



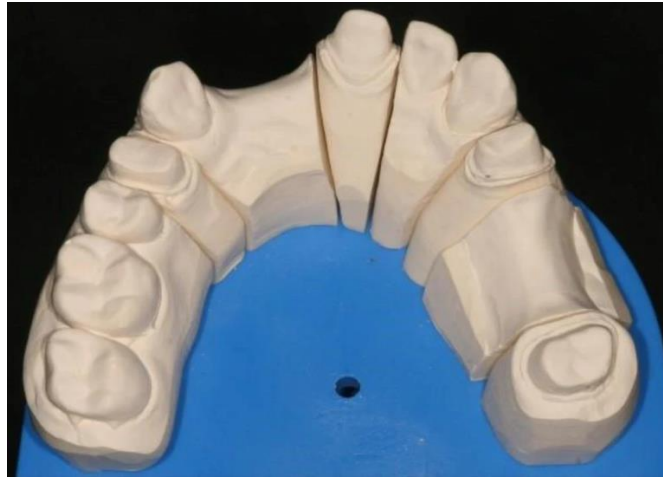
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΨΗΦΙΑΚΑ Ή ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΕΚΜΑΓΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ;



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

RONALD MUBIRU (16089)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΑΛΙΑΤΣΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

(ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΑΘΗΝΑ, 2023



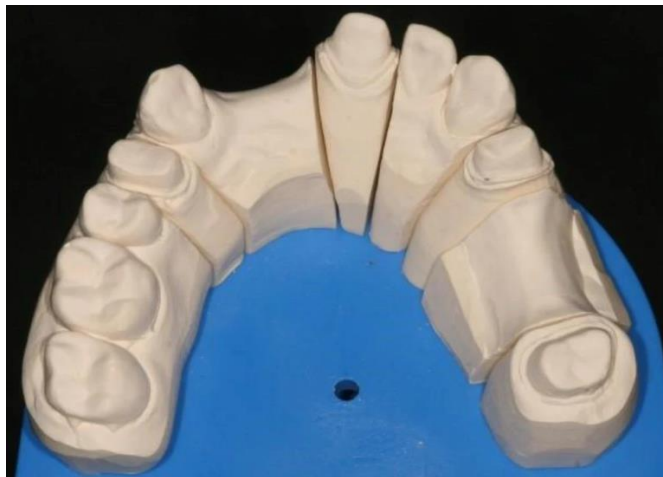
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

DIVISION DENTAL TECHNOLOGY

DIGITAL OR CLASSIC WORKING MODELS?



DISSERTATION

RONALD MUBIRU (16089)

SUPERVISOR: GALIATSATOS ARISTEIDIS

(ASSOCIATE PROFESSOR)

ATHENS, 2023

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΑΛΙΑΤΣΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ
Αναπληρωτής καθηγητής

ΜΕΛΟΣ

ΜΕΛΟΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος RONALD MUBIRU του SYLIVESTER, με αριθμό μητρώου 16089 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Βιοιατρικών Επιστημών του Τμήματος Οδοντικής Τεχνολογίας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



RONALD MUBIRU

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	1
Abstract.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Σκοπός.....	6
1.2 Ιστορική ανασκόπηση.....	7
2. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
2.1 Ακίνητες οδοντικές προσθέσεις.....	14
2.1.1 Είδη ακίνητων οδοντικών προσθέσεων.....	15
2.1.2 Οριακή εφαρμογή.....	17
2.1.3 Κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών.....	18
2.1.3.1 Πλήρως συμβατική ροή εργασίας.....	18
2.1.3.2 Μερικώς ψηφιακή ροή εργασία.....	22
2.1.3.3 Πλήρως ψηφιακή ροή εργασίας.....	23
2.2 Οδοντιατρικά εκμαγεία.....	24
2.2.1 Τύποι οδοντιατρικών εκμαγείων.	26
2.2.2 Είδη εκμαγείων.....	28
2.2.2.1 Κατασκευή ψηφιακών εκμαγείων.....	28
Α. Προσθετική μέθοδο κατασκευής (AM).....	29
Β. Αφαιρετική μέθοδο κατασκευής.....	31
2.2.3 Χαρακτηριστικά ενός καλού εκμαγείου.....	32
2.2.4 Υλικά κατασκευής εκμαγείων.....	33
2.2.4.1 υλικά κατασκευής συμβατικών εκμαγείων (γύψος).....	33
2.3 Συστήματα CAD/CAM.....	36
3. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.	
3.1 Εισαγωγή στα εκμαγεία.....	38
3.2 Συμβατικά εκμαγεία εργασίας.....	39
3.2.1 Κατασκευή των συμβατικών εκμαγείων εργασίας.....	39
3.2.2 Χαρακτηριστικά ενός καλού συμβατικού εκμαγείου εργασίας.....	41
3.2.3 πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	41
3.3 Ψηφιακά εκμαγεία εργασίας	41
3.3.1 Σαρωτές.....	42
3.3.1.1 Τύποι σαρωτών.....	42
3.3.1.2 Είδη σαρωτών	43
3.3.1.3 Ακρίβεια οπτικών σαρωτών έναντι μηχανικών σαρωτών.....	46
3.3.1.4 Εξωστοματική σάρωση.....	46
3.3.1.5 Ενδοστοματική σάρωση.....	46
3.3.1.6 Ενδοστοματικά έναντι συμβατικά οδοντικά αποτυπώματα.....	47
3.3.1.7 Ενδοστοματικές έναντι εξωστοματικές σαρώσεις.....	49
3.3.2 3D εκτυπωμένων εκμαγείων.....	51
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	54
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	75

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76
----------------------	----

Συντομογραφίες.

- CAD** = υπό βοηθούμενη από υπολογιστή σχεδίαση (computer aided design)
- CAM** = Υπό βοηθούμενη από υπολογιστή κατασκευή (computer aided manufacturing)
- 3D** = τρισδιάστατος
- ΕΣ** = Ενδοστοματικός σαρωτής
- LS** = εργαστηριακό σαρωτή
- AM** = Προσθετική κατασκευή
- SLA** = στερεολιθογραφία
- DLP** = προβολή ψηφιακού φωτός
- FDM** = fused deposition modeling (μοντελοποίηση με απόθεση λειωμένου υλικού)
- RP** = ταχείας πρωτοτυποποίηση (Προσθετική κατασκευή)
- NCM** = αυτοματοποιημένα συστήματα αριθμητικού ελέγχου
- FDP** = ακίνητη προσθετική εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή των ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων πραγματοποιείται στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο με την έμμεση μέθοδο, χρησιμοποιώντας αναπαραστάσεις της στοματικής κοιλότητας οι οποίες ονομάζονται οδοντικά εκμαγεία.

Το οδοντικό εκμαγεία είναι η θετική αναπαραστάση της στοματικής κοιλότητας του ασθενούς. Ακίνητες προσθετικές εργασίες κατασκευάζονται στα οδοντικά εκμαγεία εργασίας στο εργαστήριο και στη συνέχεια αποστέλλονται στον οδοντίατρο για να τοποθετηθούν στο στόμα του ασθενούς.

Η σωστή κατασκευή του εκμαγείου εργασίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχία των ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων, καθώς η ακρίβεια των οδοντικών εκμαγείων εργασίας επηρεάζει άμεσα την κλινική ακρίβεια των ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων που πρόκειται να κατασκευαστούν. Επομένως, στη περίπτωση που το εκμαγείο εργασίας δεν είναι ακριβές, ούτε η εφαρμογή της προσθετικής αποκατάστασης θα είναι κλινικά αποδεκτή.

Παραδοσιακά, τα συμβατικά εκμαγεία έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων, έχοντας αποδειχθεί εμπειρικά ότι προσφέρουν κλινικά αποδεκτή ακρίβεια και πιστότητα: απαραίτητες προϋποθέσεις για την κατασκευή σταθερών αποκαταστάσεων, οι οποίες θα εφαρμόζουν πλήρως στο στόμα, εξαλείφοντας την ανάγκη κλινικών παρεμβάσεων (για παράδειγμα περαιτέρω τρόχισμα δοντιών). Όμως, η χρήση συμβατικών εκμαγείων παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα πιθανότητα βλάβης και θραύσης, δύσκολη μεταφορά, δυσκολίες στην κοινή χρήση των πληροφοριών τους με άλλους συναδέλφους κ.λπ.¹

Τα τελευταία χρόνια, με την εισαγωγή της εξελιγμένης τεχνολογίας, τα ψηφιακά οδοντιατρικά εκμαγεία εργασίας έχουν εισαχθεί και στον κλάδο της ακίνητης προσθετικής. Η ψηφιακή οδοντική τεχνολογία παρέχει σήμερα τη δυνατότητα μέσω της ψηφιακής αποτύπωσης να κατασκευαστούν και ψηφιακά εκμαγεία εργασίας.

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η σύγκριση των δύο αυτών εκμαγείων στη βάση της μεθόδου κατασκευής, της ακρίβειάς τους, των πλεονεκτημάτων

και μειονεκτημάτων που σημειώνονται, καθώς και πρόσθετων παραγόντων, οι οποίοι κατέχουν καταλυτικό ρόλο για την υιοθέτησή τους στην ακίνητη προσθετική.

ABSTRACT

The manufacture of fixed restorations in a dental laboratory is done indirectly, using representations of the mouth cavity, which are called dental casts.

Dental casts are positive representations of the patient's mouth cavity. Fixed restorations are fabricated on working dental casts in a dental laboratory and then they are sent to the dentist to be placed into the patient's mouth.

The correct fabrication of the working cast is an indispensable prerequisite for the success of fixed prosthetic restorations as the accuracy of the working dental casts directly affects the clinical accuracy of the fixed prosthetic restorations to be manufactured. Therefore, when the working cast is not accurate, neither the fit of the prosthetic restoration will be clinically acceptable.

Traditionally, conventional casts have been used to manufacture prosthetic restorations, and it has been evident by experience that they offer clinically acceptable accuracy and precision; required for the manufacture of fixed restorations that will fit in the patient's mouth without clinical interventions. However, the use of conventional casts has some disadvantages like for example the risk of damage or breakage, difficulties in sharing their data with other professionals etc.¹

In the recent years, with the advent of improved technology, digital dental casts have been introduced in the fixed prosthodontics branch of dental practice. Today digital dental technology enables the fabrication of working casts through digital 3D printing technology.

The aim of this thesis is to compare these two casts on the basis of the method of construction, their accuracy, the advantages and disadvantages noted, as well as additional factors, which have a catalytic role for their adoption in fixed prosthodontics.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακρίβεια της εφαρμογής μίας ακίνητης προσθετικής αποκατάστασης κατασκευασμένης εκτός του στόματος – εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ακρίβεια των διαστάσεων της αναπαράστασης του στόματος επάνω στο οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί. Παραδοσιακά, η σκληρής γύψος αποτελεί το υλικό κατασκευής των εκμαγείων εργασιών. Ωστόσο, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 εισήχθη η τεχνολογία τρισδιάστατης (3D) σάρωσης και έκτοτε η τεχνολογία έχει βελτιωθεί κατακόρυφα. Σήμερα η χρήση ψηφιακών εκμαγείων έχει κάνει την εμφάνισή της στον κλάδο της ακίνητης προσθετικής και σε συνδυασμό με τους τρισδιάστατους (3D) εκτυπωτές, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ψηφιακών εκμαγείων.¹

Οδοντιατρικό εκμαγείο είναι η θετική αναπαράσταση των ανατομικών στοιχείων της στοματικής κοιλότητας.² Η σωστή κατασκευή ενός εκμαγείου εργασίας αποτελεί μία βασική προϋπόθεση για την επιτυχία των ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων. Στην παραδοσιακή μέθοδο λαμβάνεται ένα ενδοστοματικό αποτύπωμα με τη χρήση ενός ελαστομερούς υλικού αποτύπωσης και στη συνέχεια κατασκευάζεται ένα εκμαγείο εργασίας από τη γύψο. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή παρουσιάζει μία σειρά μειονεκτημάτων. Αρχικά, σημειώνεται η δυσφορία του ασθενούς με συναισθήματα πόνου, η φίμωση και η «άβολη» γεύση. Ταυτόχρονα, αναφερόμενοι στο ίδιο το υλικό μπορούμε να παρατηρήσουμε με την πάροδο του χρόνου την παραμόρφωσή του αποτυπώματος ή ακόμα κατά το στάδιο της κατασκευής του εκμαγείου ελλοχεύει ο κίνδυνος μόλυνσης από το σάλιο και το αίμα.³

Τα προβλήματα, όμως αυτά μπορούν να περιοριστούν χάρις τη δραματική ανάπτυξη της τρισδιάστατης (3D) ψηφιακής κατασκευαστικής βιομηχανίας, η οποία έχει εισβάλει και στον χώρο της οδοντικής τεχνολογίας. Αξιοποιώντας την εν λόγω τεχνολογία δίνεται η δυνατότητα κατασκευής ψηφιακών εκμαγείων – μέσω της ψηφιακής αποτύπωσης – με στόχο την κατασκευή ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων.

Για την κατασκευή ενός ψηφιακού εκμαγείου, η επιλεγμένη στοματική κοιλότητα πρέπει να ψηφιοποιηθεί και αυτό συντελείται με δύο τρόπους. Αφενός η σάρωση της στοματικής κοιλότητας μπορεί να γίνει άμεσα χρησιμοποιώντας έναν ενδοστοματικό σαρωτή (ΕΣ) είτε έμμεσα με τη σάρωση ενός αποτυπώματος ή εκμαγείου.

Η εν λόγω καινοτομία έχει συμβάλει σημαντικά στην υπερκέρραση ορισμένων μειονεκτημάτων της παραδοσιακής διαδικασίας κατασκευής, εξαλείφοντας τον πολυμερισμό του υλικού αποτύπωσης και διευκολύνοντας τη μεταφορά των αρχείων στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο, αφού πλέον αυτή συντελείται ψηφιακά.^{4,5}

Τα 3D οδοντικά εκμαγεία – προϊόντα των ψηφιακών αποτυπώσεων - μετατρέπονται σε φυσικά εκμαγεία είτε με την αφαιρετική είτε με την προσθετική μέθοδο κατασκευής. Στην αφαιρετική μέθοδο αφαιρείται υλικό από ένα μπλοκ υλικού (για παράδειγμα PMMA) με ένα μηχάνημα κοπής με φρέζες διαφορών μεγεθών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (φρεζάρισμα ακριβείας), για να δημιουργηθεί τελικά το επιθυμητό σχήμα. Στην προσθετική μέθοδο χτίζονται 3D σχήματα με την προσθήκη πολλαπλών διαστρωματώσεων υλικού και ταυτόχρονο πολυμερισμό του κάθε στρώματος.^{6,7,8}

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Λίγες πληροφορίες είναι γνωστές για τα ψηφιακά οδοντιατρικά εκμαγεία σχετικά με την αξιοπιστία (consistency) τους, η συνέπεια μιας ροής εργασίας κατά την κατασκευή ενός οδοντιατρικού εκμαγείου. Δηλαδή το μέτρο του κατά πόσον πανομοιότυπα ψηφιακά εκμαγεία επιτυγχάνονται όταν επαναλαμβάνεται μια ροή εργασίας υπό σταθερές συνθήκες.), εγκυρότητα (το πόσο καλά αντιστοιχεί ένα ψηφιακό εκμαγείο στην πραγματική κλινική κατάσταση που αναπαριστά), την αναπαραγωγικότητα μεταξύ άλλων παραγόντων. Αυτό οφείλεται πιθανώς στις συνεχείς αναβαθμίσεις που έχουν περάσει τα προηγούμενα χρόνια που έχουν κάνει πολλούς οδοντοτεχνίτες να χάσουν την αίσθηση της αποτελεσματικότητάς τους. Σε αυτή την πτυχιακή θα εκτιμήσουμε μερικά από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά για τα ψηφιακά οδοντιατρικά εκμαγεία εργασίας συγκρίνοντας τα με αυτά των συμβατικών εκμαγείων εργασίας.

Επομένως ο σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής είναι η σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων κατασκευής των εκμαγείων εργασίας για την χρήση τους στις ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις. Η σύγκριση αυτή θα γίνει μέσω εκτενούς βιβλιογραφικής αναζήτησης σε σύγχρονες βάσεις δεδομένων.

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Σύμφωνα με την ελληνική βιβλιογραφία, κατά τη διάρκεια του 12ου αιώνα π.Χ, ο Ασκληπιός (Έλληνας γιατρός) αναγνωρίστηκε ως ο εφευρέτης της εξαγωγής δοντιών. Επίσης πιστεύεται ότι και το πρώτο έγγραφο οδοντιατρικής χειρουργικής προέρχεται από αυτόν.⁹ Εικ. 1.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου μεταξύ των ετών 166-201 μ.Χ. οι Ετρούσκοι ασκούσαν οδοντιατρική προσθετική, χρησιμοποιώντας χρυσές κορώνες και ακίνητες γέφυρες. Εικ. 2

Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις προσπαθειών αντικατάστασης χαμένων δοντιών, καθώς οι αρχαιολόγοι ανακάλυψαν δόντια ενωμένα από ένα χρυσό σύρμα εκ των οποίων, κάποια προέρχονταν από άλλα άτομα. Εικ. 3.



Εικ. 1 Απεικόνιση εξαγωγής δοντιών από τον Έλληνα γιατρό Esculapius.⁹



Εικ. 2 Προσθετική εργασία των Ετρούσκων⁹



Εικ. 3 Αντικατάσταση χαμένων δοντιών από τους Αιγύπτιους.⁹

Η κατασκευή ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων απαιτεί μία λεπτομερή αναπαράσταση των στοματικών ιστών. Για την επίτευξη αυτού, πρέπει να λαμβάνεται ένα ακριβές αποτύπωμα για την κατασκευή ενός ακριβούς οδοντικού εκμαγείου. Η ιδέα της δημιουργίας των αποτυπωμάτων στην Οδοντιατρική ξεκίνησε το 1700, όταν το κερί των μελισσών χρησιμοποιήθηκε ως το πρώτο υλικό αποτύπωσης. Στις αρχές της δεκαετίας του 1800 και συγκεκριμένα το 1857 σημειώθηκε ένα αξιοσημείωτο εξελικτικό βήμα στη διαδικασία της αποτύπωσης με την εισαγωγή οδοντικών δισκαρίων και τη γύψο του Παρισιού.

Ο Charles Stent δημιούργησε ένα θερμοπλαστικό υλικό αποτύπωσης, το οποίο όμως παρουσίαζε το πρόβλημα της ακαμψίας και έτσι δεν μπορούσε να αναπαραγάγει υποβαθμισμένες περιοχές. Επομένως, η ανάγκη για ένα ελαστικό υλικό που θα μπορούσε να παραμένει ελαστικό ακόμα και μετά τη λήψη του αποτυπώματος, εξακολουθούσε να υπάρχει. Τότε ήταν που το άγαρ – ένα αναστρέψιμο υδροκolloειδές κατασκευασμένο από φύκια – εισήχθη στην οδοντιατρική. Ωστόσο, αν και αυτό το υλικό ήταν ελαστικό, απαιτούσε μία περίπλοκη διαδικασία, ώστε να χρησιμοποιηθεί ως υλικό αποτύπωσης. Επίσης, το υλικό μειονεκτούσε ως προς την αστάθεια των διαστάσεων, τη χαμηλή αντοχή στην τριβή κ.ά., και έτσι αναδύθηκε η ανάγκη εύρεσης ενός καταλληλότερου αποτυπωτικού υλικού. Για την επίλυση του προβλήματος, κατασκευαστήκαν τα ελαστομερικά υλικά αποτύπωσης (επίσης γνωστά ως υλικά αποτύπωσης με βάση το καουτσούκ). Αρχικά εμφανίστηκε το πολυσουλφίδιο, μετά η σιλικόνη συμπύκνωσης και τέλος προστεθήκαν και άλλες σιλικόνες.^{10,11}

Έκτοτε, έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις και σήμερα οι οδοντίατροι έχουν πρόσβαση σε μία πληθώρα υλικών αποτύπωσης με διαφορετικές ιδιότητες, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Το 1913 ο Greenfield παρουσίασε την εργασία του στη Στοματολογική Ακαδημία της Φιλαδέλφειας των ΗΠΑ, στην οποία περιέγραφε ένα ενδοοστικό εμφύτευμα από πλατίνα και ιρίδιο το οποίο με διάφορες επεκτάσεις μπορούσε να σταθεροποιείται στο οστό των γνάθων. Από τότε μία σειρά από ενδοοστικά εμφυτεύματα παρουσιάζονται και περιγράφονται βιβλιογραφικά.

Τα οδοντικά εμφυτεύματα εντοπίζονται ιστορικά πριν 2.000 χρόνια στη Νότια και Βόρεια Αμερική και σε κάποια μέρη της Ασίας. Αρχαιολογικά ευρήματα των περιοχών αυτών έχουν δείξει ότι άτομα της υψηλής τάξης σμίλευαν πέτρες, οστά και χρυσό σε σχήμα δοντιού και στη συνέχεια τα τοποθετούσαν σε υποδοχές των ριζών από τα δόντια που τους έλειπαν.¹²

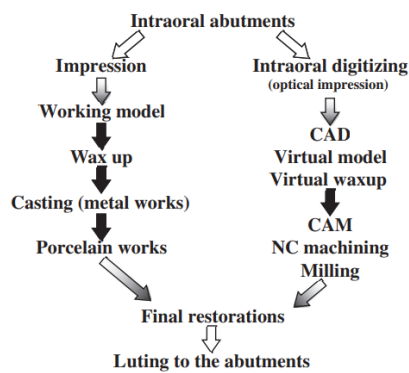
Μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στην οδοντική εμφυτευματολογία σημειώθηκε το 1957, όταν ένας Σουηδός ορθοπεδικός χειρουργός με το όνομα Per-Ingvar Branemark άρχισε να μελετά την επούλωση και την αναγέννηση των οστών. Ο ίδιος ανακάλυψε ότι το οστό θα μπορούσε να αναπτυχθεί κοντά στο τιτάνιο (Ti) και να προσκολληθεί αποτελεσματικά στο μέταλλο χωρίς να απορριφθεί.^{12,13}

Αν και η καθιέρωση των εμφυτευμάτων προσέφερε αξιόπιστες και προβλέψιμες εναλλακτικές προσθετικές λύσεις για την αντιμετώπιση της μερικής νωδότητας, η συμβατική ακίνητη προσθετική αποκατάσταση παραμένει η πλέον συνήθης θεραπευτική προσέγγιση στην καθημερινή κλινική πράξη.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, μία συγκολλούμενη ακίνητη μερική γέφυρα εισήχθη στον οδοντικό κόσμο, η γνωστή Maryland γέφυρα, με στόχο την αντικατάσταση των πρόσθιων ελλειπόντων δοντιών. Προέρχεται από τη σχολή του Πανεπιστημίου του Maryland (εξ ου και το όνομα maryland γέφυρα).¹⁴ Η άνεση του ασθενούς ενισχύθηκε μαζί με τον ελάχιστο τραυματισμό του πολφού, κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί, στην περίπτωση των κανονικών στηριγμάτων που καλύπτουν όλη τη μύλη του δοντιού· και αυτό γιατί τροχίζεται εκτεταμένα η κλινική στα παρακείμενα δόντια.

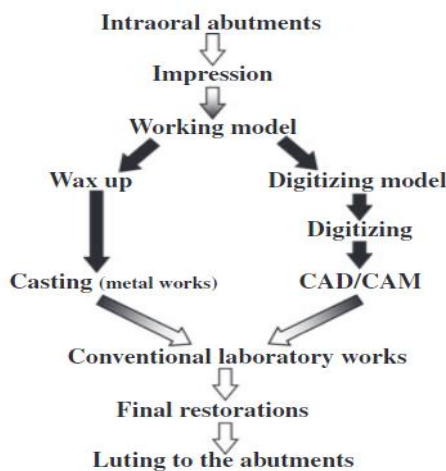
Στη δεκαετία του 1970 μία πολύ σημαντική εξέλιξη παρατηρήθηκε στον τομέα της οδοντιατρικής και οδοντικής τεχνολογίας: η τεχνολογία CAD/CAM. Υπήρχαν τρεις κύριοι πρωτοπόροι που συνέβαλαν στην ανάπτυξη των σημερινών οδοντιατρικών συστημάτων CAD/CAM. Αρχικά, Ο Dr. Duret ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε την οδοντιατρική CAD/CAM.

Από το 1971 άρχισε να κατασκευάζει στεφάνες με ένα λειτουργικό σχήμα των επιφανειών σύγκλισης, χρησιμοποιώντας μία σειρά συστημάτων που ξεκινούσαν με την οπτική σάρωση του δοντιού κολοβώματος στο στόμα, ακολουθούμενη από το σχεδιασμό μίας στεφάνης – λαμβάνοντας υπόψη τη λειτουργική κίνηση και την κοπή της – χρησιμοποιώντας μία αριθμητικά ελεγχόμενη μηχανή (NCM) κοπής. Αργότερα, ανέπτυξε το σύστημα Sorpha, το οποίο επηρέασε τη μετέπειτα ανάπτυξη οδοντικών συστημάτων CAD/CAM στον κόσμο. Το σύστημα δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως, πιθανώς γιατί δεν είχε την απαιτούμενη ακρίβεια που αρμόζει στην οδοντιατρική εφαρμογή. Αυτή ήταν η πρώτη από τις τέσσερις γενιές της εφαρμογής της CAD/CAM στην οδοντιατρική. **Εικ. 4**



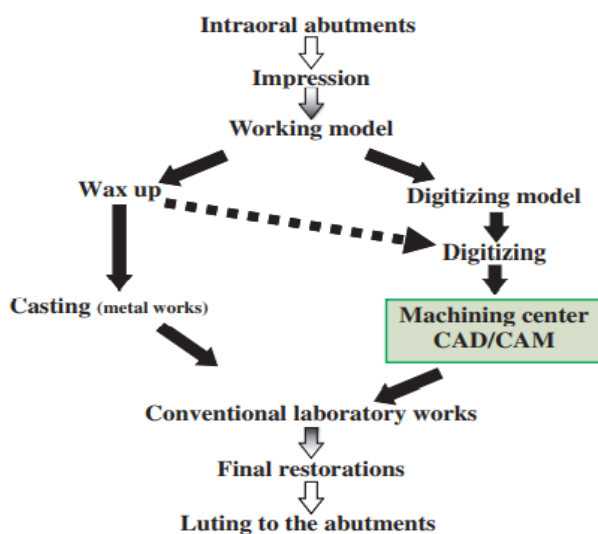
Εικ. 4 Πρώτης γενιάς εφαρμογής των συστημάτων CAD/CAM.¹⁵

Στη συνέχεια, ο Dr Moermann, ο προγραμματιστής του συστήματος CEREC **Εικ. 5** αποτέλεσε τη δεύτερη γενιά των συστημάτων CAD/CAM.



