόν. (41)

Επιπλέον η ίδια η πυροσυσσωμάτωση των εκτροχισμένων αποκαταστάσεων πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά, συνήθως με τη χρήση ειδικά προγραμματισμένων κλιβάνων. Πριν εισέλθουν στον κλίβανο, οι σκελετοί τοποθετούνται πάνω σε σφαιρίδια πυροσυσσωμάτωσης για να αποφευχθεί η παραμόρφωση τους. Το ελάχιστο πάχος κατασκευής των τοιχωμάτων για στεφάνες είναι 0,5 χιλιοστά, κάτω από το οποίο μπορεί να εμφανιστεί στρέβλωση. Οι αποκαταστάσεις ψύχονται αργά εντός του κλιβάνου σε θερμοκρασία κάτω των 200°C για να ελαχιστοποιηθούν οι υπολειπόμενες τάσεις. (31) (33)

#### **4.1.1. Πυροσυσσωμάτωση των ψυχρά ισοστατικά πεπιεσμένων (CIP) πλακών**

Διαφορετικές μέθοδοι πυροσυσσωμάτωσης έχουν προταθεί για τη συμπύκνωση της ψυχρά, ισοστατικά πεπιεσμένης ζirkονίας. Σε γενικές γραμμές, περιλαμβάνουν την

συμβατική πυροσυσσωμάτωση, την πυροσυσσωμάτωση σε μικροκύματα και την πυροσυσσωμάτωση πλάσματος σπινθήρα.

Η συμβατική πυροσυσσωμάτωση της μονολιθικής ζirkονίας περιλαμβάνει υψηλές θερμοκρασίες και μακρούς χρόνους θέρμανσης, αποτελώντας έτσι μια διαδικασία που καταναλώνει χρόνο και ενέργεια. Καθώς αποτελεί την πιο εφαρμοσμένη μέθοδο πυροσυσσωμάτωσης, διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι οι διαφορές στις παραμέτρους πυροσυσσωμάτωσης της ζirkονίας μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη μικροδομή και τις ιδιότητές της, όπως την ημιδιαφάνεια, το μέγεθος κόκκου και την διαξονική αντοχή σε κάμψη. Είναι γενικά αποδεκτό ότι με την αύξηση της τελικής θερμοκρασίας, αυξάνεται επίσης η ημιδιαφάνεια και το μέγεθος των κόκκων. Υπάρχουν ωστόσο αντικρουόμενα δεδομένα σχετικά με την επίδραση της τελικής θερμοκρασίας πυροσυσσωμάτωσης στην αντοχή στην κάμψη. (41)

Η πυροσυσσωμάτωση με μικροκύματα είναι μια μέθοδος χαμηλού κόστους και χρόνου. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι, ότι η πυροσυσσωμάτωση γίνεται σε μοριακό επίπεδο και επιτυγχάνεται αποτελεσματική θέρμανση σε όλο το υλικό σε σημαντικά λιγότερο χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγονται οι διαβαθμίσεις θερμοκρασίας εντός του όγκου του υλικού που συνήθως συναντώνται κατά τη συμβατική πυροσυσσωμάτωση. Αυτό είναι σημαντικό ειδικά, για μεγάλα και γεωμετρικά πολύπλοκα αντικείμενα, όπως οι οδοντικές στεφάνες.

Η πυροσυσσωμάτωση πλάσματος σπινθήρα είναι μια υποσχόμενη μέθοδος που προσφέρει πολύ γρήγορη πυροσυσσωμάτωση που οδηγεί σε ομοιογενείς μικροδομές χωρίς ρωγμές με πολύ περιορισμένη πορότητα και υψηλή διαφάνεια. Αυτή η τεχνική παρέχει άμεση επαφή μεταξύ των θερμαντικών στοιχείων και των δειγμάτων που πυροσυσσωματώνονται, πολύ γρήγορους ρυθμούς θέρμανσης/ψύξης (αρκετές εκατοντάδες °C/min), και μονοαξονική μηχανική πίεση. Όσον αφορά τη σταθεροποιημένη με υτρία ζirkονία, υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία αλλά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το υλικό μπορεί να επιτύχει πολύ γρήγορα συμπύκνωση χωρίς ρωγμές, παραμορφώσεις σχήματος ή διαβαθμίσεις πυκνότητας σε πυροσυσσωματωμένα δείγματα με πολύπλοκα σχήματα και μικρές διαστάσεις. Ωστόσο, απαιτούνται in vitro

μελέτες για την αξιολόγηση της εφαρμοσιμότητας και της αποτελεσματικότητας αυτής της μεθόδου πυροσυσσωμάτωσης για μονολιθικά κεραμικά ζirkονίας. (41) (62)

Ανεξαρτήτως της μεθόδου, η υψηλή θερμοκρασία και ο παρατεταμένος χρόνος πυροσυσσωμάτωσης παράγουν μεγαλύτερους κρυστάλλους ζirkονίας, κάτι που επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Η διάσταση των κρυστάλλων είναι καλύτερο να φτάνει περίπου μέχρι 1 μm το ανώτερο. Πάνω από αυτό, η ζirkονία γίνεται πιο επιρρεπής σε μετασχηματισμό σκλήρυνσης, ενώ κάτω από 0.2 μm το φαινόμενο δεν συμβαίνει και η στιφρότητα του υλικού μειώνεται. Κατά συνέπεια, οι κατασκευαστικές διαδικασίες, ιδιαίτερα η πυροσυσσωμάτωση, επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες και τη σταθερότητα της ζirkονίας και πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά κατά τη διάρκεια ολόκληρης της διαδικασίας κατασκευής. (30) (33) (63)

Οι Chevalier et. al. ωστόσο παρατήρησαν ότι η ποσότητα κυβικής φάσης σε υλικά 3Y-TZP αυξάνεται όταν η θερμοκρασία φτάνει τους 1500°C μετά από 5 ώρες στον κλίβανο. Η παρουσία μεγάλων κρυστάλλων κυβικής φάσης είναι επιζήμια προς την ανοχή στην γήρανση. Η πυκνότητα κάθε δίσκου μετράται προσεκτικά έτσι ώστε να εφαρμόζεται η κατάλληλα αντισταθμιστική συρρίκνωση κατά την τελική πυροσυσσωμάτωση. Η τελική πυκνότητα των προσυνηγμένων πλακών είναι περίπου 40% της θεωρητικής πυκνότητας (6.08 g/cm<sup>3</sup>). (31)

Τα μειονεκτήματα αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνουν την ανάγκη για υψηλού κόστους εξειδικευμένους κλιβάνους για την πυροσυσσωμάτωση που ακολουθεί, καθώς και κάπως μειωμένη αντοχή σε κάμψη. Καθώς ο εκτροχισμός μερικώς πυροσυσσωματωμένων blocks απαιτεί μεγεθυμένο σχεδιασμό των πυρήνων, είναι απαραίτητη η ακριβής αντιστοίχιση του σχεδιασμού, που γίνεται με υποβοήθηση από υπολογιστή, προκειμένου να αποφευχθούν ανακρίβειες διαστάσεων, ιδιαίτερα παρουσία αποκαταστάσεων με σύνθετη γεωμετρία. (30) (31) (64)

#### **4.2. Εκτροχισμός Πλήρως Πυροσυσσωματωμένων blocks**

Στην περίπτωση των πλήρως συσσωματωμένων blocks, αρχικά πραγματοποιείται μια διαδικασία προ-πυροσυσσωμάτωσης σε θερμοκρασίες κάτω των 1500°C για να επιτευχθεί πυκνότητα τουλάχιστον 95% της θεωρητικής για την προετοιμασία δίσκων Y-

TZP. Στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία με ισοστατική πίεση σε υψηλή θερμοκρασία όπου συντήκονται πλήρως σε θερμοκρασίες 1400°C–1500°C υπό υψηλή πίεση και σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου και επιτυγχάνεται υψηλή πυκνότητα που υπερβαίνει το 99% της θεωρητικής. (30) (31) (33) (41)

Χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα συστήματα εκτροχισμού, καθώς ο εκτροχισμός αυτών των δίσκων υψηλής αντοχής απαιτεί πιο δυνατά μηχανήματα και μπορεί να μειώσει την ανθεκτικότητα των μηχανικών κεφαλών. Υπάρχουν δεδομένα που υποστηρίζουν ότι πλήρως πυροσυσσωματωμένη ζirkονία κατέχει σκληρότητα μεγαλύτερη από πλήρως πυροσυσσωματωμένη αλουμίνια. (31) (33)

Αυτή η προσέγγιση εξαλείφει το πρόβλημα της συρρίκνωσης των πυρήνων, καθώς δεν είναι απαραίτητη η διευρυμένη σχεδίαση ή πυροσυσσωμάτωση. Ωστόσο, η κατεργασία πλήρως πυροσυσσωματωμένων blocks χρειάζεται μεγαλύτερους χρόνους εκτροχισμού, που συνεπάγεται υψηλότερο κόστος λόγω της επιταχυνόμενης φθοράς των μηχανημάτων παραγωγής και του αυξημένου κινδύνου επιφανειακών ατελειών λόγω τριβής. Επιπλέον ο εκτροχισμός έχει φανεί να προκαλεί το σχηματισμό σημαντικής ποσότητας επιφανειακής μονοκλινικής φάσης στους πυρήνες ζirkονίας λόγω μηχανικής καταπόνησης, τριβής και υπερθέρμανσης. (31)

Η αμμοβολή επιφέρει πιο αποτελεσματικά τον μετασχηματισμό σκλήρυνσης των αποκαταστάσεων, καθώς μετατρέπει τα επιφανειακά σωματίδια ζirkονίας στην μονοκλινική τους φάση, εισάγοντας προστατευτικές θλιπτικές τάσεις που εμποδίζουν την διάδοση ρωγμών. Με αυτό τον τρόπο, ενώ θεωρητικά προωθείται μεγαλύτερη αύξηση της αντοχής της Y-TZP, ενέχει αυξημένη πιθανότητα δημιουργίας επιφανειακών ατελειών. Επιπλέον, η αλλαγή αυτή της σταθερότητας της δομής των σωματιδίων ενδέχεται να κάνει τις αποκαταστάσεις ευάλωτες στη γήρανση. Οι υπολειμματικές τάσεις που προκαλούνται από επιφανειακά ελαττώματα είναι πιο ζημιογόνες, ως προς το υλικό, όσον αφορά στην προώθηση γήρανσης από ότι η τραχύτητα της τελικής αποκατάστασης. Αυτό θα μπορούσε να αποδειχτεί επιζήμιο για τη μακροπρόθεσμη απόδοση και δεν ενδείκνυται από τους περισσότερους κατασκευαστές. (30) (31) (33)

Τα βιβλιογραφικά δεδομένα εξακολουθούν να είναι αμφιλεγόμενα σχετικά με το ποια τεχνική είναι η καλύτερη, καθώς η επιλογή καθοδηγείται κυρίως από την προτίμηση του

χειριστή, ωστόσο η χρήση πλήρως πυροσυσσωματωμένων blocks, δεν προτιμάται τόσο. (30) (31) (64) (65)

### **4.3. Τρισδιάστατη Εκτύπωση**

Γνωστή και ως προσθετική κατασκευή (AM), επιτρέπει την κατασκευή τεμαχίων με την προσθήκη υλικών στρώμα προς στρώμα, με βάση ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Λόγω της πρόσφατης λήξης των κυριότερων πατεντών τρισδιάστατης εκτύπωσης, η πρόσβαση σε εκτυπωτές έγινε ευκολότερη και φθηνότερη. Πρόκειται για μια τεχνολογία που αποτελεί ενδιαφέρουσα και βιώσιμη εναλλακτική λύση έναντι των συμβατικών αφαιρετικών μεθόδων. Οι αφαιρετικές μέθοδοι ωστόσο έχουν καλύτερη συνολική ακρίβεια, ιδίως για τις περιθωριακές και αποφρακτικές περιοχές, υψηλότερη αντοχή σε κάμψη και καλύτερη σκληρότητα, αντοχή σε θραύση, πορώδες, κόπωση και ογκομετρική συρρίκνωση, ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση είχε καλύτερο μέτρο ελαστικότητας και καλύτερη δυνατότητα διαβροχής χρωστικών.

