



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΝΑΡΘΗΚΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΤΩΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΒΕΡΓΟΥ ΛΥΔΙΑ

ΑΜ:21001

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΙΑΝΝΙΚΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ:ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

DIVISION of DENTAL. TECHNOLOGY

POSTGRADUATE PROGRAM

«ADVANCED PROSTHETICS IN DENTAL. TECHNOLOGY»

MASTER'S THESIS

**CONSTRUCTION METHODS OF RADIOGRAPHIC AND SURGICAL. STENTS IN
IMPLANTS PROSTHETICS**

CANDIDATE NAME: VERGOU LYDIA

Candidate Number: 21001

SUPERVISOR:GIANNIKAKIS STAVROS

TITLE:PROFESSOR

ATHENS 2024

Σήμερα 20 /4/2024 έγινε παρουσίαση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας του μεταπτυχιακού φοιτητή ΒΕΡΓΟΥ ΛΥΔΙΑ με ΑΜ 21001 ενώπιον της κάτωθι εξεταστικής επιτροπής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΓΙΑΝΝΙΚΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ, ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
ΠΡΟΜΠΟΝΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ	
ΓΑΛΙΑΤΣΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Βέργου Λυδία , με αριθμό μητρώου 21001 φοιτητής/φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σύγχρονη Προσθετική Οδοντικής Τεχνολογίας» του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής 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 σύνολο 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 εμένα 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».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι .../.../..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο/Η Δηλών/ούσα

Βέργου Λυδία



Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Γιαννικάκη Σταύρο για την βοήθεια του και την στήριξη του για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
SUMMARY.....	10

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
ΣΚΟΠΟΣ.....	13
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	23
I. Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	24
I.1 Τεχνολογία που σχετίζεται με την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων.....	24
I.2 Τεχνολογία που σχετίζεται με την κατασκευή της προσθετικής αποκατάστασης.....	31
II. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	37
III: ΤΥΠΟΙ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ.....	40
III.1 Χειρουργικοί οδηγοί ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού.....	40
III.2 Χειρουργικοί οδηγοί ανάλογα την επιφάνεια στήριξης.....	43
III.3 Χειρουργικοί οδηγοί ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής.....	45
IV. ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ.....	48
IV.1 Υλικά για χρήση στην τρισδιάστατη εκτύπωση.....	48
IV.2 Σύγχρονα υλικά εκλογής κατασκευής οδηγών.....	50
IV.3 Αποστείρωση απολύμανση υλικών κατασκευής οδηγών.....	57
V. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ.....	61
V.1 Παράγοντες αποτυχίας – επιτυχίας ενός ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού.....	62
V.2 Συμβάματα και επιπλοκές από την μη χρήση ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών.....	66

V.3 Κλινικές επιπλοκές μετά την χρήση ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών.....	71
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	74
VI. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ.....	75
VI.1 Κατασκευή με την συμβατική τεχνική.....	75
VI.2 Κατασκευή με τη χρήση ψηφιακής τεχνολογίας	78
VI.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	88
VI.4 Αξιοπιστία και ακρίβεια των χειρουργικών οδηγών ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής.....	95
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	103
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας έχει συμβάλλει ιδιαίτερα στην εξέλιξη της σύγχρονης Εμφυτευματολογίας. Οι ενδοστοματικοί σαρωτές (Intraoral Scanner), η αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT), τα εξειδικευμένα λογισμικά, οι μηχανές ψυχρής κοπής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές (3D printers), και συνολικά η τεχνολογία CAD-CAM έχουν καθιερωθεί στην καθημερινή κλινική και εργαστηριακή πρακτική. Έτσι, στην «υπολογιστικά κατευθυνόμενη χειρουργική» με την χρήση αυτών των ψηφιακών μέσων είναι δυνατή η πρόβλεψη της ακριβούς θέσης τοποθέτησης του εμφυτεύματος κατά τον σχεδιασμό της επιεμφυτευματικής εργασίας. Ο ακτινογραφικός και χειρουργικός οδηγός αποτελούν πολύ σημαντικά εργαλεία για την εκτέλεση με ακρίβεια του προβλεπόμενου σχεδίου θεραπείας. Ο ακτινογραφικός οδηγός διαθέτει πληροφορίες για τα ανατομικά στοιχεία της περιοχής (αγγεία, νεύρα, πυκνότητα οστού) τοποθέτησης και ο χειρουργικός οδηγός επιτρέπει την τοποθέτηση του εμφυτεύματος με ακρίβεια σε μια ελεγχόμενη χειρουργική διαδικασία. Ωστόσο, η πιθανότητα επιπλοκών είναι υπαρκτή εάν τα πρωτόκολλα δεν ακολουθηθούν με ευλάβεια. Οι ακτινογραφικοί οδηγοί χωρίζονται σε κατηγορίες με βάση την μέθοδο κατασκευής τους ενώ οι χειρουργικοί με βάση τον τρόπο σχεδιασμού τους την επιφάνεια στήριξης (οστικής, βλεννογόνιας, οδοντικής, μεικτής) αλλά και τη μέθοδο κατασκευής τους (συμβατική, ψηφιακή). Τα υλικά κατασκευής των ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών, είναι η διαφανής θερμά πολυμεριζόμενη ή αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη η οποία χρησιμοποιείται στην συμβατική τεχνική, ενώ στην ψηφιακή τεχνική χρησιμοποιούνται δίσκοι πολυμερών για ψυχρή κοπή και υγρές ρητίνες για τρισδιάστατη εκτύπωση. Σήμερα η υπολογιστικά κατευθυνόμενη τοποθέτηση εμφυτευμάτων με την χρήση αυτών των οδηγών γίνεται με μεγάλη κλινική ακρίβεια. Είναι καλύτερη από την συμβατική τεχνική γιατί έχει μεγαλύτερο έλεγχο κατά την επέμβαση, μικρότερο χειρουργικό τραύμα όταν δεν γίνεται αναπέταση κρημνού, και γενικά λιγότερες επιπλοκές. Ωστόσο απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την βελτίωση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα (λογισμικά, συσκευές, υλικά, τεχνικές).

SUMMARY

Digital technology has spread rapidly in dentistry and specially in Implantology. Intraoral. scanners, cone-beam computer tomography (CBCT), special. dental softwares, milling machines, 3d printers and CAD/CAM technology are useful tools in daily surgical. and laboratory practice. So, the concept of computer guided implant surgery" has introduced. During treatment planning information for the implant position are transferring in the surgical. procedure. Essential. tools in this concept are the radiographic and surgical. templates. Radiographic templates incorporate anatomical. (vessels, nerves, osseus density) and prosthetic data. Surgical. templates are used to transfer these data accurately in the surgical. field, to position the implant optimally. There is always the possibility of complications if the protocols are not performed properly. Radiographic templates are classified according to their construction procedure. Surgical. templates are classified according to their support structures (teeth, mucous membrane, osseus tissue, gross). A variety of materials are used as, thermopolymerizing or autopolymerizing acrylic resin for thw conventional. procedure, or disc polymer resins and resins for 3D printing for the digital. procedures. Nowadays, computer guided implant surgery is very accurate clinically, it's better from the conventional. free hand surgery, the surgical trauma is less and the postsurgical. complications are fewer. The technology and the concept are young, so there is a need for more research, especially clinical. to improve various aspects (software, devices, materials, techniques).

Η Οδοντική Προσθετική είναι ο κλάδος της Οδοντιατρικής που ασχολείται με την αποκατάσταση των ελλειπόντων δοντιών των ασθενών. Για πολλά χρόνια η στήριξη και συγκράτηση των προσθετικών αποκαταστάσεων (ακίνητων και κινητών) γινόταν από τους οδοντικούς ιστούς και τον στοματικό βλεννογόνο. Η ανακάλυψη της αρχής της «οστεοενσωμάτωσης» από τον P.I. Branemark πρόσθεσε ένα ακόμα τύπο στήριξης των εργασιών επάνω στα οστεοενσωματούμενα εμφυτεύματα. **Οστεοενσωμάτωση (osseointegration)** είναι η «δομική και λειτουργική σύνδεση ενός αδρανούς αλλοπλαστικού υλικού (εμφύτευμα), με το ζωντανό περιβάλλον οστού χωρίς τη μεσολάβηση συνδετικού ιστού». (Branemark et al. 1985, Ferro et al. 2017). Το υλικό αυτό είναι συνήθως το κράμα τιτανίου. Η κλινική επιτυχία αυτής της τεχνικής είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας νέας κατεύθυνσης της Οδοντιατρικής Επιστήμης, της **Εμφυτευματολογίας**, η οποία έχει αναπτυχθεί με πολύ γρήγορο ρυθμό.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την μακροβιότητα μιας επιεμφυτευματικής κατασκευής είναι πολλοί, βιολογικοί, κλινικοί, τεχνικοί, σχετιζόμενοι με τα υλικά και άλλοι. Η σωστή τοποθέτηση του εμφυτεύματος σε σχέση με τους περιβάλλοντες ιστούς (οστό, βλεννογόνο στόματος) είναι κρίσιμης σημασίας για την επιτυχία της τεχνικής (Misch, 2007). Για να επιτευχθεί αυτό, αξιολογούνται δεδομένα από απεικονιστικές τεχνικές (ακτινογραφίες, ειδικές τομογραφίες) σε συνδυασμό με κλινικές πληροφορίες από το στάδιο της μελέτης. Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται στην κλινική πρακτική με την βοήθεια ειδικών κατασκευών που λέγονται *οδηγοί (templates, νάρθηκες)* (Floyd et al. 1999, Misch 2007).

Οι οδηγοί αυτοί είναι δυο βασικών κατηγοριών. Οι *ακτινογραφικοί* οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο στάδιο του προχειρουργικού ακτινολογικού ελέγχου και οι *χειρουργικοί* οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο στάδιο της χειρουργικής τοποθέτησης των εμφυτευμάτων (Misch 2007, Hobo et al. 1996, Van Noort 2012). Οι οδηγοί χρησιμοποιήθηκαν από την πρώτη στιγμή στην Εμφυτευματολογία και υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών κατασκευής των οδηγών.

Επιπρόσθετα, τα τελευταία χρόνια η σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία έχει αναπτυχθεί με ραγδαίο ρυθμό σε όλες τις πτυχές της Οδοντιατρικής και της Οδοντικής

Τεχνολογίας. Εξελιγμένες απεικονιστικές μέθοδοι σε συνδυασμό με προηγμένα λογισμικά δίνουν την δυνατότητα στον κλινικό να έχει μια πολύ ακριβή εικόνα του κάθε περιστατικού. Κατά τον ψηφιακό σχεδιασμό (virtual planning) πλέον, οριοθετούνται τα εμφυτεύματα στην πλέον ιδανική θέση στην ακρολοφία. Οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται με την βοήθεια των οδηγών στην χειρουργική φάση. Οι οδηγοί κατασκευάζονται με την χρήση ψηφιακών τεχνικών κατασκευής όπως είναι οι τεχνολογίες κοπής (milling) ή τρισδιάστατης εκτύπωσης (3d printing)(Van Noort, 2012). Χάρη σε αυτά αναπτύχθηκε η φιλοσοφία της κατευθυνόμενης τοποθέτησης των εμφυτευμάτων (guided implantation) που οδηγεί τον κλινικό με πολύ μεγάλη ακρίβεια και ασφάλεια στην σωστή τοποθέτηση του εμφυτεύματος. Όλες οι προεγχειρητικές πληροφορίες ενσωματώνονται στον χειρουργικό οδηγό και με την χρήση τυποποιημένων πρωτοκόλλων τοποθέτησης, βελτιώνεται θεαματικά η κλινική πρακτική και η επιβίωση των εμφυτευμάτων.

Ο σχεδιασμός ο οποίος δεν ακολουθεί βασικές βιολογικές αρχές φυσιολογίας και ανατομίας, μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά από κλινικές επιπλοκές που επηρεάζουν την βιωσιμότητα του εμφυτεύματος. Οι τεχνικές είναι σχετικά νέες και πρέπει να διερευνηθούν όλες οι παράμετροι, κλινικές και τεχνικές που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα.

Όμως η σύγχρονη Εμφυτευματολογία, πλέον, είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με την χρήση όλων αυτών των τεχνικών και κατασκευών.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αναλυθούν όλα τα σύγχρονα δεδομένα που αφορούν τις τεχνικές κατασκευής των ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών που χρησιμοποιούνται στην σύγχρονη Οδοντιατρική και ειδικότερα στην Εμφυτευματολογία. Θα γίνει αναφορά σε όλες τις κατηγορίες οδηγών που χρησιμοποιούνται σήμερα, θα μελετηθούν τα πλεονεκτήματά τους, τα μειονεκτήματά τους και θα συγκριθούν οι διάφορες τεχνικές μεταξύ τους. Θα διερευνηθούν τα πιθανά προβλήματα που προκύπτουν, τεχνικά και κλινικά καθώς και οι δυνατότητες επίλυσής τους.

Η εργασία αυτή αποτελείται από τα εξής μέρη:

Την ιστορική αναδρομή, όπου θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση της εξέλιξης των ναρθήκων στην Εμφυτευματολογία.

Στο γενικό μέρος όπου θα αναλυθούν οι βασικές αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό και την κατασκευή όλων των ειδών των οδηγών, των υλικών κατασκευής τους και την χρήση τους στην Οδοντική Προσθετική. Ιδιαίτερη σημασία θα δοθεί στις κλινικές συνέπειες και στις επιπλοκές που προκύπτουν είτε από την μη χρήση των οδηγών, είτε από λανθασμένο σχεδιασμό, κατασκευή ή και εφαρμογή των οδηγών, κυρίως των χειρουργικών.

Στο ειδικό μέρος, στο οποίο θα περιγραφούν αναλυτικά οι κυριότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα, θα παρουσιασθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, ενώ θα εντοπιστούν και τεχνικές λεπτομέρειες που αφορούν τον Οδοντικό Τεχνολόγο.

Στην συζήτηση θα γίνει συγκριτική αξιολόγηση των τύπων των οδηγών και των τεχνικών, με χρήση της βιβλιογραφίας και θα αναλυθούν τα σημεία που χρήζουν βελτίωσης ή περαιτέρω εξέλιξης.

Στη συνέχεια θα διατυπωθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την συζήτηση.

Ακολουθούν οι περιλήψεις, ελληνική και αγγλική και τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο όρος εμφύτευση είναι ουσιαστικά η μεταφορά τεχνητών υλικών ή ιστών σε ένα βιολογικό σύστημα. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την εμφύτευση ονομάζεται εμφύτευμα και είναι ένα αλλοπλαστικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα ο όρος οδοντική εμφυτευματολογία χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επιστήμη που ασχολείται με τις μεθόδους τοποθέτησης ενός εμφυτεύματος στο οστό των γνάθων με σκοπό, μετά την σταθεροποίησή του, την στήριξη προσθετικών εργασιών. Η εμφυτευματολογία αποτελεί ένα τμήμα του κλάδου της οδοντιατρικής το οποίο έχει παρουσιάσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Χρησιμοποιείται πλέον ευρέως και προσφέρει λύσεις τόσο σε απλά όσο και σε πιο σύνθετα περιστατικά. Η εξέλιξη της εμφυτευματολογίας μπορεί να παρουσιάζεται τα τελευταία χρόνια μεγαλύτερη, όμως έχει μεγάλο ιστορικό υπόβαθρο. (Misch 2007, Γιαννικάκης 2018)

Η ιστορία των εμφυτευμάτων ξεκινάει από τα αρχαία χρόνια, όταν ο άνθρωπος προσπάθησε να αναπληρώσει διάφορα μέρη του σώματος τα οποία έλειπαν. Μελέτες έδειξαν ότι το ξύλο, το δέρμα και δόντια ή οστά ζώων χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες για την αποκατάσταση των απολεσθέντων σημείων. Συνήθως οι αποκαταστάσεις αυτές κάλυπταν το αισθητικό κομμάτι και όχι το λειτουργικό. (Γιαννικάκης, 2018)

Μεταξύ 936-1013μ.Χ. ο Άραβας χειρουργός Albucasis πρότεινε την μεταμόσχευση δοντιών. Αυτή η τεχνική επικράτησε και τον 18^ο αιώνα στις ευγενείς τάξεις της Αγγλίας και της Γαλλίας. Οι δότες δοντιών ήταν νεαρά άτομα και πληρώνονταν για αυτό. Δυστυχώς, λόγω των λοιμωδών νοσημάτων (σύφιλη, φυματίωση) και της άγνοιας βασικών αρχών της βιολογίας οι μεταμοσχεύσεις είχαν αποτυχία. Έτσι η μέθοδος αυτή εγκαταλείφθηκε. (Γιαννικάκης, 2018)

Η επόμενη προσπάθεια μεταξύ 18^{ου} και 19^{ου} αιώνα ήταν η εμφύτευση δοντιών από φυσικά και συνθετικά υλικά όπως η πορσελάνη, ο χρυσός αλλά και το ελεφαντόδοντο. Η φατνιακή ακρολοφία της γνάθου προσαρμοζόταν αναλόγως και το υλικό διαμορφωνόταν σε σχήμα ρίζας δοντιού. (Γιαννικάκης, 2018)

Το 1891 ο Hartmann πρότεινε την εμφύτευση κοχλίας. Επάνω στους κοχλίες στηρίζονταν οι τεχνητές οδοντοστοιχίες. Το 1939 ο Stock κατασκεύασε εμφύτευμα

από ανοξειδωτο κράμα χρωμίου- κοβαλτίου- μολυβδαινίου το οποίο είχε τη μορφή κοχλιωτού εμφυτεύματος. (Γιαννικάκης, 2018)

Ουσιαστικά οι περισσότερες εξελίξεις στην εμφυτευματολογία έγιναν τα τελευταία 50 χρόνια. Υπάρχουν τρεις βασικοί μέθοδοι που ακολουθούν η μία την άλλη ιστορικά. Αυτές είναι η οδοντική ήλωση, τα υποπεριοστικά εμφυτεύματα και τα ενδοοστικά εμφυτεύματα (Misch, 2007).

Η μέθοδος που επικρατεί σήμερα είναι αυτή που βασίζεται στην αρχή της «οστεοενσωμάτωσης» που ανακάλυψε ο Σουηδός P.I. Branemark (Branemark et al. 1982). Ο Branemark ο οποίος ήταν καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Goteborg της Σουηδίας, την δεκαετία του 1960 μελετούσε τους μηχανισμούς επούλωσης σε πειραματόζωα εμφυτεύοντας σωληνίσκους από κράμα τιτανίου υψηλής καθαρότητας. Αφαιρώντας τους σωληνίσκους παρατήρησε πως παρέμεναν τμήματα οστού πολύ ισχυρά συνδεδεμένα επάνω στο καθαρό τιτάνιο. Στην εξέλιξη των πειραμάτων των σχετικών με αυτήν την παρατήρηση του, ανακάλυψε ότι αν εμφυτευθεί με συγκεκριμένες συνθήκες κράμα τιτανίου υψηλής καθαρότητας, αναπτυσσόταν μετά από λίγους μήνες μια ισχυρή σύνδεση ανάμεσα στο οστό και στο μέταλλο. (Branemark et al. 1985)

Διατύπωσε έτσι την αρχή της «οστεοενσωμάτωσης» η οποία περιγράφεται σαν «η άμεση πρόσφυση ή σύνδεση του οστίτη ιστού σε ένα αδρανές αλλοπλαστικό υλικό χωρίς παρεμβολή ινώδους συνδετικού ιστού», ή, σύμφωνα με το Glossary of Prosthodontic Terms (Ferro et al. 2017), σε μια ευρύτερη διατύπωση «είναι η μεσόφαση που αναπτύσσεται ανάμεσα σε ένα αλλοπλαστικό υλικό και το οστό» (Branemark et al. 1985).

Βασιζόμενα σε αυτή την αρχή αναπτύχθηκαν τα ενδοοστικά οστεοενσωματούμενα εμφυτεύματα και από την δεκαετία του 1980 αποτελούν, πλέον μετά την οδοντική και την βλεννογόνια στήριξη, τον τρίτο τύπο στήριξης στην οδοντιατρική, την **εμφυτευματική** (Hobo et al. 1996, Misch 2007).

Το σύστημα του Branemark είχε τρεις εξελικτικές περιόδους την πρώιμη περίοδο (1965-1968), την εξελικτική φάση (1968-1971) και την εμπορική παραγωγή (1971 –

σήμερα). Το αρχικό σύστημα Branemark βελτιώνεται από τις εταιρίες και παράγονται συνεχώς και νέοι τύποι οστεοενσωματούμενων εμφυτευμάτων με κράμα εκλογής το υψηλής καθαρότητας τιτάνιο. Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των εταιριών οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με την καθαρότητα του χρησιμοποιούμενου τιτανίου και τις προσμίξεις σε ιχνοστοιχεία, το υλικό, την επεξεργασία του ή την μορφολογία του. Χαρακτηριστικά που διαφέρουν ανάμεσα στους διάφορους τύπους έχουν σχέση με την αξονική κωνικότητα, τη μορφολογία της επιφάνειας, την χημεία της επιφάνειας, την εσωτερική διαμόρφωση, το μέγεθος, τον αυχένα και τον τρόπο σύνδεσης με την υπερκείμενη προσθετική κατασκευή. Βασικό χαρακτηριστικό της τεχνικής είναι να αποκατασταθεί η βιολογική αυτή σύνδεση και μετά να γίνει η φόρτιση. Η κλινική επιτυχία των οστεοενσωματούμενων οδοντικών εμφυτευμάτων τα καθιστά πλέον μια σύγχρονη επιλογή για την αποκατάσταση των απολεσθέντων δοντιών και βασίζεται στη ορθή αξιολόγηση του ασθενή καθώς και στο σωστό σχέδιο θεραπείας (Branemark et al. 1985, Misch 2007)

Από την πρώτη χειρουργική τοποθέτηση οδοντικού εμφυτεύματος από τον Branemark στις αρχές του 1960 μέχρι και σήμερα, αξιοσημείωτη είναι και η εξέλιξη της χειρουργικής διαδικασίας. Τροποποιούνται τα χειρουργικά πρωτόκολλα με σκοπό την μείωση του χρόνου επούλωσης, της καλύτερης σχέσης με τους περιβάλλοντες μαλακούς ιστούς, ενώ χρησιμοποιούνται και στην Γναθοπροσωπική Προσθετική. Σημαντική τροποποίηση ήταν η τεχνική της άμεσης εμφύτευσης όπου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να φορτισθεί σε λίγες ημέρες το εμφύτευμα. Χρόνο με τον χρόνο βελτιώνεται συνεχώς τόσο η ακρίβεια της θέσης του εμφυτεύματος, όσο και η κατασκευή μετέπειτα της προσθετικής εργασίας. (Lazzara 1989, Schwartz et al. 2000, Marchack B 2015)

Στα πρώιμα χρόνια της εμφυτευματολογίας, η τοποθέτηση των εμφυτευμάτων γινόταν όπου υπήρχε μεγαλύτερος όγκος οστού, χωρίς να δίνεται έμφαση στην τοποθέτηση της τελικής αποκατάστασης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η τοποθέτηση του εμφυτεύματος δεν ήταν τόσο ακριβής όσο θα έπρεπε. Ακόμη και μια μικρή απόκλιση από την επιθυμητή θέση προκαλούσε δυσκολίες στην κατασκευή της τελικής προσθετικής κατασκευής. Ήταν λοιπόν επιτακτική ανάγκη να βρεθεί μια

μέθοδος που θα επέτρεπε την ακριβή θέση του εμφυτεύματος προκειμένου να επιτευχθεί η λειτουργικότητα και η αισθητική της εργασίας (Misch and Wang, 2008).

Πριν την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων προηγείται ένας ακτινολογικός έλεγχος στον οποίο απαραίτητος είναι ο ακτινογραφικός οδηγός. Σε αυτόν είναι ενσωματωμένα ακτινοσκοπερά στοιχεία τα οποία διαγράφονται στην ακτινογραφία και παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την θέση και την σχέση του εμφυτεύματος. Τον ακτινογραφικό οδηγό ακολουθεί ο χειρουργικός οδηγός ο οποίος συμβάλλει στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων στις ακριβείς θέσεις που επιλέχθηκαν με βάση τον ακτινογραφικό έλεγχο. Ο χειρουργικός οδηγός (ή νάρθηκας) κατασκευάζεται εκ νέου ολοκληρωτικά ή προκύπτει από την τροποποίηση του ακτινογραφικού νάρθηκα. Η χρήση και των δύο αυτών κατασκευών προσφέρουν πληροφορίες και καθοδήγηση για την κατάλληλη και ακριβή θέση τοποθέτησης του εμφυτεύματος στο οστό. (Manikandan, 2013)

Οι αρχικοί μέθοδοι κατασκευής των ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών ήταν με αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη και κατασκευαζόταν αναλογικά.

Οι Basten and Kois (1996) παρουσίασαν τον ακτινογραφικό οδηγό που κατασκευάζεται από θειικό βάριο. Σύμφωνα με αυτήν την τεχνική ενσωματώνεται θειικό βάριο, που είναι ακτινοσκοπερή σκόνη σε κοιλότητες ή και σε επιφάνειες του οδηγού. Έτσι υπάρχει και μια εκτίμηση όχι μόνο της θέσης, αλλά και της μορφολογίας των δοντιών σε σχέση με το εμφύτευμα. Αναφέρουν, δε, πως η ολική ακτινοσκοπερότητα του οδηγού προσφέρει βελτιωμένη οπτική αντίληψη αλλά και επιτρέπει την συσχέτιση της τελικής εργασίας σε σχέση με το οστό του ασθενούς. Κατέληξαν ότι ο ακτινογραφικός οδηγός θειικού βαρίου είναι ένα αξιόπιστο, εύκολο στην χρήση και με μικρό κόστος βοήθημα και πράγματι χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα (Basten and Kois, 1996).

Ο Hobo et al. (1996) περιέγραψαν πως ένας ακτινογραφικός οδηγός μπορεί να μετατραπεί σε χειρουργικό. Αναλύουν και χρησιμοποιούν δύο μεθόδους για την κατασκευή ακτινογραφικού οδηγού από ακρυλική ρητίνη. Η μια είναι η αντιγραφή της ήδη υπάρχουσας πρόσθεσης και δημιουργία μιας πανομοιότυπης. Στη συνέχεια η κατασκευή αυτή χρησιμοποιείται ως ακτινογραφικός και ως χειρουργικός οδηγός.

Η άλλη μέθοδος είναι η δημιουργία ενός οδηγού με πρότυπο το διαγνωστικό κέρωμα που έχει προηγηθεί στα εκμαγεία μελέτης κατά τη φάση της μελέτης του περιστατικού.

Οι Engelman et al. (1998) αναφέρουν στην εργασία τους, πως ο ακτινογραφικός και χειρουργικός οδηγός αποτελούν σημαντικό μέσον επικοινωνίας μεταξύ προσθετολόγου – γναθοχειρουργού. Αναλύουν πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν οι δυο αυτοί τύποι οδηγών για να μεταφερθούν πληροφορίες από την προεγχειρητική μελέτη στην χειρουργική φάση. Έτσι καθίσταται πιο σαφής και συγκεκριμένη η επικοινωνία των μελών της ομάδας. Καταλήγουν, δε, ότι ο ακτινογραφικός και ο χειρουργικός οδηγός αποτελούν κλειδί για το σωστό σχέδιο θεραπείας αλλά και για τις χειρουργικές διαδικασίες αντίστοιχα. Ο Edge σε ένα άρθρο του το 1987, περιγράφει μια απλή και χαμηλού κόστους τεχνική για κατασκευή χειρουργικού οδηγού. Αναφέρει πως τα εκμαγεία μελέτης και ο ακτινογραφικός έλεγχος γίνονται με τις γνωστές διαδικασίες. Οι θέσεις όμως των εμφυτευμάτων υπολογίζονται κατά προσέγγιση από μία πανοραμική ακτινογραφία οι οποίες επιβεβαιώνονται με τη χρήση ακτινογραφικού νάρθηκα σύγκλισης και έλεγχο στο στόμα του ασθενούς. (Edge, 1987)

Οι Marino et al. το 1995 ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν κλινικά θερμοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη για την παρασκευή χειρουργικών οδηγών σε περιπτώσεις μερικής νωδότητας. Προκειμένου να υπάρχει ακτινοσκιερότητα και να είναι ορατός στην αξονική τομογραφία, χρησιμοποίησαν ρητίνη μέσα στην οποία έγινε ανάμειξη κιμωλίας. Παράλληλα, την ίδια περίοδο οι Stellino et al. παρουσίασαν προσωρινές αποκαταστάσεις από θερμά πολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη με τη χρήση γουταπέρκας που προσδίδει ακτινοσκιερότητα. (Marino et al. 1995, Stellino et al. 1995)

Το 1997 οι Takeshita et al. πρωτοπόρησαν στην τεχνική ανάμειξης ακρυλικής ρητίνης με ακτινοσκιερό υλικό για την κατασκευή χειρουργικού οδηγού. Χρησιμοποίησαν σκόνη θεικού βαρίου με ακρυλική ρητίνη αναλογίας 4:1. (Takeshita et al. 1997). Κάποιες άλλες προτάσεις που έγιναν την ίδια χρονική περίοδο από τους Sicilia et al. ήταν η χρήση ορθοδοντικών συρμάτων και αυτοπολυμεριζόμενης ακρυλικής ρητίνης

ενώ οι Minoretta et al. (2000) πρότειναν τη χρήση θερμοπλαστικής υπό κενό μήτρας ή με αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη. (Sicilia et al. 1998, Minoretta 2000) Αυτή η φιλοσοφία κατασκευής ακολουθεί την τεχνική κατασκευής ακτινογραφικού οδηγού ο οποίος στη συνέχεια μετατρέπεται σε χειρουργικό οδηγό.

Οι Ku and Shen (2000) χρησιμοποίησαν την τεχνική κατασκευής της θερμοσυμπιεζόμενης σε κενό μήτρας η οποία ήταν γεμάτη με αυτοπολυμεριζόμενη ρητίνη για την κατασκευή ακτινογραφικού οδηγού με την χρήση ακτινοσκιερών δεικτών. Στο επόμενο στάδιο μετατρέπεται σε χειρουργικό οδηγό με την αφαίρεση του ακτινοσκιερικού υλικού με φρέζα καρβιδίου. Αυτή η τεχνική ήταν κατάλληλη για την αποκατάσταση κυρίως μονήρων εμφυτευμάτων (Ku and Shen 2000). Οι Becker et al.(2000) και οι Cehreli et al. (2000) με τη χρήση μήτρας από θερμοσυμπιεσμένο ακρυλικό σε κενό αέρα και ορθοδοντικής ακρυλικής ρητίνης κατασκεύαζαν οδηγούς που καθοδηγούσαν με μεγάλη ακρίβεια την τοποθέτηση τα εμφυτεύματα (Becker and Kaiser 2000, Cehreli et al. 2000).

Οι Almong et al. το 2001 παρουσίασαν μια μέθοδο που συνδυάζει αυτοπολυμεριζόμενη ρητίνη με μήτρα διαμορφωμένη σε κενό αέρα και χρήση ταινίας μολύβδου πάχους 2mm σαν ακτινοσκιερικό υλικό. Τα κλινικά αποτελέσματα αυτού του τύπου χειρουργικού οδηγού ήταν αμφίβολα διότι παρατηρούνταν σφάλμα στο τοποθετημένο εμφύτευμα πιθανά λόγω σκεδασμού στην ακτινογραφία της μεταλλικής ταινίας. (Almong et al. 2001).

Η φιλοσοφία της καθοδηγούμενης χειρουργικής ξεκίνησε από την προσπάθεια των χειρουργών του εγκεφάλου να βελτιώσουν τις τεχνικές τους τόσο ως προς την απεικόνιση του χειρουργικού τους πεδίου, όσο και στη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια των επεμβάσεων τους. Μετά την ανακάλυψη της αρχής της τρισδιάστατης απεικόνισης και του αξονικού τομογράφου κατά την δεκαετία του 1970, ξεκίνησε η προσπάθεια του συνδυασμού αυτών των τεχνικών με υπολογιστικά συστήματα για την ακριβέστερη χαρτογράφηση του εγκεφάλου. Σταθμό σε αυτήν την προσπάθεια αποτέλεσε η ανάπτυξη του συστήματος «Viewing wand» το 1992 που ήταν το πρώτο σύστημα καθοδηγούμενης χειρουργικής τεχνικής που χρησιμοποίησε ψηφιακή πληροφορία από τον σχεδιασμό και εφαρμογή στην επέμβαση. Το σύστημα αυτό

αναπτύχθηκε για νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Τα μεγάλα πλεονεκτήματα της πιο σημειακής επέμβασης και του μικρότερου χειρουργικού πεδίου οδήγησε την επόμενη πενταετία στην ανάπτυξη πολλών συστημάτων για επεμβάσεις στον τράχηλο, στο ιγμόρειο, αρθροσκοπήσεις και στην σπονδυλική στήλη.

Το 1988 η εταιρεία Columbia Scientific, Inc (Glen burnie, MD, USA) παρουσίασε το πρώτο τρισδιάστατο οδοντιατρικό λογισμικό που συνδύαζε τομές από υπολογιστική τομογραφία των ακρολοφιών για εκτίμηση (D'Haese et al. 2000). Το 1991 παρουσιάστηκε το λογισμικό ImageMaster-101 στο οποίο είχε αναπτυχθεί η δυνατότητα της εισαγωγής γραφικών στοιχείων εμφυτευμάτων σε κάθετες τομές για καλύτερο και πιο ρεαλιστικό σχεδιασμό. Η Columbia Scientific το 1993 δημιούργησε την πρώτη έκδοση του λογισμικού Simplant που έδινε την δυνατότητα της τοποθέτησης των εμφυτευμάτων σε ακριβείς κάθετες τομές και αξονικά με την χρήση δεδομένων από προβολές υπολογιστικής τομογραφίας. Σε νεώτερες εκδόσεις το Simplant 6.0 είχε την δυνατότητα τρισδιάστατης πλέον απεικόνισης και επεξεργασίας. Το 2002 η βελγική εταιρεία Materialise (Leuven, Belgium) εξέλιξε το λογισμικό αυτό με την δυνατότητα της πραγματοποίησης τρυπανισμού στο φατνιακό οστό στο ακριβές μήκος και διεύθυνση με την χρήση οδηγού (Wael et al. 2019). Αυτά τα χρόνια είχε αρχίσει η ανάπτυξη της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της τομογραφίας κωνικής δέσμης, οπότε πολλές εταιρείες είχαν αναπτύξει λογισμικά που σε συνδυασμό με την κατασκευή οδηγών ανέπτυξαν την φιλοσοφία της κατευθυνόμενης χειρουργικής επέμβασης. Αρχικά αυτό έγινε εφικτό με την «στατική» κατευθυνόμενη τεχνική όπου η πληροφορία από τον σχεδιασμό μεταφερόταν στο χειρουργικό πεδίο με την χρήση οδηγών. Η εξέλιξη λογισμικών και ψηφιακών τεχνολογιών κατασκευής μετά το 2000 έδωσε την δυνατότητα επισκόπησης της πραγματικής θέσης του εμφυτεύματος σε πραγματικό χρόνο, κατά την διάρκεια της επέμβασης επιτρέποντας τις κατάλληλες προσαρμογές για βέλτιστη τοποθέτηση την ώρα της επέμβασης. Αναπτύχθηκε έτσι η φιλοσοφία της «δυναμικής» κατευθυνόμενης χειρουργικής τεχνικής (D'Haese et al. 2000).

Στην σημερινή επιστήμη της εμφυτευματολογίας, η τρισδιάστατη καθοδηγούμενη χειρουργική (3d-navigated surgery) χρησιμοποιείται συστηματικά. Το ψηφιακό σχέδιο θεραπείας μετατρέπεται σε αναλογικό μέσω του χειρουργικού οδηγού, με τη

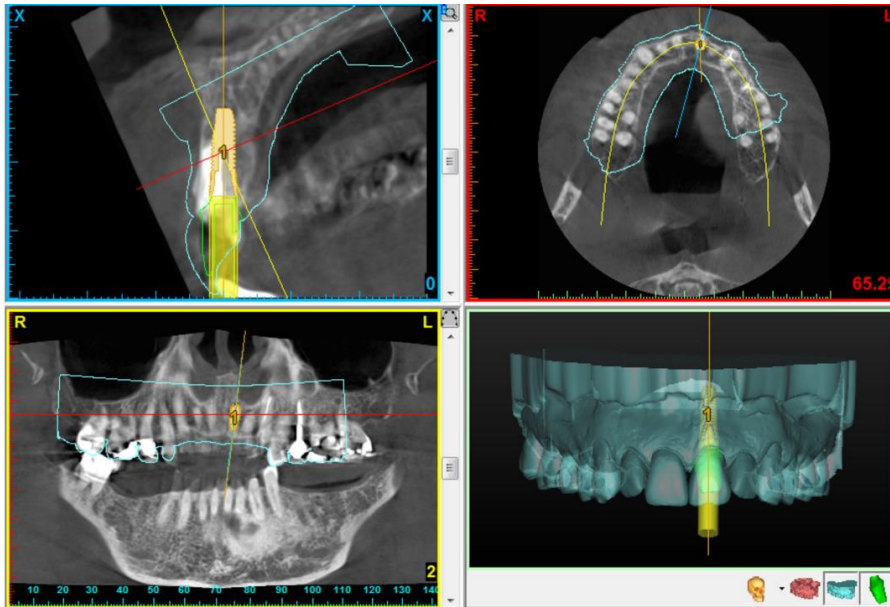
βοήθεια της χρήσης της τεχνολογίας (CAD/CAM) η οποία θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα οι μέθοδοι παραγωγής του χειρουργικού οδηγού είναι μέθοδος κοπής (milling) και η μέθοδος 3D εκτύπωσης (3D printing) (Van Noort 2012). Η εξέλιξη αυτή προσφέρει ευκολία και μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο στο σχέδιο θεραπείας όσο και στην τοποθέτηση της επιθυμητής θέσης του εμφυτεύματος. (Wael et al. 2019, Marchack 2015)

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

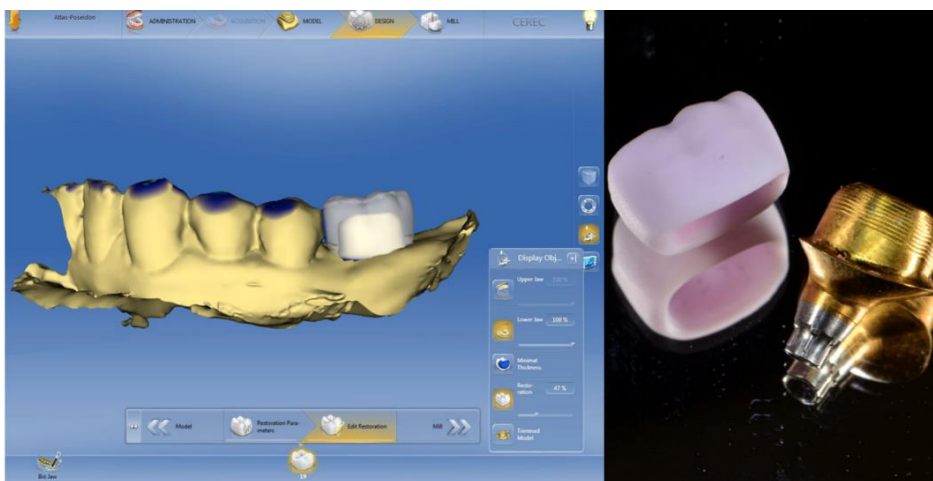
I. Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Στον κλάδο της Εμφυτευματολογίας η ψηφιακή τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθοριστικά. Συσκευές όπως οι ψηφιακοί ενδοστοματικοί σαρωτές (Intra-Oral. Scanners-IOS), οι εργαστηριακοί σαρωτές, τα συστήματα ψηφιακού σχεδιασμού CAD (Computer Aided Design) και κατασκευών CAM (Computer Aided Manufacturing) που είναι πλέον εγκατεστημένα στα σύγχρονα οδοντοτεχνικά εργαστήρια χρησιμοποιούνται και στην Εμφυτευματολογία. Ταυτόχρονα οι νέες απεικονιστικές τεχνικές όπως η αξονική τομογραφία (Computer Tomography), η Υπολογιστική Τομογραφία Κωνικής Δέσμης – ΑΤΚΔ (Cone-Beam Computer Tomography-CBCT) και η Μαγνητική Τομογραφία (Magnetic Resonance Imaging-MRI) με την χρήση ειδικών λογισμικών, συγχρονίζουν όλες τις πληροφορίες από το στάδιο της μελέτης και του σχεδίου θεραπείας. Είναι εφικτή, πλέον, η δυνατότητα στην καθημερινή εργαστηριακή και κλινική πρακτική να γίνεται πλήρης σχεδιασμός ψηφιακά της επιεμφυτευματικής αποκατάστασης και να υλοποιείται κλινικά με ακρίβεια. Αυτό οδηγεί σε πολύ υψηλά επίπεδα ποιότητας την καθημερινή ροή εργασίας. Τελικά, μαθαίνοντας την σωστή εφαρμογή αυτών των «εργαλείων», οι ασθενείς μπορούν να επωφεληθούν με πιο βελτιωμένες και αποτελεσματικές αποκαταστάσεις. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθεί η συμβολή της ψηφιακής τεχνολογίας στην προσθετική των εμφυτευμάτων.