Εικ. 5, 2^η γενιάς συστημάτων CAD/CAM.¹⁵

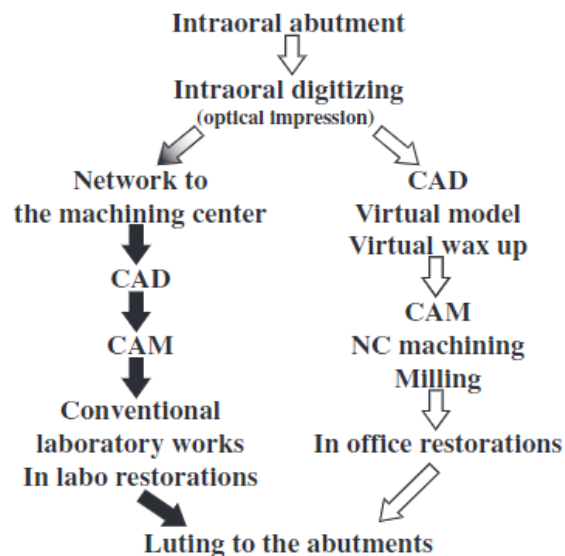
Ο τρίτος είναι ο Dr Anderson, ο προγραμματιστής του συστήματος Procera. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, τα κράματα νικελίου-χρωμίου χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατο των κραμάτων χρυσού λόγω της δραστηρικής αύξησης των τιμών του χρυσού εκείνη την εποχή. Ωστόσο, οι αλλεργίες στα μέταλλα αποτέλεσαν σοβαρό πρόβλημα, ειδικά στη Βόρεια Ευρώπη και έτσι προτάθηκε η αντικατάστασή τους από το τιτάνιο. Δεδομένου ότι η χύτευση ακριβείας του τιτανίου ήταν ακόμα δύσκολη εκείνη την εποχή, ο Dr Andersson προσπάθησε να κατασκευάσει το τιτάνιο με spark erosion και εισήγαγε την τεχνολογία CAD/CAM στη διαδικασία κατασκευής των προσθετικών αποκαταστάσεων με όψη.^{15,16,8} Το σύστημα Procera σχεδιάστηκε για να σαρώνει εκμαγεία τα οποία είχαν κατασκευαστεί από τελικά αποτυπώματα. Το οδοντοτεχνικό εργαστήριο σχεδίαζε τον σκελετό της αποκατάστασης στο λογισμικό CAD και έστελνε το αρχείο στο εργαστήριο της Procera, στη Σουηδία. Εκεί έλαβε χώρα η κατασκευή του κεραμικού σκελετού από αλουμίνια και επέστρεφε στο εργαστήριο για την αποπεράτωση της αισθητικής της αποκατάστασης με ειδική φπτούμενη πορσελάνη.¹⁷ Αυτή ήταν η εφαρμογή της CAD/CAM σε μια εξειδικευμένη διαδικασία ως μέρος ενός συνολικού συστήματος εργασίας και σηματοδότησε τη τρίτη γενιά των συστημάτων CAD/CAM.¹⁵ **Εικ. 6**



Εικ. 6, 3^η γενιά των συστημάτων CAD/CAM.¹⁵

Στη δεκαετία του 1980, ο Mormann συνέλαβε την ιδέα των ψηφιακών αποτυπωμάτων των προετοιμασμένων κοιλοτήτων απευθείας από το στόμα του ασθενή τη χρήση ενδοστοματικού σαρωτή. Τα δεδομένα από τον ενδοστοματικό σαρωτή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από το λογισμικό CAD, ώστε να σχεδιαστεί μία κεραμική προσθετική αποκατάσταση, η οποία θα εφάρμοζε τέλεια στο προετοιμασμένο δόντι και στη συνέχεια με το σύστημα CAM θα φρεζαριζόταν το κατάλληλο υλικό για την παραγωγή της τελικής αποκατάστασης.

Το 1983 οι Ελβετοί Mormann και Brandestini υλοποίησαν την εν λόγω ιδέα, όταν ανέπτυξαν μία πρωτότυπη συσκευή CAD/CAM. Η συσκευή τέθηκε σε πλήρη λειτουργία στην οδοντιατρική-οδοντοτεχνική το 1985 η οποία έγινε γνωστή στο εμπόριο ως «Σύστημα CEREC 1» από την εταιρεία Sirona Dental Systems LLC, Charlotte, NC.^{15,18,8} **Εικ. 7**



Εικ. 7, 4^η γενιά των συστημάτων CAD/CAM με τη χρήση ενδοστοματικού σαρωτή.¹⁵

Κατά τη συμβατική διαδικασία κατασκευής των προσθετικών αποκαταστάσεων λαμβάνεται ένα αποτύπωμα της στοματικής κοιλότητας και παρασκευάζεται ένα γύψινο εκμαγείο με κολοβώματα, ως αναπαράσταση της στοματικής κοιλότητας. Η δημιουργία ενός εκμαγείου είναι η αρχή των εργαστηριακών εργασιών. Η γύψος έχει χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής εκμαγείων από το 1756 και για αποτυπώσεις από το 1844.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 παρουσιάστηκαν και τα ψηφιακά εκμαγεία και η εταιρεία OrthoCAD ήταν η πρώτη που τα εισήγαγε. Από την εισαγωγή των πρώτων ψηφιακών εκμαγείων στην ορθοδοντική κοινότητα το 1999, τόσο η τεχνολογία όσο και η εισαγωγή ψηφιακών εκμαγείων έχουν βελτιωθεί και αναπτυχθεί δραματικά. Μέχρι το 2014, τα ψηφιακά εκμαγεία χρησιμοποιήθηκαν για διαγνωστικούς σκοπούς στο 55% των ορθοδοντικών πρακτικών του Ειρηνικού (pacific) και στο 21 % των πρακτικών της Βορειανατολικής Αμερικής.¹⁹

2 ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 ΑΚΙΝΗΤΕΣ ΟΔΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΘΕΣΙΕΣ

Η απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών είναι ένα τραυματικό γεγονός και πολλοί άνθρωποι δυσκολεύονται να «αναρρώσουν» από αυτήν τη δυσάρεστη εμπειρία. Οι άμεσες συνέπειες της απώλειας ενός ή περισσότερων δοντιών αφορούν αφενός λειτουργικές δυσκολίες με την αδυναμία μάσησης της τροφής και ορθά αρθρωμένης ομιλίας. Αφετέρου παρατηρούνται αισθητικές «συνέπειες», καθώς η εμφάνιση του προσώπου επηρεάζεται αρνητικά. Μακροπρόθεσμα, η απώλεια των δοντιών βλάπτει συχνά την αυτοεικόνα και την αυτοπεποίθηση του ατόμου, τη συναισθηματική ισορροπία και τη συνολική ποιότητα της ζωής του. Δεν θα προσδίδαμε στην απώλεια των δοντιών τον χαρακτηρισμό της αρρώστιας ή/και ασθένειας αλλά οδηγεί συνήθως σε «αναπηρίες» διαφόρων βαθμών σοβαρότητας που απαιτούν από τον ασθενή να αναζητήσει προσθοδοντική βοήθεια ώστε να αντικαταστήσει την κανονική μορφολογία, αισθητική, και λειτουργία της στοματικής κοιλότητάς.²⁰

Ανάλογα με τη φύση της απώλειας, τη στοματική υγιεινή, την ηλικία και άλλους παράγοντες, προσφέρεται το κατάλληλο είδος της προσθετικής αποκατάστασης, το οποίο μπορεί να αφορά ακίνητες ή κινητές προσθετικές αποκατάστασης.

Οι αποκαταστάσεις κυμαίνονται από απλές έως και πολύπλοκες. Στην πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται η αποκατάσταση τραυματισμένου μεμονωμένου δοντιού με στεφάνη και η αντικατάσταση ενός ή περισσότερων ελλείπων δοντιών με μία ακίνητη γέφυρα στηριγμένη στα δόντια ή σε εμφυτεύματα. Στη δεύτερη, μπορούμε να προσθέσουμε αποκαταστάσεις που περιλαμβάνουν αντικατάσταση ή αποκατάσταση όλων των δοντιών της γνάθου.²¹

Ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις θεωρούνται οι αποκαταστάσεις, οι οποίες τοποθετούνται στο στόμα του ασθενούς μόνιμα και ο ίδιος δεν μπορεί να προβεί στην απόσπασή τους από το στόμα. Αποσκοπούν στην αντικατάσταση και αποκατάσταση ελλειπόντων φυσικών δοντιών με τεχνητά.^{22,23,24,25}

Ανάλογα με την περιοχή του δοντιού που πρόκειται να καλυφθεί ή το σχήμα του παρασκευάσματος που έχει σχεδιαστεί από τον οδοντίατρο, αυτά κατατάσσονται σε διαφορετικά είδη.

2.1.1 ΕΙΔΗ ΑΚΙΝΗΤΩΝ ΟΔΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΣΕΩΝ

Στα είδη ακίνητων οδοντικών προσθέσεων περιλαμβάνονται τα ένθετα, τα επένθετα, οι στεφάνες διάφορων ειδών και οι γέφυρες.²⁵

Ένθετα και επένθετα.

Ένθετα είναι προσθέσεις που κατασκευάζονται και τοποθετούνται σε παρασκευασμένη κοιλότητα της μύλης του δοντιού και περιβάλλονται από οδοντικούς ιστούς. Αποκαθιστούν την οδοντική ουσία που έχει χαθεί λόγω τερηδόνας ή κατάγματος.

Εικ. 8

Τοποθετούνται όταν υπάρχει ανάγκη αναπλήρωσης μικρής απώλειας οδοντικής ουσίας σε άτομα με καλή στοματική υγιεινή και σε δόντια με ικανοποιητικό μέγεθος μύλης.^{25,26}

Επένθετα είναι προσθέσεις που κατασκευάζονται και τοποθετούνται σε παρασκευασμένο μέρος του δοντιού και αντίθετα από τα ένθετα, εκτός από την κοιλότητα του δοντιού, καλύπτουν και τη μασητική επιφάνεια ή μέρος αυτής.^{25,26} **Εικ. 9**



Εικ. 8, Ένθετα.²⁶

Εικ. 9, Επένθετα ²⁷

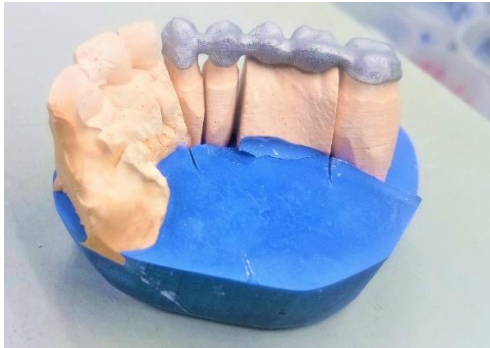
Στεφάνες

Είναι προσθετικές αποκαταστάσεις που καλύπτουν ολόκληρη την κλινική μύλη.

Γέφυρες

Είναι οι προσθέσεις που κατασκευάζονται για την αναπλήρωση κενού που δημιουργήθηκε στον οδοντικό φραγμό μετά την απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών. Στηρίζονται και συγκρατούνται σε φυσικά δόντια ή στις απομείναντες ρίζες στο φραγμό

(στηρίγματα). Μετά την απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών, παρασκευάζονται από τον οδοντίατρο τα διπλανά δόντια ή οι απομείναντες ρίζες και μετά κατασκευάζονται οι προσθετικές αποκαταστάσεις. Μετά την κατασκευή τους συγκολλούνται μόνιμα σε αυτά.^{25,26} **Εικ. 10.**



Εικ. 10 Μια γέφυρα με 3 στηρίγματα και 2 γεφυρώματα.²⁸

Κάθε μία από αυτές τις αποκαταστάσεις μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω ανάλογα με το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται.²⁵

1. **Ολικές χυτές αποκαταστάσεις:** Είναι αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου από επιλεγμένα κράματα μετάλλων που πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές. Παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι για την κατασκευή τους δεν απαιτείται μεγάλη αφαίρεση οδοντικής ουσίας και έχουν πολύ καλή αντοχή. Μειονεκτούν όμως στην αισθητική απόδοση και γι' αυτόν τον λόγο η τοποθέτηση τους περιορίζεται στα οπίσθια δόντια.
2. **Ολικές ακρυλικές αποκαταστάσεις:** Είναι αποκαταστάσεις που δεν περιέχουν μεταλλικό σκελετό και κατασκευάζονται από ακρυλική ρητίνη. Έχουν πολύ μειωμένη αντοχή και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για προσωρινές αποκαταστάσεις μέχρι να κατασκευαστούν οι μόνιμες προσθέσεις.
3. **Μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις:** Είναι μεταλλικές χυτές αποκαταστάσεις οι οποίες κατασκευάζονται από ειδικά κράματα μετάλλων με αυξημένες μηχανικές ιδιότητες, που εξασφαλίζουν την αντοχή και την ακαμψία του σκελετού. Ο μεταλλικός σκελετός μετά καλύπτεται από οδοντιατρική πορσελάνη. Πλεονεκτούν

στο γεγονός ότι προσδίδουν ένα πολύ καλό αισθητικό αποτέλεσμα και ταυτόχρονα παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή.

4. **Ολοκεραμικές αποκαταστάσεις:** Είναι αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται ολόκληρα από πορσελάνη χωρίς μεταλλικό σκελετό . Έχουν το πλεονέκτημα της πολύ καλής αισθητικής και το μειονέκτημα της μειωμένης αντοχής που παρουσιάζει η πορσελάνη σε δυνάμεις εφελκυσμού, που περιέχει τον κίνδυνο θραύσης.
5. **Αποκαταστάσεις ολικές χυτές με όψη.** Είναι αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται χυτά από τα κατάλληλα κράματα μετάλλων αλλά η χειλική ή προστομαϊκή επιφάνεια του μεταλλικού σκελετού καλύπτεται από αισθητικό υλικό.

2.1.2 Οριακή εφαρμογή.

Οριακή εφαρμογή είναι ο βαθμός ακρίβειας μεταξύ του προετοιμασμένου δοντιού και της αποκατάστασης στο όριο. Η ακρίβεια της εφαρμογής πρέπει να είναι έως και περίπου 25 μm , αν και μικρότερη από 100 μm έχει προταθεί ως κλινικά αποδεκτή. Για την κατανόησή του αυτού του μεγέθους, σκόπιμο κρίνεται να γνωρίζουμε ότι η μέση διάμετρος μιας ανθρώπινης τρίχας είναι περίπου 40 μm .

Η οριακή εφαρμογή οποιασδήποτε ακίνητης αποκατάστασης κρίνεται μεγάλης σημασίας για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία της. Η έλλειψη επαρκούς εφαρμογής είναι δυνητικά επιζήμια τόσο για το δόντι όσο και για τους υποστηρικτικούς περιοδοντικούς ιστούς. Η κακή οριακή εφαρμογή έχει δρα αρνητικά στον περιοδόντιο και μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη πρόσθετης θεραπείας με τη σχετική αύξηση του χρόνου και του κόστους, καθιστώντας δύσκολη την εκτέλεση μακροχρόνιας συντήρησης της στοματικής υγείας του ασθενούς. Στη χειρότερη δυνατή περίπτωση, η κακή οριακή εφαρμογή μπορεί να οδηγήσει στην ολοκληρωτική απώλεια δοντιών ή εμφυτευμάτων, γεγονός εξαιρετικά δυσάρεστο για τον ασθενή αλλά και για τον προσθετολόγο, καθώς οδηγεί σε περαιτέρω θεραπείες και χειρουργεία σε περίπτωση χρήση εμφυτευμάτων.²⁹

Το μεγάλο οριακό άνοιγμα επιτρέπει περισσότερη συσσώρευση πλάκας, ροή σάλιου και συσσώρευση τροφών κάτω από την αποκατάσταση οδηγώντας σε αυξημένη τερηδόνα και περιοδοντικοί νόσοι.^{30,25}

2.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

2.1.3.1 Πλήρως συμβατική ροή εργασίας

Η παραδοσιακή και τυπική προσέγγιση στην κατασκευή των ακίνητων προσθετικών εργασιών αποτελείται από τα ακολουθία βήματα: συμβατικές τεχνικές αποτύπωσης, κατασκευή συμβατικών εκμαγείων, κατασκευή κέρινων ομοιωμάτων, χύτευση και επεξεργασία του χυτού.

Συμβατική τεχνική αποτύπωσης

Ένα καλό αποτύπωμα με καλή σταθερότητα διαστάσεων και λεπτομερή αναπαραγωγή λεπτομερειών κρίνεται μεγάλης σημασίας για την παραγωγή ακίνητων προσθετικών εργασιών με καλή εφαρμογή. Για να επιτευχθεί αυτό, όλα τα βήματα της αποτύπωσης θα πρέπει να γίνουν σωστά και προσεκτικά.

Η παραγωγή ξεκινάει με την επιλογή του δισκαρίου, που μπορεί να είναι ατομικό ή εμπορίου μεταλλικό είτε πλαστικό. Το σωστό μέγεθος τού είναι ιδιαίτερα σημαντικό και το δισκάριο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν άκαμπτο, ώστε αντισταθεί στην παραμόρφωση από την πίεση τόσο κατά τη διαδικασία δημιουργίας του αποτυπώματος όσο και μετά την αφαίρεση του από το στόμα.^{30,32} Η σωστή επιλογή του υλικού αποτύπωσης είναι επίσης πολύ σημαντική. Υπάρχει μία πληθώρα επιλογών, καθώς ποικίλα υλικά έχουν εμφανιστεί στην αγορά, με διαφορετικές ιδιότητες αναφορικά με τον χρόνο ανάμειξης και χρόνο πήξης, τις διαστολές και συστολές, την εύκολη διαδικασία προετοιμασίας του υλικού κ.ά. Όταν χρησιμοποιούνται δισκάρια εμπορίου, συνήθως προτείνεται ένα αποτυπωτικό υλικό υψηλού ιξώδους, επειδή είναι ιδιαίτερα γεμάτο και

έχει τη δυνατότητα να αντισταθμίσει τον πρόσθετο όγκο του υλικού αποτύπωσης που χρησιμοποιείται με τα δισκάρια εμπορίου, ώστε να μην ρέει το υλικό.³²

Μετά τη λήψη του αποτυπώματος, εκείνο μεταφέρεται στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο. Ανάλογα με το υλικό αποτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε, η σταθερότητα και η ακρίβεια του αποτυπώματος επηρεάζεται από τον χρόνο αποθήκευσης, τη θερμοκρασία και την υγρασία. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος έγχυσης τόσο υψηλότερη είναι η ακρίβεια που επιτυγχάνεται.^{33,34}

Συμβατικό εκμαγείο

Μετά την παραλαβή του αποτυπώματος στο εργαστήριο, γίνεται η απολύμανσή του. Στη συνέχεια προετοιμάζεται ο πολτός γύψου σύμφωνα με τις οδηγίες και αναλογίες που καθορίζει ο κατασκευαστής. Το φύραμα της γύψου εγχέεται στο αποτύπωμα σε μικρές ποσότητες στα υψηλά σημεία μέχρι να γεμίσει το αποτύπωμα. Το εκμαγείο αφαιρείται από το αποτύπωμα μετά από τουλάχιστον μία ώρα. Διαμορφώνεται περιφερειακά ανάλογα με το είδος της ακίνητης προσθετικής, γίνεται διαχωρισμός των κολοβωμάτων με τη συσκευή κοπής κολοβωμάτων ή με τη χρήση χειροκίνητης σέγα με πριονάκι μονής κοπής. Στη συνέχεια παρασκευάζονται τα αυχενικά όρια.²⁵ Τα κολοβώματα του εκμαγείου επαλείφονται με ειδικό βερνίκι χώρου, ώστε να δημιουργηθεί ένα στρώμα πάχους περίπου 25-35 μm , το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό μεταξύ παρασκευασμένου δοντιού και της πρόσθεσης για τη συγκολλητική κονία.

Γενικότερα, υπάρχουν διάφορα είδη γύψου τα οποία χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος του εκμαγείου που πρόκειται να κατασκευαστεί. Για εκμαγεία εργασίας, χρησιμοποιείται γύψος τύπου IV.

Κέρινο ομοίωμα

Στις προετοιμασίες για χύτευση, τα ομοιώματα των προσθέσεων που πρόκειται να κατασκευαστούν από ευγενή ή βασικά κράματα διαμορφώνονται συνήθως από οδοντιατρικά κεριά. Το κέρι θερμαίνεται με ομοιόμορφο τρόπο στους 50°C για περίπου

15'', ώστε να γίνει μαλακό και εύπλαστο. Διαμορφώνεται επάνω στα κολοβώματα, ώστε να ακολουθεί το μέγεθος και το περίγραμμα των δοντιών, που πρόκειται να αντικατασταθούν, σύμφωνα με τη μορφολογία και την ανατομία τους, τις θέσεις που κατέχουν στο οδοντικό τόξο αλλά και τις συγκλεισιακές σχέσεις, όπως αυτές έχουν καταγραφεί.

Με την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης του κέρινου ομοιώματος και του ελέγχου του ειδικότερα για τυχόν παραμορφώσεις στους αυχένες κατά την αφαίρεση του, τοποθετούνται οι αγωγοί χύτευσης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του λειωμένου κεριού από το εσωτερικό του πυροχώματος κατά το στάδιο της αποκήρωσης και στη συνέχεια για την εισροή του λειωμένου κράματος κατά το στάδιο της χύτευσης. Επίσης, συμβάλλουν στην αποβολή της θερμότητας από το εσωτερικό του πυροχωμάτινου κυλίνδρου μετά το τέλος της χύτευσης, συμβάλλοντας έτσι στην ομοιόμορφη ψύξη του χυτού και στην ομαλή στερεοποίηση του.^{25,2}

Επένδυση με πυρόχωμα

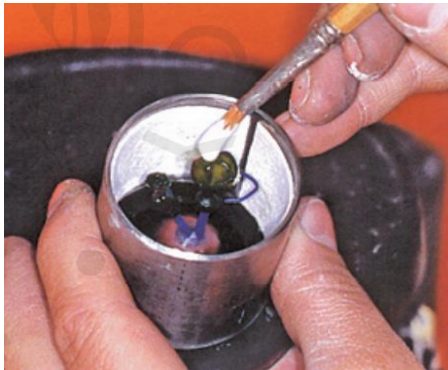
Τα πυροχώματα είναι θερμο-ανθεκτικά υλικά που αποτελούνται κυρίως από ορυκτές κρυσταλλικές ουσίες. Κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μορφή χοντρόκοκκης ή λεπτόκοκκης σκόνης.

Το πυρόχωμα δημιουργεί το καλούπι μέσα στο οποίο, κατά το στάδιο της χύτευσης θα εισχωρήσει το λειωμένο κράμα, δημιουργώντας το μεταλλικό σκελετό, που θα εφαρμόσει στο τροχισμένο δόντι/-α Το είδος του πυροχώματος που θα χρησιμοποιηθεί επιλέγεται ανάλογα με την εργασία προς κατασκευή, το κράμα, και την επιθυμητή διαστολή.

Το πυρόχωμα πρέπει να προετοιμάζεται ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή, για να δέχεται όλες τις διαστολές (υγροσκοπική διαστολή, θερμική διαστολή και διαστολή πήξης) προκειμένου να εξουδετερωθεί η συστολή του κράματος κατά τη στερεοποίηση του, καθώς και η συστολή του κεριού από τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για την επένδυση με πυρόχωμα, το κέρινο ομοίωμα με τους τοποθετημένους αγωγούς χύτευσης τοποθετείται στο δακτύλιο πυράκτωσης. Αφού επαλείφεται το κέρινο πρόπλασμα με ειδικό υγρό που μειώνει τις επιφανειακές τάσεις του κεριού βοηθώντας αφενός στην καλύτερη πρόσφυση του πυροχώματος και αφετέρου στη πιστή αναπαραγωγή του σχήματος του χυτού, τοποθετείται το δακτύλιο στη βάση, προσέχοντας να εφαρμόζει πλήρως, ώστε να αποφευχθεί η διαρροή του πυροχώματος. Στη συνέχεια, αναμειγνύεται το ειδικό υγρό με τη σκόνη – τηρώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή – μέσα στο δοχείο του μηχανικού αναδευτήρα και παρασκευάζεται το φύραμα. Τοποθετείται το φύραμα πυροχώματος με τη βοήθεια του πινέλου στο εσωτερικό του κερινού προπλάσματος, (εικ.11) και μετά ολοκληρώνεται η πλήρωση του δακτυλίου σταδιακά, προσέχοντας να μη δημιουργηθούν φυσαλίδες.^{25,35}



Εικ. 11, Τοποθέτηση πυροχώματος αρχικά με τη βοήθεια πινέλου.³⁵

Με την παρέλευση του απαιτούμενου χρόνου για την κρυστάλλωση του πυροχώματος, ακολουθεί το στάδιο της αποκήρωσης και προθέρμανσης.

Η διαδικασία της αποκήρωσης πρόκειται για την απομάκρυνση από το εσωτερικό του πυροχώματος όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κερινού προπλάσματος (κερί ή ρητίνη), αφήνοντας έτσι ένα κενό (καλούπι) με το ακριβές σχήμα του κερινού προπλάσματος. Εκείνο το κενό θα καταλαμβάνει το λειωμένο κράμα κατά το στάδιο της χύτευσης.