Από τις μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης που υπάρχουν, η πιο κοινή μέθοδος κατασκευής αποκαταστάσεων ζirkονίας είναι η στερεολιθογραφία. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μια φωτοχημική αντίδραση για την κατασκευή εργασίας από πολύ φωτοπολυμερούς ρητίνης αναμεμειγμένη με σκόνη κεραμικού. Η στερεολιθογραφία προσφέρει πολύ μεγάλη ακρίβεια και άψογη απόδοση επιφάνειας.

Οι γνώμες είναι αμφιλεγόμενες αλλά είναι ευρέως αποδεκτό ότι απαιτείται περαιτέρω βελτίωση όλων των βημάτων χειρισμού, δηλαδή ανάπτυξη εκτυπωτή, ανάπτυξη υλικού και βελτίωση των παραμέτρων εκτύπωσης. (66) (67) (68) (69)

### **4.4. Χρώση**

Όσο αφορά στις μονολιθικές αποκαταστάσεις, μπορεί να επιτευχθεί χρώση είτε με τη χρήση προ-χρωματισμένων μπλοκ, με εμπύθιση λευκών αποκαταστάσεων ζirkονίας σε χρωματική ουσία ή με την χρήση χρωστήρα και ειδικών χρωστικών τόσο πριν, όσο και μετά την πυροσυσσωμάτωση.

Οι επιδράσεις του υγρού χρωματισμού στις ιδιότητες της ζirkονίας έχουν διερευνηθεί σε μερικές μελέτες, πάνω σε ζirkονίες των πρώτων τριών γενιών. Σε σχέση με την γήρανση,

ο υγρός χρωματισμός δεν έχει συσχετιστεί με μετασχηματισμό φάσης, αλλά έχει αναφερθεί υψηλότερη αντίσταση στη γήρανση σε σύγκριση με τα άχρωμα δείγματα. Οι μηχανικές ιδιότητες των κεραμικών ζirkονίας φαίνεται να επηρεάζονται από την διαδικασία ανάλογα με την σύνθεση του κεραμικού και των χρωστικών. Στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των Kontonasaki et. al. δεν αναφέρεται καμία επίδραση στην αντοχή στην κάμψη της ζirkονίας τρίτης γενιάς. Τονίζουν ωστόσο ότι η εμφάνιση σε χρωστικό υγρό μπορεί να έχει επιζήμιες (επιπτώσεις) στην αντοχή στην κάμψη και στην αντοχή στη θραύση, τη σκληρότητα και την συμπίκνωση. Αυξημένο μέγεθος κόκκων και πορώδους έχει παρατηρηθεί σε σχέση με ορισμένα από τα χρωματικά οξειδία, που πιθανόν να επηρεάσει αρνητικά τις μηχανικές και οπτικές ιδιότητες της ζirkονίας. Χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να προσδιοριστούν οι επιδράσεις της χρώσης πάνω στα υλικά τέταρτης και πέμπτης γενιάς. (41) (70) (71) (72) (73)

Η προ-χρωματισμένη ζirkονία κατασκευάζεται ενσωματώνοντας μια πληθώρα μεταλλικών οξειδίων στην σύνθεση της σκόνης ζirkονίας, δημιουργώντας έγχρωμη σκόνη. Όπως και με την εμφάνιση, τα οξειδία αυτά ενδέχεται να έχουν αρνητικές επιδράσεις στις μηχανικές ιδιότητες της ζirkονίας, καθώς η αντικατάσταση ιόντων ζirkονίου με άλλα μεταλλικά ιόντα προκαλεί αλλαγές στην πλεγματική δομή των κρυστάλλων. Ανάλογα με το σθένος και την ακτίνα των μεταλλικών ιόντων, μπορούν να δημιουργηθούν κενές θέσεις οξυγόνου και αλλαγές στις διαστάσεις της δομής του πλέγματος (συστολή ή διαστολή), επηρεάζοντας διαφόρων τόσο τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες όσο και τα χρωματικά χαρακτηριστικά της ζirkονίας. (41)

Επιπλέον, υπάρχουν διαθέσιμοι δίσκοι ζirkονίας σε πολυεπίπεδες χρωματικές διατάξεις. Το χρώμα αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του τελευταίου σταδίου πυροσυσσωμάτωσης και η συγκέντρωση του διαλύματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την τελική απόχρωση. (30) (31)

#### **4.5. Ακρίβεια Ορίων και Εφαρμογή**

Μια οδοντική αποκατάσταση πρέπει να προσαρμόζεται στο κολόβωμά της εντός περιθωρίου 50 μm. Αυτό απαιτεί το σύστημα να έχει τεχνικές συλλογής δεδομένων μεγάλης ακριβείας και ικανή υπολογιστική ισχύ για να κατεργαστεί και να σχεδιάσει τις περίπλοκες αποκαταστάσεις καθώς και ένα πολύ ακριβές σύστημα εκτροχισμού. (74)

Η ακρίβεια των αποκαταστάσεων ζirkονίας μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, όπως η κατασκευή, η πολυπλοκότητά της (οριακή γραμμή περάτωσης, μήκος τόξου, διάσταση συνδετών κ.λπ.) και η γήρανση. Έχει αποδειχθεί πως υπάρχει μια σχέση μεταξύ της έκτασης μονίμων αποκαταστάσεων και οριακής εφαρμογής, καθώς παρατηρείται μεγαλύτερη οριακή απόκλιση σε αποκαταστάσεις μεγαλύτερων διαστάσεων. Επιπλέον, το σχήμα των αποκαταστάσεων φαίνεται να έχει επίσης σχέση με τις οριακές εφαρμογές, καθώς ευθύς σχεδιασμός, δηλαδή με γεφυρώματα τοποθετημένα σε ευθεία γραμμή με τα συγκρατήματα, είχε ως αποτέλεσμα πιο ακριβή όρια από τις διαμορφώσεις αποκαταστάσεων τόξου. (64)

#### **4.6. Επιφανειακή κατεργασία και συγκόλληση**

Το κύριο μειονέκτημα των υλικών ζirkονίας είναι οι ιδιότητες συγκόλλησής τους, που φημολογούνται να είναι κατώτερες αυτών των υαλοκεραμικών. Καθώς το υλικό δεν περιέχει υαλώδη μήτρα, δεν μπορεί να υποβληθεί σε συμβατικές τεχνικές αδροποίησης με οξύ και, κατά συνέπεια, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συμβατικές διαδικασίες συγκόλλησης. (30) (64) (74)

Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες για την αξιολόγηση της καταλληλότερης μεθόδου προ-επεξεργασίας για τη συγκόλληση σύνθετων κονιών με ζirkονία 3Y-TZP. Οι τιμές αντοχής δεσμού μετά από επιφανειακή κατεργασία με αμμοβολή σωματιδίων  $Al_2O_3$  ή τριβοχημική επίστρωση με σωματίδια πυριτίας, αποδείχτηκαν πως είναι υψηλότερες από αυτές που παρατηρούνται μετά από αδροποίηση. Παρόλο που οι συμβατικές και ρητινωδώς τροποποιημένες υαλοϊονομονομερείς κονίες ενδείκνυνται για κόλληση αποκαταστάσεων ζirkονίας, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές αντοχής δεσμού από τα σύνθετες κονίες. Αυτό πιθανόν οφείλεται σε έλλειψη χημικής προσκόλλησης, η οποία είναι η κύριος συμβάλλων παράγοντας στην αντοχή του δεσμού με τη ζirkονία. (30) (74) (75)

Από την άλλη πλευρά, πολλές σύνθετες κονίες περιέχουν οργανοφωσφορικά λειτουργικά μονομερή, όπως το MDP, τα οποία προάγουν τη συγκόλληση με τη ζirkονία σχηματίζοντας χημικούς δεσμούς με τα οξείδια του μετάλλου. Η ομάδα φωσφορικού εστέρα στο MDP σχηματίζει έναν ισχυρό ομοιοπολικό δεσμό P-O-Zr στην επιφάνεια του ζirkονίου, ενώ το



άλλο άκρο περιέχει μια τερματική ομάδα βινυλίου που συμπολυμερίζεται με τη ρητίνη, με αποτέλεσμα έναν ισχυρό υδρόφοβο δεσμό με κόνιες σύνθετων ρητινών. (74) (76) (77)

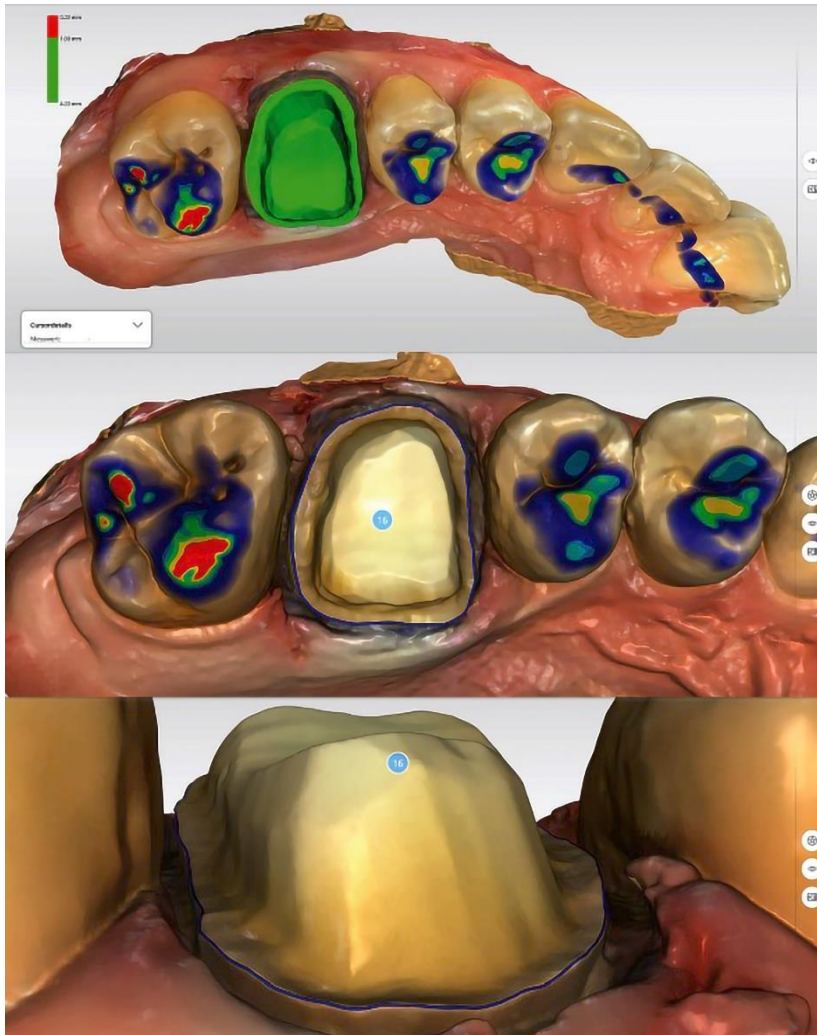
Ωστόσο, επί του παρόντος, τα διαθέσιμα δεδομένα για την απόδοση της συγκόλλησης ημιδιαφανούς (δεύτερης γενιάς) και υψηλά ημιδιαφανούς (τρίτης γενιάς) ζirkονίας είναι περιορισμένα. Ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει ότι οι τιμές αντοχής δεσμού της ζirkονίας πρώτης γενιάς σε κόνιες που περιέχουν MDP είναι παρόμοιες με αυτές που λαμβάνονται με ζirkονία δεύτερης και τρίτης γενιάς. Από την άλλη πλευρά, πρόσφατες μελέτες έχουν υπογραμμίσει τη σημασία της επιφανειακής κατεργασίας με αμμοβολή σωματιδίων Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και την εφαρμογή βερνικιών προετοιμασίας επιφάνειας που περιέχουν MDP για να επηρεάσει την αντοχή του δεσμού ζirkονίας τρίτης γενιάς με σύνθετες κόνιες. (74) (78) (79)

Οι Zarone et. al. αναφέρουν ότι ο συνδυασμός μηχανικών και χημικών επεξεργασιών της επιφάνειας ζirkονίας έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η χρήση βερνικιών προετοιμασίας και παραγόντων σύζευξης που περιέχουν όξινα μονομερή (10-MDP) μπορεί να έχουν συνεργική δράση με το σιλάνιο, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των απλοποιημένων τεχνικών συγκόλλησης. Με βάση τις φυσικοχημικές ιδιότητες της ζirkονίας, παρουσία συγκρατητικής γεωμετρίας και αποκαταστάσεων πλήρους κάλυψης, συμβατικοί παράγοντες προσκόλλησης με βάση το νερό (δηλ. κόνιες υαλοϊονομερών και φωσφορικού ψευδαργύρου) και υβριδικών κονιών (δηλ. ρητινώδως τροποποιημένη υαλοϊονομερή κόνιες) η χημική συγκόλληση θεωρείται καλή επιλογή. (30)

## Ειδικό Μέρος

### 5. Κατασκευαστικά Στάδια

Όπως και στα ολοκεραμικά συστήματα, η δημιουργία των αποτυπωμάτων και η παρασκευή των δοντιών γίνονται στο οδοντιατρείο.



Εικόνα 6. Ανάλυση παρασκευής και διευθέτηση του ορίου. Το όριο μπορεί να εντοπισθεί αυτόματα (40)

Η αποτύπωση μπορεί να γίνει με παραδοσιακές μεθόδους ή με ενδοστοματικό σαρωτή στο ιατρείο. Τα αποτυπώματα στέλνονται στο εκάστοτε εργαστήριο μαζί με τις οδηγίες της κατασκευής για να παραχθούν τα εκμαγεία και να διευθετηθεί η σύγκλιση, εάν υφίσταται εκμαγείο ανταγωνιστή φραγμού (και σε περίπτωση που δεν έχει παρθεί

αποτύπωμα της σύγκλεισης.) Μαζί με τα αποτυπώματα, ο οδοντίατρος στέλνει τον κωδικό του χρωματολογίου και τυχόν επιπλέον οδηγίες και φωτογραφίες.

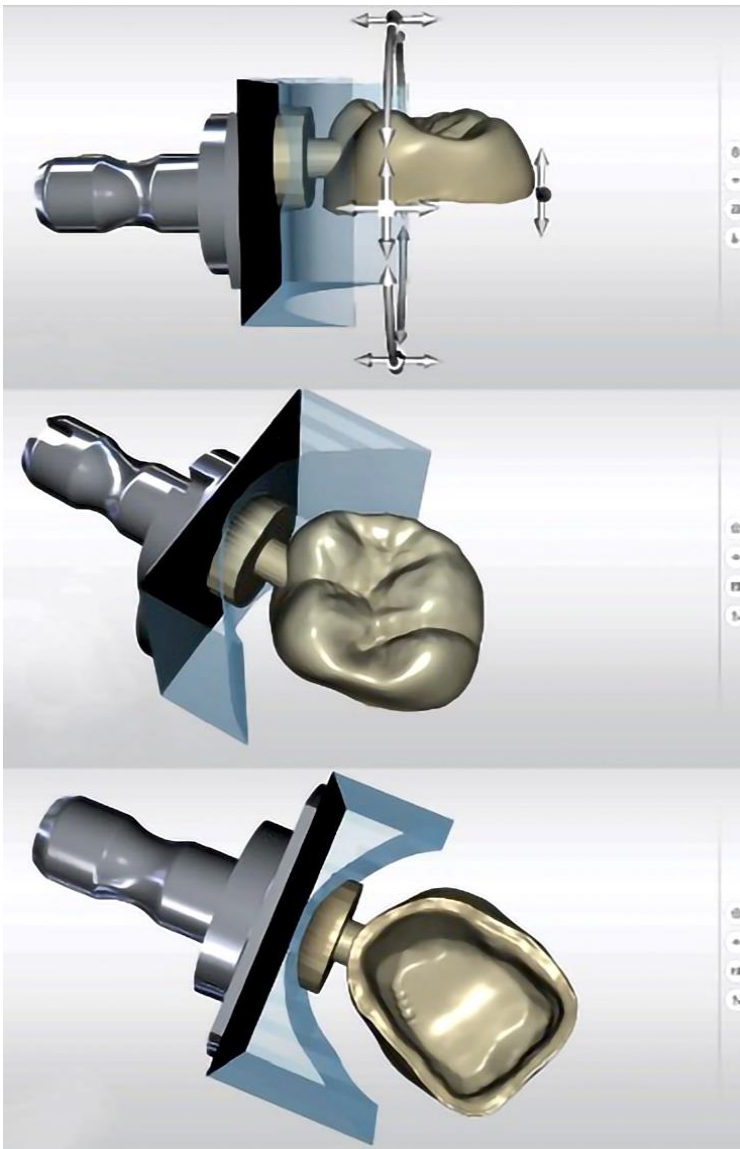
Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στη εκάστοτε αποκατάσταση καθώς και το είδος της αποκατάστασης, ορίζεται από τον οδοντίατρο, μετά από συζήτηση με τον ασθενή. Παράγοντες όπως η κατάσταση των ανταγωνιστών και παρακείμενων δοντιών, περιοδοντικές νόσοι και η συνολική στοματική υγιεινή επηρεάζουν την μακροβιότητα της εργασίας και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Οι αποκαταστάσεις μονολιθικής ζirkονίας μπορούν να κατασκευαστούν είτε από μονόχρωμους δίσκους ζirkονίας ή, πλέον, από δίσκους με διαβάθμιση χρωμάτων και αντοχών. Ταυτόχρονα, η ζirkονία μπορεί να είναι ημιδιαφανής, φέροντας καλύτερη αισθητική αλλά μειωμένες ιδιότητες, ή αρκετά αδιαφανής, με καλύτερη αντοχή αλλά ελλιπείς αισθητικές ιδιότητες. Σε κατασκευές της οπίσθια περιοχής του στόματος χρησιμοποιούνται συνήθως οι πιο αδιαφανής συνθέσεις ζirkονίας, λόγω της αντοχής τους, ωστόσο, ακόμα και τα πιο αδύναμα σκευάσματα ζirkονίας παρουσιάζουν αποδεκτές ιδιότητες.

Στη συνέχεια κατασκευάζονται τα εκμαγεία, τα τμήματα του φραγμού κατασκευάζονται κινητά, και παρασκευάζονται αυχενικά όρια. Η προετοιμασία των δοντιών είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη μακροβιότητα μιας αποκατάστασης. Εκτός από τα βασικά στάδια προετοιμασίας των δοντιών που απαιτούνται για ακίνητες αποκαταστάσεις, για την προετοιμασία δοντιών για στεφάνες, πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως τραχύ ή ακανόνιστο όριο παρασκευής και μια μη ανατομική επιφάνεια σύγκλισης, παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε ανακριβές όριο. Ένα ομαλό όριο παρασκευής είναι απαραίτητο για την κατασκευή μιας καλά προσαρμοσμένης στεφάνης CAD-CAM, όπως στεφάνης ζirkονίας. (80)

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα όρια καθώς η πιστότητά τους είναι συνδεδεμένη με την μακροβιότητα των αποκαταστάσεων. (81)

Τα εκμαγεία τοποθετούνται στην κινητή βάση και εισέρχονται στον σαρωτή. Ενίοτε χρειάζεται να αφαιρεθούν τμήματα του φραγμού ή το ίδιο το εκμαγείο από τη βάση έτσι ώστε να αποτυπωθεί όσο το δυνατόν καλύτερα το κάθε εκμαγείο, και η σύγκλιση, εάν δεν υπάρχει αποτύπωμα δήξης. Εάν υπάρχει αποτύπωμα δήξης τότε, τοποθετείται στην μασητική επιφάνεια του εκμαγείου για να καταγραφεί το αποτύπωμα και η τοποθέτηση

των ανταγωνιστών. Με βάση αυτές τις καταγραφές, ο υπολογιστής μπορεί να απεικονίσει την στοματική κοιλότητα.



**Εικόνα 7. Κάθετη τοποθέτηση εργασίας για να επιτευχθεί χρωματική διαβάθμιση**  
(40)

Το αρχείο αποθηκεύεται στον υπολογιστή και στέλνεται στο εκάστοτε λογισμικό CAD, όπου σχεδιάζεται η εργασία. Ο τεχνίτης μπορεί να επιλέξει την τοποθεσία της αποκατάστασης στο φραγμό, να ορίσει τα παρασκευασμένα δόντια, τους ανταγωνιστές και τα παρακείμενα δόντια. Τα όρια των κολοβωμάτων επισημαίνονται και προσαρμόζονται εάν χρειαστεί. Χώρος για την τοποθέτηση συνδετικής ουσίας επίσης σχεδιάζεται από το πρόγραμμα, λαμβάνοντας υπόψη το μικρότερο δυνατό πάχος που μπορεί να δοθεί στην αποκατάσταση. Υποσκαφές στα αξονικά τοιχώματα των

κολοβομάτων εμποδίζουν την εύρεση της σωστής φοράς ένθεσης. Υπάρχει σχεδιαστικό λογισμικό που μπορεί να προσαρμόσει τις υποσκαφές στην τρισδιάστατη εικόνα. Ωστόσο πρέπει να ασκείται προσοχή κατά την χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου, έτσι ώστε να μην προκύψει μεγαλύτερος χώρος τοποθέτησης κονιάς, καθώς στενό αξονικό διάκενο χημικής συγκόλλησης οδηγεί σε κακή εφαρμογή. (80) (82) Με τις πληροφορίες από την σάρωση, το πρόγραμμα παρέχει έναν αρχικό σχεδιασμό της αποκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη τα μαλακά μόρια του στόματος αν και κάθε λογισμικό λειτουργεί διαφορετικά. Το λογισμικό της CEREC π.χ. μπορεί να δημιουργήσει μια ποικιλία μορφολογιών με το εργαλείο βιοποικιλότητας.