Στις εικόνες 1 και 2, φαίνονται κάποια παραδείγματα της εφαρμογής της ψηφιακής τεχνολογίας στον σχεδιασμό επιεμφυτευματικών εργασιών.



Εικ. 1: Η ψηφιακή τεχνολογία στον τομέα της εμφυτευματολογίας. Οι παραπάνω εικόνες είναι από ψηφιακό πρόγραμμα σχεδιασμού χειρουργικού οδηγού. Φαίνεται η επιθυμητή θέση τοποθέτησης του εμφυτεύματος σε συνδυασμό με την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης και την προσθετική εργασία. (Ludlow et al. 2017)



Εικ. 2: Ο ψηφιακός σχεδιασμός της προσθετικής εργασίας (αριστερά) και η προσθετική εργασία μαζί με κατασκευασμένο εξατομικευμένο κολόβωμα (δεξιά). (Ludlow et al. 2017)

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες που μπορεί να ταξινομηθεί η ψηφιακή τεχνολογία της Εμφυτευματολογίας. Η πρώτη είναι η τεχνολογία που συσχετίζεται με την τοποθέτηση εμφυτευμάτων. Η δεύτερη είναι η τεχνολογία που συσχετίζεται με την κατασκευή της προσθετικής αποκατάστασης. Και οι δύο κατηγορίες είναι

αλληλεξαρτώμενες και πρέπει να εφαρμοστούν με ακρίβεια τα πρωτόκολλα, έτσι ώστε η προσθετική των εμφυτευμάτων να θεωρηθεί επιτυχής (Van Noort 2012). Παρακάτω θα ακολουθήσει ανάλυση των δύο κατηγοριών:

I.1 Τεχνολογία που σχετίζεται με την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι παρακάτω εφαρμογές:

α) Διαγνωστική ενδοστοματική σάρωση

Οι προεγχειρητικές ενδοστοματικές σαρώσεις είναι ο πρώτος τομέας που η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί στην οδοντιατρική εμφυτευμάτων (Εικ.3α). Οι ενδοστοματικοί σαρωτές τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια έχουν αναπτυχθεί σε βαθμό να είναι πλέον αποδεκτό στοιχείο της καθημερινής κλινικής πράξης (Εικ. 3β). Αν και δεν υπάρχουν επιστημονικά αποδεδειγμένα πρωτόκολλα αξιολόγησης της ακρίβειάς τους, η αξιολόγηση της ακρίβειας της εφαρμογής των κατασκευών που προκύπτουν με την χρήση τους είναι ένας χρήσιμος δείκτης. Η γενικά αποδεκτή τιμή είναι 120 μ m (Vitai et al. 2023), τιμή που φαίνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί. Υπάρχουν πολλά σημεία της χρήσης τους που πρέπει να διευκρινιστούν, ενώ είναι πολύ σημαντικό να υπάρξει ένας διαχωρισμός για το επίπεδο ακρίβειάς τους ανάλογα με την κλινική περίπτωση που πρέπει να αποτυπωθεί ψηφιακά. Οι βασικές κλινικές καταστάσεις που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της σάρωσης είναι η ύπαρξη δοντιών, η πλήρης νωδότητα, η ύπαρξη εμφυτευμάτων σε πλήρως νωδές ακρολοφίες ή μερικές νωδότητες με ύπαρξη εμφυτευμάτων (Abduo and Elseyoufi 2018). Μια σειρά από άλλους παράγοντες επιδρούν, όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, η εμπειρία του κλινικού, υλικά αποκαταστάσεων, αντικείμενα που αντανακλούν, χαρακτηριστικά των λογισμικών και άλλα. Γενικά όμως η εφαρμογή των αποκαταστάσεων κυμαίνεται 80-180 μ m στα πρόσθια και 115-245 μ m στα οπίσθια (Boening et al. 2000), δηλαδή είναι στα κλινικά αποδεκτά όρια αλλά επιδέχονται βελτίωσης. Εξελίσσονται συνεχώς σε σχέση με το μέγεθός τους, την συνδεσιμότητά τους (ενσύρματοι ή ασύρματοι), την ταχύτητα σάρωσης, τα λογισμικά διαχείρισης δεδομένων (Ludlow et al. 2017). Οι σύγχρονοι σαρωτές φαίνεται ότι αποδίδουν τρισδιάστατα μοντέλα πολύ εύκολα και γρήγορα, γεγονός που οδήγησε στη συνεχή διεύρυσή τους στην αγορά και στην αυξημένη προτίμηση των ασθενών.



Εικ. 3: α) Ενδοστοματικός Σαρωτής (3 Shape, Denmark). β) Διαγνωστική ενδοστοματική σάρωση, πριν την δημιουργία του σχεδίου θεραπείας και την τοποθέτηση του εμφυτεύματος (Ludlow 2017).

β) Διαγνωστική σύνταξη

Αφού πραγματοποιηθεί η διαγνωστική ενδοστοματική σάρωση, το επόμενο σημαντικό στοιχείο για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση της θεραπείας με εμφυτεύματα είναι η διαγνωστική σύνταξη (Εικ. 4). Επιτρέπει την δημιουργία ενός τρισδιάστατου εργαλείου επικοινωνίας που καθοδηγεί την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Με τη χρήση του ειδικού λογισμικού, οι διαγνωστικές συντάξεις σχεδιάζονται ψηφιακά. Αυτό επιτρέπει στον κλινικό και τον ασθενή να απεικονίσουν την περίπτωση πριν από τη θεραπεία και να κάνουν οποιεσδήποτε προσαρμογές σε σχήμα, μέγεθος ή μορφολογία στα δόντια χρησιμοποιώντας τα εργαλεία μέσα στο λογισμικό. Μόλις ολοκληρωθεί ο τελικός σχεδιασμός, η ψηφιακή σύνταξη μπορεί να παραχθεί μέσω ψηφιακής κατασκευής.

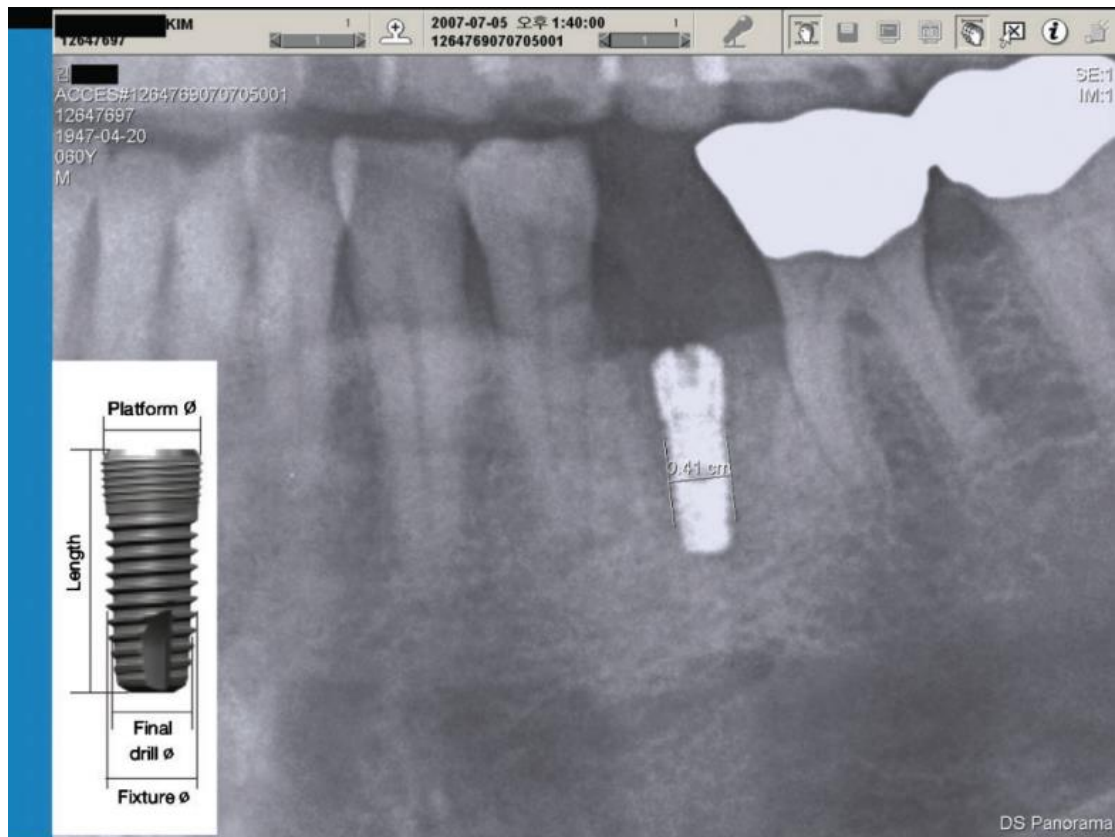


Εικ 4: Διαγνωστική σύνταξη. (Ludlow 2017)

γ) Ενσωμάτωση της αξονικής τομογραφίας κωνικής δέσμης

Η βάση της τεχνολογίας για τη χειρουργική τοποθέτηση των οδοντικών εμφυτευμάτων βρίσκεται στις πληροφορίες που αποκτούνται από την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης. Αυτή η μέθοδος έχει επικρατήσει λόγω της ικανότητας που έχει να συλλαμβάνει τρισδιάστατες δομές σε σχετικά σύντομους χρόνους σάρωσης και χαμηλές δοσολογίες ακτινοβολίας σε σύγκριση με την αξονική τομογραφία (D'Haese et al. 2000). Η ακρίβεια των δεδομένων που προέρχονται από αυτές τις σαρώσεις έχει επαληθευτεί στη βιβλιογραφία όπως και η ικανότητά του να αξιολογεί την ποιότητα και την ποσότητα του οστού ώστε να εκτιμηθούν και να εντοπιστούν οι βέλτιστες χειρουργικά και προσθετικά θέσης εμφύτευσης.

Για το σκοπό αυτό, οι Kim et al. (2009) διαπίστωσε πως η αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (ΑΤΚΔ - CBCT) έχει την ικανότητα διάκρισης του πάχους του φατνιακού οστού μεταξύ 13 και 3mm. Κατέδειξε επίσης ότι οι μετρήσεις της ΑΤΚΔ δεν υποτίμησαν ούτε υπερεκτίμησαν το πάχος των οστών σε σύγκριση με τις άμεσες μετρήσεις. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνδυάζονται για να κάνουν την αξονική τομογραφία ένα ανεκτίμητο εργαλείο κατά την αξιολόγηση ασθενών για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων. (Εικ. 5)



Εικ. 5: Απεικόνιση της αξονικής τομογραφίας. (Kim et al. 2009)

δ) Λογισμικό σχεδίου θεραπείας

Ο πιο ωφέλιμος τρόπος χρήσης της τεχνολογίας της ΑΤΚΔ είναι η σύνδεση που έχει με το λογισμικό σχεδιασμού εμφυτευμάτων. Αυτά τα προγράμματα επιτρέπουν στον χρήστη να δει όλα τα χαρακτηριστικά της μελλοντικής θέσης τοποθέτησης του εμφυτεύματος επιτρέποντας την ακριβή εκτίμηση του όγκου και της πυκνότητας των οστών καθώς και τον διαθέσιμο χώρο για την προσθετική αποκατάσταση. Συνδυάζει επίσης την ικανότητα να προσδιορίζει και να επισημαίνει τα ανατομικά στοιχεία όπως νεύρα, ιγμόρεια και τα γειτονικά δόντια. Αυτό επιτρέπει να γίνονται ακριβείς επιλογές του εμφυτεύματος όσον αφορά το πλάτος, το βάθος και το μέγεθός του πριν από την χειρουργική επέμβαση και να αποφεύγονται πιθανά συμβάματα (Misch and Wang 2008, Ludlow et al. 2017).

Εκτός από το σχεδιασμό των εμφυτευμάτων σε σχέση με την θέση του οστού που θα τοποθετηθούν, οι περισσότερες τρέχουσες πλατφόρμες σχεδιασμού εμφυτευμάτων επιτρέπουν προσθετικό σχεδιασμό εμφυτευμάτων σε πραγματικές διαστάσεις. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εισαγωγής πληροφοριών σχετικά με την προεγχειρητική

κατάσταση του ασθενούς (μέσω ψηφιοποιημένου γύψινου εκμαγείου ή ψηφιακής σάρωσης) και το προτεινόμενο σχέδιο αποκατάστασης (μέσω διαγνωστικού κερώματος) καταλήγοντας στην συγχώνευσή τους με την ΑΤΚΔ του ασθενούς. Αυτό επιτρέπει την απεικόνιση και την οργάνωση των εμφυτευμάτων έτσι ώστε να τοποθετηθούν ιδανικά σε θέσεις που να υποστηρίζουν την τελική προσθετική εργασία. Αυτή η διαδικασία μπορεί επίσης να επιτευχθεί και σε πλήρως νωδούς ασθενείς αλλά με μια ελαφρώς διαφορετική ροή εργασίας. Σε έναν ασθενή με νωδή γνάθο, τοποθετούνται ακτινοσκοπικοί δείκτες στην ολική οδοντοστοιχία που χρησιμοποιεί. Η ΑΤΚΔ λαμβάνεται όσο ο ασθενής φοράει την ολική οδοντοστοιχία με τους ακτινοσκοπικούς δείκτες. Στη συνέχεια, η οδοντοστοιχία αφαιρείται από το στόμα του ασθενούς και τοποθετείται στη βάση της μονάδας της ΑΤΚΔ, και λαμβάνεται μια άλλη σάρωση της οδοντοστοιχίας μόνο. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως πρωτόκολλο "διπλής σάρωσης" (Ludlow et al. 2017).

Στη συνέχεια, το λογισμικό σχεδιασμού εμφυτευμάτων ενοποιεί τα αρχεία και από τις δύο ΑΤΚΔ σαρώσεις που επιτρέπουν την απεικόνιση της οδοντοστοιχίας στην νωδή ακρολοφία, επιτρέποντας έτσι τον σωστό σχεδιασμό του εμφυτεύματος στις θέσεις των δοντιών της ήδη υπάρχουσας οδοντοστοιχίας.

ε) Χειρουργικοί οδηγοί

Τα χειρουργικά πρότυπα που δημιουργούνται από το λογισμικό σχεδιασμού εμφυτευμάτων στη συνέχεια υποβάλλονται σε πλήρη κλινική υλοποίηση και έτσι κατασκευάζονται οι χειρουργικοί οδηγοί (Εικ. 6,7). Αυτοί οι χειρουργικοί οδηγοί κατασκευάζονται είτε με προσθετική μέθοδο (additive) ή με αφαιρετική μέθοδο κοπής (subtractive-milling). Η πραγματική κατασκευή εξαρτάται από τους περιορισμούς του λογισμικού σχεδιασμού. Μερικά σχεδιαστικά πακέτα λογισμικού συνδέονται άμεσα με συγκεκριμένα κέντρα κοπής και επιτρέπουν την παραγωγή των χειρουργικών οδηγών μόνο μέσω των εγκεκριμένων καναλιών τους. Αντίθετα, άλλα λογισμικά σχεδιασμού δημιουργούν αρχεία που επιτρέπουν την εκτύπωση ή την κοπή των χειρουργικών οδηγών με τη διαδικασία κατασκευής της επιλογής των χρηστών που κυμαίνεται από ένα μεγάλο κέντρο κοπής σε εργαστήριο της επιλογής τους ή και ακόμα και στο δικό τους ιατρείο.



Εικ 6, 7: Παραδείγματα χειρουργικών οδηγών. (Gargallo- Ibiol et al. 2019)

Τα οφέλη για τον οδοντίατρο από τη χρήση αυτών των χειρουργικών οδηγών είναι τεράστια. Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ενός χειρουργικού προτύπου που δημιουργείται από υπολογιστή επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της θέσης του εμφυτεύματος, της κλίσης και του βάθους του. Αυτό οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερη πιθανότητα σφάλματος θέσης κατά τη στιγμή την τοποθέτηση του εμφυτεύματος σε σύγκριση με την ελεύθερη χειρουργική επέμβαση. Αυτά τα πλεονεκτήματα συνδυάζονται για να επιτρέψουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην τοποθέτηση εμφυτευμάτων με αυξημένη απλότητα στην κατασκευή της προσθετικής αποκατάστασης. Τα οφέλη της καθοδηγούμενης χειρουργικής δεν περιορίζονται μόνο σε αυτά που επηρεάζουν τον οδοντίατρο. Οι ασθενείς επωφελούνται σε μεγάλο βαθμό, βιώνοντας σημαντικά λιγότερο εγχειρητικό πόνο καθώς και μετεγχειρητικές επιπλοκές. Αυτή η αύξηση της άνεσης του ασθενούς έχει συνδεθεί με το προτέρημα της μη αναγκαίας αναπέτασης κρημνού. Γενικά, σήμερα, και έχει αποδειχθεί ότι η μέθοδος επιλογής είναι η εκτέλεση καθοδηγούμενης χειρουργικής επέμβασης. (Ludlow et al. 2017)

1.2 Τεχνολογία που σχετίζεται με την κατασκευή της προσθετικής αποκατάστασης

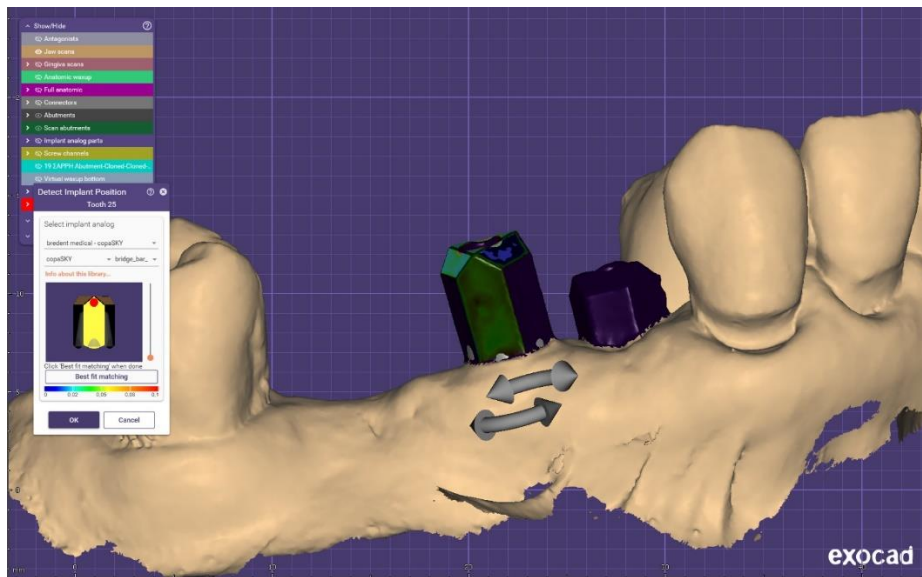
α) Η χρήση των αξόνων ψηφιακής αποτύπωσης (Scan Post)

Η ενδοστοματική σάρωση είναι απαραίτητη και στο στάδιο κατασκευής της προσθετικής αποκατάστασης. Οι ψηφιακοί άξονες αποτύπωσης (Εικ.8) που χρησιμοποιούνται στην ενδοστοματική σάρωση είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο για τις περισσότερες μεγάλες εταιρίες εμφυτευμάτων που επιτρέπουν την χρήση της

πλειονότητας των συσκευών ενδοστοματικής σάρωσης στην αγορά. Αυτά λειτουργούν ως άξονες αποτύπωσης κατά την ενδοστοματική σάρωση που επιτρέπουν για την καταχώριση της εταιρίας, της θέσης και του χρονοδιαγράμματος του εμφυτεύματος στο λογισμικό, ενώ μετά μεταφέρεται ψηφιακά (Εικ. 9). Όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την προσωρινή πρόσθεση, την αντίθετη γνάθο και τις καταγραφές της σύγκλεισης μπορούν να καταγραφούν με τους ενδοστοματικούς σαρωτές. Αυτή η ροή εργασίας έχει αποδειχθεί αποτελεσματική και ακριβής τόσο για περιπτώσεις μερικής νωδότητας όσο και για ολικής νωδότητας.



Εικ 8: Ψηφιακοί άξονες αποτύπωσης διαφορετικών εταιριών. Δεξιά είναι της εταιρίας Novamind (Athens, Greece) και αριστερά της ELOS (Elos Medtech Dental, Ger)

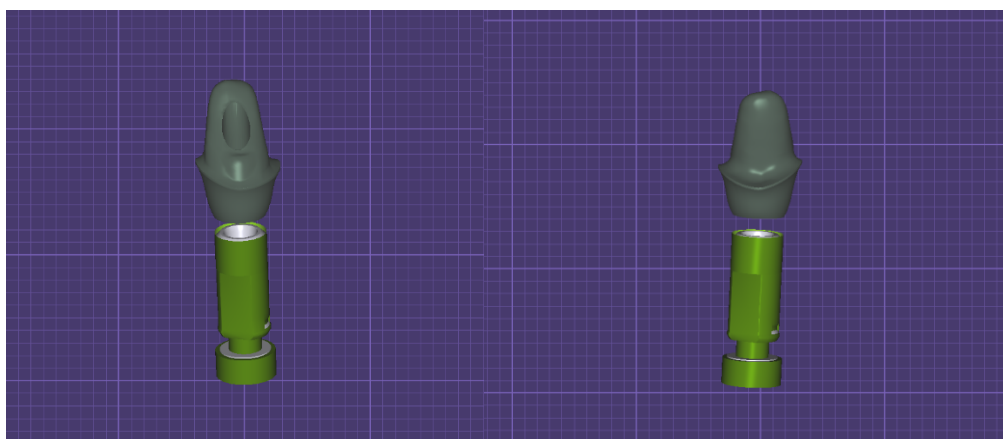


Εικ. 9: Ψηφιακή απεικόνιση των αξόνων αποτύπωσης της εταιρίας Bredent (Bredent group, Senden, Ger). Οι ψηφιακοί άξονες αποτύπωσης είναι για εμφυτεύματα CopaSKY (Sky Implant System, Bredent) (Βέργου, 2024)

Από την πλευρά του ασθενούς και του κλινικού, αυτή η διαδικασία προσφέρει μια σειρά από οφέλη. Πιο συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι οι χρόνοι θεραπείας είναι ταχύτεροι και λιγότερη ταλαιπωρία του ασθενούς σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές αποτύπωσης. Η εξέλιξη, δε, των σαρωτών αυτών και των λογισμικών έχει φτάσει σε επίπεδα η ακρίβεια της αποτύπωσης να είναι μεγάλη σε κλινικό επίπεδο σε όλες σχεδόν τις κλινικές περιπτώσεις. (Vitai et al. 2023)

β) Στηρίγματα και κατασκευή προσθετικής εργασίας

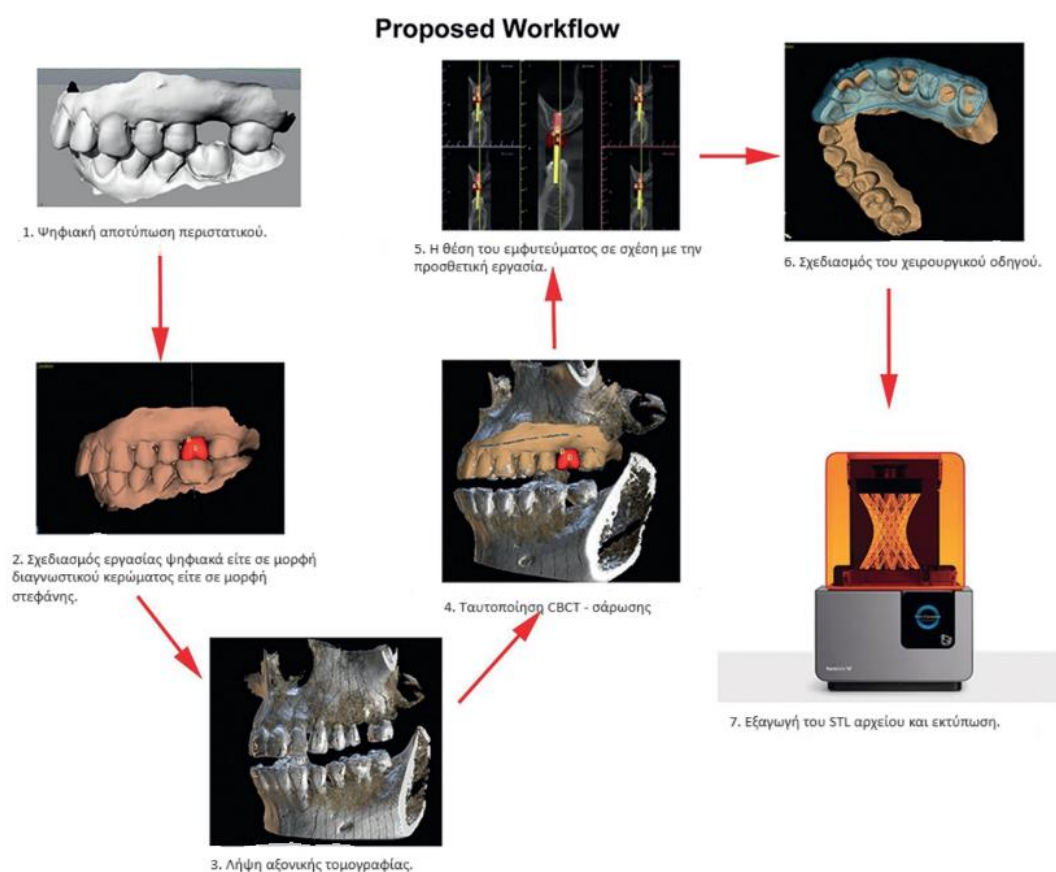
Τα ψηφιακά αποτυπώματα στη συνέχεια μεταφέρονται από τον κλινικό ιατρό μέσω ασφαλών διαδικτυακών πυλών στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο. Σε αυτό στάδιο, ο οδοντικός τεχνολόγος έχει τη δυνατότητα να συνεχίσει να χρησιμοποιεί τεχνολογία για το σχεδιασμό και την κατασκευή όλων των στοιχείων της προσθετικής αποκατάστασης. Αυτές οι ψηφιακές εργαστηριακές τεχνολογίες τείνουν να μειώνουν τον χειρισμό των συμβατικών υλικών και τον αριθμό των σφαλμάτων εισάγοντας νέες μεθόδους οι οποίες έχουν συσχετιστεί με περισσότερο αποτελεσματικές διαδικασίες. Τα εξατομικευμένα κολοβώματα (custom abutments) σχεδιάζονται ψηφιακά και παράγονται με τη μέθοδο κοπής (milling) από το υλικό επιλογής του κλινικού (μέταλλο ή ζirkονία) (Εικ. 10). Το ψηφιακό αρχείο του εξατομικευμένου κολοβώματος μπορεί στη συνέχεια να εισαχθεί πίσω στο λογισμικό σχεδιασμού στο εργαστήριο έτσι ώστε να σχεδιαστούν οι τελικές αποκαταστάσεις. Η κατασκευή των προσθετικών αποκαταστάσεων γίνεται μέσω της μεθόδου ψυχρής κοπής, εκτύπωσης ή της συμβατικής τεχνικής.



Εικ. 10: Εξατομικευμένο κολοβώμα ψηφιακά σχεδιασμένο (Βέργου 2024)

Αυτές οι μέθοδοι ψηφιακού σχεδιασμού και κατασκευής έχουν διαδοθεί λόγω της ικανότητάς τους να απλοποιούν και τη σύνθετη διαδικασία κατασκευής της προσθετικής αποκατάστασης. Συγκρίνοντας τη ροή εργασίας ενός ψηφιακού εργαστηρίου με την ροή ενός συμβατικού εργαστηρίου, η ψηφιακή ροή εργασίας αποδείχθηκε τρεις φορές πιο αποτελεσματική για τον σχεδιασμό επιεμφυτευματικών

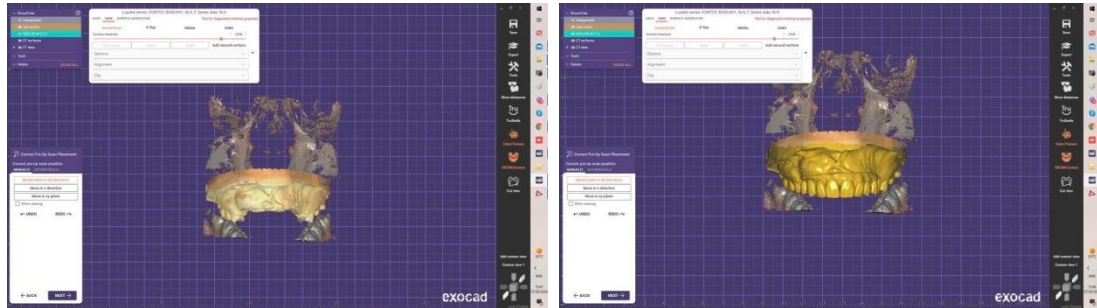
εργασιών (Εικ. 11). Αυτή η ροή εργασίας ωφέλησε επίσης τον κλινικό, καθώς η μέση κλινική προσαρμογή και ο χρόνος εφαρμογής ήταν σημαντικά μικρότεροι σε σχέση με τις αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται με την συμβατική ροή εργασίας (Van Noort 2012, Whitley 2017).



Εικ.11: Σχεδιάγραμμα απεικόνισης των σταδίων της ψηφιακής ροής εργασίας. (Whitley 2017)

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στον τομέα της πλήρους ενσωμάτωσης όλων των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Σήμερα, υπάρχουν λύσεις που επιτρέπουν τη χρήση της ΑΤΚΔ, προεγχειρητικής ενδοστοματικής σάρωσης (intraoral scan) και για το ψηφιακό διαγνωστικό κέρωμα με το λογισμικό σχεδιασμού που επιτρέπει την εξιδανικευμένη τοποθέτηση ενός εμφυτεύματος. Αυτό το εξιδανικευμένο σχέδιο θεραπείας για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί από άλλα λογισμικά ή ενότητες για να επιτρέψει την προεγχειρητική κατασκευή αντίστοιχων προσαρμοσμένων κολοβωμάτων και προσωρινές ή οριστικές αποκαταστάσεις. Έτσι,

την ημέρα της χειρουργικής επέμβασης, όλα αυτά τα στάδια ενοποιούνται, επιτρέποντας την τοποθέτηση και την αποκατάσταση του εμφυτεύματος με υψηλή ακρίβεια και αποτελεσματικότητα (Εικ. 12).



Εικ. 12. Απεικόνιση CBCT συνδυαστικά με ψηφιακή διαγνωστική σύνταξη (Βέργου 2024)

Στην σημερινή εποχή, οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απλοποιήσουν και να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα στον κλάδο της εμφυτευματολογίας. Συνδυάζοντας τις καινοτομίες της ενδοστοματικής σάρωσης, την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης, τον σχεδιασμό εμφυτευμάτων και το ψηφιακό λογισμικό που διαθέτουν τα εργαστήρια δημιουργούνται ροές εργασίας για την παροχή φροντίδας στους ασθενείς. (Ludlow, Walter 2017)

II. ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Για την σωστή κατασκευή ενός χειρουργικού οδηγού απαιτούνται καλές γνώσεις της ανατομίας των γνάθων. Επίσης η καλή πληροφόρηση για τα διαφορετικά συστήματα των εμφυτευμάτων που κυκλοφορούν στην αγορά θεωρείται απαραίτητη. Προκειμένου να υπάρχει σαφής επικοινωνία μεταξύ οδοντικού τεχνολόγου και οδοντιάτρου, παρακάτω αναφέρονται μερικοί χρήσιμοι όροι που αφορούν τους ακτινογραφικούς και χειρουργικούς οδηγούς.

Εμφύτευμα – οδοντικό: Στοιχείο κατασκευασμένο από μέταλλο ή ζirkονία το οποίο τοποθετείται στο οστό των γνάθων με σκοπό την στήριξη προσθετικής εργασίας. (Misch 2007, Γιαννικάκης 2018)

Ακτινογραφικός και χειρουργικός οδηγός: Συσκευή που χρησιμοποιείται για βοηθάει στην σωστή χειρουργική τοποθέτηση και προσανατολισμό των οδοντικών εμφυτευμάτων. Μπορεί να σταθεροποιείται σε δόντια, σε βλεννογόνο ή να έχει μικτή στήριξη (Ferro et al. 2017)

Δακτύλιοι τρυπανισμού (sleeves): μεταλλικοί δακτύλιοι οι οποίοι ενσωματώνονται στον νάρθηκα μετά την κατασκευή του και καθοδηγούν τη χειρουργική φρέζα για την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Κατασκευάζονται από κράματα κοβαλτίου-χρωμίου, ζirkονία, ανοξειδωτο ασάλι, τιτάνιο ή πολυαιθερική αιθερική κετόνη (PEEK). Έχουν διαφορετικές διαστάσεις (διάμετρο, μήκος και ύψος) ανάλογα με το εκάστοτε σύστημα. (Ozan et al. 2021)

Υπολογιστική Τομογραφία Κωνικής Δέσμης (Cone Beam Computed Tomography-CBCT): Είναι μια τεχνική ιατρικής απεικόνισης που αποτελείται από υπολογιστική τομογραφία ακτίνων Χ, στην οποία οι ακτίνες Χ είναι αποκλίνουσες, σχηματίζοντας έναν κώνο. Το CBCT χρησιμοποιεί ακτίνες Χ σε σχήμα πυραμίδας ή κώνου και έναν ανιχνευτή της περιοχής που λαμβάνει τον πλήρη όγκο εικόνων σε μια περιστροφική κίνηση. (Προμπονάς 2021, D' Haese et al. 2000)

Μαγνητική Τομογραφία (Magnetic Resonance Imaging-MRI): Μη επεμβατική απεικονιστική τεχνική, πολύ μεγάλης ακρίβειας και με δυνατότητα να απεικονίζει όλα τα εσωτερικά όργανα, οστά, μύες, αγγεία. (Προμπονάς Α. 2021)

Πεδίο προβολής-απεικόνισης (Field Of View): Περιγράφει τον όγκο σάρωσης των συσκευών CBCT. Αυτός ο όγκος καθορίζει την έκταση της ανατομίας που θα ακτινοβοληθεί. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του ανιχνευτή, τη γεωμετρία της δέσμης προβολής και της ικανότητας σύγκλισης της δέσμης. (Προμπονάς Α. 2021)

Δείκτες ακτινογραφικών οδηγιών: Χρησιμεύουν ως σημεία αναφοράς που επιτρέπουν στις ακτινολογικές εικόνες να ενσωματωθούν στο λογισμικό σχεδιασμού εμφυτευμάτων μαζί με άλλα δεδομένα. (Γιαννικάκης, 2018)

Σχεδιαστικά προγράμματα (π.χ. Implant Studio-Exorplan): Σχεδιαστικά προγράμματα που επεξεργάζονται την αξονική τομογραφία του ασθενούς και επιτρέπει την προεπισκόπηση της ακριβούς θέσης των εμφυτευμάτων πριν το χειρουργείο. Το κάθε σχεδιαστικό πρόγραμμα περιέχει βιβλιοθήκες δεδομένων από διάφορες εταιρίες εμφυτευμάτων. (Προμπονάς, 2021)

Καθοδηγούμενη τοποθέτηση εμφυτευμάτων: Η χρήση χειρουργικού οδηγού που μεταφέρει όλα τα ψηφιακά δεδομένα και την εικονική θέση των εμφυτευμάτων στο χειρουργικό πεδίο. Έτσι, η τελική προσθετική αποκατάσταση αποτελεί την αφετηρία και βάση αυτής πραγματοποιείται οπισθόδρομα η εικονική τοποθέτηση των εμφυτευμάτων στην ιδανική προσθετικά θέση. (Γούσιας και συν. 2021)

Στατική Χειρουργική Καθοδήγηση: Η κατασκευή χειρουργικού νάρθηκα που αναπαράγει την εικονική θέση των εμφυτευμάτων η οποία καθορίζεται κατά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό. (Γούσιας και συν. 2021)

Δυναμική Χειρουργική Καθοδήγηση: Η χρήση ενός μηχανικού ή οπτικού συστήματος για την μεταφορά εικονικού σχεδιασμού στο χειρουργικό πεδίο απεικονίζοντας τη διαδικασία σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη του υπολογιστή. Επιτρέπει έτσι την τροποποίηση της θέσης και κλίσης του εμφυτεύματος. (Γούσιας και συν. 2021)

STL (Standard Triangle Language or Standard Tessellation Language) αρχεία:

Βασικός τύπος αρχείων για την εξαγωγή των δεδομένων από τα λογισμικά σάρωσης και την επεξεργασία κατά τα διάφορα στάδια της ψηφιακής ροής εργασιών (Ferro et al. 2017)

Digital. Imaging and Communications in Medicine (DICOM) αρχεία: Τύπος αρχείων που ενοποιούν σε μια εικόνα όλα τα επιμέρους αρχεία των σαρωτών, των ακτινογραφιών, τομογραφιών και λογισμικών σχεδίασης (Ferro et al. 2017, Γούσιας και συν. 2021)

III. Τύποι ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών

Οι ακτινογραφικοί οδηγοί αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την ασφαλή τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Μέσω του ακτινογραφικού οδηγού υπολογίζονται διάφοροι παράμετροι που σχετίζονται με τα ανατομικά στοιχεία της περιοχής. (Solow, 2001)

Ένα κριτήριο ταξινόμησης τους είναι με βάση τον τρόπο κατασκευής τους:

- α) ακτινογραφικός οδηγός με την μέθοδο αντιγραφής πανομοιότυπης της ήδη υπάρχουσας ολικής οδοντοστοιχίας
- β) ακτινογραφικός οδηγός με την μέθοδο της διαγνωστικής σύνταξης (Γιαννικάκης, 2018)

Ως χειρουργικός οδηγός ορίζεται ο οδηγός που χρησιμοποιείται για να εξασφαλιστεί η σωστή θέση και κλίση του οδοντικού εμφυτεύματος κατά την τοποθέτησή του. (Ferro et al. 2017) Ο βασικός σκοπός του χειρουργικού οδηγού είναι να καθοδηγήσει το εργαλείο τρυπανισμού και να εξασφαλίσει την ακριβή θέση του εμφυτεύματος όπως έχει οριστεί από το σχέδιο θεραπείας. Οι χειρουργικοί οδηγοί ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού τους
- 2) Ανάλογα με την επιφάνεια στήριξής τους
- 3) Ανάλογα με την μέθοδο κατασκευής τους

Ο καθένας από αυτούς τους δύο τύπους χωρίζεται σε υποκατηγορίες οι οποίες θα αναλυθούν σε αυτό το κεφάλαιο

III.1 Χειρουργικοί οδηγοί ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού

Η κατασκευή ενός χειρουργικού οδηγού συμπεριλαμβάνει την διαγνωστική σύνταξη είτε με τη μέθοδο του κερώματος, είτε με τη σύνταξη ακρυλικών δοντιών οδοντοστοιχίας είτε με την κατασκευή πανομοιότυπης της ήδη υπάρχουσας οδοντοστοιχίας. Η κατασκευή λοιπόν του χειρουργικού οδηγού μπορεί να ακολουθήσει τρεις διαφορετικούς σχεδιασμούς:

α) Σχεδιασμός για ελεύθερη τοποθέτηση

β) Σχεδιασμός για μερικώς ελεύθερη τοποθέτηση

γ) Σχεδιασμός για πλήρως κατευθυνόμενη χειρουργική τοποθέτηση

Αυτοί οι τύποι σχεδιασμού ταξινομούνται με βάση τους χειρουργικούς περιορισμούς που προσφέρονται από τους χειρουργικούς οδηγούς.

α) Σχεδιασμός για ελεύθερη τοποθέτηση

Οι οδηγοί για ελεύθερη τοποθέτηση παρέχουν μόνο μια ένδειξη στον χειρουργό για την θέση της προσθετικής εργασίας σε σχέση με τις θέσεις των εμφυτευμάτων. Δείχνουν την ιδανική θέση των εμφυτευμάτων χωρίς όμως να δίνεται έμφαση στην κλίση του εργαλείου τρυπανισμού και έτσι δίνεται ένα περιθώριο για την τελική θέση τοποθέτησης (D'Souza et al. 2012).

Οι Blustein et al. (1986) και Engelman et al.(1988) περιέγραψαν μια τεχνική με την οποία ανοίγεται μια οπή μέσω μιας καθαρής μήτρας που έχει δημιουργηθεί σε συσκευή κενού. Αυτή η οπή έδειξε την βέλτιστη θέση του οδοντικού εμφυτεύματος (Εικ.13). Ωστόσο, η γωνία καθορίστηκε από τα παρακείμενα δόντια και τους ανταγωνιστές. Ο Almog et al. (2001) περιέγραψε τον έναν οδηγό στον οποίο μια ταινία μολύβδου ήταν προσαρτημένη στην εξωτερική επιφάνεια του διαγνωστικού κερώματος. Αυτό χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό της εξωτερικής θέσης του δοντιού πάνω από το σημείο τοποθέτησης του εμφυτεύματος. (Blustein et al.1986, Engelman et al.1988)



Εικ 13: Ο θερμοσυμπιεσμένος σε κενό οδηγός. Σε αυτόν θα ανοιχτεί η οπή διόδου των φρεζών τρυπανισμού. (D'Souza 2012)

Έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση αυτού του τύπου σχεδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε λάθος τοποθέτηση της οπής πρόσβασης ή/και λανθασμένης κλήσης του εμφυτεύματος. Ως εκ τούτου, αυτού του τύπου οι οδηγοί μπορούν να χρησιμεύσουν ως απεικονιστικοί δείκτες στο χειρουργικό στάδιο με τους χειρουργικούς περιορισμούς που αναφέρθηκαν και με την αναγκαία προσοχή εκ μέρους του χειρουργού. (D'Souza et al. 2012)

β) Σχεδιασμός για μερικώς ελεύθερη τοποθέτηση

Στους σχεδιασμούς για μερικώς ελεύθερη τοποθέτηση, η διαδικασία της οστεοτομίας ξεκινάει με τον αρχικό τρυπανισμό ο οποίος καθοδηγείται από τον χειρουργικό οδηγό. Σε δεύτερο στάδιο, η οστεοτομία και η τοποθέτηση του εμφυτεύματος γίνεται δια χειρός. Τεχνικές που βασίζονται σε αυτού του τύπου τον σχεδιασμό περιλαμβάνουν την κατασκευή ενός ακτινογραφικού οδηγού, ο οποίος σε μετέπειτα στάδιο μετατρέπεται σε χειρουργικός οδηγός, μετά το στάδιο της ακτινογραφικής αξιολόγησης. (D'Souza et al. 2012)

Διάφοροι συγγραφείς έχουν προτείνει τεχνικές που περιλαμβάνουν τροποποιήσεις στα μετέπειτα στάδια, όπως στο υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του χειρουργικού οδηγού, του χρησιμοποιούμενου ακτινογραφικού δείκτη, στο είδος του συστήματος απεικόνισης, αλλά και στη διαδικασία μετατροπής του ακτινογραφικού οδηγού σε χειρουργικό οδηγό. Παρ' όλα αυτά, όλες αυτές οι τεχνικές απέτυχαν στον ακριβή εντοπισμό της κλίσης/ γωνίας των χειρουργικών τρυπανιών.

γ) Σχεδιασμός για πλήρως κατευθυνόμενη χειρουργική τοποθέτηση

Ο σχεδιασμός για πλήρως κατευθυνόμενη χειρουργική τοποθέτηση καθοδηγεί πλήρως όλα τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην οστεοτομία στο παρειόγλωσσικό και στο εγγύς-άπω επίπεδο. Επιπλέον, η προσθήκη των στοιχείων ανάσχεσης (stoppers) στα εργαλεία τρυπανισμού περιορίζει το βάθος της παρασκευής και συνεπώς την τοποθέτηση του εμφυτεύματος ακρορριζικότερα από την υπολογισμένη θέση. Έτσι αποφεύγεται η πιθανή τρώση παρακείμενων ανατομικών στοιχείων (πόρων νεύρων, ιγμόρειο). Όσο πιο περιοριστικός είναι ο

σχεδιασμός ενός χειρουργικού οδηγού, τόσο η λήψη αποφάσεων και η χειρουργική διαδικασία γίνονται απλουστευμένα. (Ganz et al. 2005, D'Souza et al. 2012,)

Αυτός ο τύπος σχεδιασμού περιλαμβάνει δύο στάδια: Σχεδιασμός χειρουργικού οδηγού με βάση το εκμαγείο και τη χρήση υπολογιστή, και κατασκευή χειρουργικού οδηγού με τη χρήση CAD/CAM

III.2 Χειρουργικοί οδηγοί ανάλογα με την επιφάνεια στήριξής τους

Όπως προαναφέρθηκε, ο χειρουργικός οδηγός αποτελεί το μέσον για την ασφαλή χειρουργική διαδικασία. Ο χειρουργικός οδηγός κατευθύνει το σύστημα τρυπανισμού και εξασφαλίζει μια ακριβή θέση τοποθέτησης του εμφυτεύματος σύμφωνα με το σχέδιο θεραπείας.

Ένας χειρουργικός οδηγός αποτελείται από δύο τμήματα. Τους κυλίνδρους καθοδήγησης και την επιφάνεια στήριξης. Η επιφάνεια στήριξης έρχεται σε επαφή είτε με ένα σημείο των ούλων ή της γνάθου(π.χ οστό, δόντια) του ασθενή. Οι κύλινδροι τρυπανισμού μεταφέρουν την ακριβή θέση του εμφυτεύματος που έχει επιλεχθεί κατά το σχέδιο θεραπείας. (Salem 2019, D'Souza et al. 2012)

Υπάρχουν τεσσάρων ειδών χειρουργικοί οδηγοί σε σχέση με την στήριξη:

- α) Οστικής στήριξης
- β) Βλεννογόνιας στήριξης
- γ) Οδοντικής στήριξης
- δ) Μικτής στήριξης

Στην περίπτωση της οστικής στήριξης, ο οδηγός στηρίζεται αποκλειστικά πάνω στο οστό των γνάθων, μέσω συγκεκριμένων «κοχλιών» (Εικ.14).



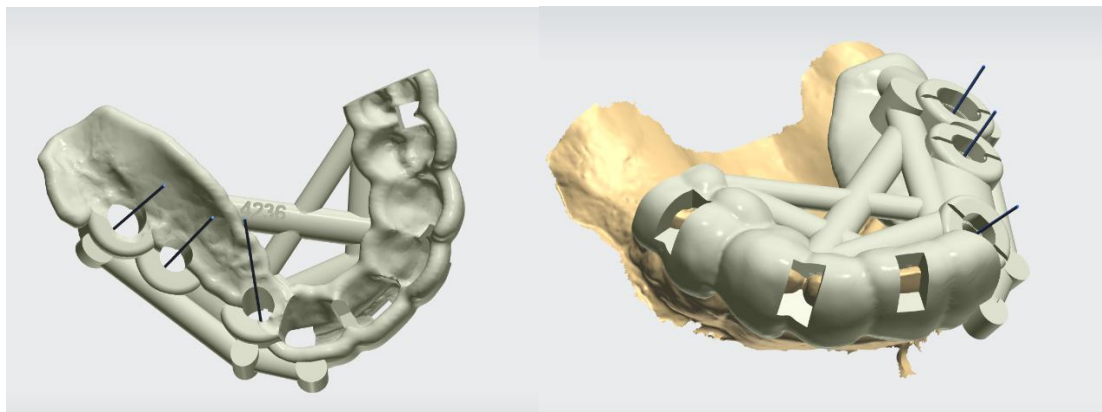
Εικ 14: Χειρουργικός οδηγός οστικής στήριξης. Στην πρόσθια ζώνη που φαίνονται τα κατσαβίδια, σταθεροποιείται ο οδηγός στο οστό (Albiol 2019).

Ο χειρουργικός οδηγός στήριξης στον βλεννογόνο στηρίζεται αποκλειστικά πάνω στον βλεννογόνο των γνάθων, ενώ της οδοντικής στήριξης στα δόντια (Εικ. 15).



Εικ 15: Χειρουργικός οδηγός οστικής στήριξης. (Albiol 2019)

Στην περίπτωση της μικτής στήριξης, ο οδηγός μπορεί να στηρίζεται ταυτόχρονα στον βλεννογόνο και στα δόντια ή στο οστό και τον βλεννογόνο (Εικ. 16) (Manikandan 2013)



Εικ 16: Χειρουργικός οδηγός μεικτής στήριξης. Στο ένα τεταρτημόριο ο οδηγός στηρίζεται στα δόντια ενώ στο άλλο στηρίζεται στον βλεννογόνο (Βέργου 2024)

III.3 Χειρουργικοί οδηγοί ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής τους

Ανάλογα με την μέθοδο κατασκευής, οι χειρουργικοί οδηγοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- α) Ο συμβατικός χειρουργικός οδηγός που κατασκευάζεται από αυτοπολυμεριζόμενη ή θερμοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη (Γιαννικάκης, 2018)
- β) Ο ψηφιακός χειρουργικός οδηγός που κατασκευάζεται με την ψηφιακή τεχνολογία CAD/CAM μέσω φρεζαρίσματος (milling) ή 3D εκτύπωσης. (Methani et al. 2020)

Ο συμβατικός τρόπος κατασκευής έχει όλες τις προδιαγραφές που απαιτούνται για αυτή την χρήση. Υπάρχει μεγάλη κλινική εμπειρία αφού χρησιμοποιείται πολύ καιρό, ενώ ειδικά οι οδηγοί από θερμά πολυμεριζόμενη ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό από το 1995 (Marino et al. 1995), έχουν τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες και σταθερότητα στο στοματικό περιβάλλον, είναι διαφανείς με καλή ορατότητα, μπορούν να αποστειρωθούν, σπλιβώνονται, τροποποιούνται εύκολα, με σχετικά

χαμηλό κόστος. Επιπλέον είναι μια τεχνική που είναι εδραιωμένη στην πρακτική όλων των οδοντικών τεχνολόγων και μπορούν όλοι να την εφαρμόσουν με ακρίβεια. Όμως έχει αρκετά στάδια, σε κάθε ένα από τα οποία υπάρχει ο κίνδυνος εισαγωγής προβλημάτων, ενώ απαιτείται αρκετός χρόνος.

Οι CAD-CAM τεχνικές έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε ζητήματα χρόνου, σε ακρίβεια σχεδιασμού, ενώ για την κατασκευή οδηγών μπορούν με τη βοήθεια των σύγχρονων λογισμικών να ενσωματώσουν με ακρίβεια τα μεταλλικά στοιχεία για την καθοδήγηση κατά την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων.

Για την ψυχρή κοπή (milling) διατίθενται στο εμπόριο δίσκοι από ακρυλικό (πολυμεθακρυλικό μεθύλιο-PMMA) που έχει τις ιδιότητες που απαιτούνται. Όμως κάποιος από τους περιορισμούς αυτής της τεχνικής επηρεάζει την κατασκευή χειρουργικών οδηγών. Συγκεκριμένα, το μέγεθος του θαλάμου των συσκευών για ψυχρή κοπή επηρεάζει το μέγεθος των κατασκευών που μπορούν να διαμορφωθούν (Jozkusch and Ozgan, 2020). Οι χειρουργικοί οδηγοί πολλές φορές έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος και πολύπλοκο σχήμα, με αποτέλεσμα να οριοθετείται στις διαστάσεις του δίσκου με τέτοια γεωμετρία που να εξαντλεί μεγάλο τμήμα της διαθεσιμότητας του δίσκου. Έτσι δαπανάται πολύ υλικό που δεν χρησιμοποιείται, αυξάνοντας το κόστος. Οι δίσκοι αυτοί, έχουν και οι ίδιοι αρκετά μεγάλο κόστος. Έτσι η κατασκευή ενός οδηγού μεγάλου μεγέθους καθίσταται ασύμφορη.

Η κατασκευή με προσθετικές (additive) τεχνικές υπερέχει σε αυτά τα σημεία γιατί μπορούν να κατασκευασθούν τρισδιάστατα αντικείμενα ποικίλων μεγεθών και σχημάτων, δεν δαπανάται άσκοπα καθόλου υλικό αφού χρησιμοποιείται σχεδόν όσο απαιτείται για την κατασκευή. Τα στάδια είναι λιγότερα, ενώ η παρεμβολή του ανθρώπινου παράγοντα και των πιθανών σφαλμάτων από αυτόν είναι πολύ μικρότερη. Παράγονται υλικά με λεπτομέρειες στην επιφάνεια με λογικό και προβλέψιμο κόστος (Sulaiman, 2020). Ο χρόνος είναι μικρότερος σε σχέση με την συμβατική τεχνική ενώ τα υλικά βελτιώνονται συνεχώς και είναι πλέον κατάλληλα για την κατασκευή οδηγών. (Jozkusch and Ozgan 2020, Khorsandi et al. 2021).

Γί αυτό τα τελευταία χρόνια οι χειρουργικοί οδηγοί κατασκευάζονται σχεδόν αποκλειστικά με προσθετικές τεχνικές όπως αναλύονται με λεπτομέρειες στα επόμενα κεφάλαια.

IV. ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ

IV.1 Υλικά κατασκευής οδηγών - Χημεία

Στην σύγχρονη εμφυτευματολογία χρησιμοποιούνται ευρέως ο ακτινογραφικός και ο χειρουργικός οδηγός. Προκείμενου για την κατασκευή τους είναι απαραίτητα κάποια υλικά. Ο οδοντικός τεχνολόγος οφείλει να γνωρίζει τα διαθέσιμα υλικά προκειμένου να επιλέξει σωστά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα υλικά κατασκευής ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των οδηγών είναι πολυμερή που πολυμερίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις με κάποιο είδος φωτός. Οι βασικότερες κατηγορίες υλικών είναι οι παρακάτω:

α) Πολυμερή βινυλίου

Αυτά είναι τα πλέον συνήθη. Χαρακτηριστικότερο υλικό είναι το πολύ-μεθακρυλικό μεθύλιο (Poly-methyl methacrylate PMMA) το οποίο εμφανίζει μια αρκετά σταθερή αλυσίδα πολυμερούς, εξαιτίας του τρόπου πολυμερισμού του (ελεγχόμενος ριζικός πολυμερισμός). Ο πολυμερισμός είναι αθροιστικού τύπου, ξεκινάει με διάφορους ενεργοποιητές (υπεριώδη ακτινοβολία, ορατό φως, θερμότητα) και σχηματίζει αλυσίδες με μεγάλο βαθμό πολυμερισμού, οπότε το υλικό είναι αρκετά σταθερό στο στοματικό περιβάλλον (Stansbury and Idacavage 2016, Li et al. 2018). Αυτό είναι σημαντικό για την χρήση του υλικού για την κατασκευή οδηγών. Επίσης έχει σχετικά χαμηλό κόστος και αρκετά καλές αισθητικές ιδιότητες. Επειδή δεν έχει τόσο καλές μηχανικές ιδιότητες ενισχύεται με διάφορα ένθετα οξειδία (αλουμινίου, πυριτίου) ή οξειδία τιτανίου για αντιμικροβιακές ιδιότητες. Είναι έτσι δυνατόν να κατασκευάζονται και δίσκοι PMMA για την χρήση σε ψυχρή κοπή (milling). Επίσης και οι επιφανειακές ιδιότητές του δεν είναι απόλυτα ικανοποιητικές και χρήζουν βελτίωσης (Li et al. 2018). Η χρήση του υλικού αυτού θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενα κεφάλαια.

β) Πολυεστέρες

Οι πολυεστέρες είναι πολυμερή που πολυμερίζονται με συμπύκνωση, οπότε υπάρχει παραγωγή μορίων νερού σαν παράγωγο. Είναι θερμοπλαστικά υλικά και υπάρχουν

διάφορα μόρια που έχουν χρησιμοποιηθεί. Για κατασκευή οδηγών για εμφυτεύματα έχει χρησιμοποιηθεί ένα μόριο με βάση το πολύ γαλακτικό οξύ. Προκύπτει από ένα συνδυασμό μηχανισμών πολυμερισμού, γι αυτό η αλυσίδα του είναι πολύ σταθερή. Έτσι είναι πολύ βιοσυμβατό με καλές μηχανικές ιδιότητες. Είναι πολύ καλά επεξεργάσιμο με διάφορες μεθόδους κι έτσι χρησιμοποιείται με πολλές τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης. Έχει χρησιμοποιηθεί και για κατασκευή οδηγών με επιτυχία και θεωρείται από τα υλικά εκλογής γι αυτές τις εργασίες (David et al. 2017).

γ) Πολυμερή στυρενίου

Αυτά τα μόρια είναι πολυμερή του στυρενίου πολυμερίζονται με την χρήση χημικού παράγοντα έναρξης, είναι άμορφα υλικά και εμφανίζουν μεγάλη διαφάνεια και λείες επιφάνειες. Υπάρχουν σκευάσματα που φωτοπολυμερίζονται με σχετικά καλές μηχανικές ιδιότητες. Ενισχύονται και με διάφορες ίνες όπως και με άλλα μονομερή για βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Είναι υποψήφια υλικά για χρήση στην Οδοντιατρική (Jockusch and Ozgan 2020)

Σε γενικές γραμμές όλα αυτά τα μόρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τρισδιάστατη εκτύπωση και οι εταιρείες παράγουν συνεχώς σκευάσματα διαφόρων τύπων και συνδυασμών, βελτιώνοντας συνεχώς τα υλικά τους. Θα πρέπει, βέβαια, ο οδοντικός τεχνολόγος να γνωρίζει τη βασική χημεία του κάθε υλικού για να επιλέγει κάθε φορά το καταλληλότερο.

Υπάρχουν ακόμα πολλές κατηγορίες πολυμερών που δοκιμάζονται και εξελίσσονται για χρήση με προσθετικές τεχνολογίες και γενικά είναι ένα σημείο που απαιτείται περισσότερη έρευνα, τόσο εργαστηριακή όσο και κλινική (Jozkusch and Ozgan 2020).

Ένα σημαντικό θέμα σχετικό με αυτά τα υλικά είναι η ασφάλειά τους. Η ύπαρξη ελεύθερων μονομερών, οι χημικοί παράγοντες έναρξης αλλά και άλλα μόρια που συμπεριλαμβάνονται στη μοριακή αλυσίδα δεν είναι βιοσυμβατά μόρια, εμφανίζουν τοξικότητα διάφορων βαθμών αν έρθουν σε επαφή με τους ιστούς. Οι επιδράσεις στον οργανισμό μπορεί να είναι τοπικές (ερεθισμοί βλεννογόνου, φλεγμονή, έλκη) αλλά και πιο συστηματικές να εισέλθουν στην κυκλοφορία (Moldovan et al. 2019). Η χρήση κυρίως φωτοπολυμερισμού (Ultra Violet- UV ακτινοβολία) στην τρισδιάστατη

εκτύπωση βελτιώνει πολύ τα υλικά, γιατί ο βαθμός κορεσμού-πολυμερισμού της αλυσίδας είναι πολύ υψηλός κι έτσι είναι ελάχιστα τα υπολειπόμενα μονομερή.

Η βιοσυμβατότητα για τις ρητίνες ως βιοϋλικά παραμένει ένα σημείο προβληματισμού, γι αυτό και οι εταιρείες προσφέρουν ποικιλία υλικών είτε βιοσυμβατών (για ιατρική χρήση) είτε για άλλες χρήσεις (Khorsandi et al. 2021).

IV.2 Σύγχρονα υλικά εκλογής κατασκευής οδηγών

Βασικό υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του ακτινογραφικού αλλά και του χειρουργικού οδηγού είναι η διαφανής αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη (Εικ. 13). Παρουσιάζεται σε μορφή σκόνης – υγρού. Η σκόνη περιέχει το ακρυλικό πολυμερές ή συμπολυμερές, τον παράγοντα έναρξης πολυμερισμού και κάποια ανόργανα σωματίδια. Το υγρό περιέχει αντίστοιχα το μονομερές, τον αναστολέα πολυμερισμού και κάποιους πλαστικοποιητές. (Γιαννικάκης, 2018)



Εικόνα.13: Η αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη. Αποτελείται από δύο υλικά, σκόνη (αριστερά) και υγρό (δεξιά). (Γιαννικάκης, 2018)

Σκόνη

Στην σκόνη περιέχεται κυρίως πολυμεθακρυλικό μεθύλιο. Το πολυμερές από το οποίο αποτελείται είναι διαφανές, στερεό σώμα, χωρίς οσμή και αμετάβλητο στο φως. Στη θερμοκρασία δωματίου είναι χημικά σταθερό, πλαστικοποιείται στους 125 βαθμούς κελσίου, αποπολυμερίζεται μέχρι τους 200 βαθμούς κελσίου και το 90% μετατρέπεται σε μονομερές στους 450 βαθμούς κελσίου.

Η σκόνη συντίθεται από κόκκους που έχουν ακανόνιστο σχήμα ή είναι μαργαριτοειδείς σε διάφορα μεγέθη. Το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο διαλύεται σε

οργανικούς διαλύτες όπως είναι η ακετόνη, η βενζίνη αλλά παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα στους ανόργανους διαλύτες όπως για παράδειγμα το θειικό οξύ.

Πολύ σημαντικός θεωρείται ο παράγοντας έναρξης του πολυμερισμού. Περιέχεται στην σκόνη και ευθύνεται για την έναρξη της αντίδρασης του πολυμερισμού, αφού αναμειχθεί με το υγρό ή σκόνη. Οι ακτινοσκιερές ουσίες από βαρέα μέταλλα όπως βάριο ή ακτινοσκιερό γυαλί περιέχονται επίσης στην σκόνη. (Γιαννικάκης, 1997)

Υγρό

Το υγρό είναι μεθακρυλικό μεθύλιο(μονομερές). Είναι άχρωμο, ευδιάλυτο στο νερό, εύφλεκτο, καλός οργανικός διαλύτης και ερεθιστικό για τον βλεννογόνο. Σε λιγότερο από 65 βαθμούς Κελσίου είναι σταθερό, στους 100,3-100,8 βαθμούς Κελσίου βράζει ενώ στους 48 βαθμούς Κελσίου πολυμερίζεται. (Γιαννικάκης, 2018)

Το μονομερές πολυμερίζεται από το οξυγόνο, το φως και την θερμοκρασία πρέπει να φυλάσσεται σε σκουρόχρωμες φιάλες και σε σκοτεινό δροσερό μέρος. Για αυτόν τον λόγο προστίθενται και αναστολείς πολυμερισμού και έτσι αυξάνεται η μακροβιότητά του.

Με την ανάμειξη λοιπόν του υγρού (πολυμερές) και της σκόνης (μονομερές) ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή για τις κατάλληλες αναλογίες δημιουργείται το μείγμα, το οποίο αφού πολυμεριστεί πλήρως και σταθεροποιηθεί αποτελεί το βασικό υλικό κατασκευής του ακτινογραφικού οδηγού. (Γιαννικάκης, 2018)

Εξίσου σημαντικά για την κατασκευή του ακτινογραφικού οδηγού είναι τα ακτινοσκιερά στοιχεία (Εικ. 16). Το βέλτιστο μέγεθος των δεικτών είναι 2-3mm. Συνήθως είναι σωληνίσκοι ή μεταλλικά σφαιρίδια ή γυάλινες σφαίρες. Ο αριθμός και η θέση των δεικτών εξαρτάται από τον σχεδιασμό και το μέγεθος του ακτινογραφικού οδηγού. Κάποιες φορές χρησιμοποιούνται ράβδοι γουταπέρκας τα οποία προσαρμόζονται στο κατάλληλο μήκος. Οι σωληνίσκοι και οι ράβδοι γουταπέρκας κατά την τοποθέτησή τους πρέπει να προσανατολιστούν στον ακτινογραφικό οδηγό δίνοντας έτσι εξ αρχής πληροφορίες για την υποθετική ιδανική κλίση των εμφυτευμάτων. Αντιθέτως, τα σφαιρίδια έχουν σταθερή διάμετρο και δεν χρειάζεται

να τοποθετηθούν με συγκεκριμένη διεύθυνση στον οδηγό. Θα πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικά επίπεδα, δηλαδή κάποιοι στην υπερώια πλευρά και άλλοι κάτω από τον επίπεδο των δοντιών. Τα ακτινοσκιερά στοιχεία παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στον κλινικό σχετικά με την ανατομία της περιοχής γιατί διαγράφονται στην ακτινογραφική εξέταση. Τοποθετούνται στον ακτινογραφικό οδηγό μετά τον πλήρη πολυμερισμό της ακρυλικής ρητίνης. (Adrian et al. 1992, Γιαννικάκης, 2018)



Εικ 16: Απεικόνιση των ακτινοσκιερών σφαιριδίων που τοποθετούνται στον ακτινογραφικό οδηγό (Γιαννικάκης, 2018)

Ένα ακόμη υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ακτινογραφικού οδηγού είναι η σκόνη θειϊκού βαρίου. Συνδυάζεται με την σκόνη του πολυμερούς της διαφανούς ρητίνης σε διάφορες αναλογίες. Προσφέρει στον οδηγό ακτινοσκιερότητα και έτσι στην τομογραφία δίνονται πληροφορίες για το πάχος του βλεννογόνου καθώς και η θέση των δοντιών της μελλοντικής προσθετικής εργασίας σε σχέση με την ακρολοφία που θα τοποθετηθούν τα εμφυτεύματα.

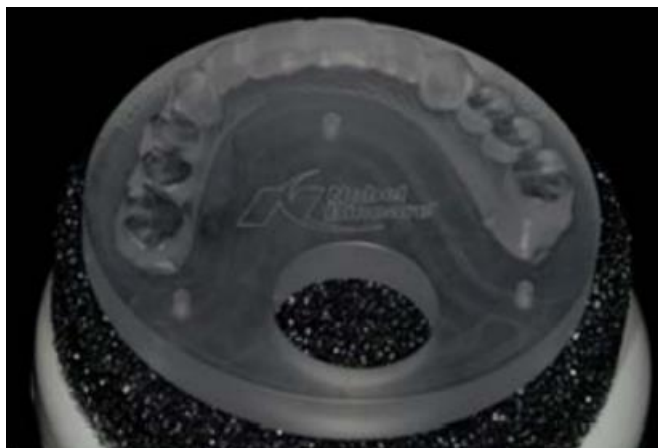
Η αναλογία θειϊκού βαρίου και σκόνης της ρητίνης μπορεί να διαφέρει για τα δόντια και τη βάση του οδηγού (για τα δόντια 30-40% θειϊκού βαρίου κατά βάρος σε σχέση με το πολυμερές της ρητίνης, 20-30% στη βάση). Επίσης, το μείγμα που προκύπτει από την αναλογία αυτή, πρέπει να είναι παχύρευστο στη σύστασή του. Στα δόντια χρησιμοποιείται μεγαλύτερη αναλογία για να είναι πιο ακτινοσκιερά έτσι ώστε να υπάρχει εκτίμηση για την φορά/κλίση του/των εμφυτεύματος/ων προκειμένου η προσθετική εργασία που θα κατασκευαστεί να είναι λειτουργική. (Anderson 1976, Γιαννικάκης 2018)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα υλικά κατασκευής του χειρουργικού οδηγού είναι ίδια με αυτά του ακτινογραφικού. Όπως θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 6 στο γενικό μέρος, ο ίδιος ο ακτινογραφικός οδηγός μετατρέπεται σε χειρουργικός.

Για την κατασκευή εξ αρχής χειρουργικού οδηγού χρησιμοποιείται και η θερμοπλαστική πλάκα συμπίεσης με τη χρήση ειδικών συσκευών (Omnivas, Omnidental, Chigago, USA). (Adrian et al. 1993, Γιαννικάκης 2018)

Τα τελευταία χρόνια έχει προστεθεί ακόμη ένα σύγχρονο υλικό για την κατασκευή ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας (cad/cam). Ο οδηγός σχεδιάζεται ψηφιακά στον υπολογιστή. Μετά την σχεδιάσή του υπάρχει η δυνατότητα κοπής του πλαστικού υλικού (αφαιρετικά, milling) ή η τρισδιάστατη εκτύπωσή του (προσθετικά, 3D printing). (Γιαννικάκης, 2018)

Για τη μέθοδο ψυχρής κοπής (milling) το υλικό που χρησιμοποιείται είναι μια διαφανής πλάκα πολυμερούς. Ωστόσο δεν προτιμάται σαν μέθοδος γιατί το πάχος της πλάκας είναι συγκεκριμένο, το κόστος είναι αρκετά υψηλό και το απαιτούμενο υλικό είναι πολύ (Εικ.17).



Εικ17: Οδηγός κατασκευασμένος με τη μέθοδο κοπής. (Marchack and Show 2015)

Η μέθοδος της εκτύπωσης προτιμάται περισσότερο. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση πρέπει να είναι βιοσυμβατά, με την ανάλογη πιστοποίηση (Εικ.18). Το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι το υγρό φωτοπολυμερές υγρό

(υγρή ρητίνη) σε διάφανο χρώμα (συνήθως PMMA), το οποίο μετά τη διαδικασία της εκτύπωσης μετατρέπεται σε τρισδιάστατο αντικείμενο



Εικ 18: Υγρή ρητίνη εκτύπωσης διαφορετικών εταιριών (freeprint® ortho - SILADENT Dr. Böhme & Schöps GmbH (siladent-shop.de), KeySplint Hard (Keystone) | Dental Product | Pearson Dental)

Ένα ακόμη χρήσιμο υλικό είναι η ισοπροπυλική αλκοόλη, η οποία χρησιμοποιείται για να καθαριστεί ο χειρουργικός οδηγός αμέσως μετά την εκτύπωσή του.

Τέλος, σημαντικό κατασκευαστικό στοιχείο αποτελούν οι μεταλλικοί δακτύλιοι καθοδήγησης που τοποθετούνται στον οδηγό για την καθοδηγούμενη τοποθέτηση (pilot guide sleeves). Η ακριβής τοποθέτηση του εμφυτεύματος επιτυγχάνεται μέσω των μεταλλικών δακτυλίων καθοδήγησης, στα οποία εφαρμόζει το εργαλείο τρυπανισμού. Κατασκευάζονται από χρώμιο-κοβάλτιο (Co-Cr), από ζirkονία (Zir), από ανοξείδωτο ατσάλι, από τιτάνιο (Ti) αλλά και από πολυαιθερακετόνη (Peeek). Έχουν επίσης διαφορετικές διαστάσεις (διάμετρο και μήκος) και διαφορετικά μήκη (ανάλογα με τη διάμετρο του εμφυτεύματος). (Ozan et al. 2021). Ανάλογα λοιπόν με το σχέδιο θεραπείας και τους περιορισμούς του κάθε περιστατικού επιλέγονται τα κατάλληλα υλικά. (Εικ. 19)



Εικ. 19: Διάφοροι τύποι μεταλλικών δακτυλίων καθοδήγησης (<http://steco>)

Ανάλογοι προβληματισμοί υπάρχουν και για τα υλικά κατασκευής των χειρουργικών οδηγών. Όπως είναι γνωστό, η συμβατική ρητίνη που χρησιμοποιείται στην αναλογική μέθοδο, έχει πορώδες και μεταβολές διαστάσεων. Τα νέα υλικά ωστόσο που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή χειρουργικών οδηγών με την ψηφιακή παρουσιάζουν έχουν μεγάλο ενδιαφέρον. (Dimitrova et al. 2022)

Οι Dimitrova et al. σύγκριναν τα συμβατικά PMMA με αυτά της 3D εκτύπωσης. Οι περιορισμοί των τρισδιάστατα εκτυπωμένων υλικών ήταν η προσρόφηση και η χαμηλή ανάλυση εκτυπωτή. Η θερμοπολυμεριζόμενη ρητίνη έδειξε καλύτερη αντοχή στην κάμψη και αντοχή στην κρούση σε σύγκριση με τα υλικά εκτύπωσης. Επίσης εκτιμήθηκε ότι τα υλικά εκτύπωσης έχουν άριστη επιφανειακή σκληρότητα αλλά μικρότερη αντοχή σε σχέση με τα συμβατικά υλικά. (Dimitrova et al. 2022)

Οι Kessler et. Al (2022), ερεύνησαν την επίδραση που έχει η μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης, τα υλικά εκτύπωσης και η αποστείρωση στην ακρίβεια των ψηφιακά σχεδιασμένων χειρουργικών οδηγών. Χρησιμοποιήθηκαν αντίγραφα των ασθενών από ρητίνη, με έλλειψη ενός δοντιού. Συνολικά τοποθετήθηκαν 132 εμφυτεύματα μαζί με σχεδιασμένους ψηφιακά χειρουργικούς οδηγούς. Η ακρίβεια της θέσης του εμφυτεύματος μετά την τοποθέτηση αναλύθηκε με σκοπό της αξιολόγησης της μεθόδου κατασκευής (3D printing, milling) και τα πολυμερή υλικά. Προκειμένου να προσδιοριστεί η ακρίβεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης μετρήθηκαν η γωνιώδης απόκλιση και η οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση ξεχωριστά για την κάθε ομάδα. Επίσης η χειρουργικοί οδηγοί υποβλήθηκαν σε ποιοτική ανάλυση με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Τα συμπεράσματα της έρευνας όσον αφορά τα υλικά ήταν ότι η ρητίνη εκτύπωσης είναι κατάλληλη για την παρασκευή χειρουργικών οδηγών. Επίσης η ακρίβεια της θέσης του εμφυτεύματος όταν ο χειρουργικός νάρθηκας κατασκευάζεται με τη μέθοδο 3D printing, είναι σχεδόν συγκρινόμενη με αυτή της κοπής. (Kessler et al. 2022)

Οι Leon – Revilla et. Al (2019), σε μια ανασκόπησή τους σχετική με τη χημική σύσταση, τις μηχανικές ιδιότητες και την ροή εργασίας με τη χρήση πολυμερών εκτύπωσης, κατέληξαν σε διάφορα ευρήματα. Αρχικά αναφέρουν ότι τα νέα υλικά εκτύπωσης

αποτελούνται κυρίως από μονομερή τα οποία βασίζονται σε ακρυλικούς εστέρες ή περιέχουν υβριδικά υλικά. Σύμφωνα με τη άποψη των συγγραφέων, δεν υπάρχουν δημοσιευμένα άρθρα που να αναλύουν την χημική σύσταση αυτών των νέων υλικών που χρησιμοποιούνται για εκτύπωση. Επίσης αναφέρεται πως λόγω των διαφορετικών πρωτοκόλλων, της επιλεγμένης τεχνολογίας αλλά και των παραμέτρων των εκτυπωτών και του εκάστοτε υλικού, υπάρχει δυσκολία σύγκρισης μεταξύ των ερευνών. Τέλος συμπεραίνουν ότι η μέθοδος και τα υλικά της 3D εκτύπωσης είναι συνεχώς εξελισσόμενα, ωστόσο θα πρέπει να γίνουν παραπάνω έρευνες όσον αφορά την χημική σύσταση και της μηχανικές τους ιδιότητες. (Leon et al. 2019)

Οι Gad et. Al. (2022) μελέτησαν σε εργαστηριακές συνθήκες την αντοχή στην κάμψη, την αντοχή στην θραύση καθώς και την επιφανειακή σκληρότητα ενός υλικού 3D εκτύπωσης. Με βάση την προδιαγραφή ISO20795-1:2023, κατασκευάστηκαν 120 ακρυλικά δείγματα και χωρίστηκαν σε 2 ομάδες: η μια ήταν θερμοπολυμεριζόμενα ακρυλικά και η άλλη υλικά 3D εκτύπωσης. Τα μισά δοκίμια από την κάθε ομάδα (n=30) υποβλήθηκαν σε 10.000 κύκλους θερμότητας από 5 έως 55 βαθμούς κελσίου προσομοιώνοντας τον 1 χρόνο χρήσης. Η αντοχή στην κάμψη, η αντοχή στην θραύση και η επιφανειακή σκληρότητα μετρήθηκαν με Charpy's test και η ανάλυση των δεδομένων έγινε με ANOVA και Tukey test. Το συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι η 3D εκτυπωμένη ρητίνη είχε κατώτερη αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε θραύση καθώς και τιμές σκληρότητας σε σχέση με τη θερμοπολυμεριζόμενη ρητίνη, αλλά παρουσίασαν ανώτερη τραχύτητα επιφάνειας. Οι αλλαγές θερμοκρασίας μείωσαν σημαντικά την σκληρότητα και την κάμψη και αύξησαν την επιφανειακή σκληρότητα. Η αντοχή στην θραύση δεν επηρεάστηκε.

Οι Berli et. Al. (2020), σύγκριναν τις μηχανικές ιδιότητες των θερμοσυμπιεζόμενων, ψυχρής κοπής και 3D εκτύπωσης ρητινών. Χρησιμοποιήθηκαν 3 δείγματα για το κάθε είδος ρητίνης τα οποία αξιολογήθηκαν σε αντοχή στην κάμψη, σε σκληρότητα Martens, σε σκληρότητα Vickers, σε προσρόφηση νερού, και σε επιφανειακή ανάλυση. Τα δείγματα παρέμειναν σε νερό για 50 ώρες στους 37 βαθμούς κελσίου και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε κύκλο γήρανσης (20.000 θερμικούς κύκλους στους 5 και 55 βαθμούς κελσίου). Τελικά, συμπέραναν πως οι ρητίνες κοπής και οι θερμοσυμπιεζόμενες ρητίνες παρουσιάζουν ισοδύναμες ιδιότητες. Οι ρητίνες 3D

εκτύπωσης έχουν χαμηλότερη αντοχή στον εφελκυσμό και στην κάμψη και υψηλότερη προσρόφηση νερού.

IV.3 Αποστείρωση – Απολύμανση Υλικών

Οι οδηγοί, ιδιαίτερα οι χειρουργικοί κατά την χρήση τους έρχονται σε επαφή με το στοματικό περιβάλλον, αλλά και με το χειρουργικό πεδίο κατά την διάρκεια της επέμβασης. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να έρθουν σε επαφή με ιστούς όπως το οστό, μαλακούς ιστούς σε τομές και με ανοιχτά τραύματα. Αν έχουν μικροβιακό φορτίο είναι πιθανό να μολύνουν το τραύμα. Οι μεταλλικοί δακτύλιοι καθοδήγησης, επίσης, μέσω των οποίων λειτουργούν τα τρύπανα και τοποθετούνται τα εμφυτεύματα στο οστό, αν έχουν μικροβιακό φορτίο μπορούν να γίνουν και αυτοί εστίες μικροβιακής μόλυνσης του τραύματος και να επηρεάσουν την βιωσιμότητα των εμφυτευμάτων. Είναι αναγκαία ή αποστείρωση ή η υψηλού βαθμού απολύμανση.

Οι οδηγοί μπορούν να μολυνθούν είτε κατά την κατασκευή τους στο εργαστήριο, είτε κατά τη μεταφορά τους, είτε κατά την χρήση τους στο ιατρείο. Οι δυο κύριοι οργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο προστασίας από τη μόλυνση, το Κέντρο Ελέγχου Μολύνσεων (Center for Disease Control - CDC) για τις Ηνωμένες Πολιτείες και ο Οργανισμός για τις Ιατρικές Συσκευές (Medical Devices -MEDDEV) για την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν εκδώσει οδηγίες και για την περίπτωση των χειρουργικών οδηγών (Rutala et al. 2008). Σύμφωνα με αυτές ταξινομούν τις συσκευές σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον κίνδυνο μόλυνσης που έχουν. Οι χειρουργικοί οδηγοί για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων κατατάσσονται στην δεύτερη κατηγορία κινδύνου (κατηγορία II ή ημικρίσιμη-*semicritical*) από τις τρεις. Σε μερικές περιπτώσεις που ο οδηγός είναι μέσα στο τραύμα είναι κατηγορίας III ή κρίσιμη (*critical*). Η προστασία για τη μόλυνση αυτής της κατηγορίας απαιτεί οπωσδήποτε αποστείρωση ή υψηλού βαθμού απολύμανση (Rutala et al. 2008).

Η αποστείρωση γίνεται με θερμότητα σε κλίβανο ατμού (αυτόκαυστο) ή με χημικά με την χρήση διαλυμάτων αποστείρωσης. Υπάρχουν δυο βασικά πρωτόκολλα αποστείρωσης, χαμηλής θερμότητας (121°C για 20-30 λεπτά) και υψηλής θερμότητας (134°C για 4 λεπτά). Η υψηλού επιπέδου απολύμανση περιλαμβάνει την χρήση διαλυμάτων όπως χλωρεξιδίνη με αιθανόλη 80%, γλουταραλδεΐδη, υπεροξειδίο

του υδρογόνου σε συνδυασμό με άλλα αντισηπτικά (Toros et al. 2020). Οι ρητίνες από τις οποίες κατασκευάζονται οι οδηγοί με οποιαδήποτε μέθοδο έχουν σημείο υαλώδους μετάπτωσης 85°C έως 157°C (Tachmatzidis et al. 2023). Υπάρχει λοιπόν η πιθανότητα η θερμότητα του πρωτόκολλου αποστείρωσης να μεταβάλει ογκομετρικά τις διαστάσεις του οδηγού ή τις ιδιότητές του. Επίσης και τα χημικά διαλύματα μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες του οδηγού. Οποιαδήποτε μεταβολή των διαστάσεων μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων.

Οι Tachmatzidis et al. (2023), εξετάζοντας την σταθερότητα των διαστάσεων ενός πρωτοκόλλου χαμηλής θερμότητας για τρεις ρητίνες, διαπίστωσαν ότι επηρεάζονται οι διαστάσεις δυο από τις τρεις ρητίνες που εξετάσθηκαν, με διαφορετικό τρόπο η κάθε μια. Κάθε υλικό είχε διαφορετική συμπεριφορά. Η μέση ογκομετρική μεταβολή είχε μια διακύμανση 0%-3%, ίσως δηλαδή να μην έχει τόσο μεγάλη κλινική σημασία. Παρατήρησαν, δε, ότι οι διαφορές αυτές ήταν μεγαλύτερες κοντά στους μεταλλικούς δακτυλίους, παρειαικά και για όλα τα υλικά. Διατύπωσαν, λοιπόν, ένα σκεπτικισμό για το θέμα αυτό. Η μια ρητίνη που δεν επηρεάστηκε είχε υψηλή θερμοκρασία μετάπτωσης και ο κατασκευαστής πρότεινε θερμική αποστείρωση.

Οι Toros et al. 2020, μελέτησαν την επίδραση δυο θερμικών πρωτοκόλλων (χαμηλής και υψηλής θερμότητας), ενός χημικού (αντισηπτικό διάλυμα) και ενός πρωτοκόλλου ψεκασμού με πλάσμα. Αξιολογήθηκαν οι ογκομετρικές διαστάσεις και οι μηχανικές ιδιότητες των οδηγών από 3d ρητίνη. Δεν μετρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και γι αυτό πρότειναν τις δυο μεθόδους (θερμική και χρήση πλάσματος) ως ασφαλείς για αποστείρωση.

Οι Marei et al. (2019) αξιολόγησαν την πιθανή επίδραση της αποστείρωσης σε αυτόκαυστο στο επίπεδο των μεταλλικών δακτυλίων. Δεν διαπίστωσαν διαφορές μετά τον κύκλο της θερμικής αποστείρωσης σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Tallarico et al. (2021), οι οποίοι σε in vitro μελέτη σε μοντέλο δεν διαπίστωσαν διαφορές με την χρήση αποστείρωσης.

Όσον αφορά την χρήση υγρών για την υψηλού επιπέδου απολύμανση φαίνεται ότι και αυτή με κατάλληλο πρωτόκολλο έχει κλινικά αποδεκτό αποτέλεσμα. Οι δραστικές

ουσίες που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι χλωρεξιδίνη 0.2%, αιθυλική αλκοόλη 80%, σε διάφορους χρόνους εμφάνισης.

Ο Toroc et al. (2020), δεν διαπίστωσαν διαφορές στις διαστάσεις των οδηγών μεταξύ αποστείρωσης και απολύμανσης με διάλυμα. Οι Sennhenn-Kirchner et al. 2008, δεν διαπίστωσαν μεταβολές στις διαστάσεις με την χρήση διαλύματος χλωρεξιδίνης, αλκοόλης, και ενός βακτηριοστατικού. Πρότειναν σαν πιο αποτελεσματικό διάλυμα αλκοόλης 80%.

Η γενική διαπίστωση, λοιπόν, είναι ότι και η χημική απολύμανση μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση των χειρουργικών οδηγών. Οι περισσότεροι κατασκευαστές προτείνουν χημική αποστείρωση. Όταν όμως ο οδηγός πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ανοικτά χειρουργικά πεδία, με εκτεθειμένο το οστό, με παρουσία μοσχευμάτων, τότε θα πρέπει να εφαρμόζονται θερμικά πρωτόκολλα αποστείρωσης, γιατί ο κίνδυνος εισόδου μικροβίων στο ανοικτό τραύμα είναι μεγάλος.

Επίσης στην περίπτωση της ενδοχειρουργικής απολύμανσης ή αποστείρωσης, η χρήση διαλυμάτων είναι αποτελεσματική.

Πρακτικά, λοιπόν, θα πρέπει να ελέγχονται οι οδηγίες του κάθε κατασκευαστή, τι πρωτόκολλο αποστείρωσης προτείνει. Οι ρητίνες που προτείνεται να αποστειρώνονται με θερμότητα, συνήθως έχουν υψηλότερη θερμοκρασία μετάπτωσης.

V. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ

Τα οστεοενσωματούμενα εμφυτεύματα ύστερα από τέσσερις δεκαετίες χρήσης έχουν δώσει την δυνατότητα να καλύπτονται αποτελεσματικά πολλές περιπτώσεις νωδότητας που παλιότερα δεν ήταν εφικτό. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί επιτρέπουν την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων σε θέσεις που λειτουργούν αποτελεσματικά αλλά παράλληλα σέβονται την βιολογία και τη μορφολογία των παρακείμενων ιστών. Για πολλά χρόνια η βασική αρχή που επικρατούσε για την θέση τοποθέτησης ενός εμφυτεύματος ήταν όπου υπήρχε ικανό οστικό υπόβαθρο ανάλογα με την εικόνα της ακτινογραφίας του οστού. Ακολουθώντας αυτή τη μέθοδο προέκυπταν προβλήματα λειτουργικά και αισθητικά όπως η εντόπιση της θέσης της οπής κοχλίωσης προστομιακά, η επιτακτική επιλογή κολοβωμάτων με κλίσεις εξαιτίας της προσθετικής αποκατάστασης αλλά και η επιλογή συγκολλούμενης εργασίας αναγκαστικά.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας CAD/CAM έχει βελτιστοποιήσει το κλινικό αποτέλεσμα. Μέσω της Υπολογιστικής Τομογραφίας Κωνικής Δέσμης (CBCT) γίνεται αναλυτικότερη εξέταση το οστικού υποβάθρου στις τρεις διαστάσεις του χώρου. Επίσης παρέχεται ακριβής απεικόνιση των ανατομικών στοιχείων που επηρεάζουν την τοποθέτηση του εμφυτεύματος.

Η ανάπτυξη τεχνικών και εργαλείων για τη μεταφορά των πληροφοριών στο χειρουργικό πεδίο, οδήγησε στην ανάπτυξη της αρχής καθοδηγούμενης τοποθέτησης εμφυτευμάτων (guided implant surgery), η οποία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο με μεγάλη επιτυχία από τις αρχές του 2000. Μέσω αυτής, μπορεί να επιτευχθεί και λειτουργικό και ταυτόχρονα αισθητικό αποτέλεσμα της προσθετικής εργασίας. (Γούσιας, 2021)

Απαραίτητα εργαλεία για την εφαρμογή αυτής της φιλοσοφίας είναι οι ακτινογραφικοί και χειρουργικοί οδηγοί. Η χρήση τους προσφέρει πλεονεκτήματα, δεν αποτελούν όμως πανάκεια και υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Σε αυτό το κεφάλαιο του συγγράμματος θα αναλυθούν τα συμβάματα και οι επιπλοκές από τη μη χρήση ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών, οι παράγοντες επιτυχίας-

αποτυχίας ενός ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού καθώς και η βιολογική-προσθετική βιοσυμβατότητά τους.

V.1 Παράγοντες επιτυχίας ή αποτυχίας ενός ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού.

Ο ακτινογραφικός και χειρουργικός οδηγός αποτελούν σημαντικό μέσο για την ορθή τοποθέτηση εμφυτευμάτων. Ο ακτινογραφικός οδηγός συμβάλει σημαντικά στο σχέδιο θεραπείας ενώ ο χειρουργικός οδηγός στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Η καθοδηγούμενη τοποθέτηση εμφυτευμάτων επιτρέπει την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων με ακρίβεια ακολουθώντας το σχέδιο θεραπείας. Έτσι τα εμφυτεύματα τοποθετούνται με βάση την τελική προσθετική εργασία η οποία είναι και ο τελικός στόχος. (Γούσιας και συν. 2021)

Ωστόσο η τοποθέτηση εμφυτευμάτων με την χρήση ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού μπορεί εξίσου να παρουσιάσει επιπλοκές και να θεωρηθεί αποτυχημένη. Όσον αφορά τον ακτινογραφικό οδηγό, υπάρχει πιθανότητα να μην κατασκευαστεί σωστά. Πιο συγκεκριμένα, τα ακτινοσκοπικά στοιχεία μπορεί να τοποθετηθούν σε λανθασμένες θέσεις και έτσι να μην ακτινογραφηθεί σωστά η επιθυμητή περιοχή. Ένα ακόμη συχνό φαινόμενο είναι η μη σωστή έδραση. Κατά την ακτινογράφιση μπορεί ο ακτινογραφικός οδηγός να μην εδράζει πλήρως στην γνάθο του ασθενούς με αποτέλεσμα η πληροφορία που μεταφέρεται να είναι λανθασμένη. (Γούσιας και συν. 2021)

Μια πολύ συνηθισμένη επιπλοκή που μπορεί να παρουσιαστεί είναι το κάταγμα του χειρουργικού οδηγού την ώρα του χειρουργείου και αυτό συμβαίνει αν η ασκούμενη δύναμη είναι μεγαλύτερη από 50 N/m. Επίσης ο οδηγός πρέπει να τοποθετείται σωστά και να αποφεύγονται οι μικρομετακινήσεις διεγχειρητικά. Αυτές οι μετακινήσεις μπορεί να οφείλονται είτε στην προσπάθεια τοποθέτησης των εμφυτευμάτων βαθύτερα, είτε σε κινήσεις του ασθενούς. (Γούσιας και συν. 2021)

Πολύ σημαντικός παράγοντας είναι και η μεταφορά του σχεδιασμού του νάρθηκα με μεγάλη ακρίβεια στο χειρουργικό πεδίο. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ο χειρουργικός οδηγός πρέπει να είναι ακριβής προκειμένου οι χρήσιμες πληροφορίες να μεταφερθούν σωστά στο χειρουργικό πεδίο. Οι παράγοντες που

επιδρούν μπορεί να είναι ανατομικοί όπως για παράδειγμα η ανατομία και η πυκνότητα του οστού αλλά και η λήψη και επεξεργασία της εικόνας, καθώς και η ίδια η κατασκευή του χειρουργικού οδηγού. Σε κάποιες περιπτώσεις τοποθετούνται βίδες στήριξης (2 στην οπίσθια περιοχή και 3 στην πρόσθια) και έτσι η διαδικασία γίνεται πιο πολύπλοκη. (Γούσιας και συν. 2021)

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εκτέλεση της επέμβασης δεν ακολουθεί πιστά τον σχεδιασμό της θέσης των εμφυτευμάτων που είχαν επιλεγεί κατά τη δημιουργία του σχεδίου θεραπείας. Επομένως ως επιπλοκή μπορεί να χαρακτηριστεί και η απόκλιση της προσχεδιασμένης από την τελική θέση των εμφυτευμάτων. Συνήθως αυτό αφορά το κατακόρυφο επίπεδο και όχι το οριζόντιο. Τα αίτια παρέκκλισης από τον σχεδιασμό μπορεί να είναι:

- α) Το μεγάλο μήκος του εμφυτεύματος
- β) Η αυξημένη οστική πυκνότητα
- γ) Η μετακίνηση του οδηγού
- δ) Η χαμηλή ακρίβεια κάποιων τρισδιάστατων εκτυπωτών
- ε) Η μη τοποθέτηση του εμφυτεύματος μέσω του οδηγού
- στ) Η αυξημένη ροπή κοχλίωσης του εμφυτεύματος
- ζ) Η μη αναπέταση κρημνού

Επίσης αιτία για την αλλαγή του σχεδιασμού της επέμβασης είναι η πρόσθεση επιπλέον μοσχεύματος. (Γούσιας και συν. 2021)

Άλλες επιπλοκές που μπορεί να προκύψουν είναι η έλλειψη αρχικής σταθερότητας των εμφυτευμάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας του οστού. Όταν επιλέγεται η μέθοδος της άμεσης φόρτιση των εμφυτευμάτων υπάρχει περίπτωση η προσωρινή αποκατάσταση, η οποία έχει κατασκευαστεί ήδη πριν την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων, να μην εφαρμόζει πλήρως. Οι αλλαγές αυτές που μπορεί να χρειαστεί να γίνουν μπορεί να μειώσουν την αντοχή της αποκατάστασης και να παρουσιαστούν κατάγματα και ρωγμές και τελικά η εργασία να αποτύχει. Τέλος, η κατασκευή του χειρουργικού οδηγού παρουσιάζει κάποιο ποσοστό λάθους,

ανεξάρτητα από το αν κατασκευάζεται συμβατικά ή ψηφιακά (Voulgarakis 2014, Γούσιας και συν. 2021).

Όπως συμπεραίνεται υπάρχουν αρκετοί παράγοντες αποτυχίας ενός ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού. Ωστόσο ο συνδυασμός των δύο οδηγών αποτελεί πολύ σημαντικό εργαλείο για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων, αρκεί η διαδικασία να γίνει σωστά. Μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στα στάδια του σχεδιασμού – κατασκευής των δύο οδηγών καθώς και κατά την χρήση τους. Με την χρήση του ακτινογραφικού οδηγού η θέση του εμφυτεύματος και της προσθετικής αποκατάστασης είναι ταυτόχρονα εμφανής πάνω στην αξονική τομογραφία του ασθενή. Η αρχή του σχεδίου θεραπείας γίνεται μέσω του ακτινογραφικού οδηγού. Επί της ουσίας η γεωμετρία του ακτινογραφικού οδηγού ορίζει την γεωμετρία του χειρουργικού οδηγού. Επομένως για τους παραπάνω λόγους είναι σημαντικό ο ακτινογραφικός οδηγός να σχεδιάζεται σωστά. (Γούσιας και συν. 2021)

Πολύ σημαντικό είναι να συμπίπτει η θέση του ακτινογραφικού οδηγού και του χειρουργικού οδηγού. Και αυτό γιατί οι επιδιωκόμενες θέσεις τοποθέτησης των εμφυτευμάτων είναι βασίζονται στην θέση που έχει ο ακτινογραφικός οδηγός κατά την ΑΤΚΔ. Άρα λοιπόν η ακρίβεια της θέσης τοποθέτησης των εμφυτευμάτων εξαρτάται άμεσα από την ταύτιση του ακτινογραφικού και του χειρουργικού οδηγού. Η καταγραφή και χρήση της κεντρικής σχέσης του ασθενή δεν πρέπει να παραλείπεται.

Έμφαση θα πρέπει να δίνεται και στην ογκομετρική διαφορά (διαστάσεις) μεταξύ του στερεολιθικού χειρουργικού οδηγού και της αρχικής σαρωμένης οδοντοστοιχίας, η οποία δεν πρέπει να είναι υπαρκτή για να θεωρηθεί επιτυχημένος. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί με μαθηματική αναλογία του όγκου, αλλά και επιβεβαίωση του ISO threshold settings. Με την χρήση αυτών των δύο μεθόδων η παραγωγή οδηγών μεγάλης ακρίβειας είναι δυνατή. Σε περίπτωση όμως που υπάρχει ογκομετρική διαφορά ο οδηγός θεωρείται κλινικά ανεπαρκής. Για την διασφάλιση της ακριβούς εξαγωγής ακτινογραφικού οδηγού από την CT εικόνα (το οποίο διασφαλίζει και ακριβή χειρουργικό οδηγό) προτείνεται η χρήση συσκευής βαθμονόμησης. (Marchack et al. 2015)

Επίσης, όταν χρησιμοποιείται το ψηφιακό σχεδιαστικό πρόγραμμα για τη δημιουργία σχεδίου θεραπείας πρέπει να εξασφαλιστεί η κατάλληλη προσαρμογή του ακτινογραφικού οδηγού, να ελεγχθεί ο μακρύς άξονας με την πρόσβαση στη βίδα και τα εμφυτεύματα να τοποθετηθούν παράλληλα πριν ρυθμιστούν οι κλίσεις-γωνιώσεις τους. Όλα τα αυτά τα στάδια που αναφέρθηκαν αφορούν τις σχεδιαστικές διαδικασίες. Προκειμένου ένας χειρουργικός οδηγός να θεωρηθεί επιτυχημένος θα πρέπει να δοθεί η απαιτούμενη προσοχή και μετά τον σχεδιασμό, πριν την χειρουργική χρήση.

Αρχικά η σωστή τοποθέτησή του (έδραση) στον ασθενή είναι το πιο σημαντικό. Η θέση του θα πρέπει να είναι ίδια με αυτή του ακτινογραφικού οδηγού, δηλαδή να εδράζει ακριβώς όπως και ο ακτινογραφικός οδηγός στην ΑΤΚΔ. Τα ακριβή αποτυπώματα και εκμαγεία είναι απαραίτητα έτσι ώστε να κατασκευαστεί και να ελεγχθεί η έδρασή τους και εκεί. Επίσης η αρχική σύγκλιση πρέπει να είναι καταγεγραμμένη έτσι ώστε να οριστεί και η σωστή θέση έδρασης των οδηγών. Στις θέσεις των δοντιών που στηρίζεται ο χειρουργικός οδηγός ανοίγονται οπές έτσι ώστε να ελέγχεται ότι εδράζει σωστά. (Marchack et al. 2015)

Σε περίπτωση που η επιφάνεια έδρασης είναι νωδή γνάθος και δεν υπάρχουν δόντια στήριξης για τον χειρουργικό οδηγό θα πρέπει τα καρφία οστικής στήριξης να τοποθετούνται σωστά.

Πολύ σημαντικό είναι να υπολογιστεί και ένα ποσοστό λάθους λόγω έλλειψης ορατότητας στην διαδικασία μη ανοιχτού κρημνού. Ο κλινικός πρέπει να έχει ορατή πρόσβαση στο χειρουργικό πεδίο. Αυτό εξασφαλίζεται είτε μέσω της διαφάνειας του υλικού του οδηγού, είτε με θυρίδες που οριοθετούνται στα κατάλληλα σημεία του οδηγού. Τέλος, κατά τον ψηφιακό σχεδιασμό της προσωρινής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα εμφυτεύματα μπορεί να τοποθετηθούν ακρορριζικά της ακρολοφίας. Εάν αυτό δεν υπολογιστεί, η επιφάνεια της προσθετική εργασίας θα βρίσκεται στην ακρολοφία με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί φλεγμονή. Ένα ποσοστό λάθους ακρορριζικά του εμφυτεύματος θα πρέπει πάντοτε να υπολογίζεται. (Voulgarakis et al. 2014, Γούσιας και συν. 2021)

Είναι λοιπόν ξεκάθαρο πως οι παράγοντες επιτυχίας – αποτυχίας του ακτινογραφικού και του χειρουργικού οδηγού είναι πολύπλευροι. Είναι επιτακτική ανάγκη όλα τα στάδια στον σχεδιασμό, στην παραγωγή και στην χειρουργική χρήση να ελέγχονται με λεπτομέρεια. Συμπερασματικά η ορθή κατασκευή και τοποθέτηση του ακτινογραφικού οδηγού αποτελεί προϋπόθεση για την παραγωγή ενός σωστού χειρουργικού οδηγού.

V.2 Συμβάματα και επιπλοκές από τη μη χρήση ακτινογραφικών και χειρουργικών οδηγών

Κατά την χειρουργική διαδικασία τοποθέτησης ενός εμφυτεύματος οι επιπλοκές είναι πιθανές. Η μη χρήση ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών. Σημαντικό στάδιο για την επιτυχία τοποθέτησης και μακροβιότητας του εμφυτεύματος είναι το σχέδιο θεραπείας (pro-planning) το οποίο προηγείται της χειρουργικής διαδικασίας. Οι βασικές απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει ένα σχέδιο θεραπείας είναι σίγουρα η ποιότητα και η πυκνότητα του οστού, οι θέσεις των νεύρων και των αγγείων της περιοχής και γενικότερα η ανατομία της περιοχής. Επίσης, λόγω των ακτινοσκιερών στοιχείων που περιέχει ένας ακτινογραφικός οδηγός, η εύρεση του κατάλληλου μεγέθους (ύψος – διάμετρος) εμφυτεύματος αλλά και η ακριβής θέση τοποθέτησης και κλίσης του είναι δυνατή. Αυτές οι πληροφορίες γίνονται διαθέσιμες μέσω της ακτινογραφίας – τομογραφίας (Winkler, 2010).

Είναι λοιπόν κατανοητό πως ο ακτινογραφικός οδηγός αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων και η μη χρήση του καθιστά την χειρουργική διαδικασία αβέβαιη και ίσως και επικίνδυνη. Χωρίς τον ακτινογραφικό οδηγό δεν είναι στο χειρουργό διαθέσιμες οι προαναφερθείσες σημαντικές πληροφορίες. Έτσι, εάν η τοποθέτηση του εμφυτεύματος γίνει χωρίς ακτινολογικό έλεγχο μπορεί να οδηγήσει στα εξής αποτελέσματα:

- α) Τοποθέτηση εμφυτεύματος επάνω ή κοντά σε νεύρα ή αγγεία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αιμορραγία και οξύ πόνο.
- β) Τοποθέτηση εμφυτεύματος σε τυχαία θέση με τυχαία κατεύθυνση και όχι με την κατάλληλη κλίση που απαιτείται για το εκάστοτε περιστατικό. Η θέση

τοποθέτησης του εμφυτεύματος χωρίς τον ακτινογραφικό οδηγό δεν μπορεί να ελεγχθεί έτσι ώστε να συμβαδίζει με την μελλοντική προσθετική εργασία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργικά αλλά και αισθητικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, το εμφύτευμα μπορεί να τοποθετηθεί αρκετά άπω της ακρολοφίας ή εγγύς. Έτσι η προσθετική εργασία μπορεί να δέχεται δυνάμεις υπομοχλίου οι οποίες δρουν βλαπτικά στο εμφύτευμα. Επίσης, η κλίση τοποθέτησης του εμφυτεύματος μπορεί να δημιουργήσει αισθητικά προβλήματα στην προσθετική εργασία.

γ) Τοποθέτηση εμφυτεύματος σε λανθασμένο βάθος.

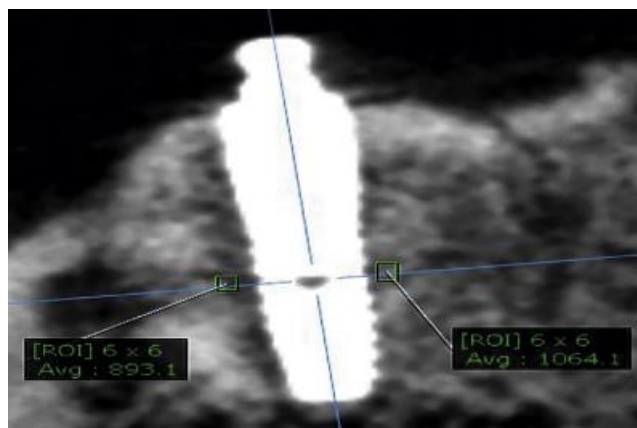
δ) Σε περίπτωση τοποθέτησης περισσότερων εμφυτευμάτων (δύο, τρία κλπ), τα οποία είναι κοντά μεταξύ τους, υπάρχει η πιθανότητα να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους ή να μην υπάρχει αρκετός χώρος μεταξύ τους.

Όπως είναι φανερό ο ακτινογραφικός οδηγός αποτελεί τον βασικό οδηγό για την τοποθέτηση ενός ή παραπάνω εμφυτευμάτων και η χρήση του δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να παραλείπεται. Αντιθέτως θα πρέπει η κατασκευή του να γίνεται με μεγάλη προσοχή, σύμφωνα με το εκάστοτε πρωτόκολλο κατασκευής του (Winkler, 2010).

Τον ακτινογραφικό οδηγό, ακολουθεί ο χειρουργικός οδηγός. Μετά τον ακτινογραφικό έλεγχο και τη δημιουργία του σχεδίου θεραπείας, κατασκευάζεται ο χειρουργικός οδηγός. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές κατασκευής χειρουργικού οδηγού οι οποίες αναλύονται στα μετέπειτα κεφάλαια της εργασίας.

Ο χειρουργικός οδηγός συμβάλει στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια, λιγότερο τραυματικές και πιο ελεγχόμενες χειρουργικές διαδικασίες. Η τοποθέτηση του εμφυτεύματος στην σωστή θέση (η οποία έχει καθοριστεί από το σχέδιο θεραπείας με τον ακτινογραφικό οδηγό) επιτρέπει τον ιδανικό σχεδιασμό της προσθετικής εργασίας και αποτρέπει την πιθανότητα κατασκευής συγκολλούμενης εργασίας. Η διαδικασία με τη χρήση χειρουργικού οδηγού είναι η ταύτιση των δοντιών και του ΑΤΚΔ του ασθενούς στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του χειρουργικού οδηγού. Σαν αποτέλεσμα τα νεύρα, τα αγγεία και οι ρίζες των δοντιών καθώς και η πυκνότητα του οστού εξετάζονται πριν την χειρουργική διαδικασία, και το εμφύτευμα τοποθετείται αρχικά ψηφιακά στην

ιδανικότερη θέση. (Εικ. 20) Έτσι λοιπόν υπάρχει ακριβής εικόνα για την θέση και το βάθος τρυπανισμού πράγμα το οποίο δίνει ασφάλεια. (Afshari et al.2022).



Εικ.20: Απεικόνιση αξονικής τομογραφίας κωνικής δέσμης μαζί με το εμφύτευμα. Γίνεται αξιολόγηση της πυκνότητας του οστού. (Afshari et al. 2022)

Υπάρχουν δύο τρόποι τοποθέτησης εμφυτευμάτων, η «δια χειρός» (free hand) τοποθέτηση και η τοποθέτηση με τη χρήση χειρουργικού οδηγού (guided). Στην τοποθέτηση εμφυτεύματος χωρίς τη χρήση χειρουργικού οδηγού χρησιμοποιούνται οι πανοραμικές και περιακρορριζικές ακτινογραφίες για την εκτίμηση του πλάτους και του προφίλ του φατνιακού οστού. Η εξέταση της ανατομίας και της υπόλοιπης περιοχής γίνεται μέσω της απεικόνισης της ΑΤΚΔ. Χρησιμοποιούνται ανιχνευτές του περιοδοντίου ή μετρητές και η εξέταση γίνεται ενδοστοματικά. Τα υπάρχοντα δόντια χρησιμοποιούνται ως οδηγοί για τον προσδιορισμό της σωστής θέσης του εμφυτεύματος.

Η διαδικασία με τη χρήση χειρουργικού οδηγού διαφέρει σε μεγάλο βαθμό. Στην καθοδηγούμενη χειρουργική μόλις ολοκληρωθεί η ΑΤΚΔ, δημιουργείται ένα DICOM αρχείο το οποίο ακολουθεί και ένα αρχείο από την ενδοστοματική σάρωση από το στόμα του ασθενούς. Στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του χειρουργικού οδηγού εισάγονται τα DICOM αρχεία μαζί με τα αρχεία της ενδοστοματικής σάρωσης. Αυτό το πρόγραμμα επιτρέπει την απεικόνιση των σημαντικών ανατομικών στοιχείων όπως είναι η ρινοϋπερώϊα ραφή, ο τομικός πόρος, οι κοιλότητες των ιγμορείων άντρων (ιδίως το έδαφος), ο πόρος κάτω φατνιακού νεύρου, το γενειακό τρήμα. Είναι

σημαντικό βοήθημα για να τοποθετηθεί το εμφύτευμα σε θέση η οποία είναι κοντά στο σχέδιο θεραπείας αλλά και χωρίς τον κίνδυνο να τρώσει κάποια από αυτά τα ανατομικά σημεία (Afshari et al. 2022).

Μόλις ολοκληρωθεί το σχέδιο θεραπείας, οι συγκεντρωμένες ψηφιακά πληροφορίες ενοποιούνται ψηφιακά και σχεδιάζεται ο χειρουργικός οδηγός ο οποίος γίνεται και φυσικά διαθέσιμος. Ο χειρουργικός οδηγός περιέχει μεταλλικούς δακτυλίους καθοδήγησης οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από τιτάνιο και έχουν τη θέση, το βάθος, τη κλίση του εμφυτεύματος. Επίσης καθορίζουν εγγύς-άπω και παρειολωσικά την θέση του εμφυτεύματος. Κατά τη χειρουργική διαδικασία το τρύπανο ελέγχεται και καθοδηγείται από τους μεταλλικούς δακτυλίους καθοδήγησης και έτσι το εμφύτευμα τοποθετείται στη θέση που έχει οριστεί από το σχέδιο θεραπείας. (Afshari et al. 2022)

Σύμφωνα με τις παραπάνω πληροφορίες, η χρήση του χειρουργικού οδηγού προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια και ακρίβεια κατά την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί χειρουργικός οδηγός μπορεί να προκύψουν διάφορες επιπλοκές. Μερικές από αυτές είναι:

α) Τοποθέτηση εμφυτεύματος με κλίση διαφορετική από την επιθυμητή. Η επιθυμητή κλίση επιλέγεται στο σχέδιο θεραπείας και οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η ιδιαίτερη ανατομία της περιοχής, οι ρίζες των παρακείμενων δοντιών, το διαθέσιμο οστό και η μελλοντική προσθετική εργασία. Η τοποθέτηση του εμφυτεύματος με λανθασμένη κλίση μπορεί να οδηγήσει σε τρώση αγγείων και νεύρων ή διάτρηση αεροφόρων κοιλοτήτων π.χ. ιγμόρειο ή διάτρηση και έξοδο του ακρορριζικού τμήματος του εμφυτεύματος έξω από το οστό π.χ. προς τη γλωσσική περιοχή. Επίσης εάν η περιοχή τοποθέτησης του εμφυτεύματος είναι στην οπίσθια περιοχή της κάτω γνάθου, ο χώρος είναι συνήθως περιορισμένος. Ο χειρουργικός οδηγός προσφέρει σταθερότητα κατά τον τρυπανισμό σε αντίθεση με την ελεύθερη τοποθέτηση.

β) Τοποθέτηση εμφυτεύματος σε θέση διαφορετική από αυτή που επιλέχθηκε στο σχέδιο θεραπείας. Τα παρακείμενα δόντια πρέπει να απέχουν από το εμφύτευμα 1.5mm και τα εμφυτεύματα μεταξύ τους 3-4mm για αισθητικούς λόγους αλλά και για

την πρόληψη έλλειψης οστού οριζόντια. Η χρήση της ΑΤΚΔ και του ψηφιακού προγράμματος σχεδιασμού των χειρουργικών οδηγών προσφέρουν τις μετρήσεις αυτές λεπτομερώς. Η τοποθέτηση εμφυτεύματος σε μη ευνοϊκή θέση μπορεί να προκαλέσει αισθητικά προβλήματα αλλά και να βλάψει τα παρακείμενα δόντια, τους ιστούς, τα νεύρα αλλά και το οστό. Σε περίπτωση τοποθέτησης παρακείμενων εμφυτευμάτων χωρίς την χρήση χειρουργικού οδηγού είναι πιθανό τα εμφυτεύματα να τοποθετηθούν πολύ κοντά το ένα στο άλλο το οποίο επηρεάζει την λειτουργικότητα της προσθετικής εργασίας

γ) Τραυματισμός νεύρων και αιμορραγία. Σε περίπτωση λανθασμένου τρυπανισμού (κλίση, βάθος, θέση) μια από τις επιπλοκές που μπορεί να προκύψει είναι ο τραυματισμός νεύρων της περιοχής. Ο λανθασμένος τρυπανισμός μπορεί να προκύψει από κακό σχεδιασμό κρημονού, από μεγαλύτερη εισχώρηση του εργαλείου τρυπανισμού στην περιοχή τοποθέτησης. Η χρήση χειρουργικού οδηγού προβλέπει όλα τα παραπάνω αφού το εργαλείο τρυπανισμού ελέγχεται πλήρως και τοποθετείται στην θέση που έχει οριστεί από σχέδιο θεραπείας.

δ) Επικοινωνία κλινικού-ασθενή. Ο χειρουργικός οδηγός αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την επικοινωνία μεταξύ του ασθενούς και του κλινικού. Συνδυάζοντας τον ακτινογραφικό οδηγό με τις ΑΤΚΔ δημιουργείται μια αρκετά ολοκληρωμένη εικόνα την οποία ο ασθενής μπορεί να κατανοήσει και έτσι δεν έχει πλήρη άγνοια της διαδικασίας. Ταυτόχρονα, με τη μέθοδο του χειρουργικού οδηγού ο ασθενής μπορεί να δει ψηφιακά την μελλοντική προσθετική εργασία. Με την μέθοδο που δεν χρησιμοποιείται ο χειρουργικός οδηγός, ο ασθενής δεν μπορεί να κατανοήσει με ευκολία τα στάδια και ίσως νιώθει αβεβαιότητα. (Misch 2007, Misch and Wang 2008)

Συνοψίζοντας τις παραπάνω πληροφορίες είναι κατανοητό πως η χρήση ακτινογραφικού και χειρουργικού οδηγού συμβάλουν στη δημιουργία ενός λεπτομερούς και μεγάλης ακρίβειας σχεδίου θεραπείας. Η καθοδηγούμενη χειρουργική μπορεί να ελαττώσει τις πιθανότητες επιπλοκών και απλοποιεί την διαδικασία τόσο για τον κλινικό όσο και για τον ασθενή προσφέροντας μια ελεγχόμενη και λιγότερο τραυματογόνο διαδικασία. Η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει την προεπισκόπηση των εμφυτευμάτων μέσα στο οστό και έτσι μπορούν να προληφθούν επιπλοκές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο χειρουργικός οδηγός

αποτελεί ένα εργαλείο-κλειδί για την τήρηση του σχεδίου θεραπείας και για την ορθή και ακριβή τοποθέτηση των εμφυτευμάτων.

V.3 Κλινικές επιπλοκές με την χρήση των οδηγών

Η κλινική αξιολόγηση της χρήσης των οδηγών είναι καθοριστική για την διατύπωση των ασφαλέστερων πρωτοκόλλων χρήσης τους. Ο προσδιορισμός των πιθανών σφαλμάτων και των αιτιών τους θα βοηθήσουν στον καλύτερο σχεδιασμό και κατασκευή των οδηγών αυτών. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται μια σειρά από προβλήματα που παρουσιάζονται κλινικά, τα οποία έχουν σχέση με ανατομικές και προσθετικές επιπλοκές. Τα σημεία που προσδιορίζονται για της επιτυχή αξιολόγηση έχουν σχέση με την ποιότητα και ποσότητα του οστού και τα ανατομικά χαρακτηριστικά της περιοχής ένθεσης του εμφυτεύματος. Η κλινική εκτίμηση γίνεται με τον δείκτη επιβίωσης των εμφυτευμάτων, την αναδόμηση του περιεμφυτευματικού οστού, τις επιπλοκές ανάλογα με τον χρόνο που θα εμφανιστούν (πρώιμες ή όψιμες) και τα πιθανά προσθετικά προβλήματα στις αποκαταστάσεις (Dioguardi et al. 2023)

Κατά την διάρκεια της επέμβασης μπορεί να υπάρξει αδυναμία της χρήσης του τρύπανου μαζί με τον οδηγό εξαιτίας της περιορισμένης διάνοιξης του στόματος του ασθενούς (Derksen et al. 2019). Το μέγεθος της κατασκευής μαζί με τις διαστάσεις του τρύπανου απαιτούν μια επαρκή απόσταση και χώρο στο στόμα για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σωστά. Σε μερικούς ασθενείς αυτό δεν είναι εφικτό, συνεπώς πρέπει να έχει γίνει αξιολόγηση αυτού του χαρακτηριστικού κατά το στάδιο της προεγχειρητικής κλινικής εξέτασης.

Άλλη επιπλοκή που αναφέρεται (Derksen et al. 2019) είναι η διάτρηση της παρειακής επιφάνειας του οστού εξαιτίας της κακής ποιότητας και μικρής ποσότητας, κατά την διάνοιξη, στοιχείο που δεν φαίνεται στην τομογραφία αν δεν έχει γίνει κατάλληλη αξιολόγηση προεγχειρητικά. Επίσης η ανεπαρκής ποσότητα οστού στην θέση της εμφύτευσης, καθώς και η έλλειψη πρώιμης σταθερότητας σε κάποια εμφυτεύματα μετά την τοποθέτηση (Vogl et al. 2015)).

Ένα άλλο πρόβλημα που αναφέρεται είναι η στρέβλωση του οδηγού κατά την προσαρμογή του σε πλήρως νωδή γνάθο. Αυτό ήταν πιο έντονο σε κάτω γνάθο. Το πρόβλημα αυτό δημιουργεί την πιθανότητα μη ακριβούς τοποθέτησης των εμφυτευμάτων με όλες τις ενδεχόμενες συνέπειες. Γενικά η ακριβής και σταθερή τοποθέτηση του οδηγού κατά την φάση της επέμβασης είναι κρίσιμης σημασίας (Marra et al. 2013) για την επιτυχία. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία σταθερότητας (δόντια, προσθετικές εργασίες) προτείνεται η τοποθέτηση τουλάχιστον τριών καρφίδων σταθεροποίησης. Ακόμη και η ύπαρξη αναισθητικού που τροποποιεί τη μορφολογία των περιβαλλόντων ιστών μπορεί να επηρεάσει την θέση του οδηγού και την τελική τοποθέτηση, οπότε συστήνεται η αποφυγή αναισθησίας μέχρι αυτό το στάδιο (Marra et al. 2013). Υπάρχει ακόμη και η πιθανότητα της θραύσης του οδηγού κατά την επέμβαση εάν δεν είναι σταθερός ή έχει στρεβλώσει (Hultin et al. 2012). Οι Komiyama et al. (2008) αναφέρουν θραύσεις κάποιων χειρουργικών οδηγών κατά την τοποθέτηση ή και κατά την αφαίρεση του οδηγού μετά την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Η κακή εφαρμογή στο χειρουργικό πεδίο οδηγεί σε ανάπτυξη τάσεων κατά την επέμβαση, υπερθέρμανση κατά τον τρυπανισμό του οστού και θεωρείται ότι αυτό είναι πρόβλημα της κατασκευής του οδηγού (Moraschini, 2015)

Αυτή η παρατήρηση ενδεχομένως έχει σχέση με την πιο συχνή και σοβαρή όψιμη επιπλοκή που αναφέρεται η οποία είναι η απώλεια εμφυτευμάτων εξαιτίας της απώλειας της οστεοενσωμάτωσης, όπως και η μεγαλύτερη απώλεια οστού περιφερικά τον πρώτο χρόνο (Yong et al. 2008, Yohansson et al. 2009). Η απώλεια αυτή συσχετίστηκε με διάφορους παράγοντες όπως η υπερφόρτιση του εμφυτεύματος, η ύπαρξη βρυγμού ή εμφάνιση περιεμφυτευματίτιδας. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην πιθανή συσχέτιση με το κάπνισμα. Το φαινόμενο είναι σύνθετο γιατί φαίνεται ότι έχει επίδραση το πάχος του βλεννογόνου. Σε βλεννογόνους με μεγαλύτερα πάχη η πιθανότητα να μην τοποθετηθεί σωστά με οδηγό το εμφύτευμα ή σε λανθασμένο μήκος είναι μεγαλύτερη (Casetta et al. 2012) Και στους καπνιστές οι βλεννογόνοι γενικά έχουν μεγαλύτερο πάχος (Casetta et al. 2012). οι ίδιοι ερευνητές κατέγραψαν μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας στην κάτω γνάθο, συσχετίζοντάς το με την πιθανότητα μικροβιακής μόλυνσης από το σάλιο που είναι

πιο πιθανό στους οδηγούς της κάτω γνάθου. Ακόμη επειδή το οστό στην κάτω γνάθο είναι πιο πυκνό πιθανά αναπτύσσονται τάσεις κατά τον τρυπανισμό από το τρύπανο και αστοχεί το σχετικά μαλακό υλικό του οδηγού (Komiyama et al. 2008).

Άλλες επιπλοκές που αναφέρονται είναι η θραύση κάποιων μεταβατικών αποκαταστάσεων, η χαλάρωση κάποιων κοχλιών και σε κάποιες περιπτώσεις η θραύση των τελικών αποκαταστάσεων (κινητών επένθετων). Ωστόσο τα ποσοστά επιβίωσης των εμφυτευμάτων με χρήση οδηγού είναι υψηλά και συγκρίσιμα με αυτά της συμβατικής τεχνικής. Κυμαίνονται στην συγκεκριμένη συστηματική ανασκόπηση από 96.3% έως 100% για χρονική περίοδο έως και τέσσερα χρόνια, ενώ το συνολικό ποσοστό πρώιμων αποτυχιών ήταν 3,98% και των όψιμων 0.88% (Dioguardi et al. 2023).

Τεχνικά προβλήματα που αναφέρονται σαν «προσθετικά» στα αρχικά στάδια της εφαρμογής αυτών των πρωτοκόλλων είναι το δάγκωμα της παρειάς, προβλήματα ομιλίας, χαλάρωμα των κοχλιών, θραύση των προσθετικών κατασκευών. Σαν όψιμα προβλήματα που έχουν σχέση με το χειρουργικό στάδιο, αναφέρονται φλεγμονή περιφερικά των εμφυτευμάτων, πόνος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το αναμενόμενο, αλλά κυρίως απώλεια εμφυτευμάτων σε ποσοστό 9% που είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των συμβατικών πρωτοκόλλων (Yong et al. 2008).

Σε γενικές γραμμές, απόκλιση της θέσης του εμφυτεύματος που υπολογίστηκε κατά το σχέδιο θεραπείας σε σχέση με την πραγματική θέση μπορεί να παρουσιασθεί σε κάθε στάδιο της διαδικασίας της χρήσης του οδηγού, κατά την ακτινογραφική σάρωση (CT scanning), κατά τη μεταφορά των δεδομένων του σχεδίου θεραπείας, κατά την κατασκευή, κατά την εφαρμογή στο στόμα ή και την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Είναι αναγκαία λοιπόν η συνεχής αξιολόγηση των τεχνικών αυτών και κατά τα αρχικά στάδια αλλά και αργότερα (D'haese, 2010)

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

VI. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΔΗΓΩΝ

Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις τεχνικές για την κατασκευή χειρουργικών και ακτινογραφικών οδηγών. Η συμβατική τεχνική και η χρήση με τεχνολογία CAD/CAM περιλαμβάνει την προσθετική μέθοδο (τρισδιάστατη εκτύπωση) και την αφαιρετική μέθοδο (κοπή). Υπάρχουν χειρουργικοί οδηγοί που κατασκευάζονται για την τοποθέτηση ενός μόνο εμφυτεύματος και χειρουργικοί οδηγοί για την τοποθέτηση περισσότερων εμφυτευμάτων. Παρακάτω θα αναλυθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις.

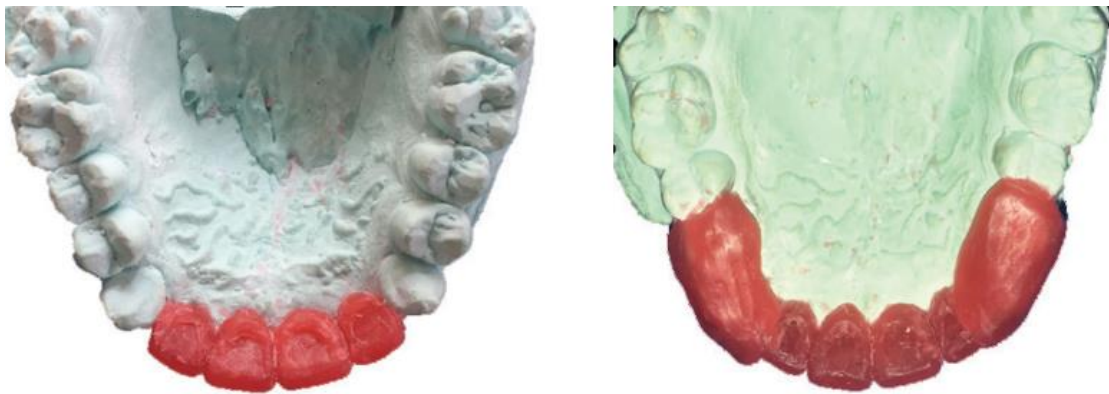
Ο ακτινογραφικός οδηγός διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο, αφού επιτρέπει τη μεταφορά της προκαθορισμένης προσθετικής εργασίας στο πραγματικό σχέδιο θεραπείας. Για την κατασκευή ενός χειρουργικού οδηγού με την συμβατική ακτινογραφική μέθοδο απαιτείται ενδεδειγμένη ακτινογραφική εξέταση και σωστός έλεγχος της ποιότητας του οστού. Η πανοραμική ακτινογραφία αποτελεί ακόμα τον σημαντικότερο παράγοντα για το σχέδιο θεραπείας των εμφυτευμάτων.

VI.1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

Η συμβατική πανοραμική και η απλή ακτινογραφία γίνονται συνήθως με τον ασθενή να φέρει στο στόμα έναν ακτινογραφικό οδηγό ο οποίος περιέχει ακτινοσκοπεύσιμα στοιχεία (μεταλλικά, γουταπέρκα, κλπ) τα οποία ενσωματώνονται στο στάδιο της κατασκευής του. Με βάση τον συντελεστή μεγέθυνσης και τις γνωστές διαστάσεις των ακτινοσκοπεύσιμων στοιχείων, επιλέγονται το μέγεθος και οι διαστάσεις των εμφυτευμάτων. Η διάταξη των εμφυτευμάτων καθοδηγείται με βάση την ποιότητα και την ποσότητα του οστού αλλά και την θέση των δοντιών έτσι ώστε να εξυπηρετούνται όλες οι λειτουργίες του στοματογναθικού συστήματος (μάσηση, αισθητική και φώνηση). (Manicandan et al. 2013)

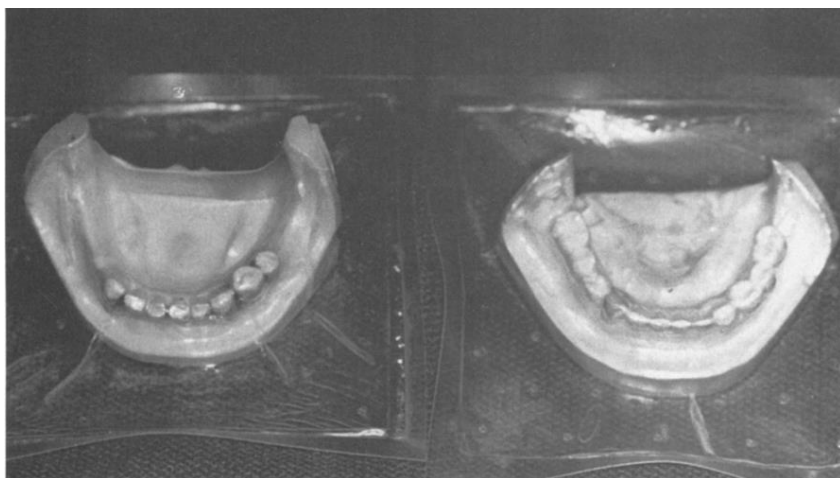
Αρχικά δημιουργούνται τέσσερα εκμαγεία, δύο εκμαγεία (άνω και κάτω γνάθος) τα οποία θα χρησιμοποιηθούν αργότερα και δύο εκμαγεία μελέτης της κατάστασης του ασθενούς (για να γίνει αξιολόγηση για την τοποθέτηση της θέσης των εμφυτευμάτων) και γίνεται η ανάρτησή τους σε θέση μέγιστης συναρμογής εφόσον

τα υπάρχοντα δόντια επιτρέπουν κάτι τέτοιο ή στην κεντρική σχέση σε περίπτωση ολικής νωδότητας ή αποδιοργανωμένης σύγκλεισης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καταγραφή της σύγκλεισης ή της θέσης των γνάθων από τον κλινικό. Εάν πρέπει να γίνει αλλαγή της κάθετης διάστασης, προσδιορίζεται και ρυθμίζεται ο αρθρωτήρας ανάλογα. Στη συνέχεια γίνεται διαγνωστικό κέρωμα το οποίο αντιγράφεται και δημιουργείται ένα γύψινο εκμαγείο. (Εικ. 21) ((Bhochhibhoya et al. 2018)



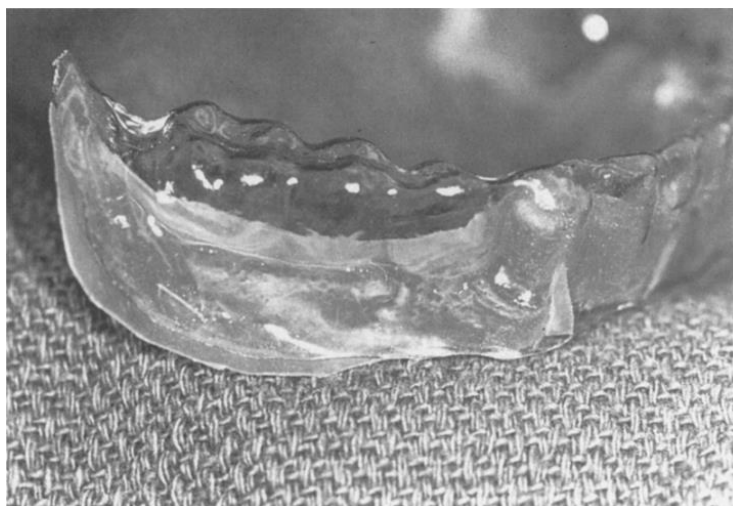
Εικ. 21: Διαγνωστικό κέρωμα στην επιθυμητή περιοχή τοποθέτησης εμφυτευμάτων. (Bhochhibhoya et al. 2018)

Στο αρχικό εκμαγείο γίνεται απαλοιφή εσοχών με υλικό υψηλού σημείου τήξης. Ύστερα κατασκευάζεται από έναν διάφανο θερμοσυμπιεζόμενο οδηγός 2mm στο αντιγραμμένο εκμαγείο του διαγνωστικού κερώματος και στο αρχικό εκμαγείο (Εικ.22).



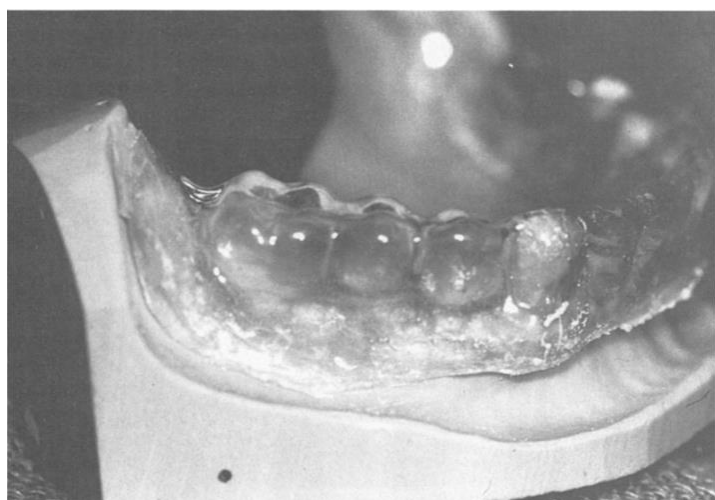
Εικ. 22: Τα εκμαγεία με το διαγνωστικό και το αντίγραφο του. (Pesun et al. 1995)

Αφαιρούνται οι περίσσειες του οδηγού κατά 5mm κάτω από τις παρυφές των ούλων. Τοποθετείται ο οδηγός του διαγνωστικού κερώματος επάνω στον οδηγό του αρχικού εκμαγείου και κόβονται έτσι ώστε τα όρια τους να συμπίπτουν(Εικ. 23) (Bhochhibhoya et al. 2018).



Εικ. 23: Οι δύο οδηγοί μαζί. (Pesun et al. 1995)

Αφαιρείται ο οδηγός του διαγνωστικού κερώματος, πληρώνεται με διαφανή αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη και τοποθετείται ξανά επάνω στον οδηγό του αρχικού εκμαγείου ασκώντας πίεση μέχρι να πραγματοποιηθεί ο πολυμερισμός. Ότι υλικό έρρευσε ανάμεσα στους 2 οδηγούς και είναι περιττό αφαιρείται. Τοποθετείται ο οδηγός επάνω στο αρχικό εκμαγείο και σταθεροποιείται με ένα λάστιχο και πολυμερίζεται (Εικ. 24) (Bhochhibhoya et al. 2018).



Εικ. 24: Ο οδηγός μετά την ολοκλήρωση του πολυμερισμού (Pesun et al. 1995)

Μετά τον πολυμερισμό διαμορφώνονται και λειαίνονται τα όρια του οδηγού. Στις επιθυμητές περιοχές τοποθέτησης εμφυτευμάτων δημιουργούνται τρύπες. Για τα τους δακτυλίους πιλοτικής καθοδήγησης χρησιμοποιείται στρογγυλή αυλακωτή φρέζα Νο.8 και αυξάνεται η περίμετρος κατά 3mm. Στη συνέχεια οι τρύπες πληρώνονται με γουταπέρκα.

Προκειμένου να ελεγχθεί η εφαρμογή και συγκράτηση του ακτινογραφικού οδηγού πριν τον ακτινογραφικό έλεγχο γίνεται μια δοκιμή στο στόμα του ασθενούς. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να γίνει οποιαδήποτε τροποποίηση στην επιφάνειά του που έρχεται σε επαφή με τον βλεννογόνο για να εδράζεται ιδανικά. (Pesun et al. 1995, Bhochhibhoya et al. 2018)

VI.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Η τοποθέτηση του εμφυτεύματος στην ακριβή επιθυμητή θέση είναι απαραίτητη προκειμένου να διασφαλιστεί η μακροβιότητά του αλλά και η μακροζωία της προσθετικής εργασίας. Η πιο ακριβής μέθοδος είναι αυτή με τη χρήση αυστηρά καθοδηγούμενου χειρουργικού οδηγού. Συνήθως αυτό γίνεται με την αντιστοίχιση της αξονικής τομογραφίας κωνικής δέσμης του ασθενή με την ψηφιακή σάρωση των μαλακών ιστών και στη συνέχεια ακολουθεί μια προεπισκόπηση της θέσης τοποθέτησης. Ο οδηγός παράγεται με την μέθοδο της πρόσθεσης (τρισδιάστατη εκτύπωση) ή με τη μέθοδο της αφαίρεσης (κοπή).

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ

Ο ακριβής σχεδιασμός ενός χειρουργικού οδηγού είναι απαραίτητος προκειμένου να εκπληρωθεί σωστά ο σκοπός του. Για να επιτευχθεί το σωστό αποτέλεσμα θα πρέπει οι τρισδιάστατες εικόνες της ενδοστοματικής σάρωσης ή της σάρωσης του εκμαγείου, να συγχωνευθούν με τα αρχεία της ΑΤΚΔ – DICOM. Παρακάτω θα περιγραφούν τα στάδια για τον σωστό σχεδιασμό ενός χειρουργικού οδηγού.

Υπάρχουν δύο τρόποι που μπορεί να γίνει η μελέτη και ο σχεδιασμός του χειρουργικού οδηγού:

α) Με τη χρήση ακτινογραφικού οδηγού. Εδώ χρησιμοποιείται η παλαιά οδοντοστοιχία ή κατασκευάζεται μια νέα. Η τομογραφία γίνεται με την τοποθετημένη οδοντοστοιχία και έτσι συνεχίζεται η διαδικασία που θα περιγραφεί παρακάτω. Αυτή η τεχνική ακολουθείται σε περιπτώσεις ολικής νωδότητας (Alghazzawi et al. 2016).

β) Χωρίς τη χρήση ακτινογραφικού οδηγού. Αυτή η μέθοδος ακολουθείται σε περιπτώσεις μερικής νωδότητας όπου η μέγιστη συγγόμφωση είναι σταθερή και υπάρχουν ορατά σταθερά ανατομικά σημεία στην ακτινογραφία. (Alghazzawi et al. 2016)

ΜΕΛΕΤΗ-ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ

Σε περίπτωση ολικής νωδότητας η εκτέλεση ΑΤΚΔ είναι απαραίτητη με τη χρήση ακτινογραφικού οδηγού έτσι ώστε να μπορέσει να προσδιοριστεί η κεντρική σύγκλιση και η κάθετη διάσταση του ασθενούς.

Ο ακτινογραφικός οδηγός είναι μια προσθετική εργασία ή κάποιο αντίγραφο της. Θα πρέπει να φέρει δείκτες (παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4) έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει η αντιστοίχιση με τα DICOM αρχεία ή με τις ψηφιακές εικόνες που σαρώθηκαν. (Alghazzawi et al. 2016)

Υπάρχουν κάποια πρότυπα ακτινογραφίας τα οποία συνιστώνται για τις νωδές γνάθους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα οδοντοστοιχία του ασθενούς, ωστόσο θα πρέπει να προστεθούν δείκτες και να αφαιρεθεί οποιοδήποτε μεταλλικό στοιχείο. Μια άλλη τεχνική είναι η αντιγραφή της ήδη υπάρχουσας οδοντοστοιχίας και στη συνέχεια κατασκευή ενός οδηγού από διαφανές ακρυλικό με ενσωματωμένους ακτινοσκιερούς δείκτες. Τέλος προτείνεται η σάρωση της ήδη υπάρχουσας οδοντοστοιχίας η οποία στη συνέχεια μπορεί να εκτυπωθεί ή ένας ψηφιακός οδηγός με ενσωματωμένους δείκτες. (Alghazzawi et al. 2016)

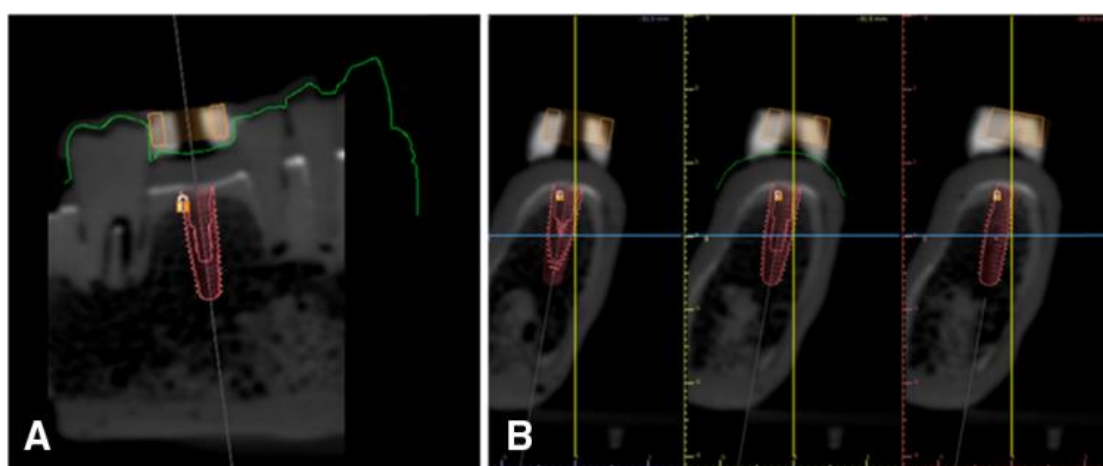
Το τελικό αποτέλεσμα που λαμβάνεται με τους ακτινογραφικούς οδηγούς από την ΑΤΚΔ εξέταση είναι μια εικόνα των γνάθων μαζί με τους ακτινογραφικούς οδηγούς και τους δείκτες. Οι δείκτες θα χρησιμεύσουν για να γίνει σωστή ενοποίηση των αρχείων της εικόνας της πρόσθεσης με τα αρχεία της εικόνας του οστού στο λογισμικό σχεδιασμού των εμφυτευμάτων (Εικ. 25). Τα πλέον συνήθη

χρησιμοποιούμενα λογισμικά είναι τα 3Shape (3SHAPE, Copenhagen, Denmark) και Exoclan (Exocad GmdH, Darmstadt, Germany).



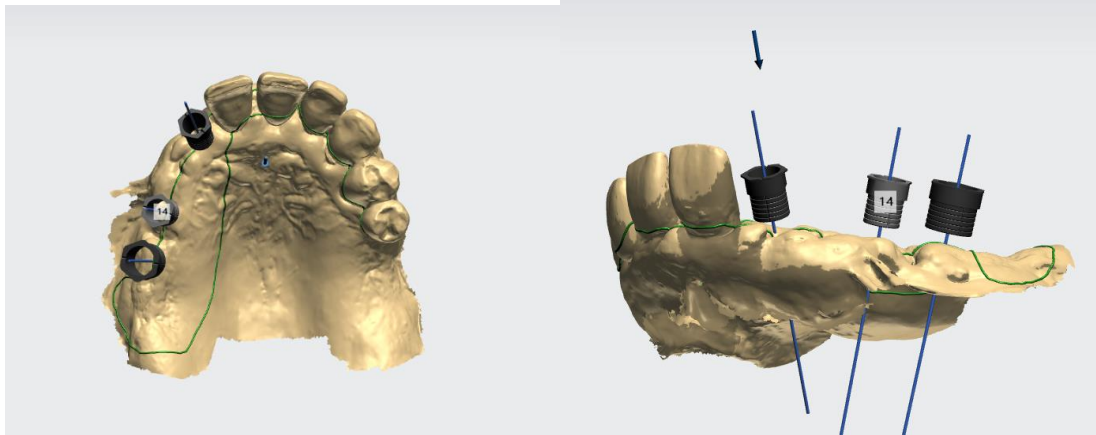
Εικ 25: Στην εικόνα (a) φαίνεται η αξονική τομογραφία. Στην εικόνα (b) είναι η σάρωση της γνάθου. Στην εικόνα (c) έγινε η ενοποίηση των αρχείων της σάρωσης του ασθενούς με την αξονική τομογραφία. (Stevens 2021)

Μόλις ολοκληρωθούν όλες οι προηγούμενες εργασίες, μπορεί να ξεκινήσει η μελέτη τοποθέτησης των εμφυτευμάτων. Αρχικά εισάγονται τα DICOM και STL αρχεία και υποβάλλονται προς επεξεργασία στο σχεδιαστικό πρόγραμμα. Στη συνέχεια εισάγεται κάποιο διαγνωστικό κέρωμα το οποίο αποτελεί προσομοίωση της τελικής εργασίας που θα κατασκευαστεί μετά την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Έτσι ελέγχεται η θέση του εμφυτεύματος σε σχέση με την προσθετική εργασία αλλά και με την ανατομία της περιοχής (οστό, αγγεία, νεύρα, αεροφόρες κοιλότητες, ανατομικές ιδιομορφίες, κλπ). (Εικ. 26)

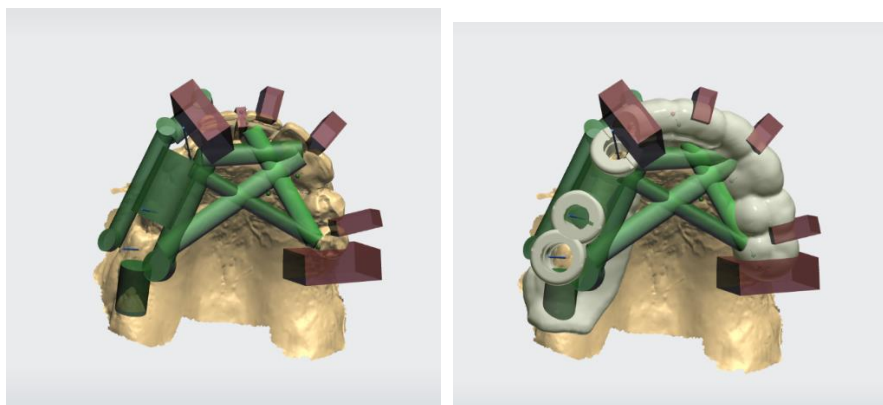


Εικ. 26: Έλεγχος της επιθυμητής θέσης τοποθέτησης του εμφυτεύματος σε σχέση με την ανατομία της περιοχής. (Henprasert et al. 2020)

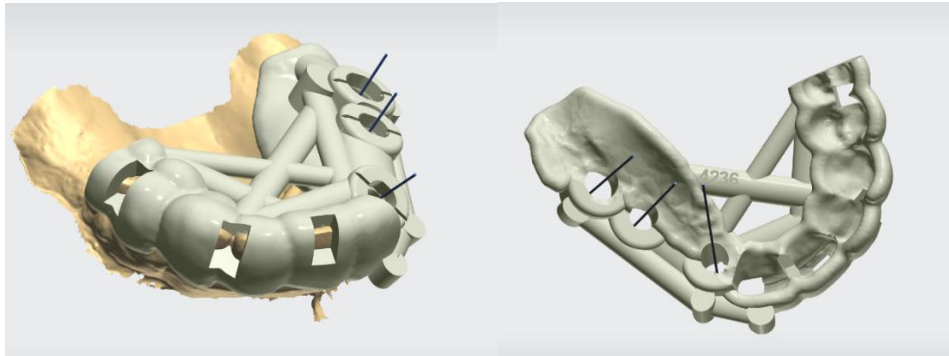
Εφόσον αποφασιστεί η κατάλληλη θέση σχεδιάζεται ο χειρουργικός οδηγός και γίνεται η εξαγωγή του αρχείου σε μορφή STL για την περαιτέρω χρήση του με 3D εκτύπωση (προσθετική τεχνική) ή σε κοπτικό μηχάνημα προκειμένου για την αφαιρετική τεχνική. Ακολουθούν κάποιες εικόνες από τον ψηφιακό σχεδιασμό χειρουργικού οδηγού με το πρόγραμμα της 3Shape και Exorlan (Εικ 27-33).



Εικ. 27-28: Σχεδιασμός του περιγράμματος του χειρουργικού οδηγού. Φαίνονται οι θέσεις των εμφυτευμάτων και οι μεταλλικοί δακτύλιοι καθοδήγησης. Το λογισμικό είναι 3SHAPE (3SHAPE, Copenhagen, Denm)



Εικ.29-30: Κατασκευή της επιφάνειας του οδηγού (3SHAPE, Copenhagen, Denm)



Εικ. 31-32: Ο οδηγός ψηφιακά σχεδιασμένος σε μορφή STL (3SHAPE)



Εικ. 33 Χειρουργικός οδηγός σχεδιασμένος με λογισμικό EXOPLAN (Exocad GmdH, Darmstadt, Germany)

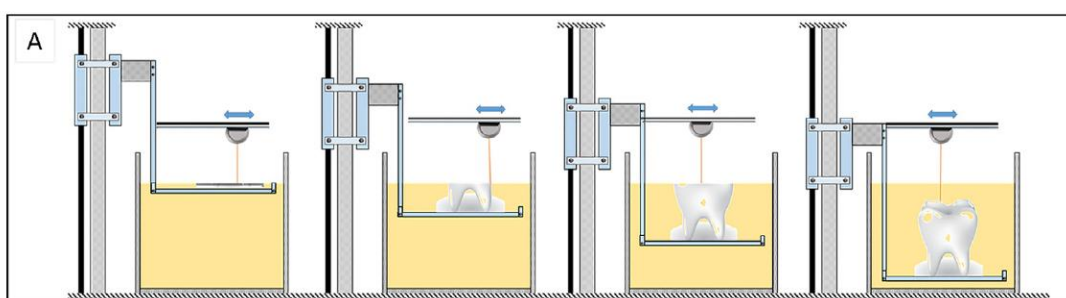
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ (ADDITIVE-ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ)

Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες διαθέσιμες, οι κυριότερες που χρησιμοποιούνται στην Οδοντιατρική και Οδοντική Τεχνολογία είναι η τεχνολογία εκτύπωσης SLA (Stereolithography), η τεχνολογία εκτύπωσης DLP (Digital Light Projection) και η τεχνολογία «ψεκασμού πολυμερούς ή υλικού» (Polymer Jetting –PJ ή Material Jetting – MJ). Παρακάτω θα αναλυθούν οι τεχνικές αυτές.

1) ΣΤΕΡΕΟΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ (STEREOLITHOGRAPHY-SLA)

Είναι μια γρήγορη διαδικασία δημιουργίας και προσφέρει μεγάλη ακρίβεια. Το 3D CAD αρχείο του νάρθηκα εκτυπώνεται μετατρέποντας το υγρό φωτοπολυμερές υλικό σε στερεό τρισδιάστατο αντικείμενο. Κάθε φορά πολυμερίζεται και ένα στρώμα του

υλικού, το οποίο σκληραίνει όταν φωτίζεται από τη δέσμη λέιζερ. Κάθε ένα από αυτά τα στρώματα δημιουργείται με τη χρήση ενός υπεριώδους λέιζερ που διαθέτει ο εκτυπωτής και το οποίο κατευθύνεται μέσω των καθρεπτών σάρωσης Χ και Ψ. Πριν ολοκληρωθεί ο κάθε κύκλος εκτύπωσης, μια ειδική λεπίδα περνάει πάνω από την τυπωμένη επιφάνεια προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κάθε στρώμα ρητίνης απλώνεται ομοιόμορφα πάνω στο τυπωμένο αντικείμενο. Έτσι δημιουργούνται οι χειρουργικοί οδηγοί με μια κατεύθυνση από κάτω προς τα επάνω (Εικ. 34) (Προμπονάς. 2021, Khorsandi et al. 2021).

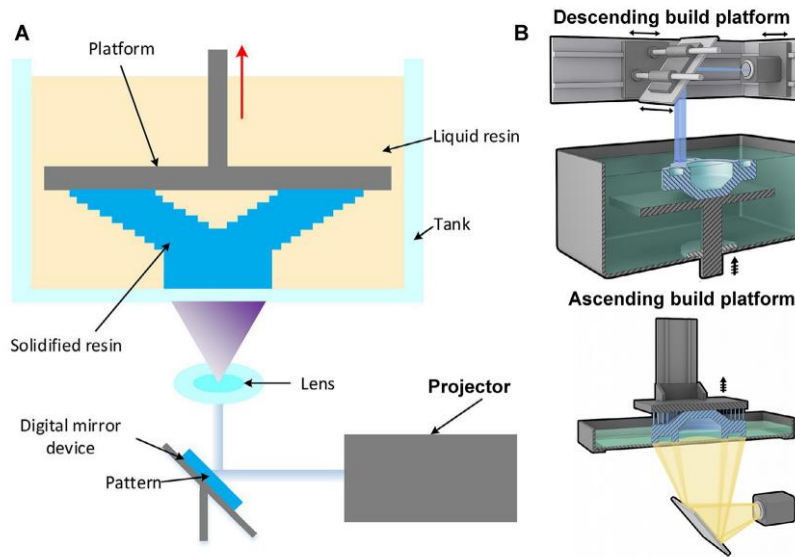


Εικ. 34. Στερεολιθογραφία. Διαστρωματική εκτύπωση (Khorsandi et al. 2021)

Αφού τελειώσει η διαδικασία της εκτύπωσης, ο οδηγός αφαιρείται από την πλατφόρμα εκτύπωσης. Στη συνέχεια καθαρίζεται σε ένα ειδικό λουτρό με ισοπροπυλική αλκοόλη. Στη συνέχεια αφαιρείται από το λουτρό και τοποθετείται σε θάλαμο έκθεσης φωτός (UV) για να σκληρύνει – πολυμεριστεί. Τέλος υποβάλλεται σε διαδικασίες θέρμανσης στους 80 βαθμούς κελσίου προκειμένου να διασφαλιστούν οι μέγιστες μηχανικές αντοχές του οδηγού.

2) ΨΗΦΙΑΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΦΩΤΟΣ (DIGITAL LIGHT PROJECTION – DLP)

Το DLP αποτελεί παλαιότερη τεχνολογία. Η υγρή πλαστική ρητίνη που χρησιμοποιεί ο εκτυπωτής τοποθετείται σε διαφανές δοχείο με ρητίνη. Η τεχνολογία εκτύπωσης DLP λειτουργεί με μια πηγή φωτός με τη χρήση ενός κοινού λαμπτήρα τόξου. Διαθέτει ψηφιακή οθόνη που προβάλλει μια εικόνα σε κάθε επίπεδο η οποία αποτελείται από τετραγωνικά πίξελ. Έτσι δημιουργείται ένα στρώμα από μικρά ορθογώνια μπλοκ, τα voxels. Η εκτύπωση είναι ταχύτερη με αυτή τη μέθοδο διότι εμφανίζεται κάθε φορά το στρώμα το οποίο θα εκτυπωθεί (Εικ. 35, 36). (Khorsandi et al. 2021)



Εικ. 35. Εκτύπωση ψηφιακής προβολής φωτός (Khorsandi et al. 2021)

Η διαδικασία που ακολουθείται μετά την εκτύπωση είναι η ίδια με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω για την SLA εκτύπωση.

Τόσο στην SLA εκτύπωση όσο και στην DLP εκτύπωση, ο οδηγός που πρόκειται να εκτυπωθεί χρειάζεται βοηθητικά στοιχεία για να μπορέσει να στηριχθεί στην πλατφόρμα εκτύπωσης. Η χρήση ή όχι υποστηρικτικών στοιχείων (pins-καρφίδες υποστήριξης) μπορεί να σχετίζεται με την πολυπλοκότητα του νάρθηκα ή ακόμα και με την εκάστοτε τεχνολογία εκτύπωσης που χρησιμοποιείται. Οι καρφίδες υποστήριξης πρέπει να αφαιρούνται και να ομαλοποιείται η επιφάνεια του νάρθηκα πριν την τελική παράδοση (Revilla – Leon et al. 2019, Khorsandi et al.2021)

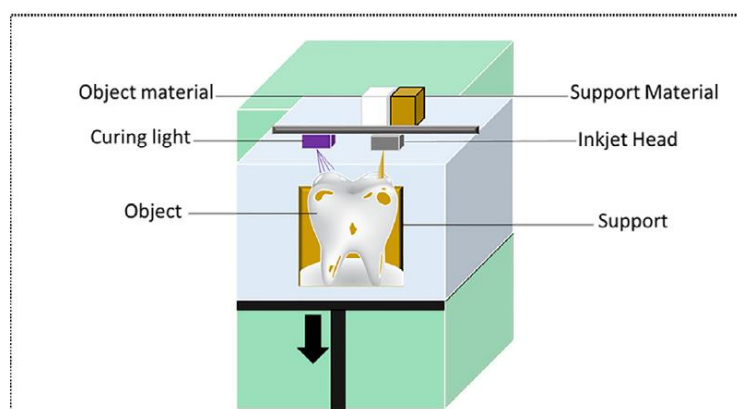


Εικ. 36. Εκτυπωτής DLP τεχνολογίας (SrintRAY pro95S

Europe GmbH, Weiterstadt, Germany)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ «ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΦΩΤΟΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ» (Photopolymer jetting – PJ)

Μια ακόμη τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί στην Οδοντιατρική για την κατασκευή οδηγών είναι η τεχνολογία της «ψεκασμού φωτοπολυμερούς υλικού» (photopolymer jetting - PJ). Σύμφωνα με αυτήν, ένα φωτοευαίσθητο πολυμερές υλικό εκτοξεύεται από ένα ρύγχος εκτυπωτή τύπου «ψεκασμού» (inkjet type) σε μια τράπεζα-βάση και η δημιουργία του αντικειμένου (πολυμερισμός) γίνεται διαστρωματικά. Η πηγή ενέργειας είναι υπεριώδης ακτινοβολία. Με την τεχνολογία αυτή μπορούν να κατασκευασθούν σύνθετα γεωμετρικά αντικείμενα με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια της τάξης των 16μm. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά υλικά όπως σιλικόνες, ρητίνες, κεριά. Υπάρχουν συσκευές με πολλές κεφαλές που κινούνται ταυτόχρονα σε όλες τις κατευθύνσεις και ανεξάρτητα σε όλη την επιφάνεια της τράπεζας-βάσης (Εικ.36). Δημιουργούνται έτσι γρήγορα και με μεγάλη λεπτομέρεια πολύπλοκα γεωμετρικά αντικείμενα, με λείες επιφάνειες και μικρή συστολή πολυμερισμού (Stansburi and Idacavage 2016, Khorsandi et al. 2021).



Εικ.36. Εκτύπωση με ψεκασμό φωτοπολυμερούς ρητίνης (Khorsandi et al. 2021)

Οι Mai et al. (2017) για να εκτιμήσουν την δυνατότητα της τεχνολογίας αυτής να κατασκευάζει ακριβείς κατασκευές σε σχέση με την χρήση συμβατικών ρητινών ή ρητινών με ψυχρή κοπή (milling), αξιολόγησαν την ακρίβεια εφαρμογής μεμονωμένων μεταβατικών στεφανών κατασκευασμένων με τις τεχνολογίες αυτές. Η στεφάνες από 3d PJ είχαν σημαντικά καλύτερη ακρίβεια εφαρμογής από τις

συμβατικές ρητίνες, ενώ ήταν εξίσου ακριβείς με τις ψυχρά «κομμένες» στεφάνες. Αυτό αποδόθηκε στο ότι η συστολή πολυμερισμού ήταν σημαντικά μικρότερη την 3d PJ λόγω του τύπου του πολυμερισμού που είναι διαστρωματικός διασταυρούμενος πολυμερισμός (cross sectional-layer by layer) κι έτσι οι ογκομετρικές μεταβολές είναι μικρότερες. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Alharbi et al. (2016) και Stansbury et al. (2016), οι οποίοι μάλιστα έδειξαν ότι η απόδοση των λεπτομερειών της μασητικής επιφάνειας ήταν ανώτερη στην 3d PJ τεχνολογία.

Ο Dawoo et al. (2015) αναφέρουν την κατασκευή οδηγών με μεταλλικούς δακτύλιους για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων με διάφορες τεχνικές 3d εκτύπωσης. Η PJ αξιολογείται ότι έχει τα πλεονεκτήματα της ακρίβειας διαστάσεων, της απόδοσης λείων και λεπτομερών επιφανειών, καθώς και του μικρού χρόνου εργασίας. Όμως το στήριγμα που δημιουργείται στην βάση είναι πολλές φορές δύσκολο να αφαιρεθεί με κίνδυνο θραύσης, ο ψεκασμός του πολυμερούς δημιουργεί περιβάλλον επικίνδυνο για μόλυνση του χρήστη, τα υλικά αυτά απολυμαίνονται χημικά με τη χρήση ειδικών διαλυμάτων ενώ έχουν πολύ υψηλό κόστος. Η συσκευή δεν είναι πολύ ακριβή. Η τεχνολογία αυτή λοιπόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή οδηγών αφού εκτιμηθούν όλα αυτά τα στοιχεία (Khorsandi et al. 2021).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ (MILLING)

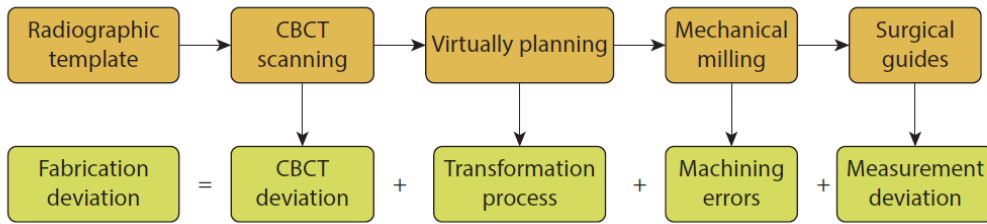
Η κατασκευή με τη μέθοδο της αφαίρεσης πραγματοποιείται σε ένα 5-αξονικό μηχάνημα. Αφού σχεδιαστεί ψηφιακά ο νάρθηκας, το STL αρχείο εξάγεται και εισάγεται στο CNC πρόγραμμα του κοπτικού. Σταθεροποιείται στον βραχίονα του κοπτικού η προπολυμερισμένη πλάκα ακρυλικού και ξεκινάει η διαδικασία της κοπής. (Liu et al. 2022)

Οι ψυχρά κατεργασμένοι οδηγοί παρέχουν μεγάλοι ακρίβεια. Ωστόσο έχουν υψηλό κόστος, αρκετό ανεκμετάλλευτο υλικό λόγω της αφαιρετικής μεθόδου. Επίσης υπάρχει περιορισμός του ύψους του οδηγού, αφού οι προκατασκευασμένες πλάκες έχουν συγκεκριμένα χιλιοστά ύψους (Liu et al.2022) (Εικ.37).



Εικ. 37: Χειρουργικοί οδηγοί με τη μέθοδο εκτύπωσης (αριστερά) και τη μέθοδο κοπής (δεξιά). (Henprasert , 2020)

Κατά την κατασκευή με αυτήν την τεχνολογία υπάρχουν μια σειρά από παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την τελική ακρίβεια. Το λογισμικό συλλογής των δεδομένων, η ενσωμάτωση των πληροφοριών αυτών στα λογισμικά του ψηφιακού σχεδιασμού και η μεταφορά των εντολών στο κατασκευαστικό στάδιο μπορούν να εισάγουν σφάλματα που επηρεάζουν την ακρίβεια των ψυχρά κατεργασμένων χειρουργικών οδηγών (Li et al. 2022). Οι Park et al. (2014) αξιολόγησαν σε in vitro μελέτη τους ότι η ακρίβεια αυτή είναι της τάξης 0.14mm σε οριζόντια διάσταση (μέση τιμή) και 0.20mm σε κάθετη διάσταση. Μέγιστες τιμές αυτών σφαλμάτων αντίστοιχα ήταν 0.68mm και 0.41mm. Οι τιμές αυτές ήταν στα κλινικά αποδεκτά όρια και κατά τους συγγραφείς πολύ καλύτεροι από οδηγούς που ήταν κατασκευασμένοι με τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης (Rapid Prototyping) (Li et al. 2022). Τα νέα CNC μηχανήματα ψυχρής κοπής, έχουν κοπτικά σε πέντε άξονες με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα. Τα τελικά σφάλματα που προκύπτουν είναι αποτέλεσμα πολλών πιθανών σφαλμάτων σε όλα τα στάδια της διαδικασίας της ψυχρής κοπής (Lin et al. 2014) (Εικ.38).



Εικ 38. Σχηματικό γράφημα των σταδίων της διαδικασίας ψυχρής κοπής (milling) κατά τα οποία μπορούν να εισαχθούν σφάλματα λογισμικού ή κατασκευής (Li et al. 2022)

VI.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα τις μεθόδους καθοδήγησης που χρησιμοποιούνται για την χειρουργική τοποθέτηση των εμφυτευμάτων με χειρουργικούς οδηγούς. Η τοποθέτηση των εμφυτευμάτων χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: την δυναμική και την στατική καθοδήγηση. Η στατική καθοδήγηση χωρίζεται σε πλήρως καθοδηγούμενη και μερικώς καθοδηγούμενη. Η μερικώς στατική καθοδήγηση περιέχει το τρυπάνι καθοδήγησης, το Pilot τρύπανο καθοδήγησης, και άλλες τεχνικές που δεν περιέχουν την χρήση CAD/CAM τεχνολογίας. Στην δυναμική καθοδήγηση (πλήρως κατευθυνόμενη χειρουργική τοποθέτηση σελ. 40), ο τρυπανισμός του οστού και η τοποθέτηση του εμφυτεύματος εντοπίζονται με τη χρήση ενός συγκεκριμένου λογισμικού. Αντιθέτως, η στατική καθοδήγηση (μερικώς ή ελεύθερη χειρουργική τοποθέτηση σελ. 40) αναφέρεται στη χρήση σταθερού χειρουργικού οδηγού.

Παρακάτω θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ:

- 1) Η δυναμική καθοδήγηση μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της χειρουργικής τοποθέτησης σε σχέση με την μερική καθοδήγηση.

- 2) Βάση πολλών ερευνών, παρατηρήθηκε ότι η ακρίβεια στην κλίση του τοποθετημένου εμφυτεύματος, οφείλεται στην τοποθέτηση με δυναμική καθοδήγηση σε σύγκριση με την μερική καθοδήγηση.
- 3) Το λογισμικό της δυναμικής καθοδήγησης επιτρέπει την ακριβή τοποθέτηση του εμφυτεύματος με τον σωστό παραλληλισμό.
- 4) Το λογισμικό της δυναμικής καθοδήγησης δίνει την δυνατότητα στον κλινικό να τροποποιεί το σχέδιο θεραπείας κατά τη διάρκεια του χειρουργείου. (Block et al. 2017, Brief et al. 2005, Hoffmann et al. 2005, Kramer et al. 2005)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ:

- 1) Κάποιο λάθος του λογισμικού το οποίο επηρεάζει την σχέση μεταξύ των σημείων αναφοράς και του ασθενή, μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα κατά τον τρυπανισμό και την τοποθέτηση του εμφυτεύματος (Brief et al. 2005).
- 2) Όλα τα στάδια της χειρουργικής διαδικασίας θα πρέπει να γίνονται ακολουθώντας τα πρωτόκολλα προκειμένου να αποφευχθούν σφάλματα τα οποία θα έχουν σοβαρές επιπτώσεις στον ασθενή (Block et al. 2017).
- 3) Υπάρχει μια χρονική καμπύλη εκμάθησης και εκπαίδευσης, πριν η μέθοδος εφαρμοστεί σε ασθενή.
- 4) Το κόστος του εξοπλισμού είναι αρκετά μεγάλο
- 5) Θα πρέπει να γίνουν αρκετές κλινικές μελέτες και όχι τόσο εργαστηριακές μελέτες προκειμένου να προσδιοριστεί η αξιοπιστία (Brief et al. 2005, Hoffmann et al. 2005, Kramer et al. 2005)

ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ

Στην στατική καθοδήγηση τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μπορούν να χωριστούν με βάση: α) τον τύπο στήριξης του χειρουργικού οδηγού, β) τον τύπο της χειρουργικής ορατότητας και γ) τον είδος τρυπανισμού και τοποθέτησης του εμφυτεύματος.

Α) ΤΥΠΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΥ ΟΔΗΓΟΥ

Υπάρχουν τρεις τύποι στήριξης χειρουργικών οδηγών και χωρίζονται ανάλογα με την κατάσταση της στοματικής κοιλότητας του ασθενούς. Αυτοί είναι η διαβλεννογόνια

στήριξη (αναφέρεται σε τελείως νωδή γνάθο), η οστική στήριξη και η οδοντική στήριξη. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για κάθε μια από αυτές τις τρεις περιπτώσεις.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΔΙΑΒΛΕΝΝΟΓΟΝΙΑΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

- 1) Οι χειρουργικοί οδηγοί διαβλεννογόνιας στήριξης προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τους χειρουργικούς οδηγούς οστικής στήριξης. (Arisan et al. 2010, 2013a)
- 2) Η μεγαλύτερη ακρίβεια που προσφέρουν οι χειρουργικοί οδηγοί διαβλεννογόνιας στήριξης μπορεί να σχετίζονται με την ανάγκη ανύψωσης των χειρουργικών κρημνών που έχουν οι οδηγοί οστικής στήριξης, οι οποίοι τελικά παρεμβαίνουν στους χειρουργικούς νάρθηκες. (Arisan et al. 2010)
- 3) Έτσι οι χειρουργικοί οδηγοί διαβλεννογόνιας στήριξης προσφέρουν χειρουργική επέμβαση χωρίς κρημνούς. Αυτό επιφέρει λιγότερο πόνο, πρήξιμο και λιγότερη νοσηρότητα.
- 4) Οι ασθενείς είναι περισσότερο ικανοποιημένοι και μειώνεται και ο χρόνος της χειρουργικής διαδικασίας. (Arisan et al. 2013a; Vercruyssen et al. 2014b)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΔΙΑΒΛΕΝΝΟΓΟΝΙΑΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ:

- 1) Στην χειρουργική επέμβαση χωρίς κρημνούς, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση μοσχεύματος οστού. Επομένως περιορίζεται η χρήση του μόνο για συγκεκριμένα περιστατικά.
- 2) Η χρήση μοσχεύματος μαλακών ιστών θα πρέπει να είναι και αυτή περιορισμένη στο κανάλι τρυπανισμού.
- 3) Η στήριξη του χειρουργικού οδηγού μπορεί να είναι περιορισμένη σε σχέση με έναν οδηγό οδοντικής στήριξης. (Vercruyssen et al. 2015b).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΟΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ:

- 1) Το κυρίως πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η διευκόλυνση που προσφέρει για την τοποθέτηση οστικού μοσχεύματος για να αντιμετωπιστούν οι εκάστοτε ανατομικές ανεπάρκειες.
- 2) Η ανοιχτή με κρημνούς χειρουργική επέμβαση προσφέρει άμεση οπτική επαφή στο οστό, στις ανατομικές δομές (πχ νεύρα) αλλά και στα όρια του οστού της ρινικής κοιλότητας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΟΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ:

- 1) Αποτελεί επίπονη χειρουργική διαδικασία για τον ασθενή
- 2) Απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση αναλγητικών από τον ασθενή
- 3) Προκαλείται μεγάλο μετεγχειρητικό πρήξιμο
- 4) Απαιτείται περισσότερος χρόνος για την χειρουργική επέμβαση (Arisan et al. 2013a, Vercruyssen et al. 2014b).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

- 1) Υπάρχει μεγαλύτερη συγκράτηση του χειρουργικού οδηγού διότι τα εναπομείναντα δόντια στο στόμα του ασθενούς προσφέρουν περισσότερη στήριξη
- 2) Σύμφωνα με έρευνες, οι χειρουργικοί οδηγοί οδοντικής στήριξης προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με αυτούς της διαβλεννογόνιας στήριξης.
- 3) Οι χειρουργικοί οδηγοί οδοντικής και διαβλεννογόνιας στήριξης προσφέρουν τη μεγαλύτερη ακρίβεια από το στάδιο μελέτης του περιστατικού έως και την τελική τοποθέτηση του εμφυτεύματος (Gallardo et al. 2017).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ:

- 1) Εάν απαιτείται ένα πτερύγιο στήριξης, αυτό μπορεί να επηρεάσει τον χειρουργικό οδηγό και να υπάρξει διαφορά στην θέση τοποθέτησης του εμφυτεύματος. Για αυτό στο προ-χειρουργικό στάδιο προτείνεται να

αποφεύγεται ο σχεδιασμός πτερυγίων για να αποφεύγονται οι παρεμβολές.
(Arisan et al. 2010)

B) ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ

Το χαρακτηριστικό της ορατότητας των οδηγών εντοπίζεται σε δυο σημεία.

Όταν ο οδηγός εφαρμόζεται επάνω στο ανοιχτό χειρουργικό πεδίο, πρέπει να είναι δυνατή η επισκόπηση των ιστών από τον κλινικό. Γι' αυτό ο οδηγός πρέπει να είναι διαφανής, ώστε να επιτρέπει την οπτική πρόσβαση του επεμβαίνοντος και στο σημείο της τοποθέτησης των εμφυτευμάτων αλλά και στους περιβάλλοντες ιστούς. Όταν εμπεριέχει μεταλλικούς δακτύλιους για την καθοδήγηση των τρυπάνων, μπορεί να δυσκολεύει την ορατότητα στο κρίσιμο αυτό σημείο. Γι' αυτό θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένος ώστε να είναι αυτό εφικτό. Συνήθως αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία μιας θυρίδας - οπής παρειακά. Όλες οι κατηγορίες των πολυμερών που χρησιμοποιούνται έχουν αυτήν την δυνατότητα.

Ένα άλλο σημείο που σχετίζεται με την ορατότητα είναι η περίπτωση της εφαρμογής των οδηγών σε περιπτώσεις επεμβάσεων χωρίς αναπέταση κρημονού (flapless). Η τεχνική αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά δε μπορεί ο κλινικός να έχει άμεση επαφή με το χειρουργικό πεδίο. Ο σχεδιασμός του οδηγού πρέπει να έχει απόλυτη ακρίβεια, γιατί είναι μεγαλύτερη η πιθανότητα προβλημάτων με τα παρακείμενα ανατομικά στοιχεία, ιδιαίτερα σε οριακές περιπτώσεις. Θα αναλυθούν αργότερα όλες οι παράμετροι αυτής της τεχνικής.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Τα εμφυτεύματα και το τρυπάνι καθοδηγούνται πλήρως από τον χειρουργικό οδηγό και έτσι αποφεύγεται οποιαδήποτε πιθανή τροποποίηση του τρυπανισμού του οστού. (Boa et al. 2016, Liu et al. 2018).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Το αποτέλεσμα εξαρτάται πλήρως από την προ-χειρουργική μελέτη που έγινε και στην αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία του εκάστοτε συστήματος εμφυτευμάτων που χρησιμοποιείται. Και αυτό γιατί η συχνότητα τρυπανισμού ή η λάθος θέση τοποθέτησης του εμφυτεύματος δεν μπορεί να ελεγχθεί.
- 2) Δεν επιτρέπουν την άμεση επαφή του υγρού ψύξης με το τρυπάνι κατά την προετοιμασία του οστού. Αυτό μπορεί να αύξηση την θερμοκρασία του οστού και πιθανόν να τεθεί σε κίνδυνο η θεραπεία. (Boa et al. 2016, Liu et al. 2018)

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΤΥΠΟΥ:

- 1) Τα τρυπάνια και τα εμφυτεύματα μπορούν να οδηγηθούν μερικώς ή και εξ ολοκλήρου από τον νάρθηκα.
- 2) Κάποια προ-χειρουργικά σφάλματα ή κάποιες ανακρίβειες του συστήματος μπορούν να παρακαμφθούν γιατί υπάρχει άμεση οπτική επαφή του οστού κατά τον τρυπανισμό.
- 3) Η απώλεια οστού ή μαλακών ιστών μπορεί να εντοπιστεί και να διορθωθεί με κάποιο μόσχευμα
- 4) Επιτρέπει μεγαλύτερη επαφή του υγρού ψύξης με το τρυπάνι και έτσι μειώνεται η θερμοκρασία του οστού (Boa et al. 2016, Liu et al. 2018).

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΤΥΠΟΥ:

- 1) Τα επιθυμητά αποτελέσματα εξαρτώνται στις προ-χειρουργικό σχέδιο μελέτης και στην αξιοπιστία του συστήματος της κάθε εταιρίας εμφυτευμάτων.

Γ) ΕΙΔΟΣ ΤΡΥΠΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΟΣ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΩΣ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ

- 1) Μεγάλη ακρίβεια.
- 2) Παρουσιάζει ευκολία στην κατασκευή προσωρινής εργασίας και χρειάζεται λιγότερος χρόνος προσαρμογής.(Vercruyssen et al. 2015a, 2014a, f Arisan et al. 2013b),

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΩΣ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Εντοπίζουν το ακριβές σημείο τρυπανισμού και τη θέση του εμφυτεύματος αλλά δεν επιτρέπουν οποιαδήποτε αλλαγή του σχεδίου θεραπείας κατά το χειρουργείο.
- 2) Χρειάζονται γνώσεις του σχεδιαστικού προγράμματος
- 3) Οποιοδήποτε λάθος κατά τον προ-χειρουργικό σχεδιασμό του χειρουργικού οδηγού δεν εντοπιστεί, μεταφέρεται στο χειρουργείο και έτσι μπορεί να τοποθετηθεί το εμφύτευμα σε λάθος θέση.
- 4) Το κόστος του εξοπλισμού είναι μεγάλο (Vercruyssen et al. 2015a, 2014a, f Arisan et al. 2013b),

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΡΙΚΩΣ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Έχει παρόμοια πλεονεκτήματα με αυτά των στατικά πλήρως καθοδηγούμενων χειρουργικών οδηγών
- 2) Παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια στην τοποθέτηση του εμφυτεύματος.
- 3) Υπάρχει άμεση ορατότητα του εμφυτεύματος και των γύρω μαλακών ιστών κατά την τοποθέτηση. (Block et al. 2017),

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΡΙΚΩΣ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Η οριζόντια θέση του εμφυτεύματος δεν καθοδηγείται από τον χειρουργικό νάρθηκα κατά την τοποθέτηση του εμφυτεύματος. Αυτό μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις εάν γίνει πρώτα ο τρυπανισμός και τοποθετηθεί το εμφύτευμα σε δεύτερη φάση (Noharet et al. 2014).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΙΛΟΤΙΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Δίνει την δυνατότητα τροποποίησης ακόμα και μετά τον τρόπο τρυπανισμό.
- 2) Οποιοδήποτε λάθος έχει γίνει κατά την προ-χειρουργική μελέτη δεν θα οδηγήσει απαραίτητα σε λανθασμένη τοποθέτηση του εμφυτεύματος
- 3) Προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια τοποθέτησης του εμφυτεύματος (Noharet et al. 2014)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΙΛΟΤΙΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ:

- 1) Πρέπει ο κλινικός να έχει εμπειρία στις χειρουργικές διαδικασίες, προκειμένου να αποφευχθεί η λανθασμένη τοποθέτηση του εμφυτεύματος, γιατί στο οριζόντιο επίπεδο δεν υπάρχει καλός έλεγχος (Noharet et al. 2014)

VI.4 Αξιοπιστία και ακρίβεια των χειρουργικών οδηγών ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής

Για αρκετά χρόνια η τοποθέτηση των εμφυτευμάτων γινόταν χωρίς την χρήση χειρουργικού οδηγού. Μόνο η χρήση του ακτινογραφικού οδηγού ήταν επιτακτική. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, αναπτύχθηκε και η χρήση του χειρουργικού οδηγού. Ο ρόλος του είναι η σωστή και ακριβής τοποθέτηση του εμφυτεύματος όσον αφορά τη θέση και την κλίση με την χρήση της τεχνολογίας της ΑΤΚΔ. Ωστόσο, η αυτού καθ' αυτού αξιοπιστία και ακρίβειά τους πρέπει να μελετηθεί μέσω της διαδικασίας ερευνών. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι κατασκευής χειρουργικών ναρθήκων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποιες έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα οι οποίες αναφέρονται στην αξιοπιστία και ακρίβεια των χειρουργικών οδηγών ανάλογα με την μέθοδο κατασκευής τους.

Η ακρίβεια ενός χειρουργικού οδηγού μπορεί να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι μπορεί να είναι:

- 1) Η μέθοδος κατασκευής του χειρουργικού οδηγού (συμβατική μέθοδος ή με τη χρήση τεχνολογίας)
- 2) Ο τύπος του χειρουργικού οδηγού
- 3) Το σύστημα των εμφυτευμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν οι παράγοντες αυτοί μέσω των σχετικών ερευνητικών μελετών.

- 1) Μέθοδος κατασκευής χειρουργικού οδηγού (συμβατική ή με τη χρήση τεχνολογίας)

Στην έρευνα των Matta et al (2017) συγκρίθηκαν οδηγοί που κατασκευάστηκαν με δύο διαφορετικές μεθόδους. Ο ένας κατασκευάστηκε από θερμοπολυμεριζόμενο υλικό (συμβατική μέθοδος) και ο άλλος κατασκευάστηκε με την μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο ψηφιακό σχέδιο θεραπείας το οποίο βασίστηκε σε ένα ψηφιοποιημένο εκμαγείο γύψου και έτσι κατασκευάστηκαν δύο ειδών οδηγούς για το κάθε περιστατικό (ένας με συμβατική τεχνική και ένας με εκτύπωση). Αυτή η διαδικασία ακολουθήθηκε για δεκατρείς διαφορετικές περιπτώσεις, όλες με τοποθέτηση ενός εμφυτεύματος. Και οι δύο οδηγοί σε κάθε περίπτωση εφαρμόστηκαν στο εκμαγείο, ελέγχθηκαν με τη χρήση ενός βιομηχανικού οπτικού σαρωτή λευκού φωτός (τον ATOS II, GOM mbh, Braunschweig, Germany), και συγκρίθηκε το σύνολο των ψηφιοποιημένων εικόνων. Μετρώντας την τρισδιάστατη γεωμετρία των μεταλλικών δακτυλίων καθοδήγησης, αξιολογήθηκαν οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο χειρουργικών οδηγών. Το συμπέρασμα της έρευνας αυτής ήταν ότι οι δύο μέθοδοι παρουσίασαν μικρές διαφορές. Ωστόσο και οι 2 μέθοδοι θεωρούνται αξιόπιστες για τη μεταφορά της θέσης του εμφυτεύματος από το σχέδιο θεραπείας, στο στοματικό περιβάλλον. (Matta, 2017)

Ο ρόλος ενός χειρουργικού οδηγού είναι η μεταφορά του ψηφιακού σχεδίου τοποθέτησης, στο κλινικό περιβάλλον. Ανακρίβειες που μπορεί να αναμένονται όταν χρησιμοποιείται ένας χειρουργικός οδηγός έχουν ήδη αποδειχθεί. Επομένως, στην διαφορά που εμφανίστηκε μεταξύ της θέσης του εμφυτεύματος που υπολογίστηκε στο σχέδιο θεραπείας και της τελικής θέσης τοποθέτησης, συνυπολογίστηκαν και άλλα πιθανά σφάλματα. Σύμφωνα με τους Valente et. al. (2009) τα σφάλματα αυτά

μπορεί να είναι στην απεικόνιση των ακτίνων Χ, σφάλματα που προκύπτουν κατά την διαδικασία κατασκευής των νάρθηκων, ανακρίβειες από την θέση τοποθέτησης και κίνησης του νάρθηκα, σφάλματα τα οποία οφείλονται στις διαφορετικές διαμέτρους των μεταλλικών δακτυλίων καθοδήγησης και των τρυπανιών καθώς και σε περιορισμούς που σχετίζονται με τον ασθενή όπως για παράδειγμα η μέγιστη διάνοιξη του στόματος και το μήκος του εργαλείου τρυπανισμού. Τέλος σημαντικός παράγοντας αποτελεί και το ανθρώπινο σφάλμα. (Valente et al. 2009)

Το συμπέρασμα της έρευνας των Matta et. Al (2017). ήταν ότι παρ' όλο που οι δύο μέθοδοι κατασκευής παρουσίασαν διαφορές στατιστικά, οι αποκλίσεις κυμαίνονταν εκτός του δεκαδικού εύρους επομένως τόσο οι χειρουργικοί οδηγοί κατασκευασμένοι με την συμβατική μέθοδο όσο και αυτοί με την χρήση τεχνολογίας CAD/CAM είναι κλινικά αποδεκτοί. (Matta et al. 2017)

Σύμφωνα με την έρευνα των Nickenig et al (2010) που σύγκριναν την μη καθοδηγούμενη τοποθέτηση εμφυτευμάτων με την καθοδηγούμενη, συμπέραναν ότι με τη χρήση χειρουργικού οδηγού υπήρχε μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης, η χρήση χειρουργικού οδηγού προσφέρει ασφάλεια και καθοδήγηση στα εργαλεία τοποθέτησης σε όλες τις κατευθύνσεις. Επομένως επιβεβαιώνεται η ακρίβεια των χειρουργικών οδηγιών ως μέθοδος. (Nickenig et al. 2010)

Οι Kim et. al, διεξήγαγαν μια έρευνα στην οποία μελέτησαν την τοποθέτηση 24 εμφυτευμάτων σε 12 ασθενείς με την χρήση ψηφιακού χειρουργικού οδηγού. Μετρήθηκαν οι διαφορές πριν την τοποθέτηση στο σχέδιο θεραπείας και μετά την τοποθέτηση. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν η απόσταση από τον αυχένα του εμφυτεύματος και η κατακόρυφη διάσταση καθώς και η γωνιακή απόκλισή τους. (Kim 2022)

Το συμπέρασμα της έρευνάς τους ήταν ότι η τοποθέτηση εμφυτεύματος με τη χρήση χειρουργικού οδηγού ο οποίος κατασκευάστηκε με τη χρήση τεχνολογίας CAD/CAM είναι ακριβής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κλινικά. (Kim et al. 2022)

Παρέθεσαν επιπλέον και κάποιους άλλους παράγοντες – περιορισμούς οι οποίοι σχετίζονται με την ακρίβεια των χειρουργικών οδηγιών και την χρήση τους;

- Οι χειρουργικοί οδηγοί μπορεί να μειώσουν τον διαθέσιμο ενδοστοματικό χώρο και να δημιουργήσουν περιορισμούς στην τοποθέτηση του εργαλείου τρυπανισμού. Επομένως, προτείνεται η χρήση του σε ασθενείς που έχουν τη δυνατότητα επαρκούς διάνοιξης του στόματος. Μόνο τότε μπορεί να αποδοθεί η ακρίβεια και η σωστή χρήση του.
- Οι χειρουργικοί οδηγοί μπορεί να χρειαστούν τροποποιήσεις όταν πρόκειται τοποθέτηση εμφυτεύματος στην περιοχή των γομφίων. Η δυσκολία παρουσιάζεται λόγω περιορισμένης προσβασιμότητας του εργαλείου τρυπανισμού.
- Η σταθερότητα του χειρουργικού οδηγού στην στοματική κοιλότητα κατά τη χειρουργική διαδικασία είναι σημαντική για την ακρίβεια τοποθέτησης. (Kim et al. 2022)

Σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες όλες οι μέθοδοι κατασκευής παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό ακρίβειας ο οποίος είναι κλινικά αποδεκτός. Η επιλογή της μεθόδου κατασκευής του χειρουργικού οδηγού εξαρτάται από παράγοντες όπως για παράδειγμα τις μεθόδους που γνωρίζει και επιλέγει ο κλινικός αλλά και ο οδοντικός τεχνολόγος τον διαθέσιμο εξοπλισμό, καθώς και τα υλικά. Επομένως ανάλογα το κάθε περιστατικό και τις γνώσεις του εκάστοτε χρήστη θα πρέπει να γίνεται η επιλογή της ανάλογης μεθόδου.

2) Τύπος του χειρουργικού οδηγού

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι χειρουργικών οδηγών οι οποίοι κατατάσσονται ανάλογα με την επιφάνεια στήριξής τους. Αυτοί είναι οι χειρουργικοί οδηγοί οστικής στήριξης, οι χειρουργικοί οδηγοί οδοντικής στήριξης και αυτοί της διαβλεννογόνιας στήριξης. Προκειμένου να αξιολογηθεί η ακρίβεια του κάθε είδους, θα πρέπει να θεωρηθεί δεδομένη η ακρίβεια του σχεδίου θεραπείας η οποία αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχία.

Μια αξιοσημείωτη μελέτη έγινε από τους Turbush et al (2012) που σκοπός της ήταν η σύγκριση της ακρίβειας της τοποθέτησης εμφυτευμάτων με την χρήση 3 διαφορετικών τύπων χειρουργικού οδηγού. Η μηδενική υπόθεση ήταν ότι δεν υπάρχουν διαφορές στις γραμμικές αποκλίσεις στον αυχένα και στην κορυφή του

εμφυτεύματος καθώς και ότι η γωνιακή απόκλιση στις 360 μοίρες των εμφυτευμάτων που τοποθετήθηκαν υπό ιδανικές συνθήκες με τους 3 τύπους οδηγών σε σύγκριση με τις προγραμματισμένες θέσεις. (Turbush et al. 2012)

Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν 30 εκμαγεία της κάτω γνάθου από ακρυλική ρητίνη με τη μέθοδο της στερεολιθογραφίας με βάση τα δεδομένα από την σάρωση της αξονικής τομογραφίας κωνικής δέσμης ενός ασθενούς με πλήρη νωδότητα. Δέκα από τις κάτω γνάθους τροποποιήθηκαν ψηφιακά πριν από την κατασκευή με την προσθήκη 4 δοντιών και δέκα από τις κάτω γνάθους τροποποιήθηκαν μετά την κατασκευή με μαλακή ακρυλική ρητίνη για την προσομοίωση του βλεννογόνου. Συνολικά σχεδιάστηκαν και τοποθετήθηκαν 150 εμφυτεύματα με την χρήση των χειρουργικών οδηγών οι οποίοι κατασκευάστηκαν με την μέθοδο SLA. Οι προεγχειρητικές και οι μετεγχειρητικές σαρώσεις της ΑΤΚΔ τοποθετήθηκαν η μία πάνω στην άλλη (ταυτοποιήθηκαν) προκειμένου να γίνει σύγκριση της εικονικής τοποθέτησης του εμφυτεύματος με την πραγματική τοποθέτηση.

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των 3 τύπων των χειρουργικών οδηγών κατά τη σύγκριση της γωνιακής απόκλισης. Επίσης έδειξε ότι οι χειρουργικοί οδηγοί που στηρίζονται στον βλεννογόνο ήταν λιγότερο ακριβείς σε σχέση με αυτούς που στηρίζονται στα δόντια και αυτούς που στηρίζονται στο οστό, όσον αφορά τη γραμμική απόκλιση στον αυχένα και την κορυφή του εμφυτεύματος. Τέλος, οι χειρουργικοί οδηγοί που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη ήταν ακριβείς παρ' όλο που χρησιμοποιήθηκαν από έναν όχι τόσο έμπειρο κλινικό. (Turbush et al. 2012)

Σε μια άλλη έρευνα που έγινε από τους Horwitz et al. (2009) σχεδιάστηκε η τοποθέτηση 9 εμφυτευμάτων σε προεγχειρητικές αξονικές τομογραφίες 6 γνάθων. Ωστόσο οι χειρουργικοί οδηγοί δεν κατασκευάστηκαν με στερεολιθογραφία SLA αλλά με την συμβατική μέθοδο. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας οι συγγραφείς κατέληξαν ότι ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή παρέχει καλή ακρίβεια. Οι αποκλίσεις πιθανώς σχετίζονταν με σφάλματα κατασκευής – ένα πρόβλημα που θα μπορούσε να μειωθεί με τη μέθοδο SLA. (Horwitz et al. 2009)

Σύμφωνα όμως με μια άλλη έρευνα των Ozan et al. (2009) συμπεραίνεται ότι οι χειρουργικοί οδηγοί που στηρίζονται στον βλεννογόνο είναι λιγότερο ακριβείς από τους οδηγούς που στηρίζονται στα δόντια και τους οδηγούς που στηρίζονται στο οστό. Η μειωμένη ακρίβεια οφείλεται στην ενδοτικότητα των μαλακών ιστών σε σύγκριση με εκείνη των οστών και των δοντιών. Μεταξύ των χειρουργικών οδηγών που στηρίζονται σε δόντια ή σε οστό δεν παρουσιάζονται διαφορές. (Ozan et al. 2009)

Ένας επιπλέον παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει την έδραση του χειρουργικού οδηγού στους μαλακούς ιστούς είναι η παραμόρφωσή τους μετά την χορήγηση της αναισθησίας. Υπάρχει πιθανότητα να επηρεαστεί η θέση του εμφυτεύματος. Η μεταφορά του ψηφιακού σχεδίου θεραπείας που μέσω χειρουργικών οδηγών που στηρίζονται στα οστά είναι ίσως καλύτερη από αυτούς που στηρίζονται σε μαλακούς ιστούς. (Cuhna et al. 2021)

Σύμφωνα λοιπόν με όλες τις παραπάνω έρευνες, οι χειρουργικοί οδηγοί παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια ανεξαρτήτως το είδος τους. Ωστόσο οι χειρουργικοί οδηγοί που στηρίζονται στον βλεννογόνο παρουσιάζουν ίσως λίγο μικρότερη ακρίβεια. Όλα τα είδη όμως των χειρουργικών οδηγών θεωρούνται κλινικά αποδεκτά.

3) Το σύστημα των εμφυτευμάτων

Στη σύγχρονη εμφυτευματολογία υπάρχουν πολυάριθμα συστήματα εμφυτευμάτων. Το κάθε σύστημα επιλέγεται από τον κλινικό ανάλογα με τις συνθήκες της κάθε περίπτωσης και έχει θετικά και αρνητικά στοιχεία. Γενικώς μικρές αποκλίσεις εγγύς-άπω και παρειο-γλωσσικά είναι αναμενόμενες στην καθοδηγούμενη χειρουργική. Υπάρχει όμως πιθανότητα η ακρίβεια του χειρουργικού οδηγού να σχετίζεται και με το σύστημα εμφυτευμάτων που χρησιμοποιείται.

Οι Yeung et al. (2020) στην έρευνά τους εξέτασαν την ακρίβεια 3D εκτυπωμένων χειρουργικών οδηγών σε τρία διαφορετικά συστήματα εμφυτευμάτων. Ο αρχικός προβληματισμός ήταν ότι ανάμεσα στα διαφορετικά συστήματα αλλά και στον τρόπο παρασκευής της οστεοτομής υπάρχουν διαφορές στην ακρίβεια.

Το αποτέλεσμα ήταν ότι γενικά ανεξαρτήτως το σύστημα εμφυτευμάτων, όλες οι περιπτώσεις χειρουργικών οδηγιών παρουσιάζουν παρόμοια ακρίβεια. Ωστόσο προκειμένου η ακρίβεια να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προτείνονται κάποιες ενέργειες όπως:

- Προσοχή στην γωνία τοποθέτησης του εργαλείου τρυπανισμού
- Η απόδοση σωστής μορφολογίας του οστού έτσι ώστε να τοποθετηθεί σωστά το εμφύτευμα
- Έμφαση από τον κλινικό κατά την τοποθέτηση του εμφυτεύματος όταν είναι πλήρως καθοδηγούμενη. Το εμφύτευμα θα πρέπει να παραμένει σταθερό στο οστό (Jung et al. 2009)

Άρα λοιπόν ανάλογα με το σύστημα εμφυτευμάτων που χρησιμοποιείται κάθε φορά, προκειμένου να υπάρχει η μέγιστη ακρίβεια θα πρέπει:

- Όταν εκτελείται πλήρως ή μερικώς καθοδηγούμενη χειρουργική, οι κλινικοί θα πρέπει να γνωρίζουν πιθανές μετατοπίσεις.
- Όταν χρησιμοποιείται ένα μακρύ τρυπάνι με ανάσχεση, οι κλινικοί θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι η τοποθέτηση του εμφυτεύματος μπορεί να έχει μικρότερη ακρίβεια και ότι η εφαρμογή όλων των χειρουργικών εργαλείων είναι απαραίτητη κατά την παρασκευή της οστεοτομίας. (Jung et al. 2009, Yeung et al. 2020)

Συμπερασματικά, οι χειρουργικοί οδηγοί παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια αρκεί να γίνεται σωστά η χρήση τους, να ακολουθείται το πρωτόκολλο ευλαβικά αλλά και να υπολογίζονται όλοι οι παραπάνω παράγοντες. (Chanseop 2009, Pal et al. 2010)

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η τοποθέτηση εμφυτευμάτων και η αποκατάσταση της νωδότητας των ασθενών αποτελεί πλέον λύση εκλογής για ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Σε αυτή την αποκατάσταση, η «ομάδα εργασίας» που αποτελείται από τους κλινικούς (γενικό οδοντίατρο, προσθετολόγο, γναθοχειρουργό, περιοδοντολόγο, οδοντικό ακτινολόγο, κλπ) και τον εργαστηριακό συνεργάτη (οδοντικό τεχνολόγο) σχεδιάζει, μελετά και αποκαθιστά τη νωδότητα με τους συνεργάτες να εμπλέκονται σε άλλοτε άλλο βαθμό ανάλογα με την ειδικότητα και τη θέση τους στην ομάδα. Ο στόχος είναι η κατασκευή μιας επιεμφυτευματικής αποκατάστασης με υψηλή πιθανότητα κλινικής επιβίωσης.

Η μακροβιότητα αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και παραμέτρους, μεταξύ των οποίων και η ακρίβεια της τοποθέτησης των εμφυτευμάτων, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ακρίβεια στην ακτινογραφική εξέταση και την βοήθεια του χειρουργού στη φάση της τοποθέτησης. Καθοριστικά βοηθήματα σε αυτά τα στάδια είναι οι ακτινογραφικοί και χειρουργικοί οδηγοί, η κατασκευή των οποίων αποτελεί το σκοπό της παρούσας εργασίας.

Για το θέμα αυτό προκύπτουν διάφορα ερωτήματα-προβληματισμοί-παρατηρήσεις που τους αφορούν τα οποία είναι:

- Οι χειρουργικοί οδηγοί βελτιώνουν την ακρίβεια τοποθέτησης των εμφυτευμάτων;
- Ποια είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος και τεχνική κατασκευής (ψηφιακή ή αναλογική);
- Ποιο είναι το καταλληλότερο υλικό;
- Ποια είναι η βέλτιστη και επιστημονικά αποδεδειγμένη (evidence based) ψηφιακή ροή εργασίας (κόστος, χρόνος, ευχέρεια για τον ασθενή και τον κλινικό);

Η χειρουργική τοποθέτηση των εμφυτευμάτων αποτελεί πολύ σημαντικό κομμάτι της οδοντιατρικής όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η χρήση των ψηφιακών εργαλείων και λογισμικών στην οδοντιατρική έχουν εξελιχθεί αρκετά τα τελευταία. Κατά το σχέδιο θεραπείας για την τοποθέτηση εμφυτεύματος, ένας από τους μεγαλύτερους προβληματισμούς των κλινικών είναι ποια μέθοδο να χρησιμοποιήσουν (καθοδηγούμενη ή ελεύθερη χειρουργική). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες του περιστατικού και τις προτιμήσεις του κλινικού. Η ελεύθερη χειρουργική είναι μια οικονομική μέθοδος και κατάλληλη για αρκετές περιπτώσεις. Η καθοδηγούμενη χειρουργική παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας και ελέγχου. Σχεδιάζεται και εκτυπώνεται η οστεοτομία μέσω του χειρουργικού οδηγού. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του κάθε περιστατικού, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με την ελεύθερη τοποθέτηση. Ο χειρουργικός οδηγός βοηθάει τον κλινικό να γίνει η τοποθέτηση με μεγαλύτερη ακρίβεια, ασφάλεια, απλοποίηση και σε λιγότερο χρόνο.

Η χρήση ή μη χειρουργικού νάρθηκα κατά την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων αποτελεί βασικό ζήτημα προβληματισμού. Οι Nickenig et al (2007) σχεδίασαν ψηφιακά την τοποθέτηση 250 εμφυτευμάτων σε 102 ασθενείς. Η ακρίβεια υπολογισμού του μήκους των εμφυτευμάτων ήταν σχεδόν απόλυτη (μόνο σε ένα εμφύτευμα τροποποιήθηκε το μήκος). Σε 58% των εμφυτευμάτων δεν τραυματίστηκε κανένα κρίσιμο ανατομικό στοιχείο και έγινε χειρουργική χωρίς κρημό. Σε οκτώ περιπτώσεις δεν χρησιμοποιήθηκαν οι νάρθηκες λόγω τροποποίησης του χειρουργείου και σε 4 περιπτώσεις δεν υπήρχε αρκετός ενδοστοματικός χώρος. (Nickenig et al 2007)

Σε μια άλλη έρευνα, που έγινε από τους Vercruyssen et al (2014), συγκρίνοντας 2 ομάδες από ασθενείς, παρατηρήθηκε ότι σε αυτούς που δεν δημιουργήθηκε κρημός, η διάρκεια, η ένταση του πόνου και η αιμορραγία ήταν πολύ λιγότερα, σε σχέση με εκείνους που η τοποθέτηση έγινε ελεύθερα χωρίς χειρουργικό νάρθηκα. Τα γενικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση χειρουργικού νάρθηκα έχει μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα, με λιγότερο πόνο και λιγότερη χρονική διάρκεια. Ωστόσο το κόστος ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με την ελεύθερη τοποθέτηση. Σε μια άλλη μελέτη των Block et. al. που έγινε το 2017, συγκρίθηκε η κλινική απόδοση της καθοδηγούμενης χειρουργικής με αυτή της ελεύθερης τοποθέτησης. Σημειώθηκε ότι τα εμφυτεύματα που τοποθετήθηκαν με τη χρήση χειρουργικού οδηγού είχαν μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης η γωνιακή απόκλιση ήταν μια από τις παραμέτρους που βελτιώθηκαν σημαντικά σε σχέση με αυτές της ελεύθερης τοποθέτησης. (Block et al, 2017)

Οι Smitkarn et. al. (2019) αξιολόγησαν την ακρίβεια τοποθέτησης μονήρων εμφυτευμάτων με χρήση χειρουργικού νάρθηκα ή μη. Η μελέτη τους ήταν τυχαίοποιημένη κλινική μελέτη σε 52 ασθενείς με 60 εμφυτεύματα. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τοποθέτηση με χειρουργικό οδηγό ήταν πιο ακριβής.

Σε μια ανασκόπηση βιβλιογραφίας που έγινε από τους Afshari et al. (2019), στην οποία εξέτασαν την τοποθέτηση εμφυτευμάτων με την χρήση χειρουργικού οδηγού και χωρίς, διαπίστωσαν ότι η χρήση του χειρουργικού νάρθηκα αυξάνει την ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα, κατέληξαν ότι σε περιπτώσεις που υπάρχουν παρακείμενα δόντια

και χρειάζεται η τοποθέτηση ενός εμφυτεύματος, η χρήση χειρουργικού νάρθηκα μπορεί να παραληφθεί. Αντιθέτως, σε περιπτώσεις ολικής νωδότητας και τοποθέτησης περισσότερων εμφυτευμάτων η χρήση χειρουργικού νάρθηκα κρίνεται απαραίτητη.

Οι Wu et al. (2020) σύγκριναν την δυναμική με τη στατική χειρουργική τεχνική. Τοποθετήθηκαν 38 εμφυτεύματα με δυναμική καθοδηγούμενη χειρουργική και 57 με στατική. Συγκρίθηκαν οι κλίσεις στην κορυφή και εγγύς – άπω μεταξύ των ομάδων. Δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων. Το συμπέρασμα ήταν ότι τόσο η δυναμική χειρουργική όσο και η στατική μπορεί να επιτύχει την ακριβή τοποθέτηση εμφυτευμάτων. Επιπλέον το επίπεδο εμπειρίας του χειρουργού και της θέσης τοποθέτησης του εμφυτεύματος δεν επηρεάζουν την ακρίβεια της δυναμικά καθοδηγούμενης χειρουργικής.

Συμπερασματικά, λοιπόν η καθοδηγούμενη χειρουργική τεχνική υπερέχει της συμβατικής χωρίς οδηγό τεχνικής σε παραμέτρους όπως η αποδοχή από τον ασθενή. Όπως φαίνεται από τις παραπάνω συγγραφές, οι χειρουργικοί νάρθηκες βελτιώνουν την ακρίβεια τοποθέτησης των εμφυτευμάτων και αποτελούν επιλογή για την σύγχρονη εμφυτευματολογία.

Η ακρίβεια στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων είναι ίσως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό για την επιτυχή χρήση της καθοδηγούμενης τεχνικής και των οδηγιών. Πρέπει η ψηφιακά σχεδιασμένη θέση του εμφυτεύματος και η θέση που τοποθετείται στην οστική ακρολοφία να είναι κατά το δυνατόν ταυτόσημες. Έτσι θα υπάρχει η σωστή σχέση των σκληρών και μαλακών ιστών με το εμφύτευμα και την κατασκευή, όπως αυτή σχεδιάστηκε, εξασφαλίζοντας την μακροβιότητα των εμφυτευμάτων και της προσθετικής εργασίας.

Με δεδομένα όλα τα στάδια που μεσολαβούν από τον σχεδιασμό έως την τοποθέτηση (ψηφιακά, κατασκευαστικά, κλινικά) ίσως είναι αδύνατη η πλήρης ταύτιση αυτών των δυο θέσεων. Γι' αυτό έχει μεγάλη σημασία να προσδιοριστεί ο βαθμός της ακρίβειας που είναι απαραίτητος για την κλινική εφαρμογή (Casetta 2012, Unsall et al 2020). Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ακρίβειας είναι η απόκλιση από το σημείο εισόδου (αυχενικό) και το ακρορρίζιο

του εμφυτεύματος, η οριζόντια και η κάθετη απόκλιση, η κλίση και η κάθετη διάσταση του εμφυτεύματος (Jung et al. 2009, Tahmaseb et al. 2014). Αυτή η παράμετρος ορίζεται χωροταξικά ως «η τρισδιάστατη απόσταση μεταξύ του αυχενικού και ακρορριζικού κέντρου των ψηφιακά σχεδιασμένων και πραγματικά τοποθετημένων εμφυτευμάτων» (Seo et al. 2008). Χαρακτηριστικά που μπορούν να επηρεάσουν αυτή την θέση είναι πυκνότητα του οστού και το είδος της γνάθου (άνω ή κάτω), το πάχος του βλεννογόνου, το είδος της χειρουργικής τεχνικής (με ή χωρίς κρημό) και το μήκος του εμφυτεύματος (Seo et al. 2008, D'Haese et al. 2009, 2010, Tahmaseb et al. 2018).

Οι Bencharit et al (2018) αξιολόγησαν την χειρουργική θέση εμφυτευμάτων σε ασθενείς με την ψηφιακά προσδιορισμένη θέση. Σύγκριναν δυο πρωτόκολλα, ένα με πλήρως καθοδηγούμενη τοποθέτηση με τον οδηγό και ένα με δια χειρός τοποθέτηση μετά τον προσδιορισμό της θέσης. Μετρήθηκε η απόκλιση της in vivo θέσης σε μια μετεγχειρητική ΑΤΚΔ-εξέταση με την θέση που είχε προσδιοριστεί ψηφιακά στην αρχική ΑΤΚΔ-εξέταση. Τα αποτελέσματα ήταν αποκλίσεις 0.3-0.7mm σε όλες τις διευθύνσεις για την πλήρως καθοδηγούμενη τεχνική και 0.3mm-1.5mm για τη μερικά καθοδηγούμενη. Το συμπέρασμα ήταν ότι η τεχνικές αυτές είναι υψηλής ακρίβειας κλινικά συστήνοντας πλήρως την χρήση ψηφιακά κατασκευασμένου οδηγού για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων. Η πλήρως καθοδηγούμενη είχε μεγαλύτερη ακρίβεια, ενώ στην πρόσθια περιοχή οι αποκλίσεις ήταν μικρότερες.

Οι Surivan et al (2019) με παρόμοια μεθοδολογία κατέληξαν ότι η καθοδηγούμενη τεχνική ήταν πολύ ακριβής με αποκλίσεις ακόμη μικρότερες της τάξης των 0.3mm προς όλες τις διευθύνσεις. Σύγκριναν δε και την χρήση ή μη μεταλλικών δακτυλίων (sleeves), χωρίς να διαπιστώσουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, απλοποιώντας έτσι ακόμη περισσότερο την τεχνική. Γενικά οι αποκλίσεις ήταν της τάξης του 1.00mm και θεωρούνται κλινικά ακριβείς ενώ μελέτες βασικός παράγοντας ακρίβειας είναι η μεγάλη σταθερότητα του οδηγού που ήταν σε οδοντικές μονάδες.

Αρκετές μελέτες συστηματικής ανασκόπησης έχουν συγκλίνει στο συμπέρασμα ότι οι καθοδηγούμενη τοποθέτηση είναι πολύ ακριβής και πρέπει να χρησιμοποιείται (Pjetursson et al. 2007, Pozi et al. 2016, Choi et al. 2017, Bover-Ramos et al. 2018)

Οι Gallardo et al. (2017) σε μια μελέτη μετα-ανάλυση κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι τεχνικές καθοδηγούμενης τοποθέτησης των εμφυτευμάτων είχαν υψηλό ποσοστό

επιτυχίας, και πλέον πρέπει να χρησιμοποιούνται στην καθημερινή κλινική πράξη. Προσδιόρισαν όμως ως καθοριστική παράμετρο που επηρέαζε τις μετρήσεις τον τρόπο υποστήριξης του οδηγού. Οι οδηγοί που είχαν βλεννογόνια ή οδοντική υποστήριξη δεν είχαν διαφορές (Ochi et al. 2013). Αντίθετα αυτοί που στηρίζονταν οστό εμφάνιζαν μεγαλύτερες αποκλίσεις στην θέση τοποθέτησης.

Αυτό φαίνεται ότι είναι ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη κατά το σχεδιασμό.

Ο D'Haese et al. (2012) σε περιπτώσεις πλήρους βλεννογονίας στήριξης μέτρησε αποκλίσεις ακρορριζικά 0.67-2.19mm και αυχενικά 0.6-1.68mm. Σημαντικό στοιχείο σε αυτήν τη μελέτη είναι η παρατήρηση ότι ακρορριζικά η απόκλιση ήταν μεγαλύτερη. Ακόμη μέτρησε σαν καθοριστικό παράγοντα αύξησης της διαφοράς το μέγεθος του εμφυτεύματος. Όσο μεγαλύτερο μήκος είχε το εμφύτευμα, τόσο μεγαλύτερη ήταν η ακρορριζική απόκλιση του in vivo εμφυτεύματος. Αυτό έχει μεγάλη κλινική σημασία γιατί θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στην περίπτωση εγγύτητας κρίσιμων ανατομικών μορίων στο σημείο τοποθέτησης του εμφυτεύματος. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό του οδηγού και στο σχέδιο θεραπείας.

Αντίθετα οι Van de Wiele et al (2015) μέτρησαν μικρότερες αποκλίσεις της τάξης 0.5mm-1.1mm περιφερικά προσδιορίζοντας την τεχνική σαν κλινικά ακριβή. Μάλιστα αξιολόγησαν και την πιθανή επίδραση της εμπειρίας του χειρουργού, διαπιστώνοντας μη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ έμπειρων και σχετικά αρχάριων χειρουργών. Αυτό, βέβαια, θα μπορούσε να καθοριστεί και σαν σημαντικό πλεονέκτημα της καθοδηγούμενης τοποθέτησης. Απαιτεί όμως περαιτέρω διερεύνηση γιατί οι Casetta et al (2012) προσδιόρισαν σημαντική διαφορά στην ακρίβεια ανάμεσα σε έμπειρη ομάδα χειρουργών και άπειρη.

Η γενική, λοιπόν, τάση της βιβλιογραφίας τα τελευταία χρόνια συγκλίνει στην άποψη ότι η καθοδηγούμενη τοποθέτηση είναι πολύ ακριβής κλινικά και πρέπει να αποτελεί, πλέον, βασικό εργαλείο της καθημερινής κλινικής πράξης.

Ωστόσο, επειδή σε κάποιες μελέτες, έχουν μετρηθεί σχετικά μεγάλες αποκλίσεις (D'haese et al 2010) το 2018 η ομάδα International Team for Implantology παρουσίασε ένα άρθρο-θέση (consensus-paper) για το θέμα αυτό εξαιτίας της πολύ μεγάλης σημασίας του ζητήματος αυτού. Οι Tahmaseb et al (2018) σε μια μετα-

ανάλυση μελέτη προσδιόρισαν όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ακρίβεια της υπολογιστικά καθοδηγούμενης χειρουργικής στα εμφυτεύματα. Οι απεικονιστικές τεχνικές, η τεχνολογία σάρωσης, τα λογισμικά σχεδιασμού, η τεχνολογία κατασκευής των οδηγών (συμβατική, CAD-CAM, 3D-printing) μπορούν να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα. Υπάρχει ένα έλλειμμα μελετών σχετικών με όλες αυτές τις παραμέτρους ενώ και οι υπάρχουσες μελέτες δε μπορούν να δώσουν επιστημονικά αποδεδειγμένα στοιχεία λόγω των διαφορετικών ερευνητικών μεθοδολογιών που ακολουθούν. Στην ανάλυσή τους μέτρησαν στο σημείο εισόδου του εμφυτεύματος ένα συνολικό σφάλμα της τάξης 1.2mm (1.0-1.4mm) και μια κλίση 3.5° (3.0°-4.0°) αντίστοιχα. Πρότειναν, λοιπόν, να υπάρχει ένα όριο ασφαλείας περιφερικά του εμφυτεύματος 2.00mm, κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό (Unsal et al. 2020).

Συμπερασματικά, η σημερινή θέση είναι ότι η υπολογιστικά καθοδηγούμενες τεχνικές τοποθέτησης εμφυτευμάτων έχουν ακρίβεια αποδεκτή κλινικά και λόγω των άλλων πλεονεκτημάτων τους έχουν θέση στην σημερινή καθημερινή πρακτική της Εμφυτευματολογίας, αλλά με τους περιορισμούς που αναλύονται στην ερευνητική βιβλιογραφία.

Ένα σημαντικό από κλινικής άποψης στοιχείο που έχει άμεση σχέση με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά είναι οι δακτύλιοι καθοδήγησης (sleeves). Οι δακτύλιοι αυτοί κατασκευάζονται από κράματα κοβαλτίου-χρωμίου (Co-Cr), τιτανίου (Ti), ανοξείδωτου χάλυβα, πολυμερές (PEEK) και ζirkονίας (Ozan et al. 2021). Κατά τον τρυπανισμό το τρύπανο και ο δακτύλιος έρχεται σε στενή επαφή και μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις αν υπάρχει και η ελάχιστη απόκλιση οι κινήσεις του τρυπάνου είναι έκκεντρες. Αναπτύσσονται έτσι δυνάμεις τριβής ανάμεσα στα δυο υλικά και υπάρχει η πιθανότητα σωματίδια (ρινίσματα) από τα δυο υλικά να διασπείρονται στο χειρουργικό πεδίο λόγω αποτριβής. Σε αρκετές μελέτες έχουν καταγραφεί μεταλλικά σωματίδια στους περιβάλλοντες περιεμφυτευματικούς ιστούς, χωρίς να είναι ξεκάθαρο από ποιο τα δυο υλικά είναι (Van de Cruysen et al. 2019, Adams et al. 2022). Η ύπαρξη τέτοιων σωματιδίων σε αυτήν την περιοχή μπορεί να επηρεάσει την υγεία αυτής της κρίσιμης περιοχής και να δημιουργήσει προϋποθέσεις περιεμφυτευματίτιδας. Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι η δυσκολία που δημιουργεί η ύπαρξη του δακτυλίου στον πλήρη και άφθονο διακλυσμό, λόγω της εντόπισής του

και του μεγέθους του. Αυτό μπορεί να εμποδίσει την απομάκρυνση των σωματιδίων, αλλά και να υπερθερμάνει το οστό λόγω ανεπαρκούς ψύξης. Τα πιο συνήθη υλικά είναι τα κράματα Co-Cr και τελευταία η ζirkονία. Επίσης σε περιπτώσεις μειωμένης διάνοιξης του στόματος λόγω του ύψους των δακτυλίων, το τρύπανο τοποθετείται με κάποια κλίση, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τριβή με τον δακτύλιο. Αυτό έχει καταγραφεί και ερευνητικά αφού οι Ozan et al. (2021) βρήκαν μεγαλύτερη ποσότητα μεταλλικών σωματιδίων στην περιοχή των γομφίων από την περιοχή των πρόσθιων δοντιών. Όλα τα υλικά είχαν απώλεια κατά το τρυπανισμό, με τα κράματα Co-Cr να εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ποσότητα απώλειας. Από πλευράς βιοσυμβατότητας είναι προτιμότερη η ζirkονία, αν και έχει μεγαλύτερο κόστος κατασκευής.

Επειδή υπάρχουν πολλοί τύποι και σχεδιασμοί συστημάτων δακτυλίων καθοδήγησης ένα ζήτημα είναι αν κάποιος τύπος υπερέχει.

Οι Hanazine et al. (2022) κατά την τοποθέτηση μονήρων εμφυτευμάτων, διαπίστωσαν ότι ο τύπος δακτυλίου μέσα σε δακτύλιο (sleeve in sleeve) εμφανίζει την μικρότερη απόκλιση μεταξύ των άλλων συνδυασμών και ιδιαίτερα από τον τύπο του σταθεροποιημένου τρυπάνου και δακτυλίου σε ένα σύμπλεγμα.

Οι Sittikornraiboon et al. (2021) σύγκριναν τους πέντε βασικούς τύπους στοιχείων καθοδήγησης και βρήκαν ότι όλοι είχαν σαν αποτέλεσμα κάποιου βαθμού απόκλιση σε διάφορες διευθύνσεις, διέφεραν μεταξύ τους, ενώ δεν έγινε εφικτό να διατυπωθεί η σαφής υπεροχή κάποιου συστήματος. Μια μικρή υπεροχή στα συστήματα που είχαν δακτύλιο μέσα σε άλλο δακτύλιο, σταθεροποιημένο ή μη, τα οποία εμφάνιζαν μικρότερες αποκλίσεις. Όμως συμπέραναν ότι όλα τα συστήματα μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της τοποθέτησης, σε συνδυασμό με το πρωτόκολλο τρυπανισμού και πρότειναν την περαιτέρω διερεύνηση για νέα πρωτόκολλα. Ο Adams et al. (2022) σύγκριναν ένα σχεδιασμό οδηγού με μεταλλικό δακτύλιο και έναν χωρίς δακτύλιο. Ο οδηγός χωρίς μεταλλικό δακτύλιο είναι πιο απλός στην κατασκευή του, με μικρότερο κόστος. Διαπίστωσαν, λοιπόν, ότι η ακρίβεια στην τοποθέτηση του εμφυτεύματος ήταν καλύτερη χωρίς την ύπαρξη δακτυλίου. Ο μεταλλικός δακτύλιος εξασφάλιζε καλύτερη διεύθυνση τοποθέτησης του εμφυτεύματος αλλά όχι καλύτερη τελική θέση. Σε αυτό συμφωνούν και οι Suriyan et al. (2019), οδηγούμενοι στην

πρόταση ενός πρωτοκόλλου «χωρίς μεταλλικό δακτύλιο» (no sleeve protocol), στο οποίο δε υπάρχει και ο κίνδυνος της ύπαρξης μεταλλικών σωματιδίων από την τριβή των μετάλλων.

Συμπερασματικά κατά τον σχεδιασμό του χειρουργικού οδηγού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα αυτά τα στοιχεία, να επιλέγεται το πλέον βιοσυμβατό υλικό (ζirkονία), με το μικρότερο δυνατό ύψος ώστε να υπάρχει ο μεγαλύτερος δυνατός χώρος με κύριο στόχο να αποφεύγεται η τριβή ανάμεσα στο τρύπανο και στο δακτύλιο. Απαιτείται η διερεύνηση νέων πρωτοκόλλων που να αντιμετωπίζουν όλα αυτά τα προβλήματα, με πιθανή την χρήση οδηγών χωρίς μεταλλικούς δακτύλιους καθοδήγησης. Η σχετική κλινική τεκμηρίωση είναι ακόμη ανεπαρκής.

Όπως αναλύθηκε νωρίτερα, η ψηφιακή τεχνική είναι πιο ακριβής στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Είναι, όμως, σημαντικό να γνωρίζουμε και ποια είναι η συμβολή της τεχνικής κατασκευής του οδηγού σε αυτήν την ακρίβεια. Οι οδηγοί CAD/CAM έχουν υψηλότερο κόστος, απαιτούν εξειδικευμένα λογισμικά, συσκευές κοπής ή εκτύπωσης, ειδικά σετ εξοπλισμού, οπότε έχει πρακτική σημασία να γνωρίζουμε τη σχέση απόδοσης-κόστους. Επίσης, έχει πρακτική σημασία να αξιολογηθούν και οι σύγχρονες τεχνικές (ψυχρής κοπής και τρισδιάστατης εκτύπωσης) ώστε να μπορούν να βελτιστοποιούνται τα αποτελέσματα.

Είναι πολύ λίγες οι μελέτες που συγκρίνουν άμεσα τους οδηγούς ως προς την τεχνολογία κατασκευής.

Ο Sarmant et al. (2023) σε μια *in vitro* μελέτη, τοποθέτησαν εμφυτεύματα σε γνάθο από εποξική ρητίνη. Αξιολόγησαν δυο τεχνικές, με χρήση συμβατικού οδηγού κατασκευασμένου από θερμά πολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη και ενός οδηγού κατασκευασμένου με τεχνολογία CAD-CAM με ψυχρή κοπή. Σύγκριναν τις αποκλίσεις του τοποθετημένου εμφυτεύματος από την θέση που είχε υπολογιστεί κατά το σχέδιο θεραπείας. Μετρήθηκαν η διαφορά της κλίσης του εμφυτεύματος και οι αποστάσεις στον αυχένα και στο ακρορριζικό τμήμα. Οι αποκλίσεις της συμβατικής τεχνικής ήταν σε όλες τις παραμέτρους διπλάσιες από αυτές του οδηγού CAD/CAM.

Οι CAD/CAM οδηγοί είχαν και μικρότερη μεταβλητότητα. Κατέληξαν λοιπόν στο συμπέρασμα ότι οι οδηγοί CAD/CAM ήταν πιο σταθεροί και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ο Farley (2011a, 2013b) αξιολόγησε τις δυο τεχνικές με κλινική μελέτη και μάλιστα στους ίδιους ασθενείς. Τοποθέτησε εμφυτεύματα με συμβατικό οδηγό (ψυχρά πολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη) και CAD-CAM (ψυχρή κοπή πολυμερούς-milling) οδηγό, εκατέρωθεν σε συμμετρικές θέσεις στον ίδιο ασθενή κάθε φορά. Οι οδηγοί ήταν οδοντικής στήριξης και τα εμφυτεύματα μονήρη. Έγινε η μέτρηση για την απόκλιση από την σχεδιασμένη θέση, και για τις αποστάσεις σε αυχενικό και ακρορριζικό σημείο. Τα αποτελέσματα ήταν ίδια με την προηγούμενη μελέτη. Οι αποκλίσεις με τον συμβατικό οδηγό ήταν περίπου διπλάσιες από αυτές του οδηγού CAD/CAM και πάντα στατιστικά σημαντικές. Πρακτικής σημασίας για τον σχεδιασμό είναι και οι επιμέρους παρατηρήσεις αυτής της μελέτης. Η μέτρηση σε οριζόντια διάσταση έχει κλινική σημασία για την πιθανότητα παρειακής ή γλωσσικής διάτρησης. Η μέτρηση σε κάθετη διάσταση έχει σημασία για την διάτρηση πόρων των νεύρων ή του ιγμορείου. Η κάθετη απόκλιση ήταν ένα σταθερό εύρημα, δηλαδή, σχεδόν πάντα τα εμφυτεύματα τοποθετούνταν βαθύτερα από την θέση που είχαν σχεδιασθεί. Οι CAD/CAM οδηγοί είχαν στο ακρορριζικό τριτημόριο μεγαλύτερη οριζόντια μεταβλητότητα. Αυτό σημαίνει ότι κατά τον σχεδιασμό αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να γίνεται μια ανάλογη διόρθωση ώστε ακρορριζικά να υπάρχει μεγαλύτερη συμμετρία. Στο αυχενικό τριτημόριο οι CAD/CAM οδηγοί είναι πιο σταθεροί.

Συμπερασματικά, λοιπόν, οι μελέτες συντείνουν ότι οι σύγχρονοι οδηγοί είναι πιο ακριβείς από τους συμβατικούς.

Το επόμενο ερώτημα είναι από τις δυο βασικές σύγχρονες τεχνολογίες που κατασκευάζονται οι οδηγοί αν υπερέχει κάποια και σε ποια σημεία για να βελτιστοποιούνται τα αποτελέσματα.

Οι Hepranert et al. (2020) σε μια in vitro μελέτη σύγκριναν την ακρίβεια σε διάφορες διαστάσεις οδηγών κατασκευασμένων με τριαξιακή εκτύπωση (3d printed-additive) και ψυχρή κοπή (milling-subtractive). Δεν βρέθηκε καμία διαφορά σε καμία

διάσταση μεταξύ των δυο τεχνικών. Η τρισδιάστατη εκτύπωση κατασκεύαζε οδηγούς εξίσου ακριβείς με την ψυχρή κοπή.

Αρκετές μελέτες διαπιστώνουν ότι οι οδηγοί που είναι φτιαγμένοι με ψυχρή κοπή (milling) εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς την τοποθέτηση των εμφυτευμάτων σε σχέση με τους τρισδιάστατα κατασκευασμένους. (Sarment et al. 2003, Farley 2013, Park et al. 2014, Bindl et al. 2015, Marliere et al. 2018). Φαίνεται όμως ότι αυτή η διαφορά δεν έχει κλινική σημασία, είναι δηλαδή τόσο μικρή που δεν επηρεάζει την ακρίβεια στην τοποθέτηση του εμφυτεύματος. Η μέση απόκλιση των 3d printed οδηγών είναι της τάξης του 1mm σε κάθετη διάσταση και κλίση 5° ως προς την γωνία του εμφυτεύματος, είναι δηλαδή στα κλινικά αποδεκτά όρια (Park et al. 2014)

Οι Mukai et al. (2021) σε άλλη μια in vitro μελέτη κατέληξαν στα ίδια συμπεράσματα. Διατυπώνουν όμως μια σειρά από σημεία που χρήζουν προσοχής στην κατασκευή οδηγών με τρισδιάστατη εκτύπωση. Προσδιορίζουν παραμέτρους σε σχέση με τις συσκευές που μπορούν να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα όπως σφάλματα στην σάρωση, σφάλματα στη μετάδοση των δεδομένων, μηχανικά σφάλματα και ανθρώπινα. Ο Van Assche et al. (2010) συστήνει το ελάχιστο πάχος του 3d οδηγού να είναι 2.5 -3.0mm για να μην στρεβλώνει κατά την εφαρμογή του. Αυτό δεν συμβαίνει με τους οδηγούς από ψυχρή κοπή γιατί οι δίσκοι των πολυμερών είναι έτοιμοι δομικά από την επεξεργασία τους από τον κατασκευαστή (Farley 2013). Επίσης τα μηχανήματα της εκτύπωσης μπορούν να χάσουν την ρύθμισή τους (calibration) και να επηρεαστούν οι φυσικές ιδιότητες της ρητίνης.

Μια άλλη κατηγορία που έχει χρησιμοποιηθεί είναι οι θερμοπλαστικοί οδηγοί. Οι Bell et al. (2018), σε in vitro μελέτες κατέληξαν σε παρόμοια συμπεράσματα. Οι θερμοπλαστικοί οδηγοί εμφανίζουν την ίδια ακρίβεια με τους τρισδιάστατα εκτυπωμένους οδηγούς ως προς την κλίση του εμφυτεύματος. Όμως έχουν στατιστικά μεγαλύτερες αποκλίσεις ως προς την θέση του αυχένα του εμφυτεύματος και του ακρορριζίου του. Επίσης είναι πιο εύκαμπτο υλικό και υπάρχει η πιθανότητα παραμόρφωσής του κατά την εφαρμογή του στο χειρουργικό πεδίο με συνέπεια την λανθασμένη τοποθέτηση του εμφυτεύματος.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα οι οδηγοί που κατασκευάζονται με τρισδιάστατη εκτύπωση συγκεντρώνουν όλα τα

χαρακτηριστικά που τους καθιστούν σήμερα τους καταλληλότερους για χρήση στην καθοδηγούμενη εμφυτευματική χειρουργική. Έχουν μικρότερο κόστος, μικρότερο χρόνο εργαστηριακής κατασκευής, εμφανίζουν σχετική ευκολία στην καθημερινή πρακτική, και γενικά υπερτερούν στην σχέση απόδοσης-κόστους από τις άλλες μεθόδους κατασκευής.

Με δεδομένα λοιπόν ότι η μέθοδος είναι πλέον αποδεκτή κλινικά το επόμενο ερώτημα που προκύπτει είναι ποια μέθοδος κατασκευής οδηγών είναι η καλύτερη. Πλεονεκτούν της συμβατική αναλογικής μεθόδου οι τεχνικές της ψυχρής κοπής (milling) ή της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing); Και από τις νέες μεθόδους υπερέχει κάποια;

Οι Yi et al. (2022) σύγκριναν σε εργαστηριακές συνθήκες (in vitro) τον ψηφιακό με τον συμβατικό ακτινογραφικό έλεγχο της καθοδηγούμενης χειρουργικής. Αρχικά κατασκευάστηκαν 40 εκμαγεία της άνω γνάθου από ακρυλική ρητίνη στα οποία υπήρχε έλλειψη οπίσθιου δοντιού. Έγινε χρήση του λογισμικού της καθοδηγούμενης χειρουργικής έτσι ώστε να προσδιοριστεί η βέλτιστη θέση τοποθέτησης του εμφυτεύματος. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν και κόπηκαν 40 χειρουργικοί οδηγοί οδοντικής στήριξης. Μετά την καθοδηγούμενη χειρουργική επέμβαση, η ακρίβεια των χειρουργικών προτύπων αξιολογήθηκε με συμβατική CBCT και ψηφιακή καταγραφή. Για την αξιολόγηση της συμβατικής CBCT, πραγματοποιήθηκαν μετεγχειρητικές CBCT σαρώσεις των εκμαγείων. Τα δεδομένα των CBCT ανακατασκευάστηκαν και παρατέθηκαν με τα δεδομένα του σχεδιασμού τοποθέτησης. Για την ψηφιακή καταγραφή, κατασκευάστηκε μια εικονική μονάδα εγγραφής η οποία αποτελούνταν από ένα αντίγραφο εμφυτεύματος και έναν ψηφιακό άξονα αποτύπωσης (Scan body). Μετέπειτα έγιναν μετεγχειρητικές οπτικές σαρώσεις των εκμαγείων με τον ψηφιακό άξονα αποτύπωσης. Η μετεγχειρητική θέση του εμφυτεύματος προσδιορίστηκε με την ταυτοποίηση της μονάδας εγγραφής με τα δεδομένα σάρωσης. Τα δεδομένα του σχεδιασμού τοποθέτησης του εμφυτεύματος και τα μετεγχειρητικά δεδομένα τοποθετήθηκαν το ένα πάνω στο άλλο (ταυτοποιήθηκαν). Παρουσιάστηκαν κάποιες αποκλίσεις στην απόσταση για την είσοδο του εμφυτεύματος/ της κορυφής του και της γωνίας του άξονα. Συμπεράναν,

ότι και οι δύο μέθοδοι είναι αξιόπιστες όσον αφορά την αξιολόγηση της ακρίβειας τοποθέτησης. (Henprasert et al. 2020)

Οι Mukai et al. (2021) σε μια έρευνά τους αξιολόγησαν (σε εργαστηριακές συνθήκες) τον τρόπο παραγωγής και την ακρίβεια δύο μεθόδων κατασκευής χειρουργικών ναρθήκων. Η μία ήταν η μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing) και η άλλη μέθοδος κοπής (milling). Αρχικά σχεδιάστηκε ψηφιακά ένας χειρουργικός νάρθηκας για τον οποίο κατασκευάστηκαν 10 αντίγραφα με την μέθοδο της εκτύπωσης και 10 με την μέθοδο της κοπής. Οι χειρουργικοί οδηγοί οριοθετήθηκαν ψηφιακά και ταυτοποιήθηκαν με το ψηφιακό εκμαγείο. Η ακρίβεια του κάθε γκρουπ ναρθήκων αξιολογήθηκε μετά την ταυτοποίησή τους. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με το λογισμικό GraphPad με τη χρήση του Kolmogorov - Smirnov τεστ για την κανονικότητα και Student's T τεστ για την μεταβλητότητα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές αναντιστοιχίας κατά τη διάρκεια της ταυτοποίησης, συγκρίνοντας τις δυο μεθόδους. Επομένως θεωρούνται και οι 2 μέθοδοι ακριβείς

Οι Hanozin et al. (2022) διεξήγαγαν μια τυχαίοποιημένη μελέτη η οποία σύγκρινε την άμεση φόρτιση ενός μονού εμφυτεύματος στην πρόσθια αισθητική ζώνη με δύο μεθόδους. Η μία ήταν η συμβατική μέθοδος (ομάδα ελέγχου) και η άλλη η ψηφιακή (ομάδα δοκιμασίας). Πιο συγκεκριμένα μοιράστηκαν τυχαία στις 2 ομάδες 18 περιστατικά και για όλα έγινε ψηφιακός σχεδιασμός. Στην ομάδα δοκιμασίας, κατασκευάστηκαν πριν το χειρουργείο, ένα εξατομικευμένο κολόβωμα ζirkονίας και μια προσωρινή στεφάνη με τη χρήση της τεχνολογίας CAD/CAM. Τα εμφυτεύματα τοποθετήθηκαν με τη χρήση s-CAIS νάρθηκα και έγινε άμεση φόρτιση. Στην ομάδα ελέγχου, η τοποθέτηση του εμφυτεύματος έγινε ελεύθερα με τη χρήση συμβατικού χειρουργικού οδηγού. Χρησιμοποιήθηκε ένα εξατομικευμένο κολόβωμα ζirkονίας πάνω στο οποίο στηρίχτηκε η στεφάνη η οποία κατασκευάστηκε σε αναλογικό αποτύπωμα. Αξιολογήθηκαν η ακρίβεια τοποθέτησης (σχετικά με το σχέδιο θεραπείας) και τα αποτελέσματα της προσθετικής εργασίας. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν ήταν ότι και με τις δύο μεθόδους επιτρέπεται η τοποθέτηση εμφυτεύματος αλλά και οι άμεση ή πρώιμη φόρτισή του με τη χρήση ενός εξατομικευμένου κολοβώματος, με μια διαδικασία. Επίσης συμπέραναν ότι η ομάδα

με την πλήρως ψηφιακή ροή εργασίας είχε μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτή με τη συμβατική.

Οι Henprasert et al. (2020) σε έρευνά τους η οποία έγινε σε συνθήκες εργαστηρίου, αξιολόγησαν την ακρίβεια της θέσης τοποθέτησης του εμφυτεύματος με τη χρήση δύο χειρουργικών οδηγών, ο ένας κατασκευασμένος με τη μέθοδο της 3D εκτύπωσης και ο άλλος με την μέθοδο κοπής (milling). Χρησιμοποιήθηκε εκμαγείο με μερική νωδότητα στο οποίο έγινε διαγνωστικό κέρωμα στην πλευρά #30. Κατασκευάστηκε ακτινογραφικός νάρθηκας ο οποίος τοποθετήθηκε και στην συνέχεια έγινε η αξονική τομογραφία. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε χειρουργικός οδηγός και τοποθετήθηκε το εμφύτευμα στην πλευρά 3. Από το STL αρχείο κατασκευάστηκαν 15 χειρουργικοί νάρθηκες με τις δύο διαφορετικές τεχνικές. Το αρχικό εκμαγείο ψηφιοποιήθηκε και δημιουργήθηκε ένα πιστό αντίγραφο του με την μέθοδο 3D printing (n=30). Ο κάθε νάρθηκας εφαρμόστηκε σε κάθε εκμαγείο (n=30). Οι διαφορές στις θέσεις των εμφυτευμάτων συγκρινόμενες με την αρχική κατάσταση μετρήθηκαν ψηφιακά με τη χρήση ψηφιακών αξόνων αποτύπωσης. Το συμπέρασμα ήταν ότι οι 3D εκτυπωμένοι νάρθηκες είναι στατιστικά ακριβής όπως και οι νάρθηκες κοπής. Προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια, ευκολία παραγωγής, υπάρχει λιγότερη απώλεια υλικού σε σχέση με την κοπή.

Συγκρίνοντας την συμβατική με την ψηφιακή μέθοδο, οι παραπάνω έρευνες καταλήγουν όλες στο συμπέρασμα ότι η ψηφιακή μέθοδος είναι ακριβής και αξιόπιστη. Οι ψηφιακές μέθοδοι είναι εξίσου αξιόπιστες. Ωστόσο, η μέθοδος της 3D εκτύπωσης φαίνεται να υπερτερεί για λόγους οικονομίας χρόνου και χρημάτων.

Όσον αφορά τις τεχνολογίες αυτές που αυτή την στιγμή έχουν επικρατήσει στην οδοντιατρική είναι η Στερεολιθογραφία (SLA) και η Ψηφιακή Προβολή Φωτός (DLP). Η SLA κατασκευάζει τα αντικείμενα με ταχύτητα, μπορεί να δημιουργεί πολύπλοκα, ευμεγέθη σχήματα, αποδίδει αντικείμενα με μεγάλη λεπτομέρεια και στιλπνότητα ενώ τα υλικά που χρειάζεται είναι σχετικά χαμηλού κόστους. Όμως μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο φωτοπολυμεριζόμενα υλικά, τα αντικείμενα έχουν υποστηρικτικές βάσεις που πρέπει να αφαιρεθούν, οπότε υπάρχει ανάγκη περισσότερης επεξεργασίας. Η διάρκεια ζωής των κατασκευών είναι μικρή, η

απολύμανση των οδηγών γίνεται χημικά , ενώ οι ρητίνες έχουν σχετικά δύσχρηστη κολλώδη σύσταση και αν έρθουν σε επαφή με το δέρμα μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό. Το κόστος αγοράς των εκτυπωτών αυτών είναι σχετικά μεγάλο (Dawoo et al. ,2015).

Οι συσκευές DLP είναι πιο φθηνές, κατασκευάζουν αντικείμενα με λείες επιφάνειες, μεγάλη λεπτομέρεια και ακρίβεια και σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Τα υλικά που προκύπτουν έχουν πολύ καλή βιοσυμβατότητα, λόγω της αντίδρασης πολυμερισμού. Έχουν και αυτά τα αντικείμενα βάσεις υποστήριξης που πρέπει να αφαιρεθούν, απολυμαίνονται χημικά , ενώ οι ρητίνες τους είναι ερεθιστικές για το δέρμα. Τα υλικά έχουν υψηλότερο κόστος (Dawoo et al. 2015).

Παρόμοια χαρακτηριστικά έχει και η τεχνολογία «ψεκασμού υλικών ή πολυμερών» (PJ ή MJ). Δεν χρειάζονται επεξεργασία μετά την κατασκευή, μπορούν να χρησιμοποιούνται πολλά υλικά ταυτόχρονα, ενώ και πολυμερισμός είναι πολύ καλός λόγω του φωτοπολυμερισμού. Μπορούν να κατασκευασθούν πολλές κατασκευές που αφορούν την Οδοντιατρική (Jockusch and Ozgan 2020).

Σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα τα περισσότερα είναι πολυμερή φωτοπολυμεριζόμενα υλικά. Ο φωτοπολυμερισμός οδηγεί σε μεγαλύτερο βαθμό πολυμερισμού την αλυσίδα του πολυμερούς και σε λιγότερα ελεύθερα μονομερή. Τα ελεύθερα μονομερή δημιουργούν προβλήματα ερεθισμού στον βλεννογόνο ή αν εισέλθουν στην κυκλοφορία συστηματικά προβλήματα. Επειδή οι χειρουργικοί οδηγοί έρχονται σε επαφή με ανοικτά τραύματα έχει κλινική και βιολογική σημασία το πολυμερές να έχει το μεγαλύτερο δυνατό βαθμό πολυμερισμού (Khorsandi et al. 2021).

Το Πολύ-μεθακρυλικό Μεθύλιο (PMMA) είναι το υλικό που κυρίως χρησιμοποιείται για κατασκευή οδηγών, γιατί υπάρχει η κλινικά επιβεβαιωμένη εμπειρία του υλικού στην Οδοντιατρική. Είναι σταθερό, διαφανές, στιλβώνεται πολύ καλά ενώ μπορούν να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητές του με την χρήση ένθετων οξειδίων. Στα σύγχρονα, δε, υλικά έχει χρησιμοποιείται ένας βελτιωμένος μηχανισμός πολυμερισμός, ο ελεγχόμενος πολυμερισμός ριζών, που ελέγχει καλύτερα το μοριακό βάρος της αλυσίδας του τελικού πολυμερούς και υπάρχουν ελάχιστα

ελεύθερα μονομερή. Διατίθενται σε σκευάσματα για όλες τις συσκευές τρισδιάστατης εκτύπωσης αλλά και σε δίσκους για ψυχρή κοπή. Το κόστος του είναι σχετικά χαμηλό.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα κατηγορία πολυμερών για οδηγούς είναι ο πολυεστέρας του πολυμερούς του γαλακτικού οξέος. Πολυμερίζεται με μηχανισμό συμπύκνωσης αλλά και δακτυλιοειδές πρότυπο, οπότε προκύπτει μια αλυσίδα πολύ σταθερή. Είναι πολύ βιοσυμβατό υλικό, σχετικά ψαθυρό και προσφέρεται για κατασκευή οδηγών (David et al. 2017). Και άλλες κατηγορίες πολυεστέρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Απαιτείται όμως περισσότερη έρευνα γιατί κάποια από αυτά απελευθερώνουν Μπισφαινόλη-Α (Bisphenol-A) με πιθανά προβλήματα.

Τα πολυμερή του στυρενίου έχουν σταθερότητα διαστάσεων στο νερό, είναι διαφανή με πολύ λεία επιφάνεια και πολύ καλή επεξεργασιμότητα. Όμως είναι διαλυτά από οργανικούς διαλύτες και εμφανίζουν θραύσεις σε σημεία συγκέντρωσης τάσεων (Jockusch and Ozgan 2020). Ωστόσο χρησιμοποιούνται σε κάποιες εφαρμογές.

Μια σειρά από άλλα πολυμερή όπως πολυαμίδια, πολυαιθερικές κετόνες (PEEK), εποξικές ρητίνες, φυσικά βιοπολυμερή χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία για οδοντιατρικές κατασκευές με προσθετικές τεχνικές (Jockusch and Ozgan 2020, Sulaiman 2020). Όμως ακόμη δεν υπάρχουν αξιόπιστα πιστοποιημένα υλικά για οδοντιατρικές εφαρμογές. Γι' αυτό το μεθακρυλικό μεθύλιο παραμένει υλικό ευρείας χρήσης και για χρήση σε τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης και οπωσδήποτε για χειρουργικούς οδηγούς.

Σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες, είναι φανερό πως υπάρχει μεγάλη συζήτηση όσον αφορά την επιλογή του υλικού. Τα πολυμερή υλικά είναι μια κατηγορία υλικών που περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος υλικών. Στην σύγχρονη οδοντιατρική και χρησιμοποιούνται για σχετικά λίγες εργασίες. Κατασκευάζονται ακτινογραφικοί και χειρουργικοί οδηγοί, εκμαγεία, μεταβατικές αποκαταστάσεις, νάρθηκες, ορθοδοντικές κατασκευές, γναθοπροσωπικές κατασκευές. Ο χρόνος παραμονής τους δεν ξεπερνά τους δώδεκα μήνες. Επομένως ένα σημείο για έρευνα και εξέλιξη είναι η δημιουργία υλικών για πιο μόνιμη παραμονή στο στοματικό περιβάλλον. Η

βιοσυμβατότητα και η σταθερότητα επίσης πρέπει να διερευνηθούν κυρίως σε κλινικό περιβάλλον για χρήση αυτών των υλικών με μεγαλύτερη ασφάλεια. Τα χαρακτηριστικά του ιξώδους και της ταχύτητας πολυμερισμού των υλικών είναι τα σημαντικότερα που πρέπει να βελτιωθούν. Το ιξώδες (viscosity) δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλο, ούτε πολύ μικρό. Η ταχύτητα πολυμερισμού πρέπει να αυξηθεί, αλλά όχι χημικά, με την αύξηση της χρήσης παραγόντων έναρξης φωτοπολυμερισμού, γιατί υπάρχουν κίνδυνοι βιοσυμβατότητας από την ύπαρξη ελεύθερων μονομερών και ριζών (Prithviraj et al. 2014).

Σχετικά με την τεχνολογία πρέπει να διερευνηθούν οι διάφορες παράμετροι που έχουν σχέση με τις συσκευές και τις τεχνικές, ώστε να διατυπωθούν πρωτόκολλα βασισμένα σε επιστημονικές αποδείξεις (evidence based) (Jozkusch and Ozgan. 2020). Η αύξηση της αποτελεσματικότητας και η μείωση του χρόνου εκτύπωσης που είναι μεγάλος τώρα, πιθανόν να βελτιωθεί με την αύξηση του θαλάμου και της τράπεζας της εκτύπωσης.

Ωστόσο η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μια τεχνολογία που μπορεί να προσφέρει πολλά στην Οδοντιατρική γιατί έχει χαρακτηριστικά που μπορεί να τα αξιοποιήσει. Κατασκευάζει γρήγορα, οικονομικά, μικρές ποσότητες κατασκευών, εξατομικευμένων και σε μια κλίμακα προσωπικού επιπέδου (personalized) (Stansbury et al. 2016). Οι κατασκευές αυτές έχουν γεωμετρική ποικιλία και μπορούν να έχουν και καλή αντοχή. Χαρακτηριστικά, δηλαδή, που «ταιριάζουν» απόλυτα στις οδοντιατρικές προσθετικές κατασκευές.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των τεχνολογιών και η συνεχής βελτίωση των ψηφιακών τεχνικών και των υλικών φαίνεται ότι οδηγούν στην εδραίωση και στην κυριαρχία των τεχνολογιών αυτών στην Οδοντιατρική και Οδοντική Τεχνολογία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η τοποθέτηση εμφυτευμάτων με υπολογιστικά καθοδηγούμενη τεχνική με την χρήση οδηγών είναι ασφαλέστερη από την συμβατική χωρίς οδηγό στην κλινική της εφαρμογή.
2. Η ακρίβεια των οδηγών (κυρίως των χειρουργικών) στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων είναι αποδεκτή κλινικά, και αποτελούν πλέον αναπόσπαστο εργαλείο της σύγχρονης Εμφυτευματολογίας.
3. Οι μεταλλικοί δακτύλιοι καθοδήγησης αποδίδουν με μεγάλη ακρίβεια την διεύθυνση τοποθέτησης, κλινικά παρουσιάζουν όμως προβλήματα και η βιβλιογραφία παρουσιάζεται διχασμένη όσον αφορά στη χρήση τους.
4. Οι σύγχρονες τεχνικές κατασκευής οδηγών ψηφιακά είναι πιο αξιόπιστες από την συμβατική τεχνική.
5. Η κατασκευή με τρισδιάστατη εκτύπωση είναι εξίσου ακριβής με την ψυχρή κοπή αλλά έχει μικρότερο κόστος, χρόνο εργασίας και ευκολία κατασκευής.
6. Από τις τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης αυτές που χρησιμοποιούνται στην οδοντική Τεχνολογία περισσότερο είναι η στερεολιθογραφία (SLA), η ψηφιακή προβολή φωτός (DLP) και ο ψεκασμός πολυμερούς (PJ).
7. Τα υλικά εκλογής για οδηγούς είναι το μεθακρυλικό μεθύλιο κυρίως και τα πολυμερή βινυλίου και εστέρων. Απαιτείται περισσότερη έρευνα για την ανάπτυξη υλικών για μεγαλύτερη μακροβιότητα και ασφάλεια.
8. Τα πρωτόκολλα είναι πλέον καλά τεκμηριωμένα και πρέπει να εφαρμόζονται αυστηρά για να εξασφαλιστεί η μακροβιότητα των εργασιών. Υπάρχουν ακόμη προβλήματα προς επίλυση που έχουν σχέση με όλα τα στάδια και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό.

9. Η ψηφιακή μέθοδος εργασίας είναι πλέον πραγματικότητα στην σύγχρονη Οδοντική Τεχνολογία κατασκευής οδηγών. Απαιτεί όμως εξοπλισμό με μεγάλο κόστος και απαιτητική καμπύλη εκμάθησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Βέργου Λυδία 2024. Ιδία φωτογράφιση

Γιαννικάκης Σ. (2018). Εργαστήριο Ολικών Οδοντοστοιχιών. Ηλεκτρονικό αρχείο e-class. Αθήνα: σελ. 31- 33

Γιαννικάκης Σ. Καρκαζής Η. (2018) : Προσθετική σε εμφυτεύματα, Εργαστηριακή τεχνική. Ηλεκτρονικό αρχείο e-class. Αθήνα: σελ 33

Γιαννικάκης Σ. (1997): Φυσικομηχανικές ιδιότητες ακρυλικής ρητίνης πολυμερισμένης ρητίνης με μικροκύματα. Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα

Προμπονάς, Α. (2021). Ψηφιακές Τεχνολογίες – Υλικά. Σημειώσεις ΠΑΔΑ. Αθήνα: 2021

Γούσιας, Χ. Στριγκόνη, Α. Βλάχου, Γ. Κουρνέτας, Ν. Γούσιας, Η. (2021). «Αμιγώς ψηφιακό πρωτόκολλο τοποθέτησης εμφυτευμάτων με την χρήση χειρουργικού νάρθηκα. Παρουσίαση κλινικού περιστατικού». Οδοντοστοματολογική πρόοδος, 75: 330-342

Διεθνής

Abduo, J. and Elseyoufi, M. (2018). "Accuracy of intraoral. scanners: a systematic review of influencing factors", European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry, Vol26(3) : 101–121

Adams, C., Ammoun, R., Deeb, G. and Bencharit, S. (2022). "Influence of Metal Guide Sleeves on the Accuracy and Precision of Dental Implant Placement Using Guided Implant Surgery: An In Vitro Study", Journal of Prosthodontics, Vol32(1): 62–70

Adrian, D., Ivanhoe, J. and Krantz, A. (1992). "Trajectory surgical. guide stent for implant placement", Journal of Prosthetic Dentistry, 67(5):687-91

Afshari, A. Shahmohammadi, R. Mosaddad, A. Pesteei, O. Hojmohammadi, E. Rahbar, M. Alam, M. and Abbasi, K. (2022). "Free – Hand versus surgical. Implant Placement", *Advances in Materials Science and Engineer*, Vol2022 : 1-12

Alghazzawi, T. (2016). "Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical. Implementation", *Journal of Prosthodontics Research*, Vol60(2): 72-84.

Alharbi, N., Osman, R. and Wismeijer, D. (2016). "Effects of build direction on the mechanical. properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol115(6): 760-767

Almog, D., Torrado, E. and Meitner, S. (2001). "Fabrication of imaging and surgical. guides for dental implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(5):504-508

Anderson, J. (1976). "Applied Dental. Materials", 5th edition. Oxford: 246-270

Arisan, V., Bolukbasi, N. and Oksuz, L. (2013). "Computer-assisted flapless implant placement reduces the incidence of surgery-related bacteremia", *Clinical Oral Investigations*, Vol17(9): 1985–1993

Arisan, V., Karabuda, Z. and Ozdemir, T. (2010). "Implant surgery using bone- and mucosa-supported stereolithographic guides in totally edentulous jaws: surgical. and post-operative outcomes of computer-aided vs. standard techniques", *Clinical Oral Implant Research*, Vol21(9): 980–988

Basten, J. and Kois, J. (1996). "The use of barium sulfate for implant templates", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol76(4): 451-454

Becker, C. and Kaiser, D. (2000). "Surgical. guide for dental. implant placement", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol83(2):248-51

Bell, C. and Caitlyn, K. (2016). "Accuracy of Implants Placed with Surgical. Guides: Thermoplastic vs. 3-D Printe", *Loma Linda University Electronic Theses, Dissertations & Projects*: 418.

Bell, C., Sahl, E. and Kim, Y. (2018). "Accuracy of implants placed with surgical. guides: thermoplastic versus 3D printed", *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*, Vol38(1):113-119

Bencharit, S., Staffen, A., Yeung, M., Whitley, M., Laskin, D. and Deeb, G. (2018). "In vivo tooth-supported implant surgical. guides fabricated with desktop stereolithographic printers: fully guided surgery is more accurate than partially guided surgery", *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol76(7):1431–9.

Berli, C., Thieringer, F., Sharma, N., Muller, J., Dedem, P., Fischer, J. and Rohr, N. (2020). "Comparing the mechanical. properties of pressed, milled and 3D – printed resins for occlusal devices", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol124(6): 780 – 786

Bhochhibhoya, A. and Vaidya, S. (2018). "Fabrication of radiographic stent for dental. implants: A simplified approach", *Journal of Nepal Paediatric Society*, Vol1(2): 113-115

Bindl, A. (2015). "Clinical application of fully digital. Cerec surgical. guides made in-house", *International Journal of Computerized Dentistry*, Vol18(2):163–76

Block, S., Emery, W., Cullum, R. and Sheikh, A. (2017). "Implant placement is more accurate using dynamic navigation", *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, Vol75(7): 1377–1386

Blustein, R., Jackson, R., Rotskoff, K., Coy, R. and Godar, D.(1987). "Use of splint material. in the placement of implants", *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol1(1): 47–49.

Boa, K., Barrak, I., Varga, J., Varga, E. and Piffko, J. (2016). "Intraosseous generation of heat during guided surgical. drilling: an ex vivo study of the effect of the temperature of the irrigating fluid", *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol54(8): 904–908

Boening, K., Wolf, B., Schmidt, A., Kastner, K. and Walter, M. (2000) "Clinical fit of Procera AllCeram crowns", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol84(4) :419–424

Bover-Ramos, F., Vina-Almunia, J., Cervera-Ballester, J., Penarrocha-Diago, M. and Garcia-Mira, B. (2018). "Accuracy of implant placement with computer-guided surgery: a systematic review and meta-analysis comparing cadaver, clinical, and in vitro studies", *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol33(1): 101-15.

Branemark, P., Zarb, G. and Albrektsson, T. (1985). "Tissue-integrated prostheses; osseointegration in clinical Dentistry", Chicago: Quintessence PublComp

Brief, J., Edinger, D., Hassfeld, S. and Eggers, G. (2005). "Accuracy of image-guided implantology", *Clinical Oral Implant Research*, Vol16: 495–501

Cassetta, M., Pompa, G., Di Carlo, S., Piccoli, L., Pacifici, A. and Pacifici, L (2012). "The influence of smoking and surgical. technique on the accuracy of mucosa-supported stereolithographic surgical. guide in complete edentulous upper jaws", *European Review for Medical and Pharmacological Science*, Vol16(4):1546-53

Cehreli, M., Aslan, Y. and Sahin, S. (2000) "Bilaminar dual-purpose stent for placement of dental. Implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol84:55-8

Cehreli, C., Calis, C. and Sahin, S. (2022) "A dual- purpose guide for optimum placement of dental implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol88(1):640-643

Chanseop, P., Raigrodski, A., Rosen, J., Spiekerman, C. and London, R. (2009) "Accuracy of implant placement using precision surgical. guides with varying occlusogingival heights: an in vitro study", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol101(1): 372-381

Choi, W., Nguyen, B., Doan, A., Girod, S., Gaudilliere, B. and Gaudilliere, D. (2017) "Freehand versus guided surgery: factors influencing accuracy of dental. implant placement", *Implant Dentair*, 26(4):500-9

Cuhna, M., Souza, F., Hadad, H., Poli, P., Maiorana, C. and Carvalho, P. (2021) "Accuracy evaluation of computer – guided implant surgery associated with prototyped surgical guides", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol125(2): 266-272

David, O., Szuhaneck, C., Tuce, R., David, A. and Leretter, M. (2017) "Polylactic acid 3D printed drill guide for dental implants using CBCT", *Revista de Chimie*, Vol68(2): 341–342

Dawood, A., Marti, B., Sauret-Jackson, V. and Darwood, A. (2015). "3D printing in dentistry", *British Dental Journal*, Vol219(11): 521–529

Derksen, W., Wismeijer, D., Flógge, T., Hassan, B. and Tahmaseb, A. (2019) "The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based on CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study", *Clinical Oral Implants Research*, Vol30(10):1005–1015

D'Haese, J., Van De Velde, T., Elaut, L. and De Bruyn, H. (2009) "A prospective study on the accuracy of mucosally supported stereolithographic surgical guides in fully edentulous maxillae", *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, Vol14(2):293–303

D'Haese, J., Van De velde, T., Komiyama, A., Hultin, M. and De Bruyn, H.(2010) "Accuracy and Complications Using Computer-Designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants: A Review of the Literature", *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, Vol14(3):321-335

D'Haese, J., Ackhurst, J., Wismeijer, D., De Bruyn, H. and Tahmaseb, A (2000) "Current state of the art of computer-guided implant surgery", *Periodontology*, Vol73(1);121-133

Dimitrova, M., Corsalini, M., Kazakova, R., Vlahova, A., Chuchulska, B., Barile, G., Capodiferro, S. and Kasakov, S. (2022) "Comparison between conventional PMMA and 3D Printed Resins for Denture Bases: A Narrative Review", *Journal of Composites Science*, Vol87(6): 1-13

Dioguardi, M., Spirito, F., Quarta, C., Sovereto, D., Basile, E., Ballini, A., Caloro, G., Troiano, G., Lo Muzio, L. and Mastrangelo, F. (2023) "Guided Dental Implant Surgery: Systematic Review", *Journal of Clinical Medicine*, Vol12: 1490-1507

D'Souza, K. and Aras, M. (2012) "Types of implant surgical. guides in dentistry: A review", *Journal of Dental Implants*, Vol38(5): 643-652

Edge, J. (1987) "Surgical. placement guide for use with osseointegrated implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol57(6): 719- 722

Engelman, M., Sorensen, J. and Moy, P. (1988) "Optimum placement of osseointegrated implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol59(4): 467-473

Farley N. (2011) "Split-Mouth Comparison of Accuracy for Computer-Generated Versus Conventional Surgical Guides Thesis", The Ohio State University

Farley, N., Kennedy, K., McGlumphy, E. and Clelland, N. (2013) "Split-mouth comparison of the accuracy of computer-generated and conventional surgical guides", *The international Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol28(2):563–72.

Ferro, K., Morgano, S., Driscoll, C., Freilich, M., Guckes, A., Kent, L., Knoernschild, K., Thomas, J. and McGarry, T. (2017) "Glossary of Prosthodontic Terms", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol117(5): 1-105

Floyd, P., Palmer, P. and Palmer, R. (1999) "Radiographic techniques", *British Dental Journal*, Vol187(7): 359-365

Gad, M., Fouda, M., Abualsaud, R., Alshahrani, F., Al. – Thobity, A., Khan, S., Akhtar, S., Ateeq, S., Helal, M. and Al. – Habri, F. (2022) "Strength and Surface Properties of a 3D- Printed Denture Base Polymer", *Journal of Prosthodontics*, Vol31(5): 412 – 418

Gallardo, N., Da Silva-Olivio., Mukai, E., Morimoto, S., Sesma, N. and Cordaro, L. (2017) "Accuracy comparison of guided surgery for dental. implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis", *Clinical Oral Implant Research*, Vol 28(5): 602–612

Ganz, S. (2005) "Presurgical. planning with CT-derived fabrication of surgical guides", *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol63(9): 59-71

Gargallo- Albiol, J., Barootchi, S., Salomo-Coll, O. and Wang, H. (2019) “Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review”, *Annals of Anatomy*, Vol225:1-10

Hultin, M., Svensson, K. and Trulsson, M. (2012) “Clinical advantages of computer-guided implant placement: A systematic review”, *Clinical Oral Implants Research*, Vol23(6): 124–135

Hanozin, B., Manni, L., Lecloyx, G., Bacevic, M., Lambert, F. (2022) “Digital. vs conventional. workflow for one – abutment one – time immediate restoration in the esthetic zone: a randomized controlled trial”, *International Journal of Implant Dentistry*, Vol8(7): 1-14

Henprasert, P., Dawson, V., El-Kerdani, T., Song, X., Couso-Queiruga, E. and Holloway, J. (2020) “Comparison of the Accuracy of Implant Position Using Surgical. Guides Fabricated by additive and Subtractive Techniques”, *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol29(6): 534-541

Hobo, S., Ichida, E. and Garcia L. (1996) “Osseointegration and Occlusal Rehabilitation”, Tokyo: Quintessence Publishing

Hoffmann, J., Westendorff, C., Gomez-Roman, G. and Reinert, S. (2005) “Accuracy of navigation-guided socket drilling before implant installation compared to the conventional free-hand method in a synthetic edentulous lower jaw model”, *Clinical Oral Implants Research*, Vol16(5): 609–614

EN ISO 20795-1:2013 Dentistry - Base polymers - Part 1: Denture base polymers (ISO 20795-1:2013)

Jockusch, J. and Özcan, M. (2020) “Additive manufacturing of dental. polymers : an overview on processes, materials and applications”, *Dental Materials Journal*, Vol39(3):345-354

Jung, R., Schneider, D. and Ganeles, J. (2009) “Computer technology applications in surgical. implant dentistry: a systematic review”, *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol24: 92-109

Kessler, A., Dosch, M., Reymus, M. and Folwa, M. (2022) "Influence of 3D – printing method, resin material, and sterilization on the accuracy of virtually designed surgical implant guides", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol128(2) : 196-204

Kim, M., Jeong, J., Ryu, J., Jung, S., Park, H., Oh, H. and Kook, M. (2022) "Accuracy of digital surgical guides for dental implants", *Maxillofacial and Plastic Reconstructive Surgery*, Vol44: 35-43

Kim, K., Park, J., Kim, G., Kim, S. and Kim, J. (2009) "Magnification rate of digital panoramic radiographs and its effectiveness for pre-operative assessment of dental implants", *Dentomaxillofacial Radiology*, Vol40: 76-83

Khorsandi, D., Fahimipour, A., Abasian, P., Seyedi, M., Ghanavati, S., Ahmad, A., De Stephanis, A., Taghavinezhaddilami, F., Leonova, A., Mohammadinejad, R., Shabani, M., Mazzolai, B., Mattoli, V., Tay, F. and Makvandi, P. (2021) "3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial. surgery: Printing techniques, materials, and applications", *Acta Biomaterialia*, Vol122: 26-49

Komiyama, A., Klinge, B. and Hultin, M (2008) "Treatment outcome of immediately loaded implants installed in edentulous jaws following computer-assisted virtual treatment planning and flapless surgery", *Clinical Oral Implants Research*, Vol19(7):677–685

Kramer, J., Baethge, C., Swennen, G. and Rosahl, S. (2005) "Navigated vs. conventional implant insertion for maxillary single tooth replacement", *Clinical Oral Implants Research*, Vol16(1): 60–68

Ku, Y., Shen, Y., (2000) "Fabrication of a radiographic and surgical. stent for implants with a vacuum former", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol83(2):252-3

Ku, J., Lee, J., Lee, H., Yun, P. and Kim, Y. (2022) "Accuracy of dental placement with computer-guided surgery: a retrospective cohort study". *BMC Oral. Health*, 22(8):1-10

Lazzara, R. (1989) "Immediate implant placement into extraction sites: surgical and restorative advantages", *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*, Vol9(5):332-43

Li, X., Xie, B., Jin, J., Chai, Y. and Chen, Y. (2018) "3D Printing Temporary Crown and Bridge by Temperature Controlled Mask Image Projection Stereolithography", *Procedia Manufacturing*, Vol26: 1023–1033

Lin, G., Chan, H., Bashutski, J., Oh, T. and Wang, HL (2014) "The effect of flapless surgery on implant survival and marginal bone level: A systematic review and meta-analysis", *Journal of Periodontology*, Vol85(5):91103

Liu, F., Wu, L., Zhang, J., Peng, W. and Liao, W. (2018) "Numerical. and experimental analyses on the temperature distribution in the dental implant preparation area when using a surgical guide", *Journal of Prosthodontics*, Vol27(1): 42–51

Liu, X., Liu, J., Feng, H. and Pan, S. (2022) "Accuracy of a milled digital. implant surgical guide: An in vitro study", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol127(3): 453-461

Ludlow, M. and Renne, W. (2017) "Digital. Workflow in Implant Dentistry", *Current Oral Health Reports* : 1-5

Mai, H., Lee, K. and Lee, D. (2017) "Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol118(2): 208–215

Manikandan, R., Giri, and Narendrakumar, R. (2013). Implant surgical guides: From the past to the present", *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, Vol43(1): 98-102

Marchack, C. and Chew, L. (2015) "The 10 – Year Evolution of Guided Surgery", *California Dental Association Journal*, Vol43(3): 131-134

Marei, H., Alshaia, A., Alarifi, S., Almasoud, N. and Abdelhady, A. (2019) "Effect of steam heat sterilization on the accuracy of 3D printed surgical guides", *Implant Dentaire*, Vol28(4): 372-7

Marino, J., Arenal, A., Ceballos, A., Vazquez, J. and Diaz G. (1995) "Fabrication of an implant radiologic-surgical. stent for the partially edentulous patient", *Quintessence International*, Vol26(2): 111-4

Marlière, D., Demètrio, M., Picinini, L., Oliveira, R. and Netto, H. (2018) "Accuracy of computer-guided surgery for dental implant placement in fully edentulous patients: a systematic review", *European Journal of Dentistry*, Vol 12(1): 153–60.

Marra, R., Acocella, A., Rispoli, A., Sacco, R., Ganz, S. and Blasi, A (2013) "Full-mouth rehabilitation with immediate loading of implants inserted with computer-guided flap-less surgery: A 3-year multicenter clinical evaluation with oral health impact profile", *Implant Dentaire*, Vol22(5):444–452

Matta, R., Bergauer, B., Adler, W., Wichmann, M. and Nickenig, H. (2017) "The impact of the fabrication method on the three-dimensional accuracy of an implant surgery template", *Journal of Cranio - Maxillofacial Surgery*, Vol45(6):804-808

Methani, M., Cesar, F., DePaula Miranda, R., Morimoto, S., Ozcan, M. and Revilla-Leon, M. (2020) "Additive manufacturing in Dentistry: Current Technologies, Clinical Applications and Limitations", *Current Oral Health Reports*, Vol7:327-334

Minoretti, R., Merz, B. and Triaca, A. (2000) "Predetermined implant positioning by means of a novel guide template technique", *Clinical Oral Implants Research*, Vol11(3):266-72

Misch, C. (2007) "Contemporary Implant Dentistry", 3rd ed. St. Louis: Mosby Publications

Misch, K. and Wang, H. (2008) "Implant Surgery Complications: Etiology and Treatment", *Implant Dentaire*, Vol17(2): 159-167

Moldovan, M., Balazsi, R., Soanca, A., Roman, A., Sarosi, C., Prodan, D., Vlassa, M., Cojocaru, I., Saceleanu, V. and Cristescu, I. (2019) "Evaluation of the degree of conversion, residual monomers and mechanical properties of some light-cured dental resin composites", *Materials (Basel)*, Vol12(13): 2109

Moraschini, V., Velloso, G., Luz, D. and Barboza, E.(2015) “Implant survival rates, marginal bone level changes, and complications in full-mouth rehabilitation with flapless computer-guided surgery: A systematic review and meta-analysis”. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol44(7):892–901

Mukai, S., Mukai, E., Arnaldo, J., Shibli A., Favari M. and Giro G. (2021) “Assessment of the reproducibility and precision of milling and 3D printing surgical guides”, *BMC Oral. Health*, Vol21(1): 1-7

Nickenig, J., Eitner, S. (2007) “Reliability of implant placement after virtual. planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates”, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, Vol35(4-5): 207–211

Nickenig, J., Wichmann, M., Hamel, J., Schlegel, K. and Eitner, S. (2010) “Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical. guide templates versus the conventional free-hand method combined in vivo in vitro technique using cone-beam CT (Part II)”, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, Vol38(7): 488-493

Ochi, M., Kanazawa, M., Sato, D., Kasugai, S., Hirano, S. and Minakuchi, S. (2013) “Factors affecting accuracy of implant placement with mucosa-supported stereolithographic surgical guides in edentulous mandibles”, *Computers in Biology and Medicine*, Vol43(11): 1653-1660

Ozan, O., Seker, E., Cakmak, G., Gio, X. and Yilmaz, B. (2021) “Effect of guide sleeve material, region, diameter, and number of times drills were used on the material loss from sleeves and drills used for surgical guides: an in vitro study”, *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol128(4): 1-8

Ozan, O., Turkyilmaz, I., Ersoy, A., McGlumphy, E. and Rosenstiel, S. (2009) “Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical. guides in implant placement”, *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol67(2):394-401.

Pal, S., Pooran, C., Dhiman, K., Singh, K. and Kumar, V. (2010) "Role of surgical. stents in determining the position of implants", National Journal of Maxillofacial Surgery, Vol2(1) : 20-23

Park, J., Yi, T., Koak, J., Kim, S., Park, E. and Heo, S. (2014) "Comparison of five-axis milling and rapid prototyping for implant surgical. Templates", The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants, Vol29(2): 374–83

Pesun, J. and Gardner, M. (1995) "Fabrication of a guide for radiographic evaluation and surgical. placement of implants", Journal of Prosthetic Dentistry, Vol73(6):548-552

Pjetursson, B., Bragger, U., Lang, N. and Zwahlen, M. (2007) "Comparison of survival. and complication rates of tooth-supported fixed dental. prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs)", Clinical Oral Implants Research, Vol18(3):97-113.

Pozzi, A., Polizzi, G. and Moy, P. (2016) "Guided surgery with tooth-supported templates for single missing teeth: a critical review", European Journal of Oral Implantology, Vol9(1):135-53

Prithviraj, D., Bhalla, H., Vashisht, R., Sounderraj, K. and Prithvi, S. (2014) "Revolutionizing restorative dentistry: an overview", The Journal of Indian Prosthodontic Society Vol14(4): 333-343.

Revilla – Leon, M., Meyers, M., Zandinejad, A. and Ozcan, M. (2019) "A review on chemical composition, mechanical properties and manufacturing workflow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations", Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, Vol31(1): 51-57

Rutala, W. and Weber, D. (2008) "Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities", Centers for Disease Control and Prevention, vol31(2): 107-117

Sahu, D., Sharma, A., Betha, S., Yella, R., Reddy, K. and Dixit, H. (2019) "Evaluation of efficacy of thermoplastic versus 3d printed surgical. guides for implant placement- An

original. Research”, Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research, Vol7: 187-190

Salem, D. and Mansour, M (2019) “Surgical. guides for Implants; a suggested new classification”, International Journal of Oral Health, Vol6(104): 1-8

Sarment, D., Sukovic, P. and Clinthorne, N. (2023) “Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide”, International Journal of Oral and Maxillofacial Implants, Vol18(4):571-7

Schneider, D., Marquardt, P., Zwahlen, M. and Jung, R. (2009) “A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry”, Clinical Oral Implants Research, 20 (4):73-86.

Schwartz-Arad, D., Grossman, Y. and Chauhu, G. (2000) “The clinical. effectiveness of implants placed immediately into fresh extraction sites of molar teeth”, Journal of Periodontology, Vol71(5): 839-844

Sennhenn-Kirchner, S., Weustermann, S., Mergeryan, H., Jacobs, H., Borg- von Zepelin, M. and Kirchner, B. (2008) “Preoperative sterilization and disinfection of drill guide templates”, Clinical Oral Investigations, Vol12(2):179-87

Seo, C. and Juodzbalys, G. (2008) “Accuracy of Guided Surgery via Stereolithographic Mucosa-Supported Surgical. Guide in Implant Surgery for Edentulous Patient: a Systematic Review”, Journal of Oral and Maxillofacial Research, Vol 9(1):1-18

Sicilia, A., Noguero, B., Cobo, J. and Zabalegui, I. (1998) “ Profile surgical template: A systematic approach to precise implant placement. A technical note”, The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants, Vol13(1):109-14

Sittikornpaiboon, P., Arunjaroen, S., Subbalekha, K., Mattheos, N. and Pimkhaokham, A, (2021) “Comparison of the accuracy of implant placement using different drilling systems for static computer-assisted implant surgery: A simulation-based experimental study”, Clinical Implant Dentistry and Related Research, Vol23(4): 635–643

Smitkarn, P., Subbalekha, K., Mattheos, N. and Pimkhaokham, A. (2019) "The accuracy of single – tooth implants placed using fully digital. – guided surgery and freehand implant surgery", *Journal of Clinical Periodontology*, Vol46(9): 949-957

Solow, R. (2001) "Simplified radiographic-surgical. template for placement of multiple, parallel implants", *Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(1):26-9

Stansbury, J. and Idacavage, M. (2016) "3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities", *Dental Materials*, Vol32(1) : 54-64

steco.de/bohrhuelsen-fuer-implantatplanung/

Stellino, G., Morgano, S. and Imbelloni, A. (1995) "A dual-purpose, implant stent made from a provisional. fixed partial denture", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol74(2):212-4

Stevens, M., Ghasemi, S. and Tabrizi, R. (2021) "Innovative Perspectives in Oral and Maxillofacial Surgery", 1st Edition. Switzerland : 267-275

Sulaiman, T. (2020) "Materials in digital. dentistry—A review", *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, Vol32(2):171–181

Suriyan, N., Sarinnaphakorn, L., Deeb, G. and Bencharit, S. (2019) "Trephination-based, guided surgical implant placement: a clinical study", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol121(3):411–416

Tachmatzidis, T., Fotopoulos, I., Lillis, T., Kapagiannidis, I. and Dabarakis, N. (2023) "Effect of Low Heat Steam Sterilization on the Volumetric Stability of Three Different 3D Printing Materials for Dental Implant Surgical Templates: An *in vitro* Study", *The Open Dentistry Journal*, Vol17:1-7

Tahmaseb, A., Wismeijer, D. and Coucke, W. (2014) "Computer technology applications in surgical. implant dentistry: a systematic review", *The International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. Maxillofac , Vol29(25):25-42

Tahmaseb, A., Wu, V., Wismeijer, D., Coucke, W. and Evans, C. (2018) "The accuracy of static computer-aided implant surgery: a systematic review and meta-analysis", *Clinical Oral Implants Research*, Vol29(16):416–35. (Iteam consensus)

Takeshita, F., Tokoshima, T. and Suetsugu, T. (1997) "A stent for presurgical evaluation of implant placement", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol77(1):36-8. 22.

Tallarico, M., Lumbau, A. and Park, C. (2021) "*In vitro* evaluation of bioburden, three-dimensional stability, and accuracy of surgical templates without metallic sleeves after routinely infection control activities", *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, Vol23(3):380-7

Török, G., Gombocz, P. and Bognár, E. (2020) "Effects of disinfection and sterilization on the dimensional changes and mechanical properties of 3D printed surgical guides for implant therapy – pilot study", *BMC Oral Health*, Vol20(1):12-31

Turbush, S. and Turkyilmaz, I. (2012) "Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: An *in vitro* study", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol108(3): 181-188

Unsal, S., Turkyilmaz, I. and Lakhia, S. (2020) "Advantages and limitations of implant surgery with CAD/CAM surgical guides: A literature review", *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, Vol12(4): 409-417

Valente, F., Schirolli, G. and Sbrenna, A. (2009) "Accuracy of computer-aided oral implant surgery: a clinical and radiographic study", *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol24(2): 234-242

Van Assche, N., Van Steenberghe, D., Quirynen, M. and Jacobs, R. (2010) "Accuracy assessment of computer-assisted flapless implant placement in partial edentulism", *Journal of Clinical Periodontology*, Vol37(4):398–403

Van Assche, N., Vercruyssen, M., Coucke, W., Teughels, W., Jacobs, R. and Quirynen, M. (2012) "Accuracy of computer-aided implant placement", *Clinical Oral Implants Research*, Vol23(6):112–123

- Van der Cruyssen, F., De Faria Vasconcelos, K., Verhelst, P., Shujaat, S., Delsupehe, A. and Hauben, E. (2019) "Metaldebris after dental implant placement: A proof-of-concept study in fresh frozen cadavers using MRI and histological Analysis", *International Journal of Oral Implantology*, Vol12(3) :349-56
- Van de Wiele, G., Teughels, W., Vercruyssen, M., Coucke, W., Temmerman, A. and Quirynen, M. (2015) "The accuracy of guided surgery via mucosa-supported stereolithographic surgical templates in the hands of surgeons with little experience", *Clinical Oral Implants Research*, Vol26(12):1489-94
- Van Noort, R (2012) "The future of dental devices is digital", *Dental Materials*, Vol28(1)3-12
- Vercruyssen, M., Cox, C., Coucke, W., Naert, I., Jacobs, R. and Quirynen, M. (2014) "A randomized clinical trial comparing guided implant surgery (bone- or mucosa-supported) with mental navigation or the use of a pilot-drill template", *Journal of Clinical Periodontology*, Vol41(7): 717–723
- Vercruyssen, M., De Laat, A., Coucke, W. and Quirynen, M. (2014) "An RCT comparing patient-centred outcome variables of guided surgery (bone or mucosa supported) with conventional implant placement", *Journal of Clinical Periodontology*, Vol41(7): 724–732,
- Vercruyssen, M., Laleman, I., Jacobs, R. and Quirynen, M. (2015) "Computer-supported implant planning and guided surgery: a narrative review", *Clinical Oral Implants Research*, Vol26(11): 69–76
- Vitai, V., Nemeth, A., Solyom, E., Gzumbel, L., Szabo, B., Fazekas, R., Gerber, G., Hequi, P., Hermann, P. and Borbely, J (2023) "Evaluation of the accuracy of intraoral scanners for complete-arch scanning: A systematic review and network meta-analysis", *Journal of Dentistry*, Vol137: 35-45
- Vogl, S., Stopper, M., Hof, M., Wegscheider, W. and Lorenzoni, M (2015) "Immediate Occlusal versus Non-Occlusal. Loading of Implants: A Randomized Clinical Pilot Study", *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, Vol17(3):589–597

Voulgarakis, A. and Strub, J. (2014) "Outcomes of implants placed with three different flapless surgical. procedures: a systematic review", *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol43(4): 476-486

Wael, A., Witkowski, S. and Strub, J (2019) "Digital. Workflow in Reconstructive Dentistry", 1st Ed. Chicago, Quintessence Publ Comp. pp

Whitley, D., Eidson, R., Rudek, I. and Bencharit, S. (2017) "In-Office fabrication of dental implant surgical guides using desktop stereolithographic printing and implant treatment planning software: A clinical report", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol118(3):256-263

Winkler, S. (2010) "Extraordinary Implant Failure", *Journal of Oral Implantology*, Vol36(5) 391-399

Yeung, M., Abdulmajeed, A., Carrico, A., Deeb, G. and Bencharit, S. (2020) "Accuracy and precision of 3D-printed implant surgical guides with different implant systems: An in vitro study", *Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol123(6): 821-828

Yi, C., Li, S., Wem, A., Wang, Y., Zhao, Y. and Zhang, Y. (2022) "Digital. versus radiographic accuracy evaluation of guided implant surgery: an in vitro study", *BMC Oral Health*, Vol22: 1-14

Johansson, B., Friberg, B. and Nilson, H. (2009) "Digitally planned, immediately loaded dental implants with prefabricated prosthesis in the reconstruction of edentulous maxillae: a 1-year prospective, multicenter study", *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, Vol11(3):194–200

Yong, L. and Moy, PK. (2008) "Complications of Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Machining-Guided (Nobel-Guide™) surgical implant placement: an evaluation of early clinical results", *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, Vol10(3):123–127