Αμέσως μετά την αποκήρωση, ακολουθεί η διαδικασία της προθέρμανσης του πυροχώματος. Το πυρόχωμα θερμαίνεται στην κατάλληλη θερμοκρασία. Σκοπός είναι να

αποκτήσει τη διαστολή που είναι απαραίτητη για την εξισορρόπηση της συστολής του κράματος μετά την χύτευση κατά την ψύξη του. Επιπλέον, εξασφαλίζει την κατάλληλη θερμοκρασία στο πυρόχωμα, ώστε κατά την χύτευση το λειωμένο κράμα να εισχωρήσει σε ανάλογη θερμοκρασία. Η τελική άνοδος της θερμοκρασίας εξαρτάται άμεσα από το είδος του κράματος και από τη θερμοκρασία τήξης του. Θερμοκρασία προθέρμανσης χαμηλότερη εκείνης του λειωμένου κράματος προκαλεί την απότομη ψύξη του και αφετέρου την αποτυχία της εργασίας.

Χύτευση και κατεργασία του χυτού

Πριν τη χύτευση, γίνεται πρώτα η τήξη του κράματος στην κατάλληλη υποδοχή της συσκευής χύτευσης, την κεραμική χοάνη. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την τήξη του κράματος είναι η μέθοδος με τη χρήση φλόγας, που σχηματίζεται από ειδικό φλόγιτρο με την ανάμειξη αέρα υπό πίεση και αερίων όπως οξυγόνο, προπάνιο, κ.ά.

Η επιτυχία της χύτευσης εξαρτάται από την ορθή ρύθμιση και χρήση της φλόγας που θα λιώσει το κράμα.

Αμέσως μετά την τήξη ακολουθεί η χύτευση του κράματος. Κατά τη χύτευση, το λειωμένο κράμα ωθείται στο εσωτερικό του δακτυλίου με τη φυγοκεντρική δύναμη. Μετά τη χύτευση και ψύξη του χυτού, ακολουθεί η επεξεργασία του.

Η πλήρης συμβατική ροή εργασίας για την κατασκευή των ακίνητων προσθέσεων έχει ως αποτέλεσμα είτε μία πλήρη ανατομική μεταλλική προσθετική εργασία είτε ένα μεταλλικό σκελετό επάνω στο οποίο θα προστεθεί η πορσελάνη για απόκτηση μία αισθητικά καλής προσθετικής εργασίας.^{35,25,2}

2.1.3.2 Μερικώς ψηφιακή ροή εργασίας

Η μερικώς ψηφιακής διαδικασίας κατασκευής των ακίνητων προσθετικών προσθέσεων ξεκινάει με την ίδια διαδικασία που ακολουθείται στην πλήρη συμβατική ροή εργασίας μέχρι την κατασκευή εκμαγείων ή ακόμα και μέχρι το στάδιο κατασκευής του κέρινου ομοιώματος.

Προκειμένου να σχεδιαστεί η προβλεπόμενη προσθετική εργασία ψηφιακά, αντί για την κατασκευή κέρινου ομοιώματος, το γύψινο εκμαγείο πρέπει να ψηφιοποιηθεί χρησιμοποιώντας έναν εξωστοματικό σαρωτή, επίσης γνωστό ως εργαστηριακός σαρωτής. Με τη βοήθεια του σαρωτή, τρισδιάστατα αρχεία παράγονται από το γύψινα οδοντικά εκμαγεία. Στη συνέχεια, τα αρχεία αυτά υποβάλλονται σε επεξεργασία με το λογισμικό οδοντικό CAD για τον σχεδιασμό της προβλεπόμενης προσθετικής εργασίας.³⁶

Μετά τον σχεδιασμό της προσθετικής εργασίας (διαδικασία CAD), το σχεδιασμένο αρχείο αποστέλλεται σε ένα ειδικό μηχάνημα κοπής, όπου παράγεται η ακριβή προσθετική εργασία με τη βοήθεια του CAM λογισμικού στο εργαστήριο. Η ακρίβεια εφαρμογής του μεταλλικού σκελετού ή της κομμένης προσθετικής εργασίας από αισθητικό υλικό, όπως ζirkόνια αξιολογείται και αν χρειαστεί μπορεί να διορθωθεί στο εκμαγείο εργασίας.

Η τελική προσθετική εργασία από την κοπή μπορεί να είναι η ολοκληρωμένη αποκατάσταση το οποίο συνήθως είναι κατασκευασμένο από ζirkόνιο ή ο σκελετός επάνω στο οποίο θα προστεθεί η πορσελάνη για τη βελτίωση της αισθητικής και της λειτουργικότητας της προσθετικής εργασίας.

Επίσης, η μερικώς ψηφιακή ροή εργασίας μπορεί να ξεκινήσει με την ενδοστοματική σάρωση της στοματικής κοιλότητας με έναν ενδοστοματικό σαρωτή, και στη συνέχεια να ακολουθήσει ο σχεδιασμός του σκελετού και η εκτύπωση του φυσικού εκμαγείου από το σαρωμένο αρχείο. Στη συνέχεια, σειρά έχει η εργαστηριακή διαδικασία δόμησης της πορσελάνης στον σκελετό, τοποθετώντας το στο 3D εκτυπωμένο εκμαγείο.⁹³

2.1.3.3 Πλήρως ψηφιακή ροή εργασίας

Σε αντίθεση με τις πλήρως συμβατική και μερικώς ψηφιακή ροές εργασίας κατασκευής των ακίνητων προσθετικών εργασιών, με την πλήρως ψηφιακή ροή κατασκευής, αντί να χρησιμοποιηθεί το δισκάριο αποτύπωσης για τη λήψη του αποτυπώματος του στόματος και τη σάρωση του οδοντικού εκμαγείου για τη λήψη του ψηφιακού εκμαγείου, χρησιμοποιείται ένας ενδοστοματικός οπτικός σαρωτής για άμεση ψηφιοποίηση της στοματικής κοιλότητας.^{36,37} Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία μετά-

επεξεργασίας (post processing procedure) του ψηφιακού αποτυπώματος, το αντίστοιχο αρχείο αναφέρεται ως το εκμαγείο εργασίας, επάνω στο οποίο θα σχεδιαστεί η προσθετική εργασία. Στη συνέχεια, η διαδικασία μετατίθεται στα εργαστηριακά στάδια του CAM, όπου εκτυπώνεται το 3D φυσικό εκμαγείο και η σχεδιασμένη προσθετική εργασία.

Υπάρχουν διάφορα λογισμικά CAD διαθέσιμα με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Το σαρωμένο αρχείο εισάγεται στο λογισμικό CAD, όπου θα σχεδιαστεί η αποκατάσταση. Ο σχεδιασμός μίας προσθετικής αποκατάστασης περιλαμβάνει μία σειρά βημάτων. Το πρώτο βήμα αφορά την εκκαθάριση του ψηφιακού εκμαγείου, αφαιρώντας τα ανεπιθύμητα στοιχεία, τα οποία μπορεί να είναι τα σαρωμένα μέρη των χειλών, μάγουλων, τη γλώσσα, κ.λπ. Τα επόμενα στάδια περιλαμβάνουν αρχικά τον ορισμό του αυχενικού ορίου του κάθε παρασκευασμένου δοντιού, την τυπική φόρτωση δοντιών από το CAD πρόγραμμα, την επιλογή φοράς ένθεσης και τη μετακίνηση τους όσο το δυνατόν εγγύτερα στα σχήματα, μεγέθη και καμπύλες των προϋπάρχοντων δοντιών και σύγκλεισης.³⁸

Αφού ολοκληρωθούν όλα τα βήματα CAD, η σχεδιασμένη αποκατάσταση αποστέλλεται στη συνέχεια για τη διαδικασία CAM. Οι πλήρεις ανατομικές αποκαταστάσεις κατασκευάζονται συνήθως με κοπή από κεραμικά τεμάχια, όπως ζirkόνια, από τεμάχια PMMA και με εκτύπωση από θερμοπολυμεριζόμενη ρητίνη και κράματα μετάλλου με SLS. Μέσω της αφαιρετικής και προσθετικής μεθόδου κατασκευής ανάλογα με το είδος του υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί, τα μηχανήματα CAM παράγουν προσθετικές αποκατάστασης που πρόκεινται για τα ακριβή αντίγραφα του CAD 3D σχεδίου.

2.2 ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΑ ΕΚΜΑΓΕΙΑ

Τα οδοντικά εκμαγεία προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες για τη διάγνωση και σχεδίαση της θεραπείας και την αξιολόγηση των πιθανών αποτελεσμάτων των διάφορων θεραπειών. Τέλος αξιοποιούνται για την κατασκευή των προσθετικών εργασιών.³⁹

Η εργαστηριακή κατασκευή ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων πραγματοποιείται με την έμμεση μέθοδο στο εργαστήριο σε ομοιώματα που αναπαριστούν με πιστότητα τα στοιχεία της στοματικής κοιλότητας του ασθενούς. Αυτά τα ομοιώματα ονομάζονται *οδοντιατρικά εκμαγεία*.²⁵ Τα οδοντιατρικά εκμαγεία μεταφέρουν επιτυχώς τα στοιχεία σχετικά με τη μορφολογία, τη σύγκλειση και τις σχέσεις των δοντιών, που είναι μερικές φορές δύσκολο να παρατηρηθεί ακόμα και κατά την απευθείας εξέταση της στοματικής κοιλότητας από τον οδοντίατρο.³⁹

Το οδοντιατρικό εκμαγείο αποτελεί το ομοίωμα επί του οποίου σχεδιάζονται και κατασκευάζονται οι οδοντιατρικές αποκαταστάσεις. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να μεταφερθεί στο εργαστήριο η ακριβής εικόνα του στόματος και η ακριβής σχέση των γνάθων και των ανταγωνιστών δοντιών με κάθε λεπτομέρεια. Επομένως, θα μπορούσε κανείς να πει ότι οι εργασίες στα οδοντικά εργαστήρια βασίζονται στην ακρίβεια των οδοντικών εκμαγείων. Σφάλματα στην κατασκευή τους επηρεάζει την ακρίβεια της τελικής εργασίας και σε περίπτωση σφάλματος αυτό μπορεί μόνο να διορθωθεί αργότερα με μεγάλη δυσκολία και με σημαντικό κόστος.

Το εκμαγείο είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου.³

Άρα το οδοντιατρικό εκμαγείο είναι η αναπαράσταση των ανατομικών στοιχείων της στοματικής κοιλότητας, όπως οι οδοντικοί φραγμοί της άνω και της κάτω γνάθου και οι ιστοί που τους περιβάλλουν, οι φατνιακές αποφύσεις κ.α.²⁵ Τα οδοντιατρικά εκμαγεία μπορούν να είναι είτε συμβατικά, είτε ψηφιακά. *εικ.13.*



Εικ. 13, Ένα συμβατικό εκμαγείο.²⁸

2.2.1 ΤΥΠΟΙ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ

Τα οδοντιατρικά εκμαγεία κατατάσσονται σε δύο τύπους οι οποίοι είναι:

1. **Αρχικά εκμαγεία ή εκμαγεία μελέτης:**

Είναι τα οδοντιατρικά εκμαγεία τα οποία κατασκευάζονται πριν από την έναρξη οποιασδήποτε επέμβασης.²

Διατηρούν τα ανατομικά χαρακτηριστικά των φυσικών δοντιών τα οποία υπάρχουν πριν από την παρασκευή των κολοβωμάτων και τις σχέσεις των δοντιών μεταξύ τους. Κατασκευάζονται συνήθως από απλή ή σκληρή γύψο.

Χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της κάθε περίπτωσης και τον σχεδιασμό της προσθετικής αποκατάστασης. Τα αρχικά εκμαγεία διευκολύνουν το διαγνωστικό και το θεραπευτικό μέρος της κλινικής διαδικασίας και προσφέρουν οικονομία χρόνου, λόγω του γεγονότος ότι αποφεύγονται οι εκ των υστέρων διορθωτικές παρεμβάσεις. Προσφέρει, επίσης, στον οδοντίατρο τη δυνατότητα να ενημερώσει τον ασθενή του για το προτεινόμενο σχέδιο θεραπείας.

Επιπλέον, στα εκμαγεία μελέτης μπορούν να γίνουν οι προκαταρτικές εργασίες με κερί, όπως ανασυστάσεις μύλης ή αποκαταστάσεις φθαρμένων δοντιών, να τροποποιηθεί η κατακόρυφη διάσταση, όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο, να διαμορφωθεί το μασητικό επίπεδο και γενικά να δημιουργηθεί μία νέα συγκλεισιακή σχέση σύμφωνα με τις αρχές της σύγκλεισης και τις ανάγκες του εκάστοτε ασθενούς. Το κέρινο αυτό πρόπλασμα ονομάζεται διαγνωστικό κέρωμα.

Σε μερικές περιπτώσεις το εκμαγείο χρησιμεύει για τελικό έλεγχο της εργασίας, αφού σε αυτό αναπαριστώνται όλες οι λεπτομέρειες των ούλων.

Τα εκμαγεία μελέτης συμβάλουν ώστε να καθορίζονται σημαντικά στοιχεία όπως:

1. Η σχέση των οδοντικών τόξων άνω και κάτω γνάθου.
2. Το ανατομικό σχήμα και η θέση των δοντιών στο οδοντικό τόξο.
3. Η σχέση των δοντιών με τα παρακείμενα .
4. Η κεντρική σχέση και η σχέση των γνάθων.
5. Η θέση της νωδής περιοχής και το σχήμα της ακρολοφίας.
6. Οι πρόωρες επαφές και γενικά οι ανωμαλίες της σύγκλεισης.

2. Τελικά εκμαγεία ή εκμαγεία εργασίας

Είναι εκμαγεία τα οποία κατασκευάζονται μετά από την παρασκευή των κολοβωμάτων. Εικ. 14. και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της τελικής εργασίας.



Εικ. 14 Εκμαγείο εργασίας με κινητά κολοβώματα.²⁸

Τα εν λόγω εκμαγεία προκύπτουν από την τελική αποτύπωση και επί αυτού κατασκευάζεται ο μεταλλικός σκελετός ενώ στη συνέχεια ολοκληρώνεται η μέταλλο-κεραμική εργασία. Θεμελιακό χαρακτηριστικό κάθε εκμαγείου εργασίας είναι η δυνατότητα ανεξάρτητης και ευχερούς απόσπασης των κολοβωμάτων από τη βάση του εκμαγείου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, διευκολύνεται η εργαστηριακή κατασκευή της αποκατάστασης και ιδιαίτερα της λεπτομερειακής περιφερειακής διευθέτησης όλων των επιφανειών και των αυχενικών όριων του κέρινου προπλάσματος του μεταλλικού σκελετού.

Τα εκμαγεία εργασίας κατασκευάζονται από υπέρσκληρη γύψο ή από συνδυασμό υπέρσκληρης και σκληρής γύψου. Η υπέρσκληρη γύψος χρησιμοποιείται πάντοτε για την κατασκευή του τμήματος του εκμαγείου το οποίο περιλαμβάνει τα κολοβώματα. Η γύψος αυτή διαθέτει τις απαραίτητες ιδιότητες αντοχής και ογκομετρικής σταθερότητας, οι οποίες είναι αναγκαίες για την επιτυχή κατασκευή των προσθετικών εργασιών. Το τμήμα του εκμαγείου το οποίο αποτελεί τη βάση των κολοβωμάτων, κατασκευάζεται συνηθώς από σκληρή γύψο.

Στη σημερινή εποχή, με την τεχνολογία CAD/CAM τα εκμαγεία εργασίας κατασκευάζονται και από άλλα υλικά, όπως φωτοπολυμεριζόμενη υγρή ρητίνη, PUT.

2.2.2 ΕΙΔΗ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ

1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΕΚΜΑΓΕΙΑ

Πρόκειται για τα γύψινα εκμαγεία. Κατασκευάζονται με την έγχυση πολτού γύψου στα αποτυπώματα της στοματικής κοιλότητας.

Η ακρίβεια τους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία του χειριστή. Είναι ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος τύπος εκμαγείου στην οδοντική προσθετική.

2. ΨΗΦΙΑΚΑ ΕΚΜΑΓΕΙΑ

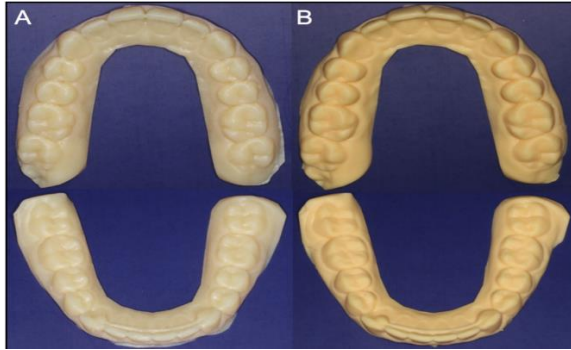
Τα τρισδιάστατα (3D) ψηφιακά εκμαγεία δημιουργούνται έμμεσα με τη σάρωση αποτυπωμάτων ή των γύψινων εκμαγείων χρησιμοποιώντας σαρωτές εργαστηρίου ή άμεσα με τη χρήση ενδοστοματικού σαρωτή για τη σάρωση του στόματος του ασθενούς. Η χρήση ενδοστοματικών σαρωτών για τη συλλογή πληροφοριών των γνάθων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και αποτελεί μία προτιμηταία μέθοδο για τους οδοντιάτρους και τους ασθενείς.⁴⁰

Τα ψηφιακά δεδομένα που λαμβάνονται από τη σάρωση μετατρέπονται σε μορφή αρχείων συμβατή με το λογισμικό του υπολογιστή, για παράδειγμα σε μορφή STL ανάλογο με το σύστημα σάρωσης.

Τα 3D εικονικά ψηφιακά εκμαγεία μετατρέπονται σε φυσικά εκμαγεία είτε με αφαιρετική είτε με προσθετική μέθοδο.^{40,41}

2.2.2.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ

Η κατασκευή φυσικών εκμαγείων από τα ψηφιακά δεδομένα μπορεί να επιτευχθεί, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με δύο μεθόδους κατασκευής: με την αφαιρετική ή προσθετική μέθοδο. **Είκ. 15**



Εικ. 15, Ψηφιακά εκμαγεία αποτυπωμένα από υγρή ρητίνη.³⁴

A. ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ(AM)

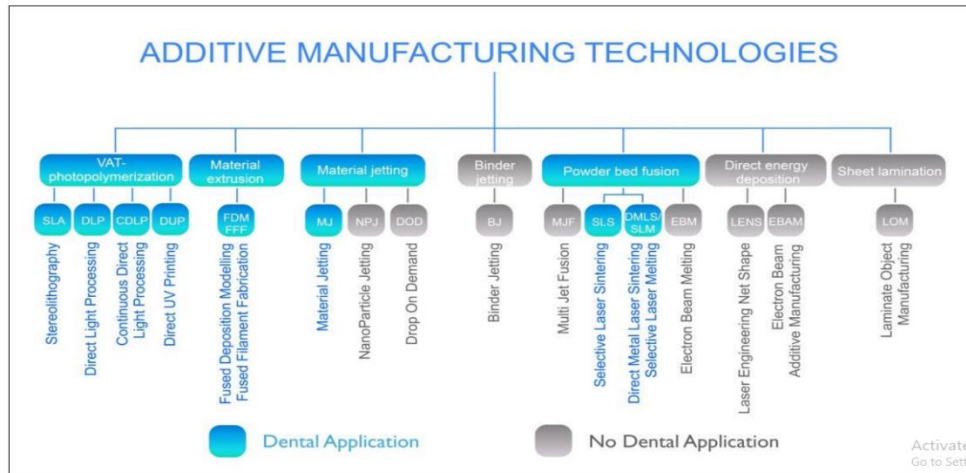
Οι τεχνολογίες AM, γνωστές διεθνώς με το όνομα «rapid prototyping (RP)» είναι οι τεχνολογίες CAM που κατασκευάζουν ένα αντικείμενο διαστρωματικά, ώσπου να ολοκληρωθεί όλο το 3D αντικείμενο.^{42,17}

Η συγκεκριμένη μέθοδος κατασκευής προσφέρει μεγάλες δυνατότητες κατασκευής εξαρτημάτων με πολύπλοκα σχήματα και γωνίες, ενώ σημειώνει μικρότερη κατανάλωση υλικών και μειώνει τον χρόνο στο τελικό προϊόν. Η ακρίβεια των οδοντικών εκμαγείων κατασκευασμένων με αυτήν τη μέθοδο εξαρτάται από παράγοντες, όπως το υλικό κατασκευής, τον εκτυπωτή που χρησιμοποιήθηκε και διάφορα πρωτόκολλα που εμπλέκονται στην τεχνολογική διαδικασία κατασκευής.⁴³

Το πρώτο σύστημα AM ήταν η στερεολιθογραφία (SLA) η οποία εισήχθη στην αγορά το 1986 από τον Charles Hull μέσω της εταιρίας 3D systems. Έκτοτε, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής (AM) έχουν βελτιωθεί σημαντικά, επιτρέποντας την ενσωμάτωσή τους στη ροή εργασίας της ψηφιακής κατασκευής των ακίνητων προσθετικών εργασιών. Πληθώρα υλικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός CAD 3D αντικειμένου, ανάλογα με την τεχνολογία εκτύπωσης.

Γενικότερα, υπάρχουν επτά κατηγορίες της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής αλλά στην οδοντιατρική χρησιμοποιείται η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (SLS). Η εν λόγω μεταχειρίζεται σκόνη μετάλλου, στερεολιθογραφία (SLA), και DLP που χρησιμοποιούν φωτοπολυμεριζόμενες ρητίνες, inkjet μέθοδο, μοντελοποίηση με απόθεση λειωμένου υλικού (FDM).^{42,43} **Εικ. 16**

Για την κατασκευή των ψηφιακών εκμαγείων χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι SLA, DLP και inkjet. Οι SLA και DLP θεωρούνται οι δημοφιλέστερες στην οδοντιατρική λόγω της εισαγωγής οικονομικών 3D εκτυπωτών συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους. Επίσης, είναι γρήγοροι στην κατασκευή.



Εικ.16 Τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής και οι υποκατηγορίες τους. Με μπλε χρώμα παρουσιάζονται αυτές που εφαρμόζονται στην οδοντιατρική.⁴³

Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια των εκτυπωμένων

εκμαγείων:

- Η ταχύτητα λέιζερ και η ένταση του.
- Η γωνία και κατεύθυνση κατασκευής.
- Ο αριθμός στρωμάτων.
- Το λογισμικό.
- Η συρρίκνωση μεταξύ στρωμάτων.
- Η ποσότητα υποστηρικτικού υλικού.
- Η διαδικασία μετά την επεξεργασία
- Ποικίλλει επίσης ανάλογα με τις γεωμετρίες που αναπαράγονται, τη μέθοδο κατασκευής και τα υλικά που χρησιμοποιούνται.^{44,45}

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

- Ευελιξία λόγω του ευρέος φάσματος των διαθέσιμων μηχανημάτων.

- Παθητικότητα: Ο παθητικός χαρακτήρας της τεχνικής κατασκευής ξεπερνά μία σειρά προβλημάτων που συναντώνται στην αφαιρετική κατασκευή, όπως η φθορά των φρεζών κοπής, ο θόρυβος, η παραγωγή θερμότητας κατά τη διάρκεια της άλεσης καθώς και η βλάβη της δομής.
- Χαμηλό ποσοστό χαμένης πρώτης ύλης: Η αφαιρετική κατασκευή μπορεί να αφαιρέσει μέχρι και το 96% του αρχικού υλικού και αυτή η σπατάλη είναι σχεδόν μη ανακυκλώσιμη. Συγκριτικά, οι πρόσθετες μηχανές τείνουν να χρησιμοποιούν μόνο το υλικό που απαιτείται για την κατασκευή και έχουν 40% λιγότερη σπατάλη. Επιπλέον, περίπου το 95%-98% των αποβλήτων μπορούν να ανακυκλωθούν σε μελλοντικούς κύκλους παραγωγής.
- Τα 3D εκτυπωμένα εκμαγεία είναι πιο ανθεκτικά στη θραύση από τα συμβατικά εκμαγεία.^{17,43}
- Σε περίπτωση ανάγκης μπορούν να εκτυπωθούν εκ νέου, καθώς τα ψηφιακά δεδομένα δεν επηρεάζονται από τον χρόνο αποθήκευσης.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

- Δυσκολία στην αναπαραγωγικότητα, καθώς ορισμένα μηχανήματα εξακολουθούν να μην αναπαράγουν με ακρίβεια και αναπαραγωγικότητα.
- Ορισμένα μηχανήματα δεν είναι αρκετά ακριβή για να χρησιμοποιηθούν στην ακίνητη προσθετική.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εκμαγείων έχουν χαμηλή αντοχή στη θερμότητα.
- Απαιτεί εκπαιδευμένο προσωπικό.
- Η ποιότητα και αντοχή των εκμαγείων είναι χαμηλή σε σχέση με τις απαιτούμενες ιδιότητες για ακίνητη προσθετική.^{45,46}

B. ΑΦΑΙΡΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Με την αφαιρετική κατασκευή επίσης γνωστή ως milling, αφαιρείται υλικό από ένα στερεό μπλοκ, κόβοντας με τη βοήθεια αυτοματοποιημένων συστημάτων αριθμητικού

ελέγχου. Αιχμηρά εργαλεία κοπής χρησιμοποιούνται για να κόψουν το υλικό για να επιτύχουν το επιθυμητό σχήμα και μορφολογία με όλα τα βήματα ελεγχόμενα από ένα πρόγραμμα υπολογιστών.¹⁷

Επομένως, μέσω της αφαιρετικής μεθόδου ο ειδικός διαθέτει ως σημείο αφετηρίας ένα στερεό μπλοκ, το μηχάνημα κόβει και αφαιρεί το ανεπιθύμητο υλικό.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η διαδικασία παράγει σχετικά πιο λείες επιφάνειες.
- Η διαδικασία παράγει εκμαγεία με μεγαλύτερη αντοχή.¹⁷

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.

- Σπατάλη υλικού, δεδομένου ότι τα υπολείμματα δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Επίσης, αφαιρείται περισσότερο υλικό σε σύγκριση με αυτό που χρησιμοποιείται στο τελικό προϊόν.
- Υπερβολική θερμότητα στη μηχανή κοπής.
- Φθορά των φρεζών κοπής.
- Παραγωγή θορύβου.
- Τα υπολειπόμενα από το φρεζάρισμα υλικά αποτελούν οικονομική και περιβαλλοντική επιβάρυνση.
- Είναι δύσκολο να φρεζαριστούν υποκοπές ή λεπτομέρειες μη προσβάσιμες από τις φρέζες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία^{47,17}

Τα ψηφιακά οδοντιατρικά εκμαγεία έχουν κερδίσει το ενδιαφέρον στον τομέα της οδοντιατρικής και οδοντοτεχνικής λόγω των πλεονεκτημάτων τους. Ανάμεσα σε αυτά μπορούμε να αναφέρουμε την εύκολη αποθήκευση, την εξοικονόμηση χρόνου και χώρου και τη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών με συναδέλφους μέσω του διαδικτύου, κ.α.³⁵

2.2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥ ΕΚΜΑΓΕΙΟΥ

1. Να διατηρούν με ακρίβεια τις διαστάσεις τους χωρίς να υφίστανται ογκομετρικές μεταβολές.
2. Να αποδίδουν με ακρίβεια και να αναπαριστούν με πιστότητα όλες τις λεπτομέρειες του αποτυπώματος.

3. Να έχουν ικανοποιητική αντοχή σε δυνάμεις χάραξης, αποτριβής, διάτμησης και εφελκυσμού.
4. Να είναι ελεύθερο πόρων. Οι πόροι μειώνουν την αντοχή του εκμαγείου και την ποιότητα της προσθετικής αποκατάστασης που θα κατασκευαστεί πάνω σε αυτό.
5. Ναι έχουν λεία επιφάνεια χωρίς ατέλειες ή πόρους.^{2,3}

2.2.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ

Γενικά για την κατασκευή εκμαγείων υπάρχουν διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται όπως

1. Σκληρή και υπερσκληρή γύψος.
2. Ρητίνες σύνθετες ή αποξικές.
3. Αμαγάλματα αργυρού ή χαλκού.
4. Πυροχώματα.
5. Ορισμένες κονίες.
6. Εύτηκτα κράματα και ορισμένα μέταλλα με τη τεχνική της επιμετάλλωσης.

Η χρήση του κάθε υλικού εξαρτάται από το είδος αποτυπώματος, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση του αποτυπώματος και το είδος του εκμαγείου που πρόκειται να κατασκευαστεί (συμβατικό ή ψηφιακό).²

2.2.4.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ (ΓΥΨΟΣ).

Για την κατασκευή των οδοντιατρικών εκμαγείων χρησιμοποιούνται κυρίως οι διάφορες μορφές οδοντιατρικής γύψου, τα πυροχώματα, οι αποξικές ρητίνες κ.λπ. Επιλέγεται το κατάλληλο υλικό βάσει των κριτηρίων επιλογής, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Για την κατασκευή εκμαγείων μελέτης στην ακίνητη προσθετική το υλικό που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η κοινή γύψος, ενώ για τα εκμαγεία εργασίας συνήθως είναι η υπέρσκληρη γύψο, η οποία με τις σωστές αναλογίες ανάμιξης νερού-σκόνης

δημιουργεί ένα εκμαγείο με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά Τα εκμαγεία μελέτης συνήθως κατασκευάζονται με κοινή γύψο για λόγους οικονομίας.

Στη φύση η γύψος υπάρχει με τη μορφή του διένυδρου θειικού ασβεστίου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Η θερμική κατεργασία του αποβάλλει μέρος του νερού από το μόριο της γύψου και μετατρέπει τη διένυδρη μορφή σε ημιενύδρη, σύμφωνα με την προαναφερθείσα αντίδραση. Ανάλογα λοιπόν με τη θερμοκρασία και τις συνθήκες θέρμανσης της γύψου, αξιοποιούνται διάφορα είδη της οδοντιατρικής γύψου τα οποία κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με τις φυσικές τους ιδιότητες. Για την κατασκευή των εκμαγείων χρησιμοποιούνται τα ακολουθία είδη γύψου:⁴⁹

1. Κοινή γύψος ή γύψος εκμαγείων τύπου II, δεν είναι κατάλληλη για την κατασκευή εκμαγεία εργασίας αλλά χρησιμοποιείται για την κατασκευή δευτερευουσών εργασιών.

2. Σκληρή γύψος, τύπου III. Με αυτή κατασκευάζονται εκμαγεία μελέτης και βάσεις των εκμαγείων εργασίας.

3. Υπέρσκληρη γύψος, τύπου IV, είναι η πιο κατάλληλη για την κατασκευή εκμαγείων εργασιών και τα κινητά κολοβώματα, επειδή διαθέτει ικανοποιητική αντοχή στους χειρισμούς κατά τα εργαστηριακά στάδια κατασκευής των προσθετικών εργασιών.⁴⁹

Μετά την ανάμειξη νερού-σκόνης, οι διάφορες ιδιότητες των τριών αυτών μορφών της οδοντιατρικής γύψου οφείλονται στους διαφορετικούς κρυστάλλους που έχει η κάθε μορφή. Οι κρύσταλλοι της κοινής γύψου έχουν ακανόνιστο σχήμα και είναι πορώδεις ενώ οι κρύσταλλοι της σκληρής και υπεσκληρής γύψου είναι κανονικοί και συμπαγέστεροι.

Για την προετοιμασία του γυψόπολτου με τη σκληρή και υπέρσκληρη γύψο χρειάζεται λιγότερη ποσότητα νερού από ό,τι για την κοινή γύψο. Βέβαια για τις αναλογίες σκόνης-νερού ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή.⁴⁹

Παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες της γύψου

1. Αναλογία νερού-σκόνης.

2. Τρόπος χειρισμού. Η διαδικασία της ανάδευσης επηρεάζει τον χρόνο πήξης και τη διαστολή της γύψου. Μεγάλη ταχύτητα και αύξηση του χρόνου ανάδευσης αυξάνει την ταχύτητα πήξης.

3. Η θερμοκρασία του νερού και του περιβάλλοντος επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες της γύψου. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη διαστολή πήξης.

4. Τρόπος αποθήκευσης της γύψου.

Για την εξασφάλιση της σωστής κατασκευής του εκμαγείου ανεξάρτητα από το είδος της γύψου, πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά οι γενικές αρχές κατασκευής των εκμαγείων και οι οδηγίες του κατασκευαστή της γύψου.^{50,49}

Κριτήρια επιλογής του κατάλληλου υλικού κατασκευής εκμαγείων

1. Η συμβατότητα του με τα αποτυπωτικά υλικά.
2. Η όσο το δυνατόν μικρότερη μεταβολή των διαστάσεων του κατά την παρασκευή του αλλά και μέχρι το τέλος των εργασιών.
3. Να είναι σχετικά εύκολο στους χειρισμούς χωρίς χρονοβόρες διαδικασίες.
4. Η ικανότητα να αποδίδει λείες επιφάνειες, σκληρές, συμπαγείς και ανθεκτικές επιφάνειες.
5. Να μην απαιτείται ιδιαίτερος εξοπλισμός
6. Να μην είναι επικίνδυνο για τον χειριστή.
7. Να έχει χαμηλό κόστος.^{49,25,3}

Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής συμβατικών εκμαγείων είναι η υπέρσκληρη γύψο και για τα ψηφιακά εκμαγεία είναι η φωτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη.

Η πιστότητα και η ποιότητα του εκμαγείου εξαρτώνται άμεσα από τη συμβατότητα του υλικού αποτύπωσης και του υλικού κατασκευής του εκμαγείου.

Η συμβατότητα εν προκειμένω εκφράζει τη δυνατότητα συνδυασμού ορισμένων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των δύο υλικών (αποτυπωτικού και εκμαγείου) για την κατασκευή ακριβούς εκμαγείου.²

2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM.

Δίχως αμφιβολία, η τεχνολογία έχει εισβάλει σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής και ο κλάδος της υγείας δεν θα μπορούσε να μείνει ανεπηρέαστος. Συγκεκριμένα, η οδοντιατρική και η οδοντική τεχνολογία έχουν επηρεαστεί σημαντικά από τα ευρήματα και τις βελτιώσεις στις τεχνολογίες, που διευκολύνουν τις διαδικασίες κατασκευής και προωθούν την ευεξία του ανθρώπου. Μέσω της σύγχρονης οδοντοτεχνικής, τελειωμένες προσθετικές αποκαταστάσεις μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν μέσω της τεχνολογίας CAD/CAM, με την αφαιρετική κοπή από ένα έτοιμο κεραμική μπλοκ.

Η εισαγωγή της CAD/CAM στην οδοντική τεχνολογία σημειώθηκε το 1985 για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών. Μέχρι το τέλος του 1990, η τεχνολογία είχε βελτιωθεί ως και την εισαγωγή των ψηφιακών εκμαγείων. Η εταιρεία OrthoCAD ήταν η πρώτη που εισήγαγε τα ψηφιακά εκμαγεία στην οδοντική τεχνολογία, αποτελώντας το σημείο εκκίνησης για περαιτέρω βελτιώσεις αναφορικά με την ποιότητα, την ακρίβεια και άλλους παράγοντες των τελικών εκμαγείων, ώστε να μπορούν να αξιοποιούνται σε διάφορες διαδικασίες από εκμαγεία μελέτης έως και εκμαγεία κατασκευής ακίνητων προσθετικών εργασιών.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των ψηφιακών εκμαγείων γίνεται μέσω της διαδικασίας CAD/CAM. Τα αρχικά CAD/CAM προέρχονται από τις αγγλικές λέξεις computer-aided design (υποβοηθούμενη από υπολογιστή σχεδίαση) και computer-aided manufacturing (υποβοηθούμενη από υπολογιστή κατασκευή). Με ένα σύστημα CAD είναι δυνατή η σχεδίαση πριονωτών και εργασιών με τη χρήση συγκεκριμένου λογισμικού στον υπολογιστή, ενώ με ένα σύστημα CAM παρέχεται η δυνατότητα κατεργασίας των πρώτων υλών με αφαίρεση υλικού (αφαιρετική μέθοδος) ή πρόσθεση υλικού (προσθετική μέθοδος) για την κατασκευή της εργασίας με ηλεκτρονική καθοδήγηση της εργαλειομηχανής, όπου επεξεργάζεται το υλικό για την κατασκευή του τελικού προϊόντος.¹⁷

Τα συστήματα CAD/CAM αποτελούνται από τρία σημαντικά μέρη.

1. Μία μονάδα απόκτησης δεδομένων (σαρωτής), η οποία συλλέγει τα δεδομένα από την περιοχή των παρασκευασμένων δοντιών και των γειτονικών ιστών, μετατρέπει στη συνέχεια τα δεδομένα σε εικονικό αποτύπωμα στον υπολογιστή. Το εικονικό αποτύπωμα μετατρέπεται είτε με την απευθείας σάρωση του στόματος, είτε έμμεσα με τη σάρωση του γύψινου εκμαγείου στο εργαστήριο.

2. Ένα λογισμικό για τον σχεδιασμό των εικονικών πληροφοριών που συλλέγονται στη ψηφιακή αποτύπωση και τη ρύθμιση όλων των παραμέτρων κοπής ή εκτύπωσης.

3. Μία μονάδα παραγωγής που μετατρέπει τα δεδομένα από το λογισμικό σε ένα επιθυμητό προσθετικό αποτέλεσμα. Αυτή η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με αφαίρεση υλικού (φρεζάρισμα) ή με πρόσθεση υλικού (εκτύπωση). Τα δεδομένα του υλικού μετατρέπονται σε κινήσεις ειδικών εργαλείων για την ακριβή κοπή της εκάστοτε εργασίας

Τα πρώτα δύο μέρη εκτελούν τη CAD εργασία ενώ το τρίτο μέρος εκτελεί τη CAM εργασία.^{54,52,17}

Τα συστήματα CAD/CAM μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους, με βάση τις δυνατότητες ανταλλαγής δεδομένων:

1. Κλειστά συστήματα CAD/CAM. Προσφέρουν όλες τις διαδικασίες του CAD/CAM (συλλογή δεδομένων, σχεδιασμό και κατασκευή αποκατάστασης) με όλα τα βήματα ενσωματωμένα σε ένα σύστημα. Δεν μπορεί να υπάρχει ανταλλαγή με άλλα συστήματα σε κανένα στάδιο. Προσεγγίζουν ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό και λογισμικό της ίδιας εταιρίας.

2. Ανοιχτά συστήματα CAD/CAM. Προσφέρουν τις διαδικασίες CAD/CAM με τη δυνατότητα αλλαγής συστήματος σε οποιοδήποτε στάδιο. Μπορούν να προσεγγίζουν ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό και λογισμικό από διαφορετικές εταιρίες.^{53,52,17}

3. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επειδή η απευθείας στο στόμα κατασκευή των προσθετικών εργασιών είναι ιδιαίτερα δύσκολη, χρονοβόρα, άβολη και σχεδόν αδύνατη, οι εργασίες κατασκευάζονται με έμμεσο τρόπο στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο μέσω της χρήση ομοιωμάτων της στοματικής κοιλότητας, των λεγόμενων εκμαγείων εργασίας. Η διαδικασία απαιτεί την ακριβή παραγωγή των παρασκευασμένων και ανταγωνιστικών δοντιών, και των περιβάλλοντων στοματικών ιστών, ώστε η παρασκευασμένη ακίνητη προσθετική εργασία να μπορεί να εφαρμόζει στο στόμα με ακρίβεια.

Τα οδοντικά εκμαγεία μπορούν να κατασκευαστούν από τα διάφορα είδη της γύψου, ή από μέταλλο και ρητίνες ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση και τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας του εκμαγείου. Στην ακίνητη προσθετική τα εκμαγεία χρησιμοποιούνται ως αναπαράσταση της στοματικής κοιλότητας για την κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών όπως ενθέτων, ακίνητων γεφυρών και άλλων ακίνητων προσθετικών εργασιών.

Παραδοσιακά, η κατασκευή των ακίνητων προσθετικών εργασιών γινόταν μόνο στα συμβατικά εκμαγεία, γνωστά ως γύψινα εκμαγεία. Όμως με την πρόοδο της τεχνολογίας στην οδοντιατρική και στην οδοντική τεχνολογία, έχουν εισαχθεί πλέον και τα ψηφιακά εκμαγεία στην κατασκευή των ακίνητων προσθετικών εργασιών. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, στόχος είναι η εξέταση σε πρώτο στάδιο και τελικώς η εύρεση του αποτελεσματικότερου εκμαγείου ανάμεσα του προσφάτως εισαχθέντος – δηλαδή των ψηφιακών εκμαγείων – και των παραδοσιακών συμβατικών εκμαγείων. Η εξέταση έγκειται στη λειτουργικότητα και αποτελεσματικότητα τους για την κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών και ενδεικτικά οι συγκρίσιμοι παράγοντες αφορούν τα εκάστοτε πλεονεκτήματα, την ακρίβεια και την αναπαραγωγικότητα.

3.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΕΚΜΑΓΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για πολλά χρόνια στην ακίνητη προσθετική χρησιμοποιούνται τα συμβατικά εκμαγεία, αποτελώντας το χρυσό πρότυπο για τη σύγκριση της ακρίβειας και της πιστότητας ενός εκμαγείου, ώστε να θεωρείται κατάλληλο για την κατασκευή ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων. Εμπειρικά γίνεται προφανές ότι τα γύψινα εκμαγεία παρουσιάζουν ακριβείς και αξιόπιστες πληροφορίες αναφορικά με τα οδοντικά τόξα των ασθενών, τη θέση των δοντιών και τις διαστάσεις τους.⁵⁴

Για την κατασκευή των συμβατικών εκμαγείων αρχικά λαμβάνεται τα αποτυπώματα των γνάθων (άνω και κάτω γνάθων) από τον οδοντίατρο με το κατάλληλο για την περίπτωση υλικό αποτύπωσης, το οποίο τοποθετείται σε δισκάριο εμπορίου ή σε ατομικό δισκάριο κατασκευασμένο ειδικά για τον συγκεκριμένο ασθενή και ακολουθεί η διαδικασία κατασκευής στο εργαστήριο.

Η γύψος είναι το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας διαχείρισής του και της συμβατότητάς της με τα ελαστομετρικά υλικά αποτύπωσης.¹⁰⁴

Η ακρίβεια τους επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως τη σωστή λήψη του αποτυπώματος, το υλικό κατασκευής του εκμαγείου, την τήρηση του χρόνου κατασκευής, όπως αυτός ορίζεται από τον κατασκευαστή της γύψου, την εμπειρία του χειριστή, κ.ά.⁵⁵

3.2.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ζωτικής σημασίας πριν την έναρξη της κατασκευαστικής διαδικασίας ενός εκμαγείου, κρίνεται η απολύμανση του αποτυπώματος για λόγους υγιεινής. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η μόλυνση από τους ιούς της ηπατίτιδας Β, C, το ιό του HIV κλπ. Τα αποτυπώματα αρχικά ξεπλένονται με άφθονο τρεχούμενο νερό, για να απομακρυνθούν τα υπολείμματα σάλιου ή αίματος ή οποιαδήποτε άλλη ξένη ουσία που μπορεί να υπάρχει. Στη συνέχεια τα αποτυπώματα βυθίζονται σε κατάλληλο αντισηπτικό διάλυμα για το συγκεκριμένο αποτυπωτικό υλικό για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, βάσει των οδηγιών χρήσης του. Η χρήση ακατάλληλου αντισηπτικού διαλύματος μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις στο αποτυπωτικό υλικό. Τέλος, τα αποτυπώματα ξεπλένονται

ξανά με νερό για την απομάκρυνση του απολυμαντικού υλικού και τέλος στεγνώνεται με αέρα.³

Απαραίτητος, επίσης, κρίνεται ο εγκιβωτισμός του αποτυπώματος, επειδή εξασφαλίζει τα περιφερειακά όρια της αποτύπωσης και το εκμαγείο είναι συμπαγές και ανθεκτικό.

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το πρώτο στάδιο κατασκευής είναι η προετοιμασία του πολτού γύψου. Αρχικά, στο ανάλογο μολ τοποθετείται το νερό και στη συνέχεια η σκόνη, η οποία προστίθεται σταδιακά και συγχρόνως πρέπει να ανακατεύεται συνέχεια με τη σπάθη γύψου. Βέβαια, στο σημείο αυτό της προετοιμασίας, δεν πρέπει να λησμονείται η ακριβής τήρηση των οδηγιών ως προς την αναλογία νερού και γύψου, όπως αυτές ορίζονται από τον κατασκευαστή. Στη συνέχεια, ο πολτός της γύψου τοποθετείται στη συσκευή ανάμειξης σε κενό, ώστε να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες του αέρα από τη μάζα του πολτού.

Ακολούθως, εγχέεται στο αποτύπωμα το φύραμα της γύψου σε μικρές ποσότητες στα ψηλότερα σημεία του αποτυπώματος, μακριά από τα κολοβώματα. Το αποτύπωμα κρατείται σε δονητή, ώστε με την κατάλληλη κλίση ο πολτός της γύψου να ρέει στα βαθύτερα σημεία αποφεύγοντας τον κίνδυνο εγκλεισμού φυσαλίδων αέρα. Το αποτύπωμα γεμίζεται μέχρι το σημείο εκείνο που οι αυχένες των κολοβωμάτων θα υπερκαλυφθούν κατά 1 έως 1.5cm, ώστε το εκμαγείο να έχει την απαραίτητη αντοχή και στα λεπτά σημεία.

Ο χρόνος διαδραματίζει και αυτός πολύ σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία και για αυτόν τον λόγο οι ειδικοί πρέπει να έχουν πάντα υπόψιν τους ότι για τα επόμενα 15' από τη στιγμή της έγχυσης της γύψου, πρέπει να αποφεύγεται η μετακίνηση του εκμαγείου. Σε διαφορετική περίπτωση ελλοχεύει ο κίνδυνος να προκληθούν βλάβες όπως για παράδειγμα να παρατηρήσουμε τυχόν ρωγμές.

Με την παρέλευση τουλάχιστον μίας ώρας, , το εκμαγείο αφαιρείται από το αποτύπωμα και διαμορφώνονται τα περιφερειακά του όρια στο ειδικό μηχάνημα εκτροχισμού της γύψου (συσκευή trimmer). ^{3,25,35}

3.2.2 ΧΑΡΑΧΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΚΑΛΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΕΚΜΑΓΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1. Πρέπει να είναι ελεύθερο από πόρους ειδικά στα αυχενικά όρια των εκτροχισμένων δοντιών.
2. Να είναι σταθερά τα κινητά κολοβώματα, όταν τοποθετούνται στο εκμαγείο τους.
3. Πρέπει να είναι δυνατή η αφαίρεση υλικού, για να μπορεί να γίνει η διευκρίνιση των αυχένων.⁵³

3.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ

Πλεονεκτήματα

1. Τα συμβατικά εκμαγεία παρουσιάζουν ακριβείς και αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τις γνάθους του ασθενή, τις θέσεις των δοντιών και κολοβωμάτων και τα μεγέθη τους.
2. Δεν απαιτούν περίπλοκα και ακριβά μηχανήματα για την κατασκευή τους.⁵⁴

Μειονεκτήματα

1. Δύσκολη η αποθήκευση τους.
2. Παρουσιάζουν τον κίνδυνο βλάβης ή θραύσης.
3. Δυσκολία ανταλλαγής των δεδομένων τους με άλλους επαγγελματίες που συμμετέχουν στη φροντίδα των ασθενών.
4. Παράγοντες όπως θερμοκρασία, διάστημα χρόνου μεταξύ αποτύπωσης και κατασκευής εκμαγείου κ.ά. μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια τους.^{54,56}

3.3 ΨΗΦΙΑΚΑ ΕΚΜΑΓΕΙΑ

Καινούργιες τεχνολογίες έχουν εισαχθεί και στην εφαρμογή της οδοντικής τεχνολογίας, προσφέροντας μάλιστα υψηλή ακρίβεια, αναπαραγωγικότητα, διευκολύνοντας ταυτόχρονα τη ροή εργασίας στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο. Μέσα σε αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις συμπεριλαμβάνονται και τα ψηφιακά εκμαγεία, που

προσφέρουν πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα όπως την μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών, απαιτούν μικρό χώρο αποθήκευσης κ.ά. Όμως, ακόμα συνεχίζονται οι μελέτες για την τελική τους επιβεβαίωση ως έγκυρων εναλλακτικών των συμβατικών εκμαγείων.

3.3.1 ΣΑΡΩΤΕΣ

Για την κατασκευή των ψηφιακών οδοντικών εκμαγείων, η στοματική κοιλότητα ψηφιοποιείται είτε με απευθείας σάρωση κοιλότητας με ενδοστοματικό σαρωτή (ενδοστοματική ψηφιοποίηση) είτε έμμεσα με σάρωση φυσικού εκμαγείου ή αποτυπώματος (εξωστοματική ψηφιοποίηση).

Στην τομέα της οδοντικής τεχνολογίας και της οδοντιατρικής ο όρος «σαρωτής» δηλώνει τα εργαλεία συλλογής δεδομένων που μετρούν τρισδιάστατες δομές γνάθων και δοντιών και μετατρέπουν αυτά σε ένα σύνολο ψηφιακών δεδομένων.³⁶ Οι σαρωτές θεωρούνται ως ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της ψηφιακής οδοντιατρικής.^{57,58}

3.3.1.1 ΤΥΠΟΙ ΣΑΡΩΤΩΝ

1. **Ενδοστοματικοί σαρωτές:** σαρωτές που χρησιμοποιούνται από τους οδοντίατρους για τη σάρωση των γνάθων των ασθενών στο οδοντιατρείο.
2. **Εξωστοματικοί σαρωτές:** χρησιμοποιούνται στα οδοντοτεχνικά εργαστήρια για τη σάρωση εκμαγείων ή σπανίως των αποτυπωμάτων.⁵⁹ Μελέτες έχουν αναφέρει ότι η σάρωση των εκμαγείων παράγει υψηλότερη ακρίβεια από τη σάρωση αποτυπωμάτων.^{57,60}

Οι εξωστοματικοί οδοντικοί εργαστηριακοί σαρωτές αποτελούνται από: μία πηγή φωτός, έναν υποδοχέα και σύστημα εντοπισμού θέσης που μετακινεί το εκμαγείο προς σάρωση σε διάφορους άξονες.

Το αποτέλεσμα και από τους δύο αυτούς σαρωτές είναι τα τρισδιάστατα ψηφιακά εκμαγεία του στόματος του ασθενούς, τα οποία θα αξιοποιηθούν για τον σχεδιασμό της προσθετικής εργασίας μέσω CAD διαδικασίες.

3.3.1.2 ΕΙΔΗ ΣΑΡΩΤΩΝ.

Υπάρχουν δύο είδη σαρωτών:

1. οπτικοί σαρωτές.
2. μηχανικοί σαρωτές.

ΟΠΤΙΚΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ

Οι εν λόγω σαρωτές συλλέγουν τρισδιάστατες δομές, βασιζόμενοι σε οπτικές τεχνολογίες, όπως την τεχνολογία εστιακής μικροσκοπίας, ενεργής στερεοσκοπικής (active stereo) και τριγωνισμού, χωρίς να έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο. Στη λεγόμενη διαδικασία τριγωνισμού, η πηγή φωτός (παραδείγματος χάριν λέιζερ) και η μονάδα υποδοχέα βρίσκονται σε μία καθορισμένη μεταξύ τους γωνία. Η κάμερα προβάλλει ένα μεταβαλλόμενο μοτίβο φωτός επάνω στο αντικείμενο. Μέσω αυτής της γωνίας, ο υπολογιστής το διαβάζει με μία ελαφρώς διαφορετική γωνία και υπολογίζει το σύνολο 3D δεδομένων από την εικόνα στη μονάδα υποδοχέας. Η πηγή φωτός δίνεται με δύο τρόπους είτε με προβολές λευκού φωτός ή προβολές μπλε φωτός ή δέσμη λέιζερ. Ωστόσο, οι ενδοστοματικές σαρωτές κατέχουν παραπάνω από ένα από τα αναφερόμενες τεχνικές απεικόνισης για την Ελαχιστοποίηση του θορύβου που προκύπτει κατά τη σάρωση της στοματικής κοιλότητας. Συγκεκριμένα, παρατηρείται θόρυβος που σχετίζεται με τα οπτικά χαρακτηριστικά των επιφανειών-στόχων (διαφάνεια και η διαφορετική ανακλαστικότητα των υλικών-στόχων όπως τα δόντια, τα ούλα, υπάρχοντων αποκαταστάσεις, ρητίνες κ.λπ.).^{61,62,37,17}

Παράλληλα, πλεονεκτούν ως προς την υψηλή ταχύτητα απόκτησης 3D δεδομένων, την ευκολία χρήσης και την ακρίβεια. Μειονεκτούν, όμως, ως προς την ευαισθησία τους σε επιφάνειες με μεγάλη αντανάκλαση και σε συνθήκες φωτισμού.

Μερικοί από τους διαθέσιμους οπτικούς σαρωτές στην αγορά

1. *7series scanner from dental wings*. Σαρώνει τόσο τα οδοντιατρικά εκμαγεία όσο και τα αποτυπώματα. Περιγράφεται από τον κατασκευαστή ως σαρωτής με ευελιξία σάρωσης, υψηλού επιπέδου ακρίβειας και ευρύ φάσμα εφαρμογών

προσθετικού σχεδιασμού. Προσφέρεται σε δύο πακέτα: τη συνέργεια (synergy package) και το πακέτο παραγωγικότητας (productivity package).⁶³ Εικ. 16



*Εικ: 16, 7series σαρωτή από dental wings.*⁶³

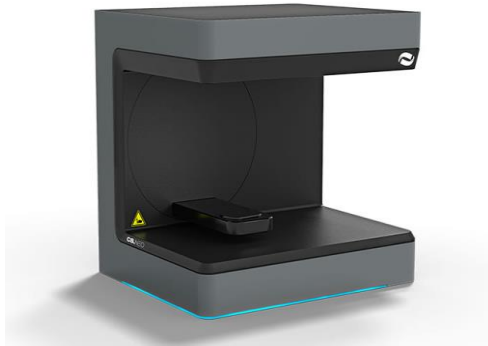
2. *AutoScan-DS-EX* από SHINING 3D Κίνα. Πρόκειται για έναν φορητό σαρωτή με βάρος περίπου 5kg Ο κατασκευαστής το περιγράφει ως έναν σαρωτή γρήγορης ταχύτητας ικανό να σαρώσει το δάγκωμα σε 13s, 1-8 κολοβώματα σε 30s, ενιαίο γνάθου σε 30s και ένα αποτύπωμα σε 120s. Εξάγει τα δεδομένα του σε μορφή STL, που είναι εξαιρετικά συμβατά με ανοιχτά συστήματα CAD/CAM.⁴⁶⁴ Εικ. 17



*Εικ: 17, AutoScan-DS-EX από SHINING 3D china.*⁶⁴

3. *CS.Neo Pro* from CADstar Australia. Σαρωτής με λευκό φως LED. Περιγράφεται από τον κατασκευαστή ως σαρωτής με υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα,

αξιοσημείωτη ταχύτητα σάρωσης που μπορεί να σαρώσει μία ολόκληρη γνάθο σε 12s. Εξάγει τα δεδομένα σάρωσης σε μορφές STL, OBJ και ply.⁶⁵ εικ. 18



Εικ 18. CS.Neo Pro από CAD star Australia.⁶⁵

ΜΙΧΑΝΙΚΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ

Σε αυτό το είδος σαρωτής, το εκμαγείο σαρώνεται μηχανικά, γραμμή προς γραμμή με τη βοήθεια αισθητήρων επαφής (contact probes), οι οποίοι μπορούν αυτόματα να ακολουθήσουν τις εξωτερικές καμπύλες της επιφάνειας του εκμαγείου για τον υπολογισμό της τρισδιάστατης δομής του.

Αυτός ο σαρωτής προσφέρει πολύ υψηλή ακρίβεια, καθώς η διάμετρος των σφαιρών τριβής έχουν ρυθμιστεί στη μικρότερη φρέζα της μηχανής κοπής και μπορούν να εμφανίζουν σφάλμα μόνο από **+0.01mm ως +0.02mm**. Ως αποτέλεσμα, όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τον σαρωτή μπορούν επίσης να κοπούν στο μηχάνημα κοπής.

Αυτός ο σαρωτής παρουσιάζει το μειονέκτημα κόστους. , Επίσης, σημειώνεται η αδυναμία αποτύπωσης χρώματος και η πολύωρη διαδικασία επεξεργασίας σε σύγκριση με τους οπτικούς σαρωτές, καθώς επηρεάζεται από το μέγεθος του σαρώμενου αντικειμένου. Πλεονεκτεί, ωστόσο, ως προς την ποιότητα σάρωσης, καθώς δεν επηρεάζεται από παράγοντες όπως η φωτεινότητα, η λάμψη της επιφάνειας ή άλλες οπτικές ιδιότητες του αντικειμένου που σαρώνεται.^{17,36}

3.3.1.3 Ακρίβεια Οπτικών σαρωτών έναντι μηχανικών σαρωτών

Σε μία μελέτη που αξιολόγησε την ακρίβεια (αληθινότητα και ακρίβεια) των διαφορετικών εργαστηριακών σαρωτών με διαφορετικές τεχνολογίες σάρωσης, το τελικό εκμαγείο σαρώθηκε από 3 σαρωτές δομημένου φωτός, 2 σαρωτές λέιζερ και 1 σαρωτή επαφής. Παρατηρήθηκε πως οι διαφορετικές τεχνολογίες σάρωσης (φως, λέιζερ ή επαφή) δεν επηρεάζουν τη συνολική ακρίβεια των σαρωτών, αλλά μόνο συγκεκριμένες πτυχές της διαδικασίας σάρωσης, και η ακρίβεια όλων των σαρωτών CAD/CAM ήταν κλινικά αποδεκτή.⁶²

Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με τα ευρήματα του Persson A. και των συνεργατών του,⁶⁶ όταν συνέκριναν την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα των οπτικών σαρωτών με αυτή των σαρωτών επαφής. Συμπερασματικά, δεν σημείωσαν σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων σαρωτών.

3.3.1.4 ΕΞΟΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΣΑΡΩΣΗ

Για τη ψηφιοποίηση, το γύψινο εκμαγείο τοποθετείται στη βάση του σαρωτή. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σάρωσης, η πλατφόρμα μετακινεί αυτόματα το εκμαγείο. Επομένως το λέιζερ ή το φως φτάνει στο εκμαγείο από πολλαπλές γωνίες. Οι ακτίνες φωτός προβάλλονται στο εκμαγείο και οι κάμερες καταγράφουν τις αντανακλάσεις τους από την επιφάνεια για τη δημιουργία του εικονικού εκμαγείου.

3.2.1.3 ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΣΑΡΩΣΗ

Οι ψηφιακές αποτυπωτικές συσκευές χρησιμοποιούνται εναλλακτικά της συμβατικής τεχνικής

Ένας ενδοστοματικός σαρωτής αποκτά σταδιακά μεμονωμένες εικόνες οι οποίες ενώνονται μαζί σε ένα εικονικό εκμαγείο. **Εικ 19**

Μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση, τα αρχεία που προκύπτουν αποθηκεύονται είτε ως stereolithographic Standard Tessellation Language (STL) είτε ως ιδιόκτητο κρυπτογραφημένο αρχείο.



Εικ. 19 Εικονικό εκμαγείο από μία ενδοστοματική σαρωτή 3shape.²⁸

Κάποια από τα ενδοστοματικά συστήματα αποτύπωσης που υπάρχουν σήμερα:

1. TRIOS από 3Shape (Copenhagen, Denmark)
2. Dental wings (montreal, QC)
3. CEREC Omnicam (Dentsply, Germany, US)
4. True definition απο 3M ESPE.^{67,68}

3.3.1.6 ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΟΔΟΝΤΙΚΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΑ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΟΔΟΝΤΙΚΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΑ

Για να γίνει αποδεκτό ένα ψηφιακό εκμαγείο κατασκευασμένο από ένα ενδοστοματικό ψηφιακό αποτύπωμα, θα πρέπει πρώτα η ακρίβεια των ενδοστοματικών αποτυπωμάτων να είναι αποδεκτή, όπως είναι τα συμβατικά αποτυπώματα και το έχουν αποδείξει και επιστημονικά και εμπειρικά ότι παράγουν εκμαγεία αποδεκτά για την κατασκευή των ακίνητων προσθετικών προσθέσεων.

Έτσι λοιπόν θα εξετάσουμε επιγραμματικά την ακρίβεια των ψηφιακών αποτυπωμάτων, συγκρίνοντας τα με τα συμβατικά αποτυπώματα τα οποία η ακρίβεια τους θεωρείται δεδομένη στην οδοντοτεχνική και στην οδοντιατρική.

Μικρές αποκαταστάσεις (ένα δόντι έως και γέφυρα 6 δοντιών)

Αρκετές μελέτες έχουν αξιολογήσει την ακρίβεια των ενδοστοματικών ψηφιακών αποτυπωμάτων, συγκρίνοντάς τα με συμβατικά αποτυπώματα. Συγκεκριμένα, σε μία

μελέτη ο Ender και οι συνεργάτες του⁶⁹ αξιολόγησαν την ακρίβεια ψηφιακών και συμβατικών αποτυπωμάτων τεταρτημόριων για μικρές αποκαταστάσεις αντί για αποτυπώματα ολικής γνάθου και διαπίστωσαν ότι τα ψηφιακά οδοντικά αποτυπώματα παρουσίαζαν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα συμβατικά οδοντικά αποτυπώματα.⁶⁹

Πληθώρα άλλων μελετών και ερευνών, πραγματευόμενων την αξιολόγηση της ακρίβειας των ενδοστοματικών ψηφιακών αποτυπωμάτων για τη χρήση κατασκευής στεφανών και μικρών ακίνητων γεφυρών, διαπιστώσαν πως τα ψηφιακά εκμαγεία προερχόμενα από ενδοστοματικές σαρώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια για την κατασκευή των εν λόγω ακίνητων προσθετικών εργασιών με κλινικά αποδεκτή ακρίβεια.^{70,71,72,73}

Αποτυπώματα ολόκληρου του οδοντικού τόξου

Μελέτες που συγκρίνουν την ακρίβεια των συμβατικών και ψηφιακών μεθόδων αποτύπωσης δοντιών ολόκληρου του οδοντικού τόξου, διαπιστώσαν ότι τα συμβατικά αποτυπώματα παρέχουν υψηλότερη ακρίβεια σε σύγκριση με τα αποτυπώματα κατασκευασμένα με ψηφιακές μεθόδους αποτύπωσης μετά τη σάρωση ολικής γνάθου..^{74,75,76,77}

Γενικότερα, η ακρίβεια των αποτυπωμάτων ποικίλει ανάλογα με το υλικό αποτύπωσης, τη μέθοδο αποτύπωσης και τα διάφορα ενδοστοματικά συστήματα αποτύπωσης. Ender και τους συνεργάτες του.^{78,79}

Αποτυπώματα εμφυτευμάτων

Μελέτες που ερευνήσαν τη χρήση ενδοστοματικών ψηφιακών αποτυπώσεων συγκρίνοντας τις με συμβατικές αποτυπώσεις, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι συμβατικές μέθοδοι αποτύπωσης είναι περισσότερο ακριβείς από τις ψηφιακές μεθόδους αποτύπωσης. Όμως και οι δύο μέθοδοι κρίνονται κλινικά αποδεκτές για την κατασκευή μερικών ακίνητων προσθετικών σε εμφυτεύματα.^{80,81,82} Η ακρίβεια των ψηφιακών αποτυπωμάτων μειώνεται με την αύξηση αριθμών εμφυτευμάτων,⁸³ **πιν.2.**

Πίνακας 2, Συσχέτιση μεταξύ αριθμού εμφυτευμάτων και 3D αποκλίσεων.⁸³

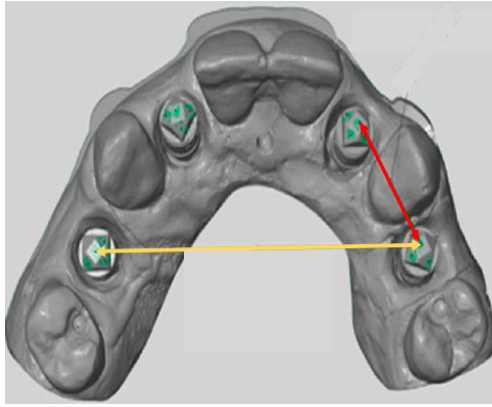
Number of implants	N	Mean	Median	SD	Correlation coefficient	p Value
					0.345	0.191
4 implants	4	139	125	56		
5 implants	5	146	93	90		
6 implants	7	185	144	81		

3.3.1.7 ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΕΣ ΕΝΑΝΤΙ ΕΞΩΣΤΟΜΑΤΙΚΕΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΣΑΡΩΣΕΙΣ

Διάφορες μελέτες έχουν ερευνήσει την ενδοστοματική και εξωστοματική σάρωση μίας έως τεσσάρων μονάδων δοντιών και σημαντικά στοιχεία δείχνουν πως η οριακή εφαρμογή και η ακρίβεια των ακίνητων προσθέσεων που λαμβάνεται μετά την ενδοστοματική σάρωση είναι εξίσου ή καλύτερη από αυτή που λαμβάνεται μετά από τη σάρωση του εκμαγείου στο εργαστήριο.^{84,85,86,87}

Σε μία άλλη μελέτη αξιολόγησης της επιφανειακής μορφολογίας και μετρήσεων ακριβείας των διάφορων ενδοστοματικών και εξωστοματικών σαρωτών,⁸⁸ ο Lee και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν ένα εκμαγείο αναφοράς της κάτω γνάθου με τέσσερα εργαστηριακά ανάλογα και το σκάνισαν με διαφορετικές ενδοστοματικές και εξωστοματικές σαρωτές. Η ακρίβεια των ψηφιακών αποτυπωμάτων αξιολογήθηκε μετρώντας την απόσταση μεταξύ των σημείων αναφοράς των εργαστηριακών αναλόγων #10 και #12 για τις μετρήσεις ιδίου τεταρτημόριου και των εργαστηριακών αναλόγων #5 και #12 για τις cross-arch γραμμικές μετρήσεις. Εικ. 20

Παρατήρησαν πως για μετρήσεις ακριβείας στο ίδιο τεταρτημόριο, δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων σαρωτών, όμως οι εξωστοματικές σαρωτές παρουσίασαν υψηλότερη ακρίβεια από τους ενδοστοματικές σαρωτές για τις cross arch μετρήσεις.



Εικ. 20, γραμμικές μετρήσεις για cross arch και μετρήσεις ιδίου τεταρτημόριου. ⁸⁸

(Κίτρινο βέλος: cross arch γραμμικές μετρήσεις, κόκκινο βέλος: γραμμικές μετρήσεις ιδίου τεταρτημόριου)

Σε επόμενη έρευνα, ο Anthony S. και οι συνεργάτες⁸⁹ συνέκριναν την πιστότητα και ακρίβεια των ψηφιακών οδοντικών αποτυπωμάτων ολοκλήρου οδοντικού τόξου της κάτω γνάθου χρησιμοποιώντας διάφορα ενδοστοματικά ψηφιακά συστήματα αποτύπωσης και έναν εργαστηριακό σαρωτή, μετά την κατασκευή ενός γύψινου εκμαγείου. Τα αποτελέσματα που παρελήφθησαν έδειξαν ότι τα 3D εκμαγεία ,προϊόντα εργαστηριακών σαρωτών, έχουν λίγο υψηλότερη ακρίβεια σε σχέση με τα εκμαγεία ενδοστοματικών σαρωτών, αλλά και τα δύο είναι εντός των αποδεκτών ορίων απόκλισης. Συνεπώς οι αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται από ψηφιακά αποτυπώματα θα είναι της ίδιας ποιότητας με αυτά που κατασκευάζονται από εκμαγεία που ψηφιοποιήθηκαν από συμβατικά εκμαγεία.

Αρκετές μελέτες έχουν προκύψει με αποτελέσματα και συμπεράσματα που συμφωνούν με τα ευρήματα του Anthony και τους συνεργάτες του.⁸⁹ Εντούτοις, υπήρχε ένας πολύ κρίσιμος περιορισμός· οι περισσότερες από τις έρευνες διεξάχθηκαν με σάρωση του οδοντικού εκμαγείου ή μίας γνάθου εκτός της στοματικής κοιλότητας, αλλά όχι με την ίδια τη στοματική κοιλότητα.^{90,91,84,85,88} Συνεπώς, το στοματικό περιβάλλον δεν αναπαρήχθη πλήρως και ως εκ τούτου δεν εντοπίστηκαν οι δυσκολίες όπως η κίνηση της γλώσσας, η ροή σάλιου, η αδυναμία του ασθενή να διατηρήσει το στόμα του ανοιχτό για πολλή ώρα.

Μελέτες που εστιάσαν στη σάρωση της στοματικής κοιλότητας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το στοματικό περιβάλλον επηρεάζει αρνητικά την ακρίβεια των συστημάτων σάρωσης.⁹²

3.3.2 3D ΕΚΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΕΚΜΑΓΕΙΩΝ

Όταν λαμβάνονται εικονικά ψηφιακά εκμαγεία μέσω ενδοστοματικού σαρωτή, οι ακίνητες προσθετικές εργασίες μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν στην απουσία φυσικού εκμαγείου. Όμως, απαιτούνται φυσικά εκμαγεία, όταν πρόκειται να προστεθεί πορσελάνη χειροκίνητα και όταν οι πληροφορίες για τα διπλανά και ανταγωνιστικά δόντια είναι απαραίτητες. Τα φυσικά εκμαγεία συνήθως κατασκευάζονται με την προσθετική μέθοδο με τη βοήθεια ενός 3D εκτυπωτή.⁹⁴

Παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά εκμαγεία όπως χαμηλό βάρος, μικρό κίνδυνο θραύσης, μεγάλη αντοχή στην αποτριβή, λιγότερα στάδια κατασκευής και δυνατότητα κατασκευής πάνω από ένα εκμαγείο ακόμα και ταυτόχρονη παραγωγή πανομοιότυπων εκμαγείων. Ακόμα, τα κατασκευασμένα εκμαγεία μπορούν να ανακυκλωθούν και παρέχεται η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του υλικού· γεγονός φιλικό προς το περιβάλλον.⁴⁴ Τα μειονεκτήματά τους έγκεινται στο υψηλό κόστος της συσκευής εκτύπωσης και των ρητινών.

Η κατασκευή τους γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία:

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Αυτή περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα, όπως αυτά αναφέρονται παρακάτω.

α) απόκτηση δεδομένων β) επεξεργασία δεδομένων γ) προσθετική κατασκευή δ) διαδικασίες μετά-επεξεργασίας.

Μετά την *απόκτηση των δεδομένων (σάρωση)* - όπως αυτή έχει ήδη περιγραφεί - , ακολουθεί η *επεξεργασία των δεδομένων*. Εδώ, τα σαρωμένα δεδομένα εισάγονται στο σύστημα CAD. Το εκμαγείο τεμαχίζεται σε πολλά στρώματα κατά μήκος μίας κατεύθυνσης (συνήθως κατεύθυνση Z) με ένα προκαθορισμένο πάχος στρώματος. Κάθε στρώμα έχει πληροφορίες για το περίγραμμα του εκμαγείου και τα γεμίσματα του σε αυτό το ύψος. Όταν ολοκληρωθεί η σχεδίαση του αντικειμένου, το αρχείο STL από το

σύστημα CAD εισάγεται στο λογισμικό του εκτυπωτή, όπου καθορίζονται οι μεταβλητές δόμησης και οι παράμετροι για την αποθήκευση και την προσθήκη των δομών υποστήριξης για τη δημιουργία των πληροφοριών που απαιτούνται για τον έλεγχο του εκτυπωτή 3D.

Ακολουθεί το τρίτο στάδιο της *προσθετικής κατασκευής*. *Πρόσθετη κατασκευή* σημαίνει κατασκευή του εκμαγείου στρώμα-στρώμα από το 3D εκτυπωτή, χρησιμοποιώντας το επεξεργασμένο αρχείο από το προηγούμενο στάδιο, με κάθε στρώμα σταθερά προσκολλημένο στο προηγούμενο στρώμα. Μετά την κατασκευή των εκμαγείων από ένα 3D εκτυπωτή, ακολουθεί ένα πολύ σημαντικό στάδιο, αυτό της *μετά-επεξεργασίας*. Είναι το τελευταίο στάδιο στη διαδικασία κατασκευής και περιλαμβάνει τον καθαρισμό του εκμαγείου και την ολοκλήρωση του πολυμερισμού του. Κάθε διαδικασία και εκτυπωτής έχει τις δικές του συστάσεις μετά-επεξεργασίας που παρέχονται από τον κατασκευαστή.

Η μετά-επεξεργασία βελτιώνει την ποιότητα των εκμαγείων και διασφαλίζει ότι πληρούνται οι προδιαγραφές σχεδιασμού τους. Η διαδικασία μπορεί να ενισχύσει τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας ενός μέρους, τη γεωμετρική ακρίβεια, την αισθητική, τις μηχανικές ιδιότητες και πολλά άλλα.^{59,61}

Όλα όσα προαναφέρθηκαν αφορούν τα γενικά στάδια προσθετικής κατασκευής. Παρακάτω θα περιγραφεί αναλυτικά μία από τις διάφορες τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής.

ΣΤΕΡΕΟΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ (SLA)

Η στερεολιθογραφία αποτελεί το πρώτο τρισδιάστατο σύστημα εκτύπωσης το οποίο εμφανίστηκε στην αγορά.

Η μέθοδος περιλαμβάνει ένα λουτρό από φωτοευαίσθητη υγρή ακριλική ρητίνη, μία πλατφόρμα οικοδόμησης του εκμαγείου και υπεριώδη ακτινοβολία (UV) λέιζερ για τη σκλήρυνση της ρητίνης. Μετά από κάθε πολυμερισμό του στρώματος, η πλατφόρμα οικοδόμησης μετακινείται προς τα πάνω και κατά μήκος του άξονα Z και νέο υλικό ρέει κάτω από το προηγούμενο στρώμα και εκτίθεται με την επόμενη δέσμη λέιζερ.

Προσκολλάται σταθερά στο προηγούμενο στρώμα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται, ώσπου να ολοκληρωθεί η κατασκευή όλου του εκμαγείου.^{59,62}

Η DLP τεχνολογία είναι παρόμοια με εκείνη της SLA με τη διαφορά τους να έγκειται στην πηγή φωτός πολυμερισμού. Στην τεχνολογία SLA χρησιμοποιείται λέιζερ ενώ στη DLP UV φως που πολυμερίζει την υγρή ρητίνη, ώστε να προσκολληθούν τα στρώματα το ένα επάνω στο άλλο.⁶²

Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο υλικό για την κατασκευή των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων είναι η υγρή PMMA.

Κάποια από τα μειονεκτήματα της εκτύπωσης εκμαγείων περιλαμβάνουν την ακρίβεια των εκτυπωτών και το υψηλό κόστος του υλικού της ρητίνης και την ανάγκη των εκπαιδευμένων προσωπικών για τη συντήρηση των μηχανημάτων.⁹⁵

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα πτυχιακή έρευνα συγκρίνει και αξιολογεί τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και άλλους παράγοντες των συμβατικών και ψηφιακών εκμαγείων.

Είναι γνωστό πως το κάθε είδος εκμαγείου έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του, όμως η χρήση ψηφιακών εκμαγείων έχει αποδείξει ότι έχει περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών εκμαγείων, όπως απουσία κάποιων σταδίων στην κατασκευή του εκμαγείου, εξοικονόμηση χρόνου και υλικών, άνεση προς τους ασθενείς κ.ά.

Βέβαια, για να επιλεγεί το καταλληλότερο είδος εκμαγείου για την κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών, πέρα από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε είδος εκμαγείου, υπάρχουν ζωτικής σημασίας παράγοντες και πρέπει να πληρούνται από το συγκεκριμένο είδος εκμαγείου, ώστε να κριθεί κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μιας συγκεκριμένης ακίνητης προσθετικής εργασία. Έτσι λοιπόν πριν εισήχθη ένα είδος εκμαγείου στην κατασκευή ακίνητων προσθετικών εργασιών, θα πρέπει να αξιολογηθούν πρώτα κάποιο σημαντικοί παράγοντες όπως η ακρίβεια και η πιστότητα τους, η ακρίβεια των εργασιών κατασκευασμένων επάνω σε αυτά τα εκμαγεία κ.ά. Ως εκ τούτου έχουν διεξαχθεί ποικίλες μελέτες οι οποίες συγκρίνουν αυτούς τους παράγοντες σε διάφορα φυσικά επίπεδα εκμαγείων· δηλαδή το εκμαγείο ολικής γνάθου, το μερικό τόξο και τα λειτουργικά επίπεδα όπως, εκμαγείο για κατασκευή διάφορων ειδών ακίνητων εργασιών μεμονωμένου δοντιού, μερικών ακίνητων προσθέσεων, επιεμφυτευματικών εργασιών κ.ά.

Ακρίβεια

Σε μία έρευνα που αξιολόγησε την **ακρίβεια και αναπαραγωγημότητα** των ψηφιακών και συμβατικών εκμαγείων, ο Cho S. και οι συνεργάτες του⁹⁶ χρησιμοποίησαν ένα εκμαγείο εργασίας της κάτω γνάθου με πέντε τροχισμένα δόντια ως εκμαγείο αναφοράς. Από αυτό ελήφθησαν συμβατικά αποτυπώματα και κατασκευαστήκαν συμβατικά εκμαγεία. Έπειτα αξιοποιήθηκαν ψηφιακά αποτυπώματα χρησιμοποιώντας έναν ενδοστοματικό σαρωτή και κατασκευαστήκαν τα SLS ψηφιακά εκμαγεία. Το

εκμαγείο αναφοράς και τα κατασκευασμένα εκμαγεία από αυτό ψηφιοποιήθηκαν με έναν εργαστηριακό οπτικό σαρωτή και τα σαρωμένα στοιχεία αποθηκευτήκαν σε μορφή STL. Τα αρχεία STL του βασικού εκμαγείου (τυπογράφου) και των κατασκευασμένων εκμαγείων τοποθετήθηκαν το ένα στο άλλο με τη μέθοδο της καλύτερης προσαρμογής και υπολογιστήκαν οι διαφορές των διαστάσεων μεταξύ των δύο ειδών εκμαγείων και του εκμαγείου αναφοράς και ακολούθησαν οι στατιστικοί υπολογισμοί.

Για τις αυχενικές περιοχές, τα ψηφιακά εκμαγεία παρουσίασαν ελαφρώς μικρότερη τιμή απόκλισης (10 ± 0 mm) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα σημεία των συμβατικών εκμαγείων (12 ± 4 mm). Όσον αφορά την εσωτερική επιφάνεια, τα συμβατικά εκμαγεία προσέφεραν ελαφρώς μικρότερες τιμές απόκλισης (16 ± 3 mm) σε σύγκριση με την ομάδα ψηφιακών εκμαγείων (21 ± 4 mm). Πίνακα 3

Η ομάδα των συμβατικών εκμαγείων παρουσίασε την τιμή απόκλισης 57 ± 5 mm (FDP) και 14 ± 4 mm (μονό δόντι). Αντίθετα η ομάδα ψηφιακών εκμαγείων παρουσίασε εύρος απόκλισης 67 ± 8 mm (FDP) και 21 ± 5 mm (μονό δόντι). Πίνακας 4.

Στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην ακρίβεια και παραγωγικότητα των δυο ομάδων (συμβατικά και ψηφιακά εκμαγεία) για ολόκληρη την περιοχή του εκμαγείου, όπου η συμβατική ομάδα εκμαγείων παρουσίασε μικρότερες τιμές απόκλισης από εκείνες της ομάδας ψηφιακών εκμαγείων. Πίνακα 5.

Οι εικόνες 20 και 21 απεικονίζουν χρωματικές αποκλίσεις από το δόντι αναφοράς και εκμαγείο αναφοράς αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Μέσες (\pm SD) τιμές RMS και 95% CIs (σε mm) για αποκλίσεις εσωτερικής περιοχής και της περιοχής αυχένα των προετοιμασμένων δοντίων.⁹⁶

Cast	RMS (μ m)			
	Internal Area		Finish Line Area	
	Mean \pm SD	95% CI	Mean \pm SD	95% CI
Digital	22 \pm 5	16-27	10 \pm 0	10-10
Conventional	17 \pm 3	13-21	12 \pm 4	8-17

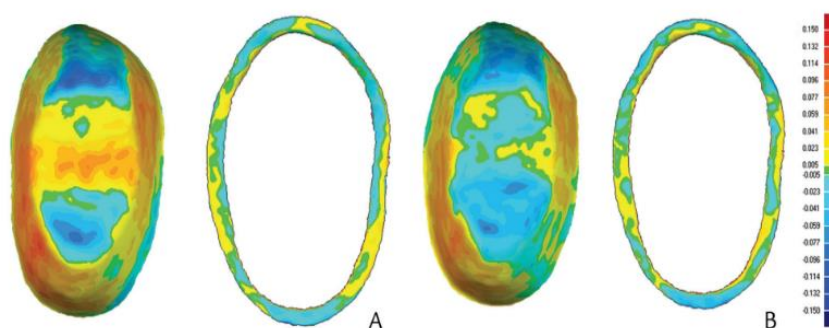
Δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές εντός ή μεταξύ των ομάδων

Πίνακας 4. Αποκλίσεις των προετοιμασμένων δοντιών σε FDP και μονό δόντι αποκαταστάσεις (σύγκριση 5 ψηφιακά και 5 συμβατικά εκμαγεία με το εκμαγείο αναφοράς).⁹⁶

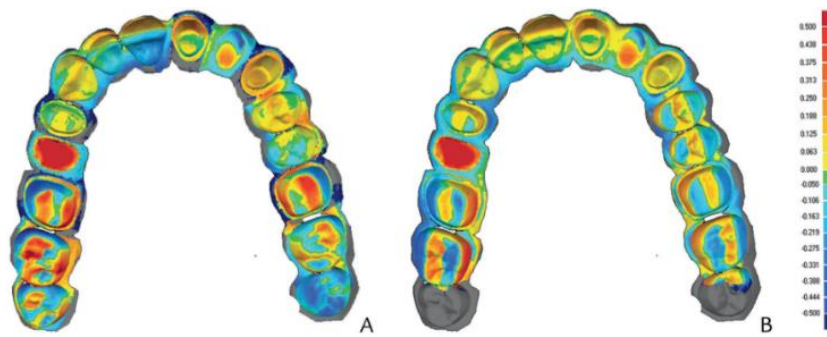
Cast	RMS (μm)			
	FDP		Single Crown	
	Mean ±SD	95% CI	Mean ±SD	95% CI
Digital	67 ±8	57-63	21 ±5*	14-27
Conventional	57 ±5	51-63	14 ±4*	10-19

Πίνακας 5. Ακρίβεια και αναπαραγωγικότητα των ψηφιακών και συμβατικών εκμαγείων ολικής γνάθων.⁹⁶

Cast	RMS (μm)			
	Accuracy		Reproducibility	
	Mean ±SD	95% CI	Mean ±SD	95% CI
Digital	27 ±7	5-38	91 ±10	79-104
Conventional	11 ±3*	7-15	54 ±6**	47-62



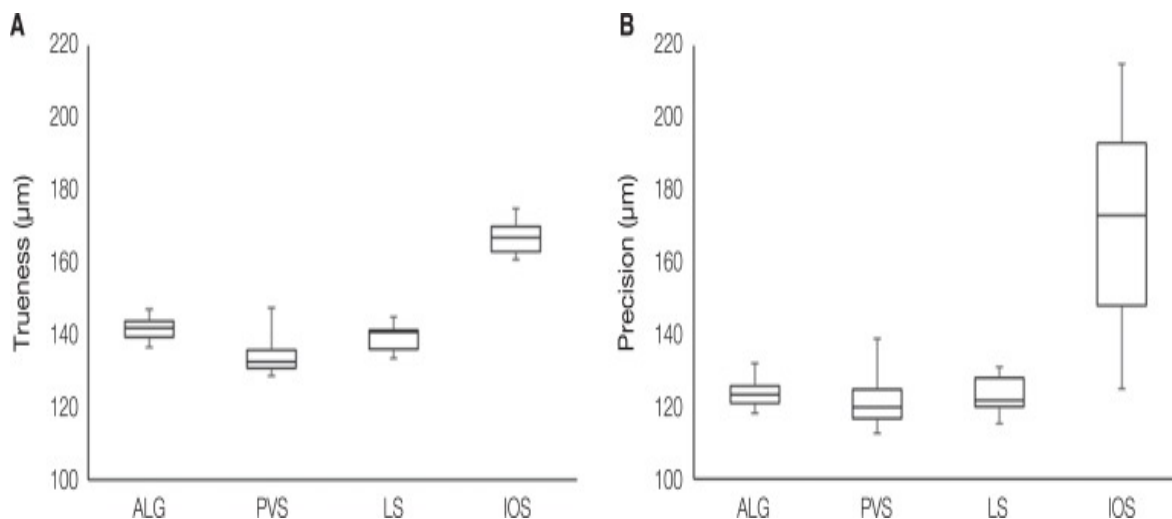
Είκ. 20, ποιοτική ανάλυση της εσωτερικής και του αυχενικού ορίου στο προετοιμασμένο κυνόδοντα. Α. ψηφιακή μέθοδος. Β. συμβατική μέθοδος.⁹⁶



Εικ. 21, ποιοτική ανάλυση της κατάστασης ολικής γνάθου. Α. ψηφιακή μέθοδος, Β. συμβατική μέθοδος.⁹⁶

Σε άλλη μελέτη που αξιολόγησε την **ακρίβεια και πιστότητα** των συμβατικών και ψηφιακών εκμαγείων,⁹⁵ ο Abduo J. και οι συνεργάτες του κατασκεύασαν εκμαγεία ολικής γνάθου από b αλγινικά (ALG) και πολυβινυλοσιλοξανίου (PVS) αποτυπώματα. Αυτά ελήφθησαν με δίσκους εμπορίου και ατομικά δισκάρια αντίστοιχα, και χύθηκαν με γύψους τύπου III και γύψους τύπου IV αντίστοιχα. Αποκτήθηκαν αποτυπώματα από IOS και LS και κατασκευαστήκαν φυσικά εκμαγεία για κάθε ομάδα με 3D εκτύπωση. Έπειτα, κάθε παραγόμενο εκμαγείο σαρώθηκε με ένα LS, για να δημιουργηθεί ένα εικονικό 3D εκμαγείο.

Παρατηρήθηκε ότι στο επίπεδο ολικού οδοντικού τόξου, η ορθότητα και η ακρίβεια ήταν υψηλότερη στα συμβατικά εκμαγεία, ακολουθούμενα από τα εκμαγεία LS – χωρίς σημαντική διαφορά – και , και τέλος βρίσκονταν τα εκμαγεία IOS με σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τις άλλες ομάδες. Στο επίπεδο δοντιού οι ερευνητές παρατήρησαν ότι τα LS και τα IOS εκμαγεία προσέφεραν τη μεγαλύτερη ακρίβεια και στη συνέχεια ακολουθούσαν τα συμβατικά εκμαγεία. Γενικότερα δεν σημειώθηκε σημαντική διαφορά στην ακρίβεια και πιστότητα μεταξύ των ομάδων ALG, PVS και LS. Όμως, η IOS είχε σημαντικά χαμηλή ακρίβεια και πιστότητα.⁹⁵ Εικ. 22



Εικ. 22 Διαγράμματα σχεδίασης πλαισίων που συγκρίνει την ακρίβεια των διαφόρων ομάδων. (Α πιστότητα και Β ακρίβεια)⁹⁵

Σε μία κλινική μελέτη αξιολογήθηκε η *ακρίβεια επιεμφυτευματικών αποκαταστάσεων ολόκληρου του οδοντικού τόξου* κατασκευασμένων στα ψηφιακά και συμβατικά εκμαγεία, ο Carrare p., και οι συνεργάτες του ⁹⁷ κατασκεύασαν 50 ολικές ακίνητες αποκαταστάσεις σε 6 εμφυτεύματα για 50 ασθενείς, 25 από τις οποίες ήταν από συμβατικά εκμαγεία και οι υπόλοιποι από ψηφιακά εκμαγεία Διαπίστωσαν πως οι αποκαταστάσεις και από τα δύο είδη εκμαγείων είχαν 100% βιωσιμότητα εμφυτευμάτων στη διάρκεια των δεκατεσσάρων μηνών, με όλες τις ακτίνες Χ να παρουσιάζουν ισάξια υψηλή ακρίβεια των αποκαταστάσεων.

Ο Amin S. και οι συνεργάτες του,⁹⁸ σε μία έρευνα που συνέκρινε την *ακρίβεια των συμβατικών και ψηφιακών εκμαγείων*, αποφάνθηκαν πως τα ψηφιακά εκμαγεία ολικής γνάθου παρασκευασμένα από ψηφιακά αποτυπώματα προσέφεραν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα συμβατικά επιεμφυτευματικά εκμαγεία ολικής γνάθου κατασκευασμένα από συμβατικά αποτυπώματα.

Αρκετές μελέτες κατέληξαν επίσης σε παρόμοιες παρατηρήσεις σχετικά με την ακρίβεια και την πιστότητα των ψηφιακών και συμβατικών εκμαγείων στην ακίνητη προσθετική.^{99,100}

Η υψηλότερη ακρίβεια των εκμαγείων από αποτυπώματα PVS αποδίδεται στις ιδιότητες του υλικού, όπως την ακρίβεια των επιφανειακών λεπτομερειών, τη

σταθερότητα διαστάσεων, την αντοχή στην αποτριβή και την καλή ελαστικότητα σε σχέση με τα μαλακά υλικά αποτύπωσης.^{95,101}

Η μικρότερη ακρίβεια των αυχενικά συμβατικών εκμαγείων μπορεί να αποδοθεί στις παραμορφώσεις του υλικού αποτύπωσης κατά την αφαίρεσή του από τις χαμηλές περιοχές. Από την άλλη πλευρά τα συμβατικά εκμαγεία παρουσίασαν την καλύτερη εσωτερική εφαρμογή και αυτό επειδή γενικότερα οι επιφάνειες (παρειαικές & γλωσσικές) επηρεάζονται ελάχιστα από την αφαίρεση του αποτυπώματος.^{95,96}

Για μικρό φάσμα σάρωσης, τα IOS εκμαγεία είχαν την ίδια ακρίβεια με τα LS εκμαγεία. Αυτό σημαίνει ότι η κάμερα του σαρωτή IOS έχει την ακρίβεια συγκρίσιμη με αυτή του εργαστηριακού σαρωτή (LS). Επίσης, αυτή η ακρίβεια αποδίδεται στη μειωμένη επίδραση της συρραφής εικόνας (image stitching). Η ανακρίβεια των εκμαγείων IOS ολικής γνάθου μπορεί να σχετίζεται με τις ελλείπουσες σκιερές επιφάνειες και την αύξηση σφαλμάτων συρραφών. Πολλαπλές απεικονίσεις είναι υποχρεωτικές για τη δημιουργία εικονικών εκμαγείων ακρίβειας.⁹⁵

Μελέτες που αξιολόγησαν την ακρίβεια των ψηφιακών εκμαγείων για αποκαταστάσεις που στηρίζονται σε εμφυτεύματα κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα ψηφιακά εκμαγεία έχουν ακρίβεια και αναπαραγωγιμότητα ισάξια και μερικές φορές υψηλότερη των συμβατικών εκμαγείων ...^{102,100,98}

Στην κλινική μελέτη που διεξήγε ο Gherlone και οι συνεργάτες¹⁰³ αξιολόγησαν την ακρίβεια των προσθετικών αποκαταστάσεων ολικής γνάθου στηριγμένα σε τέσσερα εμφυτεύματα κατασκευασμένα στα ψηφιακά και συμβατικά εκμαγεία και στη συνέχεια προέβησαν στη δεκατετράμηνη παρακολούθηση του ασθενούς. Διαπίστωσαν πως ο μεταλλικός σκελετός είχε εξαιρετικά κλινικά αποδεκτή ακρίβεια και 100% βιωσιμότητα εμφυτευμάτων.

Σε μία άλλη invitro μελέτη, ο Paraspyridakos και οι συνεργάτες του ανέφεραν πως δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στην ακρίβεια μεταξύ των συμβατικών και ψηφιακών εκμαγείων των γνάθων με πέντε εμφυτεύματα.¹⁰⁰

Η ακρίβεια των ψηφιακών εκμαγείων αποδίδεται στη δυνατότητα του λογισμικού CAD μέσω του αλγορίθμου ευθυγράμμισης να τοποθετεί με ακρίβεια το εμφύτευμα στο εικονικό εκμαγείο.¹⁰³

Ακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων

Μετά τη λήψη των ψηφιακών εκμαγείων, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής προσθετικών εργασιών στην απουσία φυσικού εκμαγείου.¹⁰⁴ Όμως, στην κατασκευή των ακίνητων προσθετικών προσθέσεων, συνήθως υπάρχει η ανάγκη για φυσικά εκμαγεία για συγκεκριμένες εργασίες, τη δόμηση της πορσελάνης, τη δημιουργία σωστών σημείων επαφών, τη βελτίωση της σύγκλεισης των προσθετικών εργασιών με τα ανταγωνιστά δόντια, τη διόρθωση της εσωτερικής και αυχενικής εφαρμογής κ.ά.

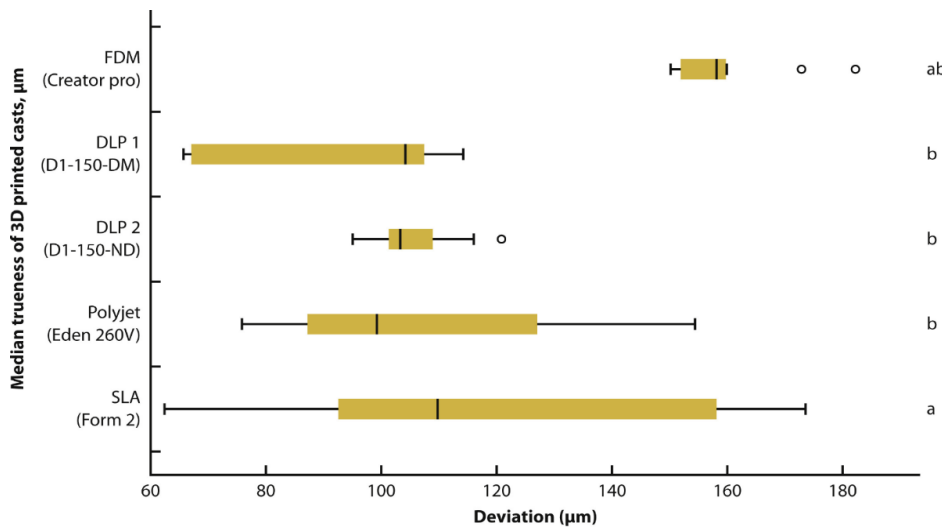
Για να χρησιμοποιηθούν τα 3D φυσικά εκμαγεία, η ακρίβειά τους πρέπει να κρίνεται αποδεκτού επιπέδου, δηλαδή πρέπει να είναι ακριβώς όπως το σαρωμένο αρχείο, ώστε και η ακίνητη προσθετική εργασία που θα κατασκευαστεί να είναι κλινικά αποδεκτή για τη στοματική χρήση. Σε διαφορετική περίπτωση, δύναται να παρατηρηθούν προβλήματα που αφορούν την ανάγκη εκτροχισμού της εργασίας στο στόμα και τη μειωμένη μακροζωία της αποκατάστασης.⁹⁴ Διάφορες μελέτες έχουν αξιολογήσει αυτή την ακρίβεια και κατέληξαν σε διαφορετικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Ανεξάρτητα από την ακρίβεια των 3D εικονικών ψηφιακών εκμαγείων που παρατηρήθηκε παραπάνω, η εκτύπωση των ψηφιακών εκμαγείων ενδέχεται να παρουσιάζει σφάλματα όπως συστολές και διαστολές κατά τον πολυμερισμό τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν ανακρίβεια στα τελικά εκμαγεία.⁹⁴

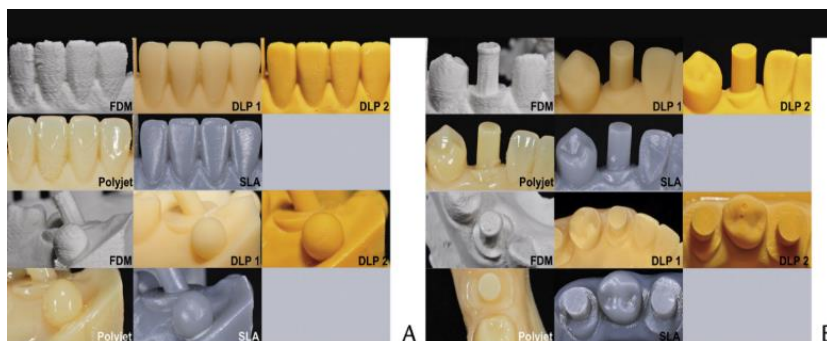
Σε μία μελέτη που αξιολόγησε την ακρίβεια διαστάσεων και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των εκμαγείων ολικού τόξου κατασκευασμένα από τέσσερις εκτυπωτές με διαφορετικές μεθόδους εκτύπωσης (DLP, FDM, SLA και MJpolyjet), τα εκτυπωμένα 3D εκμαγεία σαρώθηκαν από εργαστηριακό σαρωτή.⁹⁴ Τα σαρωμένα δεδομένα στη συνέχεια υπερτέθηκαν με το ψηφιακό εκμαγείο αναφοράς με τη μέθοδο τέλειας εφαρμογής ελαχίστων σφαλμάτων τετραγώνων αλγορίθμου. Υπολογίστηκαν οι διαφορές μεταξύ των σαρωμένων εκμαγείων και το εκμαγείο αναφοράς.

Παρατήρησαν πως τα εκμαγεία FDM είχαν σημαντικά μεγάλη συστηματική απόκλιση (158.1 μm) σε σχέση με τα εκμαγεία από DLP ((104.4 μm), polyjet (99.3 μm) και SLA (109.9 μm) ($P < .01$). εικ. 23

Όταν αξιολογήθηκε η επιφανειακή αδρότητα των εκτυπωμένων εκμαγείων, τα εκμαγεία polyjet παρουσίασαν την ομαλότερη υφή αλλά δεν διέθεταν την απαιτούμενη ευκρίνεια στις κορυφές των κυλίνδρων. Τα εκμαγεία SLA ήταν σχετικά ομαλά, τα εκμαγεία DLP είχαν πολύ αδρές επιφάνειες μεταξύ των στρωμάτων (staircase effect) και κακώς τυπωμένα αιχμηρά άκρα σε ορισμένα εκμαγεία. Με το FDM, οι ενώσεις μεταξύ των στοιβάδων ήταν πολύ αδρές, οι κορυφές των κυλίνδρων και τα αιχμηρά άκρα των εκμαγείων φαινόταν να έχουν λιώσει. Εικ. 24

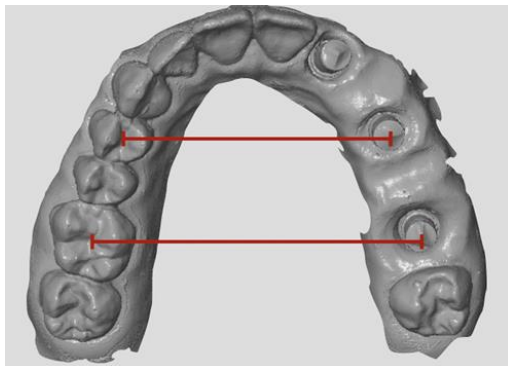


Εικ. 23 Το διάγραμμα πλαισίου σχεδίασης εμφανίζει διάμεσες τιμές για την ορθότητα των εκτυπωμένων εκμαγείων 3D.⁹⁴



Εικ. 24. Φωτογραφισμένα εκμαγεία σε διάφορες γωνίες. (Α) Πρόσθια δόντια κάτω γνάθου και παρειακή σφαίρα αναφοράς. (Β) παρειακή και κορυφαία όψη του κυλίνδρου κυνόδοντας.⁹⁴

Ο Lugen B και οι συνεργάτες του¹⁰⁵ συνέκριναν την ακρίβεια των εκμαγείων για εμφυτεύματα κατασκευασμένα από συμβατικά και ψηφιακά αποτυπώματα. Τα συμβατικά και IOS αποτυπώματα ελήφθησαν από μία εποξική ρητίνη εκμαγείου με οδοντικά εμφυτεύματα. Έγινε ρίψη του πολτού της γύψου προς την δημιουργία συμβατικών εκμαγείων και εκτύπωση των ψηφιακών εκμαγείων με SLS τεχνολογία και όλα μαζί με το εκμαγείο αναφοράς σαρώθηκαν με έναν εργαστηριακό σαρωτή για τη δημιουργία ενός συνόλου ψηφιακών δεδομένων. Η ακρίβεια των συμβατικών και ψηφιακών εκμαγείων αξιολογήθηκε μέσω της ανάλυσης αποκλίσεων και γραμμικών μετρήσεων, υπολογίζοντας την απόσταση μεταξύ των κεντρικών σημείων του εμφυτεύματος 2 και του πρώτου προγομφίου από την αντίθετη πλευρά (M1) και την απόσταση μεταξύ των κεντρικών σημείων του εμφυτεύματος 3 και του πρώτου γομφίου από την αντίθετη πλευρά (M2). Χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένο λογισμικό, καθώς και το εκμαγείο αναφοράς ως σύνολο δεδομένων αναφοράς και αποκτήθηκαν τιμές διάμεσης απόκλισης για κάθε εκμαγείο. Εικ. 25



Εικ. 25 μετρήσεις M1 και M2.¹⁰⁵

Παρατηρήθηκε πως δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ CCs και SCs. Πίνακας. 6. Υψηλές αποκλίσεις όμως βρεθήκαν στη vestibular area and lingual cusps για τα SCs σε σχέση με τα CCs Πίνακας 7 και εικ. 26. Δεν βρεθήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αποκλίσεις ολικής γνάθου. Ωστόσο τα SCs παρουσίασαν μικρότερη ακρίβεια σε σχέση με τα CCs.

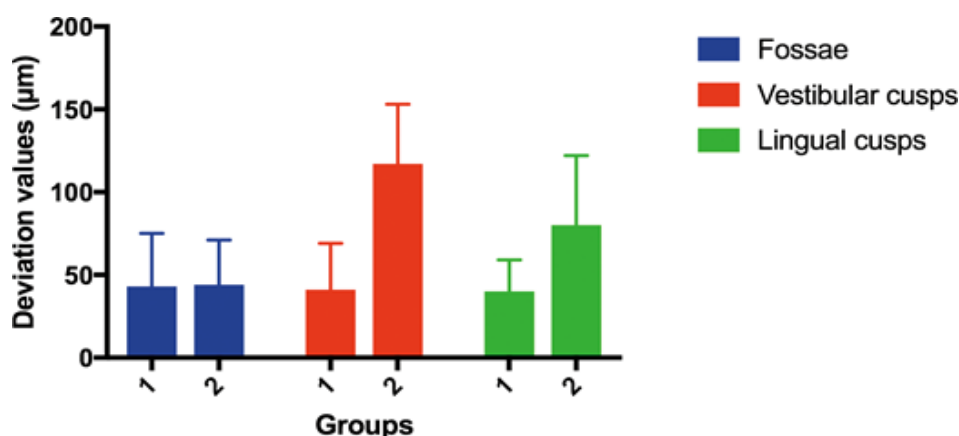
Πίνακας. 6 Μέση \pm τιμές τυπικής απόκλισης (μm) για σύγκριση μεταξύ της δοκιμής (CC και SC) και του κύριου εκμαγείου αναφοράς.¹⁰⁵

CC	SC	t-Value	Degree of Freedom	P-Value
16.20 \pm 14.50	19.70 \pm 13.30	1.41	9	.191

CC= συμβατικά εκμαγεία, SC= ψηφιακά εκμαγεία

Πίνακας. 7 Μέση \pm τιμές τυπικής απόκλισης (μm) για σύγκριση μεταξύ της δοκιμής (CC και SC) και του κύριου εκμαγείου αναφοράς.¹⁰⁵

Point	CC	SC	t-Value	Degree of Freedom	P-Value
Vestibular cusps	41.00 \pm 28.87	117.00 \pm 36.83*	-4.72	9	.001
Lingual cusps	40.70 \pm 19.79	80.00 \pm 42.95*	-2.43	9	.037
Fossae	43.80 \pm 32.62	44.50 \pm 27.20	-0.05	9	.958



Είκ. 26 τιμές αποκλίσεων (μm) ανάλογα με τη θέση μέτρησης.¹⁰⁵

Σε άλλη μελέτη που συνέκρινε την επίδραση της τεχνολογίας εκτύπωσης και τις συνθήκες αποθήκευσης στην ακρίβεια και σταθερότητα των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων, εκτυπωθήκαν εκμαγεία μέσω των μεθόδων DLP και MJ ($n=20$ από κάθε μια).¹⁰⁶ Τα εκτυπωμένα εκμαγεία σαρώθηκαν και αποθηκευτήκαν τα αρχεία ως STL δεδομένα. Έπειτα τα εκτυπωμένα εκμαγεία αποθηκευτήκαν για τρεις μήνες είτε σε κλειστά εργαστηριακά κουτιά είτε σε εργαστηριακά ανοιχτά πλαστικά δοχεία με άμεση έκθεση σε ισοροπημένο φως πλήρους φάσματος. Μετά από τις τρεις μήνες, τα

εκμαγεία σαρωθήκαν ξανά και τα αρχεία STL τοποθετήθηκαν με τα αντίστοιχα αρχεία STL των ψηφιακών εκμαγείων αναφοράς με τη μέθοδο καλύτερης εφαρμογής. Η ακρίβεια των διαστάσεων μετρήθηκε και συγκρίθηκε από τις τιμές RMS.

Παρατήρησαν πώς οι συνθήκες αποθήκευσης δεν επηρέασαν σημαντικά την ακρίβεια των DLP και MJ εκμαγείων. Μετά από τρεις μήνες αποθήκευσης, δεν σημειώθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ DLP- 3M Lit και DLP - 3M κουτί. Το ίδιο ισχύει και για τα MJ εκμαγεία κουτί και LIT. Η ομάδα DLP 3M- LIT είχε την υψηλότερη RMS και MJ 3M κουτί είχαν τη χαμηλότερη τιμή RMS. Πίνακα. 8

Στους χρωματικούς χάρτες αντιστοίχισης επιφανειών, τα DLP-3M-LIT παρουσίασαν μια θετική απόκλιση στην υπερώα και στα δόντια. Τα MJ – 3M LIT παρουσίασαν μια αρνητική απόκλιση ειδικά στην υπερώα.

Πίνακας. 8 Ακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων αμέσως μετά την κατασκευή τους και μετά τους τρεις μήνες αποθήκευσης κάτω από διαφορετικές συνθήκες.¹⁰⁶

Τεχνολογία κατασκευής	Μετρήσεις μετά την κατασκευή		Τρόπο αποθήκευσης	Μετρήσεις μετά τις τρεις μήνες	
	ομάδα	RMS		ομάδα	RMS
DLP	DLP-0M-Box	153.7 ±21.9 ^{a,b}	Στο κουτί	DLP-3M-Box	145.6 ±29.2 ^{a,b}
DLP	DLP-0M-Lit	143.9 ±24.3 ^{a,b}	Έκθεση στο φως	DLP-3M-Lit	163.0 ±26.5 ^b
MJ	MJ-0M-Box	136.5 ±12.7 ^{a,b}	Στο κουτί	MJ-3M-Box	132.8 ±16.9 ^a
MJ	MJ-0M-Lit	129.4 ±17.3 ^a	Έκθεση στο φως	MJ-3M-Lit	137.9 ±17.7 ^{a,b}

Σε διαφορετική μελέτη που συνέκρινε την ακρίβεια των συμβατικών και 3D εκτυπωμένων εκμαγείων, ο Park M. E. και οι συνεργάτες του διαπίστωσαν υψηλότερη στα συμβατικά εκμαγεία σε σχέση με τα εκτυπωμένα εκμαγεία και μάλιστα με στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. επίσης, παρατηρήθηκαν διαφορές στην ακρίβεια μεταξύ των διάφορων τύπων εκτυπωτών ($P < .05$).¹⁰⁷ Στη μελέτη από τον Emir F. και τους συνεργάτες¹⁰¹ αξιολογήθηκε η ακρίβεια και η πιστότητα των εκμαγείων ολικών

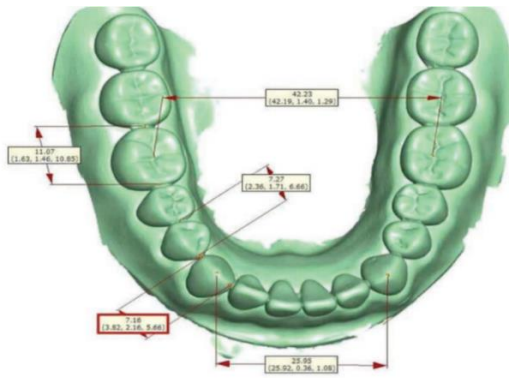
γνάθων κατασκευασμένα με διαφορετικές τεχνολογίες αποτύπωσης και παρατηρήθηκε πως παρ' όλο που υπήρξαν σημαντικές διαφορές στον βαθμό ακρίβειας και πιστότητας στις τεχνολογίες αποτύπωσης, όλες βρίσκονταν μέσα στα αποδεκτά κλινικά όρια.

Αρκετές μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα συμβατικά εκμαγεία παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα 3D εκτυπωμένα εκμαγεία,^{106,107} παρ' όλο που τα εκτυπωμένα εκμαγεία έχουν κλινικά αποδεκτή ακρίβεια.^{101,107,108}

Οι συστολές των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων αποδίδεται στη συρρίκνωση, η οποία προκύπτει λόγω της αλλαγής θερμοκρασίας κατά τον πολυμερισμό του κάθε στρώματος του εκμαγείου. Επίσης, η ανακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων αποδίδεται στους παράγοντες της ανάλυση και ακρίβειας του χρησιμοποιούμενου εκτυπωτή.¹⁰⁶

Στη σύγκριση των ψηφιακών και συμβατικών εκμαγείων, η ακρίβεια των ακίνητων προσθετικών εργασιών στηριγμένων στα δόντια και εμφυτευμάτων κατασκευασμένων σε αυτά, ο Parize H. και οι συνεργάτες του¹⁰⁹ παρατήρησαν πως τα γύψινα εκμαγεία σημείωσαν υψηλότερη ακρίβεια. Όμως και τα εκτυπωμένα εκμαγεία παρήγαγαν προσθέσεις με ικανοποιητική ακρίβεια.^{109,107,110}

Σε μία μελέτη που αξιολόγησε την ακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων και των συμβατικών εκμαγείων, ο Ally P., et.al.¹¹¹ χρησιμοποίησαν εκμαγεία αναφοράς της άνω και κάτω γνάθου με πλήρη σύνολο δοντιών. Από τα εκμαγεία αναφοράς ελήφθησαν συμβατικά αποτυπώματα και κατασκευαστήκαν συμβατικά εκμαγεία. Έπειτα με τη χρήση ενός IOS σαρώθηκε το εκμαγείο αναφοράς και εκτυπωθήκαν φυσικά εκμαγεία. Αποκτήθηκαν και στα δύο εκμαγεία και στα εκμαγεία αναφοράς, οι Εγγύς – άπω (MD) και αυχενό-μασητικές (OC) διαστάσεις του πρώτου γομφίου, του πρώτου προγομφίου και του κυνόδοντα και στη συνέχεια το διαγομφίων πλάτος (IMW) και διακυνοδόντων πλάτος (ICW), χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό calliper με αιχμηρά άκρα. Είκ. 27 Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίστηκαν τα μέσα σφάλματα των ομάδων μελέτης σε σχέση με τα εκμαγεία αναφοράς. Πίνακες 9 και 10.



Εικ. 27 ψηφιακά εκμαγεία με εγγύς-άπω , διακυνοδόντων και διαγομφίων μετρήσεων.¹¹¹

Παρατηρήθηκε πως γενικότερα τα σφάλματα μετρήσεων στις ομάδες μελετών σε σχέση με τα εκμαγεία αναφοράς, ήταν υψηλότερα στα ψηφιακά εκμαγεία ακολουθούμενα από τα εκτυπωμένα εκμαγεία και τελικώς τα συμβατικά εκμαγεία.

Πίνακας. 9

Με τη μέση τιμή (SD) του IMW και ICW, τα συμβατικά εκμαγεία σημείωσαν τα λιγότερα σφάλματα, ακολουθούμενα από τα εκτυπωμένα (μέση τιμή = 0.02% and 0.07%) και τα περισσότερα υπήρξαν στα ψηφιακά (μέση τιμή =0.29 and 0.38%). Πίνακα. 10

Πίνακας . 9 Σύγκριση των σφαλμάτων μετρήσεων των ομάδων μελετών σε σχέση με τα εκμαγεία αναφοράς.¹¹¹

	3D εκτυπωμένα	συμβατικά	ψηφιακά	P- value
OC	0.004 (0.006) ^a	0.007 (0.007) ^b	0.016 (0.007) ^c	<0.0001*
MD	0.003 (0.005) ^a	0.005 (0.005) ^{a, b}	0.006 (0.006) ^b	0.02*
IMW	0.019 (0.010) ^a	0.008 (0.006) ^b	0.142 (0.012) ^c	<0.0001*
ICW	0.021 (0.007) ^a	0.011 (0.007) ^a	0.113 (0.018) ^b	<0.0001*

Πίνακας . 10 Σύγκριση των IMW και ICW στις ομάδες μελετών στα εκμαγεία αναφορών.¹¹¹

	Reference	Printed		Conventional		Digital	
	Mean (SD)	Mean (SD)	% of reference	Mean (SD)	% of reference	Mean (SD)	% of reference
IMW	47.78 (2.83)	47.79 (2.92)	0.02	47.78 (2.93)	-	47.92 (3.03)	0.29
ICW	29.16 (4.04)	29.18 (4.17)	0.07	29.17 (4.18)	0.03	29.27 (4.32)	0.38

Στην αξιολόγηση ακρίβειας των ακίνητων προσθετικών εργασιών κατασκευασμένα στα συμβατικά και ψηφιακά εκμαγεία,

Ο Sim JY και οι συνεργάτες του,¹¹² συνέκριναν την ακρίβεια των εκμαγείων για σταθερές πρόσθετες κατασκευασμένων από συμβατικές και ψηφιακές ροές εργασιών. Ένα εκμαγείο αναφοράς προετοιμάστηκε με τρία προετοιμασμένα δόντια για είδη αποκαταστάσεων: μία στεφάνη, μία γέφυρα τριών δοντιών και μία ένθετο. Τα συμβατικά εκμαγεία κατασκευάστηκαν από συμβατικά αποτυπώματα με γύψο και τα ψηφιακά εκμαγεία παρήχθησαν με τη χρήση IOS. Στα φυσικά εκμαγεία χρησιμοποιήθηκε 3D εκτυπωτής. Στη συνέχεια τα εκμαγεία αναφοράς, τα ψηφιακά και τα συμβατικά εκμαγεία σαρωθήκαν με έναν εργαστηριακό σαρωτή.

Όλα τα σύνολα δεδομένων τοποθετήθηκαν μέσω μίας μέθοδο τέλει εφαρμογής και αξιολογήθηκε η ακρίβεια των εκμαγείων ολικών γνάθων. Επίσης, αξιολογήθηκε η πιστότητα των προσθετικών εργασιών, τοποθετώντας τα αρχεία STL της κάθε προσθετικής εργασίας από τις ομάδες εκμαγείων με το αρχείο STL του εκμαγείου αναφοράς.

Παρατήρησαν πως για τα εκμαγεία ολικής γνάθου, η ακρίβεια και η πιστότητα των ψηφιακών και συμβατικών εκμαγείων ήταν σημαντικά διαφορετικά από τα 3D εκτυπωμένα εκμαγεία ($p < .001$). *πίνακας 11.*

Για τις προσθετικές εργασίες, οι ένθετες παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές RMS σε σχέση με τις άλλες προσθετικές εργασίες στην ομάδα συμβατικών εκμαγείων. Η γέφυρα τριών δοντιών είχε σημαντικές διαφορές από άλλες εργασίες στην ομάδα εκτυπωμένων εκμαγείων ($p < .001$). Δεν υπήρξαν στατιστικά

σημαντικές διαφορές στα τρία είδη προσθετικών εργασιών στην ομάδα ψηφιακών εκμαγείων. Οι εργασίες από την ομάδα ψηφιακών εκμαγείων είχαν τη βέλτιστη ακρίβεια και πιστότητα ενώ και οι εργασίες από τα εκτυπωμένα εκμαγεία παρουσίασαν τα αντίθετα αποτελέσματα. πίνακας. 12.

Πίνακας. 11 Η ακρίβεια των γύψινων ψηφιακών και 3D εκτυπωμένων ομάδων εκμαγείων για εκμαγεία ολικών γνάθων, (πιστότητα [n=8], ακρίβεια [n=28])¹¹²

	γύψινα	ψηφιακά	3D εκτυπωμένα	P- value
	RMS (μm)(mean ± SD)			
Πιστότητα	28.49 ± 1.74 ^{Aa}	28.09 ± 2.11 ^{Aa}	55.16 ± 2.70 ^{Ab}	0.001
ακρίβεια	22.79 ± 5.76 ^{Ba}	34.07 ± 5.83 ^{Bb}	54.93 ± 8.44 ^{Bc}	0.001

Πίνακα. 12 πιστότητα των τριών ειδών προσθετικών εργασιών (n=8).¹¹²

	γύψινα	Ψηφιακά	3D εκτυπωμένα
	RMS (μm) (mean ± SD)		
στεφάνη	17.70 ± 1.3 ^a	13.98 ± 1.87 ^c	46.93 ± 2.28 ^d
Γέφυρα 3 δόντια	18.03 ± 0.57 ^a	14.65 ± 1.66 ^{ac}	51.39 ± 3.74 ^e
ένθετα	22.86 ± 0.98 ^b	17.75 ± 1.94 ^{ac}	46.0 ± 1.58 ^d

Ο Cho S. και οι συνεργάτες του⁹⁶ επισήμαναν την απουσία αξιοσημείωτης διαφοράς στην αυχενική και στην εσωτερική εφαρμογή μεταξύ των εργασιών κατασκευασμένων στα συμβατικά και ψηφιακά εκμαγεία. Όμως, παρατήρησαν σημαντικές διαφορές στην ακρίβεια και αναπαραγωγικότητα όλου του εκμαγείου, όπου

τα ψηφιακά εκμαγεία είχαν μικρότερη ακρίβεια και αναπαραγωγικότητα από τα συμβατικά εκμαγεία.

Σε μία κλινική έρευνα στην οποία τα αποτυπώματα ελήφθησαν απευθείας από το στόμα των ασθενών,¹¹³ αξιολογήθηκε η ακρίβεια εφαρμογής στις ολοκεραμικές στεφάνες κατασκευασμένες με διάφορες τεχνικές: 1) με πλήρη συμβατική κατασκευή, χρησιμοποιώντας συμβατικά αποτυπώματα και εκμαγεία και κεραμική προσθετική κατασκευασμένη από έναν έμπειρο τεχνίτη. 2) με σάρωση του συμβατικού εκμαγείου με ένα LS. 3) με σάρωση του συμβατικού εκμαγείου με ένα IOS 4) με σάρωση του στοματικού περιβάλλον με ένα ενδοστοματικό σαρωτή για την παραγωγή ψηφιακών αποτυπωμάτων και εκμαγείων. Για τις ομάδες 2,3, και 4, οι στεφάνες σχεδιάστηκαν και κόπηκαν με ένα σύστημα CAD/CAM «dentsply sirona» (σαράντα στεφάνες σε κάθε ομάδα). Υπολογίστηκαν επίσης, οι αυχενικές και εσωτερικές εφαρμογές με την τεχνική ρεπλίκα.

Επισημάνθηκε πως οι μετρήσεις ICC για κάθε ομάδα ήταν άνω των 0.75: ικανοποιητική ένδειξη για να θεωρηθεί ως έως τέλεια η ακρίβεια εφαρμογής. Η ομάδα 3 παρουσίασε τη χαμηλότερη μέση τιμή για κενό αυχένα (125.56) ενώ η ομάδα 1 είχε τη χαμηλότερη τιμή για το εσωτερικό κενό (141.12). Γενικότερα, οι κατασκευές από συμβατικά εκμαγεία (ομάδα 1) είχαν την καλύτερη εφαρμογή (138.84) ενώ η ομάδα 4 είχε τη λιγότερη ικανοποιητική εφαρμογή (15.71). Ωστόσο, δεν βρεθήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις μεταξύ των ομάδων για κάθε μέτρηση. Πίνακα. 13.

Πίνακα. 13 μέσες μετρήσεις κενών (μm) για όλες τις ομάδες.⁶³

Group	Mean	SD	First quartile	Median	Third quartile	Minimum	Maximum
Marginal							
Group 1	134.28	22.96	110.36	140.21	145.14	109.35	167.70
Group 2	131.81	24.48	113.20	127.08	14.74	102.67	166.32
Group 3	125.46	25.39	114.75	118.58	139.44	91.30	163.43
Group 4	135.59	24.07	125.34	125.93	133.76	113.76	181.20
Axial							
Group 1	98.10	18.77	90.26	97.50	108.15	68.30	132.64
Group 2	119.59	11.53	109.53	118.81	125.74	105.83	140.82
Group 3	109.61	28.43	89.06	109.19	132.68	67.12	145.89
Group 4	127.25	19.79	112.01	127.88	139.62	98.20	158.71
Occlusal							
Group 1	184.15	32.88	163.68	182.08	207.96	139.28	228.73
Group 2	166.53	36.51	149.60	159.72	198.45	114.38	211.03
Group 3	203.32	80.24	128.98	203.06	250.02	114.80	319.73
Group 4	189.29	22.85	183.91	201.09	204.53	148.05	208.88
Internal							
Group 1	141.12	22.58	130.11	148.31	155.84	103.79	168.31
Group 2	143.06	19.26	134.53	143.10	160.22	110.55	165.83
Group 3	156.47	46.98	119.84	137.37	195.21	100.01	227.12
Group 4	158.27	14.16	146.98	159.11	170.45	136.26	175.94
Total							
Group 1	138.84	21.37	123.21	148.33	156.27	106.03	159.85
Group 2	139.31	17.88	123.95	149.86	152.19	111.37	158.83
Group 3	146.13	35.07	119.45	145.41	168.71	97.17	197.75
Group 4	150.71	8.16	149.99	152.00	153.75	135.81	162.24

Στη μελέτη που συνέκρινε την ακρίβεια των αυχενικών και εσωτερικών εφαρμογών ακίνητων γεφυρών τριών δοντιών κατασκευασμένων από πέντε διαφορετικές CAD/CAM τεχνικές και με συμβατικές τεχνικές, ο Dahl και οι συνεργάτες του,¹⁰⁸ κατέληξαν πως τα FDPs κατασκευασμένα από τεχνικές CAD/CAM σημείωσαν καλύτερη αυχενική εφαρμογή από εκείνα που είχαν κατασκευαστεί με τη συμβατική τεχνική. Για την εσωτερική εφαρμογή τα ζirkόνια κατασκευασμένα με milling εφαρμόζονταν πληρέστερα, ακολουθούμενα από εκείνα με τη συμβατική τεχνική και μετά κατατάχθηκαν οι άλλες CAM τεχνικές. Δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ακίνητων προσθέσεων κατασκευασμένων από τις ψηφιακές τεχνικές και προσθέσεων κατασκευασμένων με τη συμβατική τεχνική.

Μπορούμε, επιπλέον, να αναφέρουμε μία ακόμα έρευνα συστηματικής ανασκόπησης η οποία συνέκρινε την εφαρμογή ζirkονίων ακίνητων προσθέσεων με έως και δόντια κατασκευασμένων από συμβατικά και ψηφιακά εκμαγεία.⁶⁵ Σε αυτή παρατηρήθηκε πως οι γέφυρες τριών δοντιών, παραχθέντων από ψηφιακά εκμαγεία, παρουσίασαν σημαντικά καλύτερη εφαρμογή σε σχέση με τις γέφυρες τεσσάρων δοντιών από τα ίδια εκμαγεία. όμως, σε όλες τις προσθετικές εργασίες (τριών και

τεσσάρων δοντιών γεφυρών), τα ψηφιακά εκμαγεία σημείωσαν καλύτερη εφαρμογή από τα συμβατικά εκμαγεία.

Μελέτες που αξιολογήσαν την αυχενική/ οριακή εφαρμογή και εσωτερική εφαρμογή των ακίνητων προσθετικών προσθέσεων (FDPs) κατασκευασμένα στα 3D εκτυπωμένα εκμαγεία παρατήρησαν χαμηλότερη ακρίβεια σε σχέση με τα συμβατικά και τα ψηφιακά εικονικά εκμαγεία.

Μία ακόμα μελέτη αξιολόγησε την αυχενική και εσωτερική εφαρμογή των FDPs κατασκευασμένων στα 3D εκτυπωμένα εκμαγεία και η ακρίβεια τους συγκρίθηκε με αυτή των συμβατικών εκμαγείων. Ο Jang Y. και οι συνεργάτες του,¹¹⁴ παρατήρησαν πως τα συμβατικά εκμαγεία είχαν καλύτερη οριακή και εσωτερική εφαρμογή από τα 3D εκτυπωμένα εκμαγεία και μάλιστα με σημαντικές τιμές RMS. Πίνακας. 14. Επίσης, επισήμαναν πως η αυχενική και εσωτερική ακρίβεια εφαρμογής των FDPs στα κολοβώματα ήταν καλύτερη στην άπω πλευρά του δοντιού στηρίγματος του γεφυρώματος από το γεφύρωμα. Πίνακας. 15,16 και είκ. 28,29

Πίνακα. 14 Μέσες τιμές RMS για την αυχενική απόκλιση και εσωτερικό κενό των FDP (μm).¹¹⁴

Περιοχή	Ομάδα	N	RMS (μm)	
			Mean ±SD	95% CI
αυχενική απόκλιση	CS	10	37.2 ±3.5	34.7-39.7
	3DP	10	44.5 ±2.5	42.6-46.4
εσωτερικό κενό	CS	10	28.5 ±2.0	27.0-30.0
	3DP	10	55.7 ±2.4	53.9-57.5

Όπου, CI, διάστημα εμπιστοσύνης: CS, γύψινα συμβατικά εκμαγεία: 3DP, εκτυπωμένα εκμαγεία

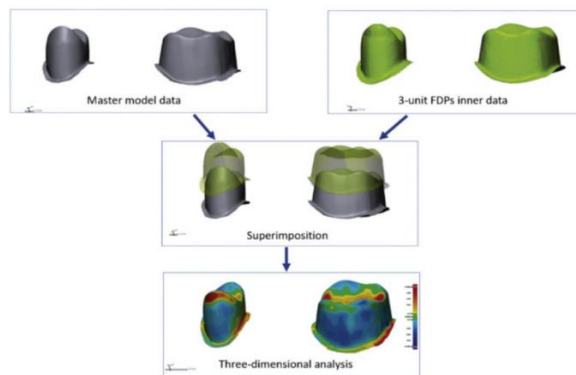
Πίνακας 15. Μέσες τιμές ±SD RMS για το εσωτερικό (pontic και nonpontic πλευρές) κενό μερικών FDP (μm).¹¹⁴

Ομάδα	N	πλευρά
-------	---	--------

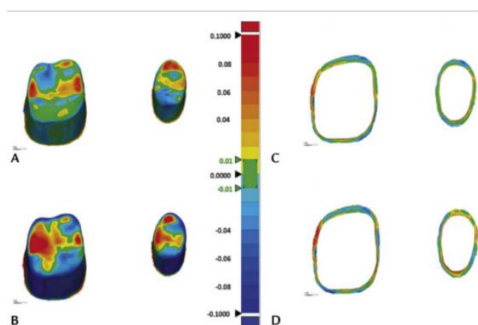
		Pontic Side	Nonpontic Side
		Mean \pm SD	Mean \pm SD
CS	10	28.6 \pm 1.4 ^A	28.7 \pm 1.2 ^A
3DP	10	49.0 \pm 4.7 ^B	54.4 \pm 3.3 ^C

Πίνακας 16. Μέσες τιμές \pm SD RMS για το αυχενικό (pontic και nonpontic πλευρές) κενό μερικών FDP (μ m).¹¹⁴

Group	N	πλευρά	
		Άπω Πλευρά από το γεφύρωμα	Πλευρά προς το γεφύρωμα
		Mean \pm SD	Mean \pm SD
CS	10	40.8 \pm 2.4 ^A	40.0 \pm 2.5 ^A
3DP	10	44.5 \pm 3.2 ^B	44.7 \pm 3.0 ^B



Εικ.28 Τρισδιάστατη ανάλυση της διαδικασίας.¹¹⁴



Εικ.29 χάρτης διάφορων χρωμάτων των αποκλίσεων. Α. Εσωτερική εφαρμογή του CS. Β. Εσωτερική εφαρμογή του 3DP. C. Οριακή εφαρμογή του CS. D. Οριακή εφαρμογή του 3DP¹¹⁴

Αρκετές μελέτες είχαν παρατηρήσεις που συμφωνούν με αυτά, όπου η ακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων ήταν χαμηλότερη από αυτή των άλλων εκμαγείων.^{112,106,94}

Σε μια μελέτη από τον Abdeen L, και οι συνεργάτες του, βρήκαν την ακρίβεια μιας τριών δοντιών επιεμφυτευματική FDP γέφυρα κατασκευασμένη σε 3D εκτυπωμένα εκμαγεία καλύτερη από αυτή που κατασκευάστηκε στα συμβατικά εκμαγεία εργασίας.¹¹⁵ ο Banjar A, και οι συνεργάτες του ¹¹⁶ βρήκαν αποτελέσματα που συμφωνούν τα προαναφερόμενα σχετικά με την ακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων για τα εμφυτεύματα. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατήρησε ο Paraspyridakos και οι συνεργάτες του¹¹⁷ όταν συγκρίνανε την ακρίβεια των εκτυπωμένων εκμαγείων και συμβατικών εκμαγείων ολικού τόξου με εμφυτεύματα. Οι τιμές απόκλισης ήταν σημαντικά υψηλές από τις τιμές του εκμαγείου αναφοράς αλλά >>μάλλον<< σε κλινικά αποδεχτά όρια.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στη χρήση των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων μεταξύ των οποίων είναι το υψηλό κόστος της διαδικασίας κατασκευής. Το γεγονός αυτό οφείλεται ειδικότερα στο υψηλό κόστος των σαρωτών και εκτυπωτών. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν και καθορίζουν το κόστος και σε αυτούς μπορούμε να συγκαταλέξουμε την ανάγκη για εκπαιδευμένους τεχνικούς, ώστε να αποφεύγονται τεχνικά σφάλματα, που δύνανται να προκύψουν κατά τη διαδικασία εκτύπωσης, καθώς και το υψηλό κόστος των υλικών κατασκευής 3DP εκμαγείων.^{118,119} Όμως η ανάγκη για εκπαιδευμένους τεχνικούς για την κατασκευή 3DP εκμαγείων ισοπεδώνεται με την ανάγκη για εκπαιδευμένους εργαστηριακούς βοηθούς για την κατασκευή συμβατικών εκμαγείων.

Παρ' όλα αυτά, το κόστος κατασκευής των εκμαγείων αναμένεται να μειωθεί και να ανταγωνιστεί αυτό των συμβατικών εκμαγείων.¹¹⁹ Μία μελέτη από τον Glisic και τους συνεργάτες του¹²⁰ αναφέρει πως σε διάστημα τριών με έξι χρόνων, το κόστος των ψηφιακών εκμαγείων μειώθηκε δραματικά και το συνολικό κόστος προέκυψε να είναι σχεδόν ίσο με αυτό των συμβατικών εκμαγείων. Κατά τον Kravitz και τους συνεργάτες του,¹²¹ ένας ενδοστοματικό σαρωτή μπορεί σε δύο χρόνια να προσφέρει την ανάλογη

απόσβεση στον τεχνικό. Έτσι, το κόστος κατασκευής μπορεί να μειωθεί περαιτέρω με τη χρήση εργαστηριακών εκτυπωτών αντί εμπορικών.¹¹⁸

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

- Τα ψηφιακά εκμαγεία από ενδοστοματικούς σαρωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεπιφύλακτα στην κατασκευή μικρών ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων στηριγμένων στα κολοβώματα δοντιών. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρές και μεγάλες επιεμφυτευματικές αποκαταστάσεις.
- Τα ψηφιακά εκμαγεία από τη σάρωση συμβατικών εκμαγείων με εργαστηριακούς σαρωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή όλων των ακίνητων προσθετικών αποκαταστάσεων.
- Η ακρίβεια των 3D εκτυπωμένων εκμαγείων επηρεάζεται σημαντικά από την τεχνολογία εκτύπωσης και από το μοντέλο του εκτυπωτή. Επιπλέον, παρουσιάζει αρκετά μικρότερη ακρίβεια από εκείνη των συμβατικών εκμαγείων.
- Απαιτούνται περαιτέρω προσπάθειες βελτίωσης των τεχνολογιών εκτύπωσης, για να υπερνικήσουν τα πρόβλημα των μεταβολών διαστάσεων των εκμαγείων και των αδρών επιφανειών.
- Χρειάζονται περισσότερες κλινικές έρευνες για την αξιολόγηση της ακρίβειας των ενδοστοματικών σαρώσεων και των 3D εκτυπωμένων ψηφιακών εκμαγείων.
- Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα των ψηφιακών εκμαγείων, τα συμβατικά εκμαγεία θεωρούνται ακόμα ανώτερα των προαναφερθέντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, Prusa J, Kakawand S: Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online*. 2013 May 31;12:49
2. Σπυρόπουλος ΚΝ: Εκπαιδευτική Εργαστηριακή Μεταλλοκεραμική. 1^η έκδοση. Αθήνα. Εκδόσεις Μονισελ.2016: Σελ. 93-94
3. Γιαννικάκης Σ: Ολικές Οδοντοστοιχίες. 2^η έκδοση. Αθήνα. 2018. Σελ 63
4. Olszewski R, Szyper-Szczurowska J, Opach M, Bednarczyk P, Zapala J, Szczepanik S: Accuracy of digital dental models using the low-cost DAVID laser scanner. *Adv Clin Exp Med*. 2019 Dec;28(12):1647-1656.
5. Jang Y, Sim JY, Park JK, Kim WC, Kim HY, Kim JH: Accuracy of 3-unit fixed dental prostheses fabricated on 3D-printed casts. *J Prosthet Dent*. 2020 Jan;123(1):135-142
6. Patzelt SB, Bishti S, Stampf S, Att W: Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated dental casts based on intraoral scanner data. *J Am Dent Assoc*. 2014 Nov;145(11):1133-40.
7. Choi JW, Ahn JJ, Son K, Huh JB: Three-Dimensional Evaluation on Accuracy of Conventional and Milled Gypsum Models and 3D Printed Photopolymer Models. *Materials (Basel)*. 2019 Oct 25;12(21):3499.
8. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y: A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009 Jan;28(1):44-56.
9. Hussain, A, & Khan, F.A: History of dentistry. *Archives of Medicine and Health Sciences*, 2014 2(1), 106.
10. Papadiochos I, Papadiochou S, Emmanouil I: The Historical Evolution of Dental Impression Materials. *J Hist Dent*. 2017 65(2):79-89.
11. Gupta R, Brizuela M: Dental Impression Materials. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; March 9, 2022.
12. Gaviria L, Salcido JP, Guda T, Ong JL: Current trends in dental implants. *J Korean*

- Assoc Oral Maxillofac Surg. 2014 Apr;40(2):50-60.
13. Γιαννικάκης Σ, Καρκαζής Η: Προσθετική σε εμφυτεύματα, εργαστηριακή τεχνική. 1^η έκδοση. Αθήνα. 2018. Σελ. 8-9
 14. Gutmann JL: The Origin of the Maryland Bridge. J Hist Dent. 2019 Fall;67(2):110.
 15. Miyazaki T, Hotta Y: CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Australian dental journal*, 2011, 56: 97-106.
 16. van Noort R: The future of dental devices is digital. Dent Mater. 2012 Jan;28(1):3-12
 17. Προμπονάς ΕΑ: Ψηφιακή οδοντική τεχνολογία: CAD-CAM. 1^η έκδοση Αθήνα 2017. Σελ 3, 8-10, 51-53, 74-80
 18. Jacob HB, Wyatt GD, Buschang PH: Reliability and validity of intraoral and extraoral scanners. *Prog Orthod*. 2015;16:
 19. Aslam K, Nadim R. A review on cad cam in dentistry. *JPDA*, 24 2015 (03), 112.
 20. Wiskott HW Anselm: Fixed prosthodontics. *Principles and Clinics*. London: Quintessence 2011. Σελ 1-2
 21. Rosenstiel SF, Land MF, Walter R. *Contemporary fixed prosthodontics-e-book*. Elsevier Health Sciences. 5^η έκδοση St. Louis, Missouri. 2016. Σελ. 1
 22. Γιαννουλάκη Ε, Τσακρής Α, Χαρβάλου Α: Μικροβιολογία στοματικής κοιλότητας. 1^η έκδοση. Εκδόσεις Π.Χ.Πασχαλίδης. Αθήνα 2018. pp. 40-41
 23. Moore KL, Dalley AF: Κλινική ανατομία. 2^ο ελληνική έκδοση. Εκδόσεις Π.Χ.Πασχαλίδης Αθήνα 2013. Σελ. 1005
 24. Christopoulos A., Moubayed SP, Nader ME, Ayad T, Ghannoum, JE, Meyers AD: Mouth anatomy. *Drugs, diseases and procedures, Medscape reference available at <http://emedicine.medscape.com/article/1899122-overview> 2015. 1-2*
 25. Δημητροπούλου Ε Χ: η εργαστηριακή διαδικασία στην ακίνητη προσθετική. 1^η έκδοση. Αθήνα. 2004. Pp 19-31
 26. Johnson T, Patrick DG, Stokes CW, Wildgoos DG, Wood D.J: *Basics of dental technology: a step-by-step approach*. John Wiley & Sons. 2015. P 85-86
 27. Tei athinas e class [online] available from https://ocp.teiath.gr/modules/document/index.php?course=DENT_UNDER100&o

[penDir=/5502bdd6j7KH/5502bde1DDwp.](#)

28. Ιδία φωτογράφιση.
29. Son K, Lee S, Kang SH, Park J, Lee KB, Jeon M, Yun BJ. A Comparison Study of Marginal and Internal Fit Assessment Methods for Fixed Dental Prostheses. *J Clin Med*. 2019 Jun 1;8(6):785
30. Yeo IS, Yang JH, Lee JB: In vitro marginal fit of three all-ceramic crown systems. *J Prosthet Dent*. 2003 Nov;90(5):459-64.
31. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Rydén J, Thor A: Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *J Dent*. 2018 Feb;69:110-118.
32. Cho GC, Chee WW: Distortion of disposable plastic stock trays when used with putty vinyl polysiloxane impression materials. *J Prosthet Dent*. 2004 Oct;92(4):354-8.
33. Hussain MW, Chaturvedi S, Naqash TA, Ahmed AR, Das G, Rana MH, Abdelmonem AM: Influence of time, temperature and humidity on the accuracy of alginate impressions. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2020 Oct-Dec;32:S659-S667.
34. Habibzadeh S, Safaeian S, Behruzibakhsh M, Kaviyani P, Kharazifard M: Effect of Storage Time and Temperature on Dimensional Stability of Impressions Made with Zinc Oxide Impression Paste. *J Dent (Tehran)*. 2016 Jun;13(3):193-198.
35. Ματίνας ΣΜ, Γιώργος Μ: Θεωρία οδοντοτεχνίας ΙΙ. 2^η έκδοση. εκδόσεις Ίδρυμα Ευγενίου. 2020 Αθήνα. Σελ 8-9, 58-59
36. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008 May 10;204(9):505-11.
37. Garg AK: Cadent iTero's digital system for dental impressions: the end of trays and putty? *Dent Implantol Update*. 2008 Jan;19(1):1-4.
38. Zheng SX, Li, J. Sun QF: A novel 3D morphing approach for tooth occlusal surface reconstruction. *Computer-Aided Design*. 2011 43(3), 293-302.
39. Akdeniz BS, Turgut M, & Cetin S. Digital dental models in orthodontics: A review. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 2022. 39(1), 250-255.
40. Tomita Y, Uechi J, Konno M, Sasamoto S, Iijima M, Mizoguchi I. Accuracy of digital

models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dent Mater J*. 2018 Jul 29;37(4):628-633.

41. Kim SY, Shin YS, Jung HD, Hwang CJ, Baik HS, Cha JY: Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Jan;153(1):144-153.
42. Schweiger J, Edelhoff D, Güth JF. 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *J Clin Med*. 2021 May 7;10(9):2010.
43. Tancu AMC, Pantea M, Totan A, Tanase M, Imre M. 3D printed dental models. *Materiale Plastice*, 2019 56(1), 51
44. Ellakany P, Al-Harbi F, El Tantawi M, Mohsen C. Evaluation of the accuracy of digital and 3D-printed casts compared with conventional stone casts. *J Prosthet Dent*. 2022 Mar;127(3):438-444.
45. Park ME, Shin SY: Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *J Prosthet Dent*. 2018 May;119(5):861.e1-861
46. Alshawaf B, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P: Accuracy of printed casts generated from digital implant impressions versus stone casts from conventional implant impressions: A comparative in vitro study. *Clin Oral Implants Res*. 2018 Aug;29(8):835-842
47. Bae EJ, Jeong ID, Kim WC, Kim JH. A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *J Prosthet Dent*. 2017 Aug;118(2):187-193.
48. Olszewski R, Szyper-Szczurowska J, Opach M, Bednarczyk P, Zapala J, Szczepanik S: Accuracy of digital dental models using the low-cost DAVID laser scanner. *Adv Clin Exp Med*. 2019 Dec;28(12):1647-1656.
49. Σταθόπουλος ΑΑ: Οδοντιατρικά υλικά. 1^η έκδοση Επιστημονικές εκδόσεις παρισιανού Α.Ε. Αθήνα 2012.
50. Duke P, Moore BK, Haug SP, Andres CJ. Study of the physical properties of type IV gypsum, resin-containing, and epoxy die materials. *J Prosthet Dent*. 2000 Apr;83(4):466-73.
51. Ting-Shu S, Jian S. Intraoral Digital Impression Technique: A Review. *J Prosthodont*. 2015 Jun;24(4):313-21. doi: 10.1111/jopr.12218. Epub 2014 Sep 14.

52. Alghazzawi TF: Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res.* 2016 Apr;60(2):72-84.
53. Alhourri N, McCord JF, Smith PW: The quality of dental casts used in crown and bridgework. *Br Dent J.* 2004 Sep 11;197(5):261-4; 249.
54. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, Prusa J, Kakawand S: Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online.* 2013 May 31;12:49.
55. Millstein PL. Determining the accuracy of gypsum casts made from type IV dental stone. *J Oral Rehabil.* 1992 May;19(3):239-43..
56. Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng IJ, Ercoli C: Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2016 Aug;116(2):184-190.e12.
57. Jeon JH. In vitro precision evaluation of blue light scanning of abutment teeth made with impressions and dental stone casts according to different 3D superimposition methods. *J Prosthodont Res.* 2020 Oct;64(4):368-372
58. Kim CM, Jeon JH, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Three-dimensional evaluation of the reproducibility of presintered zirconia single copings fabricated with the subtractive method. *J Prosthet Dent.* 2016 Aug;116(2):237-41
59. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpela A, Mäkynen A: Recent advances in dental optics—Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*, 2014 54, 203-221.
60. Treesh JC, Liacouras PC, Taft RM, Brooks DI, Raiciulescu S, Ellert DO, Grant GT, Ye L. Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2018 Sep;120(3):382-388
61. Birnbaum, NS, Aaronson, HB, Stevens C, Cohen B: 3D digital scanners: a high-tech approach to more accurate dental impressions. *Inside Dentistry*, 2009 5(4), 70-4.
62. de Villaumbrosia PG, Martínez-Rus F, García-Orejas A., Salido MP, Pradíes G: In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2016 116(4), 543-550.
63. Dental wings [online] available from <https://dentalwings.com/3dscanners>
64. Shinning 3D dental [online] available from

<https://www.shining3ddental.com/solution/ds-ex-lab-scanner>

65. Digital dental solutions [online] available from <https://www.cadstar.dental/en/products/lab-systems/cs-neo/>
66. Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G: A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent.* 2006;95(3):194-200
67. Mennito AS, Evans ZP, Lauer AW, Patel RB, Ludlow ME, Renne WG: Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent.* 2018 Mar;30(2):113-118.
68. Vág J, Renne W, Revell G, Ludlow M, Mennito A, Teich ST, Gutmacher Z: The effect of software updates on the trueness and precision of intraoral scanners. *Quintessence Int.* 2021 Jun 9;52(7):636-644.
69. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A: In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig.* 2016 Sep;20(7):1495-504
70. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, Oriso K, Kondo H: Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res.* 2020 Apr;64(2):109-113.
71. Schmidt A, Klusmann L, Wöstmann B, Schlenz MA: Accuracy of Digital and Conventional Full-Arch Impressions in Patients: An Update. *J Clin Med.* 2020 Mar 4;9(3):688.
72. Ender A, Zimmermann M, Mehl A: Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent.* 2019;22(1):11-19.
73. Berrendero S, Salido MP, Ferreiroa A, Valverde A, Pradíes G: Comparative study of all-ceramic crowns obtained from conventional and digital impressions: clinical findings. *Clin Oral Investig.* 2019 Apr;23(4):1745-1751.
74. Gan N, Xiong Y, Jiao T.: Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS One.* 2016 Jul 6;11(7):e0158800.
75. Ender A, Mehl A: Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent.* 2013 Feb;109(2):121-8.

76. Schmidt A, Klussmann L, Wöstmann B, Schlenz MA: Accuracy of Digital and Conventional Full-Arch Impressions in Patients: An Update. *J Clin Med.* 2020 Mar 4;9(3):688.
77. Malik J, Rodriguez J, Weisbloom M, Petridis H: Comparison of Accuracy Between a Conventional and Two Digital Intraoral Impression Techniques. *Int J Prosthodont.* 2018 Mar/Apr;31(2):107-113.
78. Ender A, Mehl A: Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent.* 2011;14(1):11-21.
79. Ender A, Mehl A: In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int.* 2015 Jan;46(1):9-17.
80. Alikhasi M, Alsharbaty MHM, Moharrami M: Digital Implant Impression Technique Accuracy: A Systematic Review. *Implant Dent.* 2017 Dec;26(6):929-935.
81. Rech-Ortega C, Fernández-Estevan L, Solá-Ruiz MF, Agustín-Panadero R, Labaig-Rueda C: Comparative in vitro study of the accuracy of impression techniques for dental implants: Direct technique with an elastomeric impression material versus intraoral scanner. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2019 Jan 1;24(1):e89-e95.
82. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B: A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent.* 2016 Dec;55:68-74.
83. Chochlidakis K, Papaspyridakos P, Tsigarida A, Romeo D, Chen YW, Natto Z, Ercoli C. Digital Versus Conventional Full-Arch Implant Impressions: A Prospective Study on 16 Edentulous Maxillae. *J Prosthodont.* 2020 Apr;29(4):281-286.
84. Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, Sato Y, Ohkubo C, Matsumura H: Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *J Oral Sci.* 2018;60(1):1-7.
85. Sason GK, Mistry G, Tabassum R, Shetty O. A: comparative evaluation of intraoral and extraoral digital impressions: An *in vivo* study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2018 Apr-Jun;18(2):108-116.
86. Ahrberg D, Lauer HC, Ahrberg M, Weigl P: Evaluation of fit and efficiency of CAD/CAM fabricated all-ceramic restorations based on direct and indirect digitalization: a double-blinded, randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2016 Mar;20(2):291-300.

87. Rödiger M, Heinitz A, Bürgers R, Rinke S: Fitting accuracy of zirconia single crowns produced via digital and conventional impressions-a clinical comparative study. *Clin Oral Investig.* 2017 Mar;21(2):579-587
88. Lee SJ, Kim SW, Lee JJ, Cheong CW: Comparison of Intraoral and Extraoral Digital Scanners: Evaluation of Surface Topography and Precision. *Dent J (Basel).* 2020 May 20;8(2):52.
89. Mennito AS, Evans ZP, Nash J, Bocklet C, Lauer Kelly A, Bacro T, Cayouette M, Ludlow M, Renne WG: Evaluation of the trueness and precision of complete arch digital impressions on a human maxilla using seven different intraoral digital impression systems and a laboratory scanner. *J Esthet Restor Dent.* 2019 Jul;31(4):369-377.
90. Bohner LOL, De Luca Canto G, Marció BS, Laganá DC, Sesma N, Tortamano Neto P: Computer-aided analysis of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners. *J Prosthet Dent.* 2017 Nov;118(5):617-623.
91. Baghani MT, Shayegh SS, Johnston WM, Shidfar S, Hakimaneh SMR: In vitro evaluation of the accuracy and precision of intraoral and extraoral complete-arch scans. *J Prosthet Dent.* 2021 Nov;126(5):665-670.
92. Kernen F, Schlager S, Seidel Alvarez V, Mehrhof J, Vach K, Kohal R, Nelson K, Flügge T: Accuracy of intraoral scans: An in vivo study of different scanning devices. *J Prosthet Dent.* 2021 Apr 23:S0022-3913(21)00145-1.
93. Greco GB, Popi D, Di Stefano DA. Accuracy of 3-dimensional printing of dental casts: A proposal for quality standardization. *J Prosthet Dent.* 2022 Jun;127(6):899-910.
94. Park JM, Jeon J, Koak JY, Kim SK, Heo SJ. Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent.* 2021 Sep;126(3):427-437.
95. Abduo, J. Accuracy of casts produced from conventional and digital workflows: A qualitative and quantitative analyses. *The journal of advanced prosthodontics*, (2019).
96. Cho, S. H., Schaefer, O., Thompson, G. A., & Guentsch, A.. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *The Journal of prosthetic dentistry*, (2015) 113(4), 310-315
97. Cappare P, Sannino G, Minoli M, Montemezzi P, Ferrini F. Conventional versus

- Digital Impressions for Full Arch Screw-Retained Maxillary Rehabilitations: A Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Mar 7;16(5):829
98. Amin S, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P. Digital vs. conventional full-arch implant impressions: a comparative study. *Clin Oral Implants Res*. 2017 Nov;28(11):1360-1367
 99. Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A: Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent*. 2015 Apr;113(4):310-5.
 100. Papaspyridakos P, Gallucci GO, Chen CJ, Hanssen S, Naert I, Vandenberghe B. Digital versus conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes. *Clin Oral Implants Res*. 2016 Apr;27(4):465-72.
 101. Emir F, Ayyildiz S. Accuracy evaluation of complete-arch models manufactured by three different 3D printing technologies: a three-dimensional analysis. *J Prosthodont Res*. 2021 Aug 21;65(3):365-370.
 102. Ribeiro P, Herrero-Climent M, Díaz-Castro C, Ríos-Santos JV, Padrós R, Mur JG, Falcão C. Accuracy of Implant Casts Generated with Conventional and Digital Impressions-An In Vitro Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 Jul 27;15(8):1599.
 103. Gherlone EF, Ferrini F, Crespi R, Gastaldi G, Capparé P. Digital impressions for fabrication of definitive "all-on-four" restorations. *Implant Dent*. 2015 Feb;24(1):125-9
 104. Fasbinder DJ: Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. *The Journal of the American Dental Association*, 2006 137, 22S-31S.
 105. Bohner L, Hanisch M, De Luca Canto G, Mukai E, Sesma N, Neto PT. Accuracy of Casts Fabricated by Digital and Conventional Implant Impressions. *J Oral Implantol*. 2019 Apr;45(2):94-99.
 106. Yousef H, Harris BT, Elathamna EN, Morton D, Lin WS. Effect of additive manufacturing process and storage condition on the dimensional accuracy and stability of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent*. 2021 Mar 27:S0022-3913(21)00112-8.
 107. Park ME, Shin SY. Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *J Prosthet Dent*. 2018 May;119(5):861.e1-861.e7.

108. Dahl BE, Dahl JE, Rønold HJ: Internal fit of three-unit fixed dental prostheses produced by computer-aided design/computer-aided manufacturing and the lost-wax metal casting technique assessed using the triple-scan protocol. *Eur J Oral Sci.* 2018 Feb;126(1):66-
109. Parize, H., Tardelli, J. D. C., Bohner, L., Sesma, N., Muglia, V. A., & Dos Reis, A. C. Digital versus conventional workflow for the fabrication of physical casts for fixed prosthodontics: A systematic review of accuracy. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* (2021).
110. Alshawaf B, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P: Accuracy of printed casts generated from digital implant impressions versus stone casts from conventional implant impressions: A comparative in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 2018 Aug;29(8):835-842.
111. Aly P, Mohsen C. Comparison of the accuracy of three-dimensional printed casts, digital, and conventional casts: An in vitro study. *European Journal of Dentistry.* 2020 May;14(02):
112. Sim JY, Jang Y, Kim WC, Kim HY, Lee DH, Kim JH. Comparing the accuracy (trueness and precision) of models of fixed dental prostheses fabricated by digital and conventional workflows. *J Prosthodont Res.* 2019 Jan;63(1):25-30.
113. Al Hamad KQ, Al Rashdan BA, Al Omari WM, Baba NZ. Comparison of the Fit of Lithium Disilicate Crowns made from Conventional, Digital, or Conventional/Digital Techniques. *J Prosthodont.* 2019 Feb;28(2):e580-e586
114. Jang Y, Sim JY, Park JK, Kim WC, Kim HY, Kim JH: Accuracy of 3-unit fixed dental prostheses fabricated on 3D-printed casts. *J Prosthet Dent.* 2020 Jan;123(1):135-142.
115. Abdeen L, Chen YW, Kostagianni A, Finkelman M, Papathanasiou A, Chochlidakis K, Papaspyridakos P. Prosthesis accuracy of fit on 3D-printed casts versus stone casts: A comparative study in the anterior maxilla. *J Esthet Restor Dent.* 2022 Dec;34(8):1238-1246.
116. Banjar A, Chen YW, Kostagianni A, Finkelman M, Papathanasiou A, Chochlidakis K, Papaspyridakos P. Accuracy of 3D Printed Implant Casts Versus Stone Casts: A Comparative Study in the Anterior Maxilla. *J Prosthodont.* 2021 Dec;30(9):783-788

- 117.** Papaspyridakos P, Chen YW, Alshawaf B, Kang K, Finkelman M, Chronopoulos V, Weber HP. Digital workflow: In vitro accuracy of 3D printed casts generated from complete-arch digital implant scans.
118. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, Prusa J, Kakawand S. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online*. 2013 May 31;12:49.
119. Ellakany P, Al-Harbi F, El Tantawi M, Mohsen C. Evaluation of the accuracy of digital and 3D-printed casts compared with conventional stone casts. *J Prosthet Dent*. 2022 Mar;127(3):438-444.
120. Glisic O, Hoejbjerre L, Sonnesen L. A comparison of patient experience, chair-side time, accuracy of dental arch measurements and costs of acquisition of dental models. *Angle Orthod*. 2019 Nov;89(6):868-875.
121. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral digital scanners. *J Clin Orthod*. 2014 Jun;48(6):337-47.