Ο οδοντικός τεχνολόγος ωστόσο ενδέχεται να επεξεργασθεί αυτό το πρότυπο έτσι ώστε η αποκατάσταση να εξυπηρετεί καλύτερα την κάθε περίπτωση. Οι αποκαταστάσεις μονολιθικής ζirkονίας ακολουθούν τον ίδιο τρόπο σχεδίασης που απαντάται στην Ακίνητη Προσθετική.

Η φορά της αποκατάστασης πρέπει να συμβάλει στην ομοιόμορφη κατανομή των μασητικών δυνάμεων ως προς τον επιμήκη άξονα των δοντιών, ανεξαρτήτως της στήριξης της αποκατάστασης. Μεμονωμένες στεφάνες είναι επιρρεπείς στις ίδιες δυνάμεις στροφορμής που ασκούνται στα φυσικά δόντια. Εργασίες που δεν διασπείρουν σωστά τις ασκούμενες πάνω τους δυνάμεις τρέχουν τον κίνδυνο θραύσης της εργασίας και τραυματισμού του περιοδοντίου, ιδιαίτερα, όσο αφορά αποκαταστάσεις με εμφυτευματική στήριξη. (83) (84).

Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου λείπουν παραπάνω από ένα δόντια, τα υπολειπόμενα δόντια του φραγμού μπορεί να έχουν μετατοπιστεί για να καλύψουν το κενό, κάτι που συναντάται συχνότερα σε ασθενείς μεγάλης ηλικίας. Αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν τις συγκλεισιακές σχέσεις των δοντιών του φραγμού και κατά συνέπεια την διασπορά των μασητικών δυνάμεων σε σχέση με τον επιμήκη άξονα των δοντιών, επηρεάζοντας την αντοχή και μακροβιότητα των αποκαταστάσεων. Όσο αφορά εργασίες στηριζόμενες σε εμφυτεύματα, η κακή σύγκλιση επηρεάζει όχι μόνο την αποκατάσταση αλλά και το εμφύτευμα, ή εμφυτεύματα, στο οποίο αυτή στηρίζεται. Κακή ή ανεπαρκής διασπορά των μασητικών δυνάμεων προκαλεί υπερφόρτωση που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια οστού στις ακρολοφίες, αυξάνοντας το βάθος της αναερόβιας πανίδας του στόματος και τον

κίνδυνο νόσου στην περιεμφυτευματική περιοχή. Θεωρείται επίσης μία από τις κύριες αιτίες της απώλειας του περιεμφυτευματικού οστού και της αποτυχίας των εμφυτευματικών προσθέσεων. Όσο αφορά τις μασητικές επιφάνειες, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην κατάσταση των παρακείμενων και ανταγωνιστών δοντιών. Φθορά των παρακείμενων δοντιών θα μπορούσε να παραπέμπει σε κάποιου είδους δυσλειτουργία, που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό της αποκατάστασης. Αποκαταστάσεις, π.χ., με πιο έντονα φύματα σε σύγκριση με τα άλλα δόντια του φραγμού θα προκαλέσουν συγκρούσεις κατά την σύγκληση. Η μορφολογία των αξονικών τοιχωμάτων των αποκαταστάσεων έχει εξίσου μεγάλη σημασία για την λειτουργία και μακροβιότητά τους. Οι παρειακές και γλωσσικές επιφάνειες πρέπει να διαμορφώνονται έτσι ώστε κατά τη μάσηση, να αποτρέπεται η κατακράτηση τροφών μεταξύ της αποκατάστασης και του περιοδοντίου. Οι παρειακές και γλωσσικές επιφάνειες γομφίων και προγομφίων σχεδιάζονται με την μεγαλύτερη κυρτότητα στο αυχενικό τριτημόριο, με εξαίρεση την γλωσσική επιφάνεια των κάτω προγομφίων και γομφίων, όπου η κυρτότητα σχεδιάζεται μεγαλύτερη στο μέσο τριτημόριο. Πολύ μεγάλη κυρτότητα δεν διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό και την απομάκρυνση τροφών με τη γλώσσα, συμβάλλοντας στην συγκέντρωση πλάκας. Πολύ μικρή κυρτότητα οδηγεί στην ενσφύνωση τροφών που μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό και φλεγμονή του περιοδοντίου. (85) (86)

Οι αποκαταστάσεις με εμφυτευματική στήριξη απαιτούν επιπρόσθετη προσοχή κατά τον σχεδιασμό του προφίλ ανάδυσης τους, καθώς δεν υπάρχει φυσική ρίζα για να κατατοπίσει την φορά των τεχνητών δοντιών όσο αφορά την κυρτότητα των επιφανειών. Ιδανικά, θα πρέπει το προφίλ ανάδυσης αυτών των αποκαταστάσεων να μιμείται όσο είναι δυνατό αυτό των φυσικών δοντιών. Ωστόσο, το κατά ποσό είναι δυνατό αυτό εξαρτάται από την θέση των εμφυτευμάτων στον φραγμό. Είναι ωστόσο σημαντικό να αναφερθεί ότι έχει παρατηρηθεί μειωμένη συσσώρευση βακτηρίων και παθογόνων σε επιφάνειες ζirkονίας in vivo που οδηγεί σε μειωμένη συγκέντρωση οδοντικής πλάκας και βελτιωμένη μακροβιότητα. (49)

Τέλος, τα σημεία επαφής παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της αποκατάστασης καθώς και στην υγεία του στοματογναθικού συστήματος. Τα σημεία επαφής διατηρούν την τοποθεσία της εργασίας στο στόμα, προστατεύοντας ταυτόχρονα τα ούλα από την ενσφύνωση τροφών κατά τη μάσηση. Όσο αφορά τις γέφυρες ζirkονίας, όπως και οι

γέφυρες οποιουδήποτε άλλου υλικού, η έκταση της νωδής περιοχής καθορίζει τον βαθμό κάμψης του γεφυρώματος, όπως ορίζεται από τον νόμο των δοκών. Η σωστή τοποθέτηση τους στην εργασία ενισχύει την αντοχή στη κάμψη της εργασίας, και κατά συνέπεια την μακροβιότητα της. Καλό θα είναι να σχεδιάζονται πιο έντονα για να εξασφαλίζονται επαρκείς επαφές με τα παρακείμενα δόντια. Πολύ σφιχτά σημεία επαφής μπορούν να προσαρμοστούν με τροχισμούς, αλλά χαλαρές επαφές απαιτούν την εφαρμογή καινούριας στρώσης εφυσάλωματος και πυροσυσσωμάτωση. Η σωστή σχεδίαση του γεφυρώματος συμβάλει εξίσου στην μακροβιότητα της εργασίας. Λόγω της κατεύθυνσης των μασητικών δυνάμεων, τα γεφυρώματα πρέπει να σχεδιάζονται πιο έντονα έτσι ώστε να αντιστέκονται στην κάθετη σε αυτά πίεση. Οι αποκαταστάσεις ζirkονίας κόβονται συνήθως από δίσκους, όπου ο τεχνίτης μπορεί να καθορίσει την τοποθεσία της εργασίας, καθώς και τους ισθμούς στήριξης. Οι δίσκοι, είτε μονόχρωμοι ή με διαβάθμιση χρώματος, τοποθετούνται στο μηχάνημα CAM σε συγκεκριμένη θέση με βάση ένδειξη στο πλάι του δίσκου. Το πρόγραμμα CAM καταγράφει τη θέση κοπής κάθε εργασίας σε κάθε δίσκο και για αυτό το λόγο θα πρέπει να τηρείται η ένδειξή τους.

Μετά την κοπή γίνονται οι έλεγχοι εφαρμογής, όποιες τυχόν διορθωτικές επεξεργασίες πάντα με λεπτούς χειρισμούς. Στη συνέχεια γίνεται τονισμός των λεπτομέρειών, όπως των μασητικών αυλάκων, ο τροχισμός της επιφάνειας έτσι ώστε να μιμείται καλύτερα αυτή των φυσικών δοντιών, το φινίρισμα της αποκατάστασης και η χρώση. Με αυτή την προετοιμασία, η αποκατάσταση έχει μια φυσική εμφάνιση μετά την πυροσυσσωμάτωση.

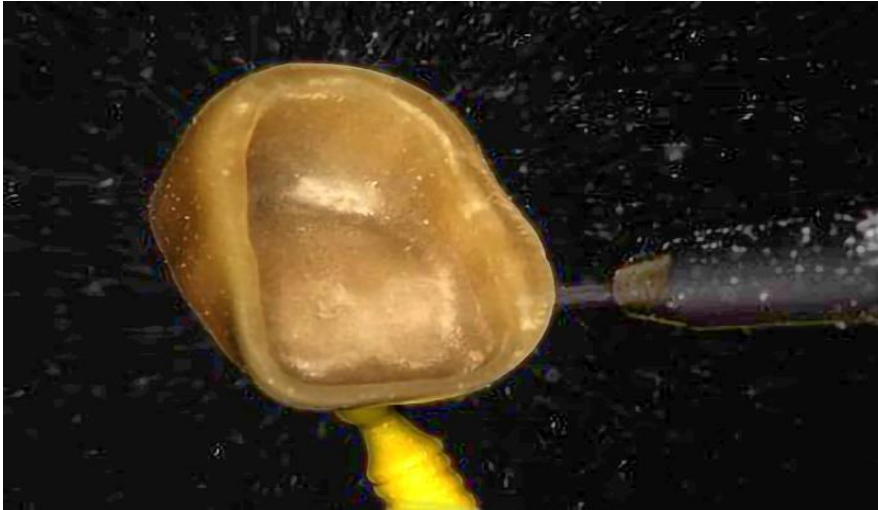
Για αποκαταστάσεις ζirkονίας χωρίς διαβάθμιση χρώματος, είναι απαραίτητη η εξωτερική χρώση για να επιτευχθεί μια αισθητική εμφάνιση. Αυτό γίνεται με διήθηση χρωστικών στην επιφάνεια των αποκαταστάσεων πριν την τοποθέτηση τους στο κλίβανο. Αυτή η μέθοδος είναι καλή για την επίτευξη ρεαλιστικού βάθους στα μεσοδιαστήματα και τις μασητικές αγκάλες, ιδιαίτερα για μόνιμες προσθετικές αποκαταστάσεις, όπως γέφυρες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος χρώσης, θα πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική στίλβωση, καθώς μπορεί να δημιουργήσει επιφάνεια σαν αδαμαντίνη εμποδίζοντας το υγρό διήθησης να διαπεράσει στο εσωτερικό. Έχει αναφερθεί ότι η πυροσυσσωμάτωση σε κλίβανο κενού εμπλουτίζει τα χρώματα και βελτιώνει την ημιδιαφάνεια αποκαταστάσεων ζirkονίας 3Y-TZP.

Μετά την πυροσυσσωμάτωση η εργασία στίλβνεται πριν τοποθετηθούν χρωστικές, εάν χρειάζονται να γίνουν διορθώσεις ή δεν έχουν ήδη τοποθετηθεί. Κατά την στίλβωση χρειάζεται προσοχή για να αποφευχθεί η γρήγορη ανάπτυξη θερμότητας σημειακά στην επιφάνεια της ζirkονίας, που μπορεί να προκαλέσει ραγίσματα. Ανεξαρτήτως του υλικού, η διαδικασία εφυάλωσης είναι η ίδια. Η αποκατάσταση μπορεί να καλυφθεί με τον πολτό εφυάλωσης και να τοποθετηθούν οι χρώσεις. Περεταίρω διορθώσεις χρωματισμού και λεπτομερειών μπορούν να γίνουν αλλά ο τεχνίτης θα πρέπει να είναι προσεκτικός, καθώς οι πολυάριθμες πυροσυσσωματώσεις μπορεί να αλλοιώσουν τα χρώματα των αποκαταστάσεων. Εκτελούνται οι έλεγχοι εφαρμογής και η εργασία προσαρμόζεται, π.χ. σημεία επαφής, σύγκλιση κ.τ.λ. (Εικόνα 8) και το εσωτερικό της αδροποιείται για να διευκολυνθεί η συγκόλληση (Εικόνα 9).



**Εικόνα 8. Επεξεργασία σημείων επαφής με ελαστικό εργαλείο στίλβωσης (μήτρα πολυουρεθάνης με ενσωματωμένα σωματίδια βιομηχανικού διαμαντιού)**  
(40)





**Εικόνα 9. Πριν την χημική συγκόλληση της εργασίας, το εσωτερικό της αδροποιείται με αμμοβολή (40)**

Πριν η εργασία σταλεί στο οδοντιατρείο πρέπει να είναι καλά στιλβωμένη, καθώς αυτό θα μειώσει σημαντικά την φθορά των ανταγωνιστών δοντιών. Η επίδραση εφυσάλωματος ή/και στίλβωσης αναφέρεται παρακάτω.

Η εργασία έπειτα στέλνεται στο ιατρείο για να γίνει δοκιμαστική εφαρμογή στο στόμα του ασθενούς και αν χρειαστεί στέλνεται πίσω στο εργαστήριο για να γίνουν οποιεσδήποτε διορθώσεις. Εάν όχι, η εργασία τοποθετείται και στερεώνεται στο στόμα. Οι εργασίες ζirkονίας δεν προσκολλώνται στα δόντια με τον ίδιο τρόπο όπως οι χυτές εργασίες. Μετά από αδροποίηση, χρησιμοποιούνται βερνίκια προετοιμασίας και παραγόντων σύζευξης που περιέχουν όξινα μονομερή για την δημιουργία χημικών δεσμών μεταξύ των οδοντικών ιστών και τη ζirkονίας. Μετά από αυτή την χημική συγκόλληση γίνονται όποιες προσαρμογές χρειάζονται στο στόμα του ασθενούς. Ιδανικά δεν θα πρέπει να γίνονται περαιτέρω διορθώσεις στη εργασία μετά την τοποθέτησή της στο στόμα, καθώς ο τροχισμός, και κατά συνέπεια η αλλοίωση του φινιρίσματος της εργασίας, αυξάνει την αποτριπτικότητα της. (20) (40) (87)

## **6. Συζήτηση**

Σκοπός αυτή της εργασίας ήταν η αξιολόγηση της μονολιθικής ζirkονίας για χρήση σε αποκαταστάσεις στην οπίσθια περιοχή του στόματος. Αν και η οδοντιατρική ζirkονία όταν εμφανίστηκε αποτελούσε το ισχυρότερο οδοντιατρικό κεραμικό υλικό όσο αφορά την

αντοχή στην κάμψη και θραύση, οι αρχικές αποκαταστάσεις υστερούσαν σε αισθητική σε σχέση με τα φυσικά δόντια. Για αυτό το λόγο ήταν απαραίτητη η επικάλυψη τους με στρώμα αισθητικής πορσελάνης. Οι ολοκεραμικές αποκαταστάσεις αυτού του τύπου ωστόσο, εμφανίζουν συχνά ρωγμές στην αισθητική επικάλυψη, δημιουργώντας νέες αβεβαιότητες σχετικά με την μακροχρόνια κλινική συμπεριφορά. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι αυτή η τάση ρώγμωσης έχει συνδεθεί με τον επιπρόσθετο τροχισμό της αποκατάστασης κατά την διάρκεια της τοποθέτησης και προσαρμογής της στο στόμα, κάτι που δεν μπορεί να εξαλειφθεί τελείως. Κατά καιρούς υπήρξαν διάφορες προσπάθειες αντιμετώπισης αυτού του μειονεκτήματος, ανάμεσα τους και μια πρόταση για αποφυγή τοποθέτησης επικάλυψης στον σκελετό της αποκατάστασης στην παρειακή περιοχή των συνδέσμων και σε σημεία όπου αναπτύσσονται υψηλές εφελκυστικές τάσεις και η αισθητική δεν είναι τόσο απαραίτητη. (41) (88) (89) (71) (42)

Οι αποκαταστάσεις μονολιθικής ζirkονίας, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην κάμψη και απαιτούν λιγότερο τροχισμό του φυσικού δοντιού από άλλες αποκαταστάσεις. Επιπλέον, η μονολιθική τους μορφή, αποκλείει τον κίνδυνο εμφάνισης ρωγμών στην αισθητική επικάλυψη. (42)

Η μηχανική αντοχή της μονολιθικής ζirkονίας έχει αξιολογηθεί σε πολλές μελέτες. Όσον αφορά στην αντοχή στη θραύση των στεφανών σταθεροποιημένης τετραγωνικής μονολιθικής ζirkονίας, οι στεφάνες πλήρους κάλυψης είχαν ξεκάθαρα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με αποκαταστάσεις με αισθητική επικάλυψη και στεφάνες διπυριτικού λιθίου. (90) (91)

Οι αστοχίες των ολοκεραμικών αποκαταστάσεων γεφυρών εμφανίζονται κυρίως στην ιστική περιοχή των συνδέσμων τους. Οι Lopez-Suarez et. al. μελέτησαν την αντοχή στη θραύση και το μοτίβο κατάγματος μονολιθικών αποκαταστάσεων και αποκαταστάσεων με επικάλυψη, εντοπίζοντας την αρχή του κατάγματος στην περιοχή του μεσοδόντιου τριγώνου των αποκαταστάσεων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, το κάταγμα στη συνέχεια προχώρησε προς την μασητική επιφάνεια του γεφυρώματος, διαγώνια μέσω του σημείου φόρτισης. Οι μονολιθικές αποκαταστάσεις ωστόσο έχουν δείξει διαφορετικό μοτίβο θραύσης. Τα καταστροφικά κατάγματα αρχίζουν στην μασητική επιφάνεια των

συνδέσμων και του γεφυρώματος. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο μοτίβο θραύσης. (88)

Όσο αφορά τη θραύση και τα κατάγματα των αποκαταστάσεων, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως έχουν παρατηρηθεί αρκετοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή στη θραύση των αποκαταστάσεων σε *in vitro* μελέτες: η μικροδομή, η τεχνική κατασκευής, η διαδικασία επικάλυψης των αποκαταστάσεων, εάν έχουν επικάλυψη, η επιφανειακή τους επεξεργασία, η χημική συγκόλλησή τους στο κολόβωμα, καθώς και οι συνθήκες του εκάστοτε πειράματος, δηλαδή οι συνθήκες αποθήκευσης, οι δοκιμασίες κόπωσης που χρησιμοποιήθηκαν ή η κατεύθυνση και η θέση του εφαρμοσμένου φορτίου. Επομένως, η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μελετών είναι δύσκολη. Ωστόσο, σύμφωνα με την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των Kontopasaki et. al., παρά τις οποιεσδήποτε διαφορές, είτε στην κατασκευή ή στη σύνθεσή τους, δείχτηκε πως οι αποκαταστάσεις πολλαπλών μονάδων ανταποκρίνονται στην τεχνητή γήρανση κατά την προσομοίωση μάρσησης εντός των αποδεκτών ορίων. Αυτό πιθανόν να συνηγορεί υπέρ μιας καλής συμπεριφοράς των κεραμικών ζirkονίας στις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις, όπως αυτές απαντώνται στο στοματικό περιβάλλον. (41) (42) (88)

Οι Schriwer et al. ερεύνησαν εάν οι μέθοδοι παραγωγής ή η σύνθεση των διαφόρων υλικών ζirkονίας, επηρεάζουν το φορτίο θραύσης, τον τύπο θραύσης, την εσωτερική εφαρμογή και την εφαρμογή των ορίων των στεφανών. Στην έρευνα, πέντε εργαστήρια παρασκεύασαν δέκα πανομοιότυπες στεφάνες προγομφίου, το καθένα χρησιμοποιώντας ζirkονία διαφορετικής σύνθεσης, από έξι διαφορετικές εταιρίες. Συγκρίνοντας την αντοχή των πλήρως έναντι των μερικώς πυροσυσσωματωμένων στεφανών, συμπέραναν ότι οι πλήρως πυροσυσσωματωμένες Y-TZP στεφάνες είχαν την καλύτερη ποιότητα ορίων καθώς και την υψηλότερη αντοχή στη θραύση. Έχοντας όμως υπόψη τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου, τονίζεται η σημασία της καλής εφαρμογής ορίων για την καλή απόδοση της αποκατάστασης. (41)

Η αισθητική των αποκαταστάσεων βελτιώνεται όσο το υλικό αναπτύσσεται και καθώς η διαδικασία κατασκευής εκτελείται από μηχανήματα, ο χρόνος κατασκευής τους είναι μειωμένος. (42) Οι νεότερες γενιές ζirkονίας εμφανίζουν βελτιωμένη ημιδιαφάνεια σε βάρος της αντοχής. Επιπλέον, οι ημιδιαφανείς αποκαταστάσεις πλήρους κάλυψης

μονολιθικής ζirkονίας χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο, ως αποτέλεσμα της προόδου της τεχνολογίας CAD/CAM. Η πιο αδιαφανής ζirkονία πρώτης γενιάς προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή στην κάμψη και ενδείκνυται για την οπίσθια περιοχή του στόματος, ενώ η ζirkονία με περισσότερη διαφάνεια εμφανίζει την πιο φυσική, αισθητική εμφάνιση αλλά χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες. Η παρουσία κυβικής ζirkονίας σε ημιδιαφανείς συνθέσεις είναι υπεύθυνη για τις βελτιωμένες αυτές οπτικές ιδιότητες, φέροντας όμως μια σημαντική μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Η ζirkονία με 5 mol-% υττρίας συγκεκριμένα, αναφέρεται πως φέρει ημιδιαφάνεια παρόμοια με του διπυριτικού λιθίου. (41) (92)

Συνολικά, πολλές έρευνες κατέληξαν ότι η κυβική ζirkονία υψηλής ημιδιαφάνειας παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες λόγω της έλλειψης του μηχανισμού μετασχηματισμού σκλήρυνσης και αυτό μπορεί να θέσει σε κίνδυνο σε κλινικές περιπτώσεις όπου ασκούνται υψηλά φορτία. Η αύξηση της περιεκτικότητας υττρίου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της μηχανικής αντοχής, κάτι που παρατηρήθηκε μετά από τεχνητή γήρανση. Ωστόσο, ακόμα και τα υλικά υψηλής ημιδιαφάνειας παρουσιάζουν αποδεκτή αντοχή στη θραύση (για κλινική χρήση) υπερβαίνοντας τα 3000 N. (93)

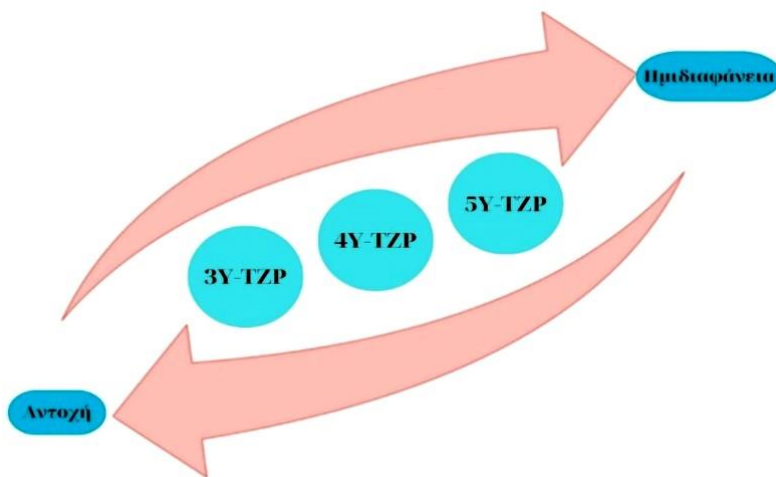
Στην έρευνα των Nishio et al., τετραγωνική ζirkονία υψηλής ημιδιαφάνειας έδειξε την υψηλότερη αντοχή στην κόπωση μετά από κυκλική φόρτιση, σε σύγκριση μεταξύ ενός αστριούχου κεραμικού, ενός υλικού τύπου κεραμικού δικτύου διηθημένου με πολυμερές, ενός υαλοκεραμικού διπυριτικού λιθίου και ενός υαλοκεραμικού διπυριτικού λιθίου με ενίσχυση ζirkονίας. Οι Pereira et al. συνέκριναν τρία υλικά σταθεροποιημένης ζirkονίας με διαφορετικές τιμές ημιδιαφάνειας (δεύτερης γενιάς Katana ML/HT και τρίτης γενιάς Katana STML και UTML), με βάση τις μηχανικές ιδιότητες υπό και χωρίς πίεση, την μικροδομή (ποσότητα μονοκλινούς, τετραγωνικής και κυβικής φάσης) και την επιφανειακή μορφολογία, πριν και μετά από γήρανση. Τα δείγματα της τρίτης γενιάς δεν παρουσίασαν μετασχηματισμό σκλήρυνσης μετά από γήρανση και έφεραν σημαντικά κατώτερες μηχανικές ιδιότητες. Παρατηρήθηκε πως όλες οι ρωγμές άρχισαν από επιφανειακές ατέλειες στην επιφάνεια όπου εφαρμόζεται εφελκυσμός. Οι Camposilvan et al. εξέτασαν τέσσερα δείγματα με σκοπό την μελέτη της ημιδιαφάνειας σε σχέση με την αντοχή της ζirkονίας. Τα δείγματα αυτά αποτελούνταν από ένα αδιαφανές δείγμα έναντι

τριών δειγμάτων βελτιωμένης ημιδιαφάνειας. Η ημιδιαφανής ζirkονία παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερη αντοχή σε σύγκριση με την συμβατική, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να ασκείται επιφύλαξη όσο αφορά την κλινική χρήση. Μετά από δοκιμές μάρησης πάνω σε δείγματα μονολιθικής ζirkονίας που έφεραν διαφορετικό πάχος τοιχωμάτων και επιφανειακή επεξεργασία, οι Ozer et al. προτείνουν ως ιδανικό πάχος μεταξύ 0.7 και 1.3 mm για την κατασκευή αποκαταστάσεων. Στην ανασκόπηση των Kontopasaki et.al., η επιφανειακή κατεργασία πριν την τελική πυροσυσσωμάτωση έδειξε να ενισχύει την αντοχή στη κάμψη του υλικού, ενώ η στίλβωση και η εφυάλωση δεν είχαν επίδραση στην αντοχή του υλικού. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε έρευνες των Chougule et. al., όπου ερευνήθηκε η επίδραση στίλβωσης και εφυάλωση στην αντοχή στη κάμψη δειγμάτων μονολιθικής ζirkονίας, και Kumchai et. al., που εξέτασαν την επίδραση της εφυάλωσης στην αντοχή στη κάμψη υλικών υψηλής ημιδιαφάνειας. Η εφυάλωση είχε είτε θετική ή καμία επίδραση σε μερικώς σταθεροποιημένα δείγματα ζirkονίας, αντίστοιχα. (41) (94) (54) (95)

Σε έρευνα των Yin et al. μελετήθηκε η δυνατότητα φοράς φορτίου των στεφανών μονολιθικής ζirkονίας πάνω σε στεφάνες που είχαν υποστεί διαφορετικές μορφές στίλβωσης. Αναφέρουν πως η αντοχή στην θραύση των στεφανών μονολιθικής ζirkονίας αυξήθηκε μετά από λείανση, καθώς και το ότι η λείανση ενδέχεται να μειώσει την ποσότητα μονοκλινικής φάσης. Η έρευνα των Nam et al. ασκήθηκε πάνω σε ημιδιαφανείς μονολιθικές στεφάνες με σκοπό να μελετηθούν οι αλλαγές που μπορεί να προκληθούν από εφυάλωση και γήρανση στην αντοχή στην κάμψη. Κατέληξαν στο ότι η εφυάλωση επέφερε σημαντική μείωση στην αντοχή στην κάμψη, ενώ δεν υπήρχαν σημαντικές επιδράσεις λόγω γήρανσης. Λαμβάνοντας όλα αυτά υπόψιν, καθώς και την πιο πρόσφατη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των Moncayo et.al., η χρήση τρίτης γενιάς ζirkονίας ενδείκνυται σε στεφάνες στην οπίσθια περιοχή του στόματος και σε γέφυρες τριών μονάδων στην περιοχή των προγομφίων και πρόσθια και απαιτείται πολύ καλή επιφανειακή επεξεργασία. Οι Moncayo et.al. ωστόσο προσθέτουν πάνω σε αυτό ότι θα ήταν ιδανικό οι μονολιθικές αποκαταστάσεις να μην υποβάλλονται σε επιπρόσθετη επιφανειακή επεξεργασία μετά το τελικό φινίρισμα. (41) (54) (93) (43)

Υπάρχουν επίσης ενδοιασμοί όσον αφορά την αποτριβή των ανταγωνιστών και οι απόψεις είναι ανάμεικτες. Κατά την εισαγωγή στο στόμα, η συγκλεισιακή προσαρμογή των

αποκαταστάσεων μπορεί να τραχύνει την συγκλίνουσα επιφάνεια, απαιτώντας έτσι επιπρόσθετη στίλβωση της προσαρμοσμένης περιοχής. Επιπλέον, μέρος της επιφανειακής επίστρωσης (εφυάλωμα) χάνεται μετά από σχετικά μικρό διάστημα κλινικής λειτουργίας, με αποτέλεσμα την αυξημένη τραχύτητα της επιφάνειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη φθορά της αδαμαντίνης των ανταγωνιστών. Ωστόσο, χάρη στην διεξοδική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που έγινε από τους Kontonasaki et. al., ξέρουμε πως η στίλβωση, μαζί με την εφυάλωση της ζirkονίας, μειώνει σημαντικά την τραχύτητα της επιφάνειας των αποκαταστάσεων. (Παρόλο που η φθορά που προκαλεί η ζirkονία είναι περισσότερη από άλλες αποκαταστάσεις στην αγορά, η φθορά αυτή είναι εντός των αποδεκτών ορίων.) (42) (96) (97)



**Εικόνα 10. Περιληπτική περιγραφή της σχέσης μεταξύ της αντοχής της ζirkονίας και της περιεκτικότητας της ζirkονίας σε υτρία**

Αυτή η φθορά ωστόσο ενδέχεται να είναι πολύ πιο επιζήμια σε περιπτώσεις όπου οι ενδοστοματικές τάσεις είναι υψηλότερες από το σύννηθες, σε βρυγμομανείς ασθενείς. Σε σχετικά σύγχρονη έρευνα με ζirkονία 2<sup>ης</sup> γενιάς, οι Koenig et. al. συμπεριέλαβαν ασθενείς με βρουξιισμό. Η συγκεκριμένη μελέτη αποσκοπούσε στη διερεύνηση, πρώτων, των κλινικών αποτελεσμάτων των αποκαταστάσεων ζirkονίας δεύτερης γενιάς, συμπεριλαμβανομένων των ασθενών με κλινικά συμπτώματα βρουξιισμού, και δεύτερων, της εξέλιξης της φθοράς του υλικού. Από τις 95 μονολιθικές αποκαταστάσεις, 85 τοποθετήθηκαν σε εμφυτεύματα και 10 σε φυσικά δόντια. Τα μισά από τα σημεία σύγκλισης γυαλίστηκαν χωρίς να τοποθετηθεί εφυάλωμα και οι αποκαταστάσεις

αξιολογήθηκαν σε συνθήκες ex-vivo, κατά την έναρξη της έρευνας, μετά από 6 μήνες, 1 έτος και 2 έτη. Το 80% των καταστροφικών αστοχιών σημειώθηκε σε ασθενείς με κλινικά χαρακτηριστικά βρουξισμού (61,7% των ασθενών 45 ασθενών). Δυστυχώς τα δεδομένα πάνω στο θέμα του βρουξισμού είναι περιορισμένα, όπως αναφέρουν οι Melo και οι Laumbacher et. al. στις ανασκοπήσεις τους, της βιβλιογραφίας. Επιπροσθέτως, οι Laumbacher et. al. αναφέρουν ότι παρά την συχνότητα του βρουξισμού σε ασθενείς, ο βρουξισμός αποτελεί κριτήριο αποκλεισμού στις περισσότερες μελέτες. Προς το παρόν δεν μπορούν να διατυπωθούν συμπεράσματα με σιγουριά. (42) (98) (99) (100) (101)

Η ζirkονία τέταρτης γενιάς παρουσιάζει καλύτερη αντοχή από την προηγούμενη γενιά και παρόμοιο βαθμό φθοράς ανταγωνιστών, χωρίς να χρειάζεται διαφορετική επιφανειακή επεξεργασία ή διαδικασία συγκόλλησης. Αν και η περιοχή των γομφίων περιλαμβάνεται στις ενδείξεις του υλικού, τονίζεται η σημασία της προσοχής στις οδηγίες των κατασκευαστών κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού της αποκατάστασης. Ωστόσο, η αντοχή της στη γήρανση είναι χαμηλότερη από την ζirkονία τρίτης γενιάς, ως επακόλουθο της κυβικής φάσης που βρίσκεται στην ζirkονία τρίτης γενιάς. (43) (45)

Πολλές έρευνες αναφέρονται στα υλικά που χρησιμοποιούνται πολύ γενικά, κυρίως λόγω του τρόπου με τον οποίο η ζirkονία εξελίσσεται σαν υλικό, κάνοντας την διαφοροποίηση μεταξύ των γενεών δύσκολη. Επιπροσθέτως, πολύ λίγες εργασίες αναφέρουν οικονομικά αποτελέσματα όπως η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. (42)

## **7. Συμπέρασμα**

Συνολικά, η μονολιθική ζirkονία είναι μια καλή επιλογή για χρήση σε αποκαταστάσεις της οπίσθιας περιοχής του στόματος. Νέα υλικά ζirkονίας και τεχνικές επεξεργασίας εμφανίζονται καθώς ο τομέας εξελίσσεται με ρυθμούς σχεδόν ιλιγγιώδεις. Η επιλογή υλικών για χρήση, ως επακόλουθο, γίνεται δύσκολη, και εν τέλει, εξαρτώμενη σε μεγάλο βαθμό από τον εκάστοτε θεράποντα ιατρό και απαιτεί καλή και αναλυτική ενημέρωση και γνώση. Συμπερασματικά:

- Οι ιδιότητες της ζirkονίας επιτρέπουν την κατασκευή αποκαταστάσεων που μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της οπίσθιας περιοχής του στόματος, και έχουν περιορισμένα μειονεκτήματα.

- Η αντοχή της ζirkονίας έχει σχέση αντιστρόφως ανάλογη με την περιεκτικότητά της σε υτρία. Λόγω των απαιτήσεων που πρέπει να πληρούν οι αποκαταστάσεις της οπίσθιας περιοχής του στόματος, μια καλύτερη επιλογή είναι να δοθεί έμφαση στην αντοχή της αποκατάστασης, καθώς η αισθητική δεν είναι η μεγαλύτερη προτεραιότητα. Σε αυτή την περίπτωση η ζirkονία δεύτερης γενιάς είναι μια καλή λύση. Οι ζirkονίες τέταρτης και πέμπτης γενιάς παρουσιάζουν επίσης μια καλή εναλλακτική αλλά ως νεότερα υλικά δεν είναι αρκετά διεξοδικά δοκιμασμένες.
- Οι φθορές που σχετίζονται με τις αποκαταστάσεις μονολιθικής ζirkονίας, τόσο της ίδιας της ζirkονίας όσο και των ανταγωνιστών οπίσθιων δοντιών, παραμένουν ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα της, ανεξαρτήτως της γενιάς. Η στίλβωση και η εφυάλωση περιορίζουν τις φθορές αυτές, αλλά η πιθανή επιδείνωση που προκύπτει από την παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα δεν μπορεί να εξαλειφθεί τελείως. Κατά συνέπεια δημιουργείται περιθώριο για βελτίωση.
- Απαιτείται περεταίρω έρευνα πάνω στις νέες ζirkονίες τέταρτης και πέμπτης γενιάς, με ιδιαίτερη έμφαση στους παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή της.
- Τα δείγματα και οι παράμετροι έρευνας παραμένουν περιορισμένα. Προτείνεται η διεύρυνση τους έτσι ώστε να γίνει πιο προσιτή καθώς και καλύτερα κατανοητή η ζirkονία και οι γενιές τις.



## Βιβλιογραφία

1. Awad S., Elkafrawy D. Elkafrawy M., Quoandi M., The ancient Egypt and the need for dental care: A historical appraisal, *International Journal of Dentistry and Oral Care*, 2022;1(2)
2. Forshaw R.J., The practice of dentistry in ancient Egypt, *British Dental Journal*, 2009;206(9);482
3. <https://www.biusante.parisdescartes.fr/sfhad/actes/lart-dentaire-dans-l-egypte-pharaonique/> Προσπελάστηκε στις 30/5/2024
4. <https://www.mindat.org/min-4421.html> Προσπελάστηκε στις 30/5/2024
5. El-Ghany.O.S.A., Sherief A.H., Zirconia based ceramics, some clinical and biological aspects: Review, *Future Dental Journal*, 2016;2(2);55-64
6. Kelly J.R., Nishimura I., Campbell D.S., Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives, 1996;75(1);18-19
7. Kelly J.R., Benetti P., Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice, *Australian Dental Journal*, 2011;56(Suppl 1);84–96
8. Al-Wahandi A., The roots of dental porcelain: A brief historical perspective, *Dental Materials*, 1999;6(2);43
9. Buj-Corral I., Vidal D., Tejo-Otero A., Padilla J.A., Xuriguera E., Fenollosa-Artes F., Characterization of 3D printed yttria-stabilized zirconia parts for use in prostheses, *Nanomaterials*, 2021;11(11);1
10. Weinstein M., Weinstein L.K., Katz S., Weinstein A., Fused porcelain-to-metal teeth, US Patent no. 3 052 982., 1962
11. Branco A.C., Santos T., Polido M., Colaço R., Serro A.P., Figueiredo-Pina C.G., Wear of zirconia/leucite glass-ceramics composites: A chewing simulator study, *Ceramics International*, 2022;48(4);4604-4613
12. Manticore P.F., Iommetti P.R., Raffaelli L., An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications, *Journal of Dentistry*, 2007;35(11);819-826
13. Heimann R.B. Lehmann H.D., Bioceramic coatings for medical implants and techniques, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1<sup>st</sup> Edition, Weinheim 2015:pp 2-10
14. ChangY.-T., Wu Y.-L., Chen H.-S., Tsai M.-S., Chang C.-C, WuY.-J.A., Comparing the fracture resistance and modes of failure in different types of CAD/CAM zirconia

- abutments with internal hexagonal implants: An in vitro study, *Materials*, 2022:15(7);2656
15. Wataha C.J., Biocompatibility of dental casting alloys: A review, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2000:83(2);223-234
  16. Shenoy A., Shenoy N., Dental ceramics: An update, *Journal of Conservative Dentistry*, 2010:13(4);195-203
  17. Kelly J.R., Dental ceramics: Current thinking and trends, *Dental Clinics of North America*, 2004:48(2);513-530
  18. 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, *International Journal of Prosthodontics*, 2015:28(3);227-235
  19. Σταθόπουλος Απ. Α., Οδοντιατρικά υλικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Παριζιάνου, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Αθήνα 2012:Σελ 203-205
  20. Σπυρόπουλος Ν. Κ., Εκπαιδευτική εργαστηριακή μεταλλοκεραμική, Οδοντιατρικές Εκδόσεις Μπονισιέλ, Αθήνα 2015:Σελ 76-81
  21. Kelly J.R., What is this stuff anyway, *Journal of the American Dental Association*, 2008:139(4);4S-7S
  22. de Lucena M. A., Relvas A, Lefrançois M, Venício Azevedo M, Sotelo P, Sotelo L. Resin matrix ceramics – mechanical, aesthetic and biological properties, *Revista Gaúcha Odontologia*, 2021:69;20210018
  23. Çelik E., Şahin S. C., Dede D. Ö., Effect of surface treatments on the bond strength of indirect resin composite to resin matrix ceramics, *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 2019:11(4);223-231.
  24. Bayazit E. Ö., Microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to CAD/CAM resin-matrix ceramics prepared with different surface treatments, *The international Journal of Prosthodontics*, 2019:32(5);433-438
  25. Benalcazar Jalkh E.B., E.T.P. Bergamo, K.N. Monteiro, P.F. Cesar, L.A. Genova, A.C.O. Lopes, *et al.*, Aging resistance of an experimental zirconia-toughened alumina composite for large span dental prostheses: optical and mechanical characterization, *Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2020:104;103659
  26. Fabbri P., Piconi C., Burrese E., Magnani G., Mazzanti F., Mingazzini C., Lifetime estimation of a zirconia–alumina composite for biomedical applications, *Dental Materials*, 2014:30(2):138-142

27. Douillard T., Chevalier J., Descamps-Mandine A., Warner I., Galais Y., Whitaker P., Wu J.J., Wang Q.Q, Comparative ageing behaviour of commercial, unworn and worn 3Y-TZP and zirconia-toughened alumina hip joint heads, *Journal of the European Ceramic Society*, 2012:32(8);1529-1540
28. Zadorozhnaya O.Y., Khabas T.A., Tiunova O.V., Malykhin S.E., Effect of grain size and amount of zirconia on the physical and mechanical properties and the wear resistance of zirconia-toughened alumina, *Ceramics International*, 2020:46(7);9263-9270
29. Zhang X., Wu X., Shi J., Additive manufacturing of zirconia ceramics: A state-of-the-art review, *Journal of Materials Research and Technology*, 2020:9(4);9029
30. Zarone F., M. I. Di Mauro, Ausiello P., Ruggiero G., Sorrentino R, Current status on lithium disilicate and zirconia: A narrative review, *BMC Oral Health*, 2019:19(1);134
31. Denry I., Kelly J.R., State of the art of zirconia for dental applications, *Dental Materials*, 2008:24(3);299-307
32. Jitwirachot K., Rungsiyakull P., Holloway J.A., Jiamahasap W., Wear behavior of different generations of zirconia: Present literature, *International Journal of Dentistry*, 2022:9341616.
33. Alraheam I.A., Effect of fatiguing and thermocycling on the mechanical and optical properties of different generations of zirconia, University of North Carolina, Chapel Hill 2018:pp 5-34
34. Gautam C., Joyner J., Gautam A., Rao J., Vajtai R., Zirconia based dental ceramics: Structure, mechanical properties, biocompatibility and applications, *The Royal Society of Chemistry*, 2016:45(46);19194-19215
35. Harada K, Raigrodski A. J., Chung K.-H., Flin B., A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2016:116(2);257-263
36. Tuncel İ., Turp I., Usumez A., Evaluation of translucency of monolithic zirconia and framework zirconia materials, *Journal of Advanced Prosthodontics*, 2016;8(3):181-186
37. Θεοχαρόπουλος Α., Κεραμικά αισθητικής επικάλυψης, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Ενότητα 5, Αθήνα 2020, σελ 18
38. Nordahl N., von Steyern P.V., Larsson C., Fracture strength of ceramic monolithic crown systems of different thickness, *Journal of Oral Science*, 2015:57(3);255-261

39. Deville, S., J. Chevalier, G. Fantozzi, J.F. Bartolomé, J.n. Requena, J.S. Moya, et al. Low-temperature ageing of zirconia-toughened alumina ceramics and its implication in biomedical implants, *Journal of the European Ceramic Society* 2003;23(15);2975-2982
40. Rinke S., Metzger A., Ziebolz H., Multilayer super-translucent zirconia for chairside fabrication of a monolithic posterior crown, *Case Reports in Dentistry*, 2022;2022;1-10
41. Kontonasaki E., Giasimakopoulos P., Rigos A. E., Strength and aging resistance of monolithic zirconia: An update to current knowledge, *Japanese Dental Science Review*, 2020;56(1);1–23
42. Kontonasaki E., Rigos A. E., Iliá C, Istantos T., Monolithic zirconia: An update to current knowledge. Optical properties, wear, and clinical performance, *Dental Journal*, 2019;7(3);90
43. Moncayo A. A. M., Peñate L., Arregui M., Giner-Tarrida L., State of the art of of different zirconia materials and their indications according to evidence-based clinical performance: A narrative review, *Dentistry Journal*, 2023;11(1);18
44. <https://www.kuraraynoritake.eu/fi/newsroom/katana-zirconia-yml-three-experts-classifying-a-new-zirconia> Προσπελάστηκε στις 3/11/2023
45. Behr M., Füllerer J, Strasser T, Preis V, Zacher J: Are zirconias of today different? *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift International* 2020;2(4):114–118
46. Zhang Y., Is zirconia the holy grail of all-ceramic restorations?, *The International Journal of Prosthodontics*, 2022;35(4):378-379
47. Li J., Liu Y., Hermansson L., Soremark R, Evaluation of biocompatibility of various ceramic powders with human fibroblasts in vitro, *Clinical Materials*, 1993;12(4):197-201
48. Degidi M., Artese L., Scarano A., Perrotti V., Gehrkte P., Piattelli A. Inflammatory infiltrate, microvessel density, nitric oxide syntase expression, vascular endothelial growth factor expression and proliferative activity in peri-implant soft tissues around titanium and zirconium oxide healing caps, *Journal of Periodontology*, 2006;77(1):73-78
49. Rimondi L., Cerroni L., Carrassi A., Torricelli P., Bacterial colonization of zirconia ceramic surfaces: an in vitro and in vivo study, *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 2002;17(6):793-798
50. Koenig V, Wulfman C.P., Derbanne M.A., Dupont N M., Le Goff S. O., Tang M-L, Seidel L., Dewael T.Y., Vanheusden A.J., Mainjot A.K., Aging of monolithic zirconia dental

prostheses: Protocol for a 5-year prospective clinical study using ex vivo analyses, *Contemporary Clinical Trials Communications*, 2016:4(17);25-32

51. Chevalier J., Deville S., Münch E., Jullian R., Lair F., Critical effect of cubic phase on aging in 3mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis, *Biomaterials*, 2004:25(24);5539–5545
52. Chevalier J. What future for zirconia as a biomaterial?, *Biomaterials*, 2006:27(4);535-543
53. Allain J., Le Mouel S., Goutallier D., Voisin M. C., Poor eight-year survival of cemented zirconia-polyethylene total hip replacement, *Journal of Bone and Joint Surgery*, 1999:81-B(5);835-842
54. Camposilvan E., Leone R., Gremillard L., Sorrentino R., Zarone F., Ferrari M., Chevalier J., Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications, *Dental Materials*, 2018:34(6);879-890
55. Komine F., Blatz M. B., Matsumura H., Current status of zirconia-based fixed restorations, *Journal of Oral Science*, 2010:52(4);531-539
56. Bremer, F., Grade S., Kohorst P., Stiesch M., In vivo biofilm formation on different dental ceramics, *Quintessence International*, 2011:42(7);565-574.
57. Stober, T., Bermejo J., Rammelsberg P., Schmitter M., Enamel wear caused by monolithic zirconia crowns after 6 months of clinical use, *Journal of Oral Rehabilitation*, 2014:41(4);314-322
58. Kniha, K., Schlegel K.A., Kniha H., Modabber A., Holzle F., Kniha K., Evaluation of peri-implant bone levels and soft tissue dimensions around zirconia implants-a three-year follow-up study, *International Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 2018:47(4);492-498
59. Butz, F., Heydecke G., Okutan M., Strub J., Survival rate, fracture strength and failure mode of ceramic implant abutments after chewing simulation, *Journal of Oral Rehabilitation* 2005:32(11);838-843
60. Hosseini M., Worsaae N., Gotfredsen K., Survival rate of implant-supported, single-tooth restorations based on zirconia or metal abutment in patients with tooth agenesis: A 5-years prospective clinical study, *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 2024:101970
61. Elter B, Tak Ö, Effect of substrate adjacent to the scan region on the trueness of four intraoral scanners: An in vitro study, *Journal of Dentistry*, 2023:138;104729.

62. Salamon D., MacA K., Shen Z., Rapid sintering of crack-free zirconia ceramics by pressure-less spark plasma sintering, *Scripta Materialia*, 2012:66(11);899-902
63. Ferrari M, Sorrentino R, Cagidiaco C, Goracci C, Vichi A, Gherlone E, Zarone F., Short-term clinical performance of zirconia single crowns with different framework designs: 3-year clinical trial, *American Journal of Dentistry*, 2015:28(4);235–40
64. Zarone F, Russo S, Sorrentino R., From porcelain-fused-to-metal to zirconia: clinical and experimental considerations, *Dental Materials*, 2011:27(1);83–96
65. Alshahrani A.M., Lim C.H., Wolff M.S., Janal M.N., Zhang Y., Current speed sintering and high-speed sintering protocols compromise the translucency but not strength of yttria-stabilized zirconia, *Dental Materials*, 2024:40(4);664-673
66. Galante R., Figueiredo-Pina C.G., Serro A.P., Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review, *Dental Materials*, 2019:35(6);825–46
67. Khanlar L.N., Salazar R.A., Tahmaseb A., Zandinejad A., Additive manufacturing of zirconia ceramic and its application in clinical dentistry: A review, *Dentistry Journal*, 2021:9(9);104
68. Braian M., Jimbo R., Wennerberg A., Production tolerance of additive manufactured polymeric objects for clinical applications, *Dental Materials*, 2016:32(7);853–61
69. Zenthöfer A., Schwindling F.S., Schmitt C., Ilani A., Zehender N., Rammelsberg P., Rues S., Strength and reliability of zirconia fabricated by additive manufacturing technology, *Dental Materials*, 2022:15(7);1565-1574
70. Kaplan M., Park J., Kim S.Y., Ozturk A., Production and properties of tooth-colored yttria stabilized zirconia ceramics for dental applications, *Ceramics International*, 2018:44(2);2413-2418
71. Sedda M., Vichi A., Carrabba M., Capperucci A. Louca C., Ferrari M., Influence of coloring procedure on flexural resistance of zirconia blocks, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2015:114(1);98-102
72. Pittayachawan P., McDonald A., Petrie A., Knowles J.C., The biaxial flexural strength and fatigue property of Lava™ Y-TZP dental ceramic, *Dental Materials*, 2007:23(8);1018-1029
73. Hjerpe J., Närhi T., Fröberg K., Vallittu P.K., Lassila L.V.J., Effect of shading the zirconia framework on biaxial strength and surface microhardness, *Acta Odontologica Scandinavica*, 2008:66(5);262-267
74. Eldafrawy M., Bekaert S., Nguyen J.-F., Sadoun M., Mainjot A., Bonding properties of third-generation zirconia CAD-CAM blocks for monolithic restorations to composite

and resin-modified glass-ionomer cements, *Journal of Prosthodontic Research*, 2021:66(3);1-8

75. Luthy H., Loeffel O., Hammerle C.H., Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic, *Dental Materials*, 2006:22(2);195-200
76. Amaral M., Belli R., Cesar P.F., Valandro L.F., Petschelt A., Lohbauer U., The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia, *Journal of Dentistry*, 2014:42(1);90-98
77. Gomes A.L., Castillo-Oyague R., Lynch C.D., Montero J., Albaladejo A., Influence of sandblasting granulometry and resin cement composition on microtensile bond strength to zirconia ceramic for dental prosthetic frameworks, *Journal of Dentistry*, 2013:41(1);31-41
78. Le M., Larsson C., Papia E., Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia, *Dental Materials Journal*, 2019:38(3);480-489
79. Franco-Tabares S., Stenport V.F., Hjalmarsson L., Tam P.L. Johansson C.B., Chemical bonding to novel translucent zirconias: A mechanical and molecular investigation, *Journal of Adhesive Dentistry*, 2019:21(2);107-116
80. Sadid-Zadeh .R, Sahraoui H., Lawson B., Cox R., Assessment of tooth preparations submitted to dental laboratories for fabrication of monolithic zirconia crowns, *Dentistry Journal*, 2021:9(10);112
81. Schriwer C., Skjold A., Gjerdet N.R., Øilo M., Monolithic zirconia dental crowns. Internal fit, margin quality, fracture mode and load at fracture, *Dental Materials*, 2017:33(9);1012-1020
82. May L.G., Kelly J.R., Bottino M.A., Hill T., Effects of cement thickness and bonding on the failure loads of CAD/CAM ceramic crowns: multi-physics FEA modeling and monotonic testing, *Dental Materials* 2012:28(8);e99-109
83. Δρούκας Β., Λειτουργία και δυσλειτουργία του στοματογναθικού συστήματος, *Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιάνου*, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Αθήνα 2008:Σελ 40-42.
84. Chang Y.T., Wu Y.L., Chen H.S., Tsai M.H., Chang C.C., Wu A.Y.J., Comparing the fracture resistance and modes of failure in different types of CAD/CAM zirconia abutments with internal hexagonal implants: An in vitro Study, *Materials*, 2022:15; 2656.
85. Yesilyurt N.G., Tunsdemir A.R., An evaluation of the stress effect of different occlusion concepts on hybrid abutment and implant supported monolithic zirconia fixed prosthesis: A finite element analysis, *Journal of Advance Prosthodontics*, 2021:13(4);216-225

86. Δημητροπούλου Ε., Η εργαστηριακή διαδικασία στην ακίνητη προσθετική, Αθήνα 2004:Σελ 19-194
87. Κατσαρός Β., Προφορική συνέντευξη.
88. Lopez-Suarez C., Rodriguez V., Pelaez J., Agusting-Panadero R., Suarez M.J., Comparative fracture behavior of monolithic and veneered zirconia posterior, Dental Materials Journal, 2017:36(6);816-821.
89. Att W., Grigoriadou M., Strub J.R., ZrO<sub>2</sub> three-unit fixed partial dentures: Comparison of failure load before and after exposure to a mastication simulator, Journal of Oral Rehabilitation, 2007:34(4);282-290.
90. Zhang Y., Chai H., Lee J.J.W., Lawn B.R., Chipping resistance of graded zirconia ceramics for dental crowns, Journal of Dental Research, 2012:91(3);311-315
91. Sun T., Zhou S., Lai R., Liu R., Ma S., Zhou Z., Longquan S., Load-bearing capacity and the recommended thickness of dental monolithic zirconia single crowns, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2014:35;93-101
92. Rosentritt M, Kieschnick A, Stawarczyk B, Zahnfarbene Werkstoffe im Vergleich, Kleine Werkstoffkunde für Zahnärzte – Teil 4, Archiv-2019
93. Elsayed A., Meyer G., Wille S.K.M., Influence of the yttrium content on the fracture strength of monolithic zirconia crowns after artificial aging, Quintessence International, 2019:50(5);344-349
94. Pereira G.K.R., Guilardi L.F., Kiara S., Kleverlaan C.J., Rippe M.P., Valandro L.F., Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2018:85;57-65
95. Ozer F., Naden A., Turp V., Mante F., Effect of thickness and surface modifications on flexural strength of monolithic zirconia, Journal of Prosthetic Dentistry, 2018:119(6);987-993
96. Janyavula S., Lawson N., Cakir D., Beck P., Ramp L C., Burgess J.O., The wear of polished and glazed zirconia against enamel, The Journal of Prosthetic Dentistry, 2013:109(1);22-29
97. Beuer, F., Stimmelmayer, M., Gueth, J.F., Edelhoff, D., Naumann, M., In vitro performance of full-contour zirconia single crown, Dental Materials, 2012:28(4);449–456
98. Koenig V, Wulfman C, Bekaert S, Dupont N, Le Goff S, Eldafrawy M, et al. Clinical behavior of second-generation zirconia monolithic posterior restorations: Two-year



results of a prospective study with Ex vivo analyses including patients with clinical signs of bruxism, *Journal of Dentistry*, 2019;91:103229, Προσπελάστηκε 6/7/2022

99. El Mesbahi N., Moussaoui H., Benazouz I., Bennani A., The use of monolithic zirconia restorations for patients with bruxism, *International Journal of Medical Science and Dental Research*, 2021:4(6);7-12
100. Melo, G., Duarte, J., Pauletto, P., Porporatti, AL., Stuginski-Barbosa, J., Winocur, E., Flores-Mir, C., De Luca Canto, G. Bruxism: An umbrella review of systematic reviews, *Journal of Oral Rehabilitation*, 2019:46(7);666-690
101. Laumbacher H, Strasser T, Knüttel H, Rosentritt M. Long-term clinical performance and complications of zirconia-based tooth- and implant-supported fixed prosthodontic restorations: A summary of systematic reviews. *Journal of Dentistry*. 2021:111;103723.