



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

***ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ
ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗΣ CAD/CAM***

ΜΑΓΓΙΠΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Αριθμός Μητρώου : 48014050

Επιβλέπων Καθηγητής

Καλόβας Νεκτάριος

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Όνομα Επώνυμο

Όνομα Επώνυμο

Όνομα Επώνυμο

Βαθμίδα

Βαθμίδα

Βαθμίδα

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η υπογράφων/ουσα **Μαγγίπα Βασιλική** του **Ιωάννη**, με αριθμό μητρώου 48014050 φοιτητής/τρια του Τμήματος **Μηχανικών Βιοϊατρικής** της Σχολής **Μηχανικών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ημερομηνία

10/03/2022

Ο/Η Δηλών/ούσα



Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V. ΜΑΓΓΙΠΑ'.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη οδοντιατρική, όπως και σε όλους τους τομείς της ιατρικής, οι ειδικοί έχουν ως κύριο μέλημά τους την άνεση των ασθενών τους και την εξοικονόμηση χρόνου όταν πρόκειται για τη θεραπεία τους. Συνεπώς, η ανάγκη χρήσης σύγχρονων μεθόδων θεραπείας αλλά και των πιο εξελιγμένων μηχανημάτων της αγοράς είναι επιτακτική. Επίσης, ένα φαινόμενο της εποχής είναι η αυξημένη ζήτηση αισθητικών παρεμβάσεων στην οδοντοστοιχία, όπως οι όψεις ρητίνης ή οι θήκες πορσελάνης. Για την επίτευξη των παραπάνω, τα συστήματα ψηφιακής οδοντιατρικής CAD/CAM γίνονται ολοένα και πιο απαραίτητα. Ένα πλήρες σύστημα ψηφιακής οδοντιατρικής αποτελείται από τρία βασικά εξαρτήματα, τον ενδοστοματικό σαρωτή, το λογισμικό σχεδιασμού και επεξεργασίας μιας οδοντικής αποκατάστασης και τις μηχανές παραγωγής που στην οδοντιατρική είναι το κοπτικό μηχάνημα και ο φούρνος σύντηξης. Όλα μαζί βοηθούν τον οδοντίατρο ή τον οδοντοτεχνίτη να ετοιμάσει μία οδοντική εργασία σε ένα μόλις ραντεβού με τον ασθενή, με ελάχιστη ταλαιπωρία, μεγαλύτερη ακρίβεια και σχετικά χαμηλό κόστος.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η παρουσίαση όλων των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε ένα πλήρες σύστημα ψηφιακής οδοντιατρικής, η σύγκριση των διαθέσιμων συστημάτων της αγοράς και η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της χρήσης ενός τέτοιου συστήματος. Σημαντική μνεία γίνεται και στα υλικά μιας οδοντικής αποκατάστασης που χρησιμοποιούνται από ένα ψηφιακό σύστημα. Τέλος, περιγράφονται νέες τεχνολογίες, βελτιώσεις και καινούργια μηχανήματα που έρχονται να αντικαταστήσουν ή να βελτιστοποιήσουν τα ήδη υπάρχοντα. Η εργασία περιλαμβάνει εικόνες με τα διαθέσιμα μηχανήματα της αγοράς, πίνακες με τα διαθέσιμα υλικά της αγοράς ταξινομημένα ανάλογα με το είδος του υλικού και πίνακες με τους χρόνους που χρειάζεται κάθε υλικό για να επεξεργαστεί στο τελικό του αποτέλεσμα. Οι περισσότερες από τις εικόνες που παρουσιάζονται είναι από προσωπικό αρχείο και εμφανίζονται πρώτη φορά σε αυτή τη μελέτη.

Λέξεις κλειδιά : οδοντική αποκατάσταση, CAD/CAM , κοπτικό μηχάνημα , φούρνος σύντηξης , λογισμικό σχεδιασμού

ABSTRACT

In modern dentistry, as in all fields of medicine, specialists' main concern is the comfort of their patients and time saving of their treatment. So, the need of using modern methods of treatment and the most advanced machines on the market is imperative. Furthermore, the increased demand for cosmetic interventions in dentures, such as resin veneers or porcelain cases has increased the demand of digital systems in dentistry. A complete CAD/CAM system in dentistry consists of three basic components : the intraoral scanner, the designing software of a dental restoration and the production machines that are the milling machine and the sintering furnace. All of the above components help the dentist or the dental technician to build a dental restoration in just one appointment with the patient, with little inconvenience for the patient, a great accuracy and a relatively low cost.

The purpose of this study is to present all of the technologies that are used in a complete digital dentistry system, to compare all of the available systems on the market and to highlight the advantages of using such a system. There is also significant reference to the materials that are used by a digital system in order a dental restoration to be constructed. Finally, new technologies, improvements and new machines that come to replace or optimize the existing ones are described. This study includes pictures with available machines on the market, tables with available materials on the market sorted according to the type of material and tables with the processing times of the materials. Most of the images presented are part of personal archive and appear for the first time in this study.

Key words: dental restoration, CAD/CAM, milling machine, sintering furnace, designing software

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη αρχικά χωρίς την βοήθεια και την άμεση υποστήριξη του επιβλέποντος καθηγητή μου κ. Νεκτάριου Καλύβα, στον οποίο εκφράζω ένα ειλικρινές ευχαριστώ για την ανταπόκρισή του σε όλα τα αιτήματα μου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου. Επίσης, χρωστώ ένα μεγάλο ευχαριστώ στις συναδέλφους μου κα. Σόνια Μακαρώνα (Ακτινοφυσικό Ιατρικής) και κα. Δώρα Σκόρδου (Οδοντίατρος) για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν ώστε να μου παρέχουν σημαντικές εξηγήσεις και δεδομένα πάνω στο θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσαν. Ευχαριστώ εκ βάθους καρδιάς, την εταιρεία στην οποία εργάζομαι Dentica A.E. – I. Κούρνιας για τις αμέτρητες εξυπηρετήσεις και πιο συγκεκριμένα την κα. Ελένη Κούρνια, πρόεδρο της εταιρείας, η οποία μου παρείχε πρόθυμα ενημερωτικό υλικό, μηχανήματα για δοκιμές, γνώσεις και φωτογραφίες σχετικά με το θέμα το οποίο επέλεξα να αναλύσω. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή υποστήριξη και την αμέριστη αγάπη τους σε όλη τη διαδρομή των σπουδών μου έως και σήμερα.

Αθήνα 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- **1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ CAD / CAM**ΣΕΛ. 8
- **1.2 ΕΞΕΛΙΞΗ CAD/CAM ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ**ΣΕΛ. 9-10
- **1.3 ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**.....ΣΕΛ.10-12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- **2.1 ΠΟΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΠΛΕΟΝ ΕΝΑ ΠΛΗΡΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ CAD/CAM ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ**.....ΣΕΛ. 13
- **2.2 ΛΗΨΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΟΔΟΝΤΟΣΤΟΙΧΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ SCANNER**.....ΣΕΛ. 14
- **2.3 ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΑ ΣΚΑΝΕΡ – DIGITAL INTRAORAL SCANNERS**.....ΣΕΛ. 15-16
- **2.4 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΟΥ ΣΑΡΩΤΗ**.....ΣΕΛ. 17-21
- **2.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**.....ΣΕΛ. 21-25
- **2.6 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΚΟΠΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ**.....ΣΕΛ. 25-30
- **2.6.1 ΕΙΔΗ ΚΟΠΗΣ ΥΛΙΚΩΝ**.....ΣΕΛ. 31-32
- **2.7 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΦΟΥΡΝΟΙ ΣΥΝΤΗΞΗΣ**.....ΣΕΛ. 32-35
- **2.8 ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ CAD-CAM**.....ΣΕΛ. 35-41
- **2.9 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**.....ΣΕΛ. 41-47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- **3.1 ΤΙ ΝΕΟ ΥΠΑΡΧΕΙ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ CAD/CAM ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ**.....ΣΕΛ. 48-50
- **3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ CAD/CAM ΜΕ CBCT**ΣΕΛ. 50-53
- **3.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**.....ΣΕΛ. 53
- **3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**.....ΣΕΛ. 53

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣΕΛ. 54-56

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....ΣΕΛ. 57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ CAD / CAM

Ο σχεδιασμός μοντέλων με βάση τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών (CAD – Computer-Aided Design) , είναι μια διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται πλέον σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους όπως η οδοντιατρική. Κατά την ψηφιακή σχεδίαση τα μοντέλα αυτά (τα ψηφιακά αποτυπώματα της στοματικής κοιλότητας) παρουσιάζονται με τρισδιάστατη μορφή στη οθόνη και μπορούν να τροποποιηθούν αλλάζοντας κάθε φορά τις γεωμετρικές τους παραμέτρους ή να ομαδοποιηθούν ανάλογα με αυτές. Μέσω της ψηφιακής σχεδίασης, τα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να τροποποιηθούν από τον χρήστη και να χρησιμοποιηθούν για μελέτη περιστατικών, κατασκευή προσθετικών εμφυτευμάτων προς αντικατάσταση οδόντων καθώς και άλλων χρήσιμων εργαλείων για την κλινική πράξη [1].

Μετά τον ψηφιακό σχεδιασμό των επιθυμητών εμφυτευμάτων, ακολουθεί η παραγωγή/κατασκευή αυτών από αυτοματοποιημένα μηχανήματα τα οποία επίσης ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή (CAM – Computer-Aided Manufacturing). Το CAD εστιάζει στο σχεδιασμό ενός προϊόντος ή ενός εξαρτήματος. Οι διαδικασίες του ψηφιακού σχεδιασμού (CAD) και της ψηφιακής παραγωγής (CAM) είναι απόλυτα συνυφασμένες καθώς τα γεωμετρικά δεδομένα των μοντέλων κωδικοποιούνται αριθμητικά μέσω του υπολογιστή. [2]

Με βάση τα παραπάνω, η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος CAD/CAM στην οδοντιατρική βασίζεται στη σάρωση εκμαγείων ή αποτυπωμάτων (άνω/κάτω γνάθος, δάγκωμα), την ψηφιοποίηση των αρχείων και την εισαγωγή τους στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ως δισδιάστατα ή τρισδιάστατα μοντέλα. Τα ψηφιακά εκμαγεία τοποθετούνται σε έναν εικονικό αρθρωτήρα (εάν χρειάζεται) και πλέον ο χρήστης (οδοντίατρος/οδοντοτεχνίτης) σχεδιάζει την εργασία βάσει του είδους του εμφυτεύματος, του υλικού κατασκευής του και τις παραμέτρους που έχει το σύστημα παραγωγής (CAM). Λόγω της ταχείας ανάπτυξης των υπολογιστών και της τεχνολογίας γενικότερα, τα συστήματα CAD/CAM όπως είναι η κοινή τους ονομασία, είναι επίσης ταχέως αναπτυσσόμενα.

1.2 ΕΞΕΛΙΞΗ CAD/CAM ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ

Η χρήση των CAD/CAM συστημάτων στην οδοντιατρική ξεκίνησε περί τη δεκαετία του 1980 τόσο στα οδοντοτεχνικά εργαστήρια, όσο και στα οδοντιατρεία. Η τεχνολογία CAD/CAM αναπτύχθηκε κυρίως για την κάλυψη τριών βασικών αναγκών. Πρώτος στόχος ήταν να εξασφαλιστεί η επαρκής αντοχή ενός εμφυτεύματος, ειδικά για τα οπίσθια δόντια τα οποία δέχονται τις μεγαλύτερες μασητικές δυνάμεις. Δεύτερον, με την πάροδο των χρόνων δημιουργήθηκε η ανάγκη και η επιθυμία για παραγωγή καλύτερης ποιότητας εμφυτευμάτων που να μοιάζουν περισσότερο στο φυσικό δόντι, διότι μέχρι εκείνη την εποχή χρησιμοποιούνταν το αμάλαμα, ένα υλικό που είχε μαύρη ή γκρι απόχρωση και δεν προσέγγιζε καθόλου στη φυσική απόχρωση των δοντιών. Τέλος, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα που απασχολούσε τους οδοντιάτρους και τους ασθενείς τους ήταν ο χρόνος. Η ανάγκη λοιπόν η αποκατάσταση των δοντιών να γίνεται ευκολότερα, ταχύτερα και ακριβέστερα ήταν επιτακτική. Πλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, η τεχνολογία CAD/CAM παρέχει στους ασθενείς αποκαταστάσεις ακόμα και σε μία συνεδρία. [3]

Το 1971 ο Δρ. François Duret εισήγαγε στην οδοντιατρική την πρώτη συσκευή CAD/CAM κατασκευάζοντας στεφάνες που είχαν τη μορφολογία των μασητικών επιφανειών με τη χρήση μιας ψηφιακά ελεγχόμενης εργαλειομηχανής. Επίσης, κατάφερε σε ένα διεθνές συνέδριο να κατασκευάσει μια στεφάνη πρόσθιου δοντιού της γυναίκας του σε μία μόνο ώρα [4]. Στη συνέχεια ο Δρ. Mormann δημιούργησε το πρώτο εμπορικό σύστημα CAD/CAM σε συνεργασία με έναν ηλεκτρολόγο μηχανικό, ο οποίος είχε την ιδέα να χρησιμοποιήσει την επιστήμη της οπτικής για να σαρώσει την οδοντοστοιχία. Χρησιμοποίησαν λοιπόν έναν οπτικό σαρωτή, δηλαδή μια συσκευή εισόδου που χρησιμοποιεί δέσμες φωτός για να σαρώσει και να μετατρέψει ψηφιακά εικόνες, κώδικες, κείμενο ή αντικείμενα σε δισδιάστατη (2D) ψηφιακά αρχεία και να μπορεί να τα στείλει σε υπολογιστές και μηχανές φαξ. Έτσι το 1985, η ομάδα αυτή είχε δημιουργήσει την πρώτη αποκατάσταση δίπλα από τον ασθενή, συγκεκριμένα ένα επένθετο (σφράγισμα), χρησιμοποιώντας τον οπτικό σαρωτή και ένα κοπτικό μηχάνημα με φρέζες. Το σύστημα αυτό το ονόμασαν CEREC από τα αρχικά της φράσης Computer-Assisted Ceramic Reconstruction [5].

Στα μέσα του 1980 ο Δρ. Rekow σε συνεργασία με τους συναδέλφους του στο Πανεπιστήμιο της Μινεσότα, εργάστηκαν σε ένα σύστημα πιο περίπλοκο που

συνδύαζε φωτογραφίες, ένα σαρωτή υψηλής ανάλυσης και ένα κοπτικό μηχάνημα 5 αξόνων για να συλλέξουν δεδομένα [6]. Ο Δρ. Andersson στη συνέχεια ανέπτυξε τη μέθοδο Procera για να παρασκευάσει στεφάνες υψηλής ακρίβειας και ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε σύστημα CAD/CAM για την κατασκευή όψεων από σύνθετα υλικά [7]. Πιο πρόσφατα, τα συστήματα CAD/CAM μπόρεσαν να παρέχουν σταθερές ολικές ή και μερικές οδοντοστοιχίες και προσθετικές αποκαταστάσεις επί εμφυτευμάτων, ενώ πλέον μπορούν να παραχθούν ακόμα και διαφανείς, αφαιρούμενοι νάρθηκες για ορθοδοντικές θεραπείες.

1.3 ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα συστήματα CAD/CAM γίνονται όλο και πιο δημοφιλή στα οδοντιατρεία. Περισσότερο από 30.000 οδοντίατροι σε όλο τον κόσμο διαθέτουν ενδοστοματικά σκάνερ και κοπτικά μηχανήματα κι αυτό γιατί τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται από πολλές ειδικότητες της οδοντιατρικής όπως στην αισθητική οδοντιατρική, στην προσθετολογία – εμφυτευματολογία, στην ορθοδοντική και την γναθοχειρουργική. Επίσης χρησιμοποιούνται και στην οδοντοτεχνική.

Οι οδοντίατροι που κάνουν θεραπεία υψηλών αισθητικών απαιτήσεων γνωρίζουν το πόσο σημαντική είναι η παραγωγή προσωρινών όψεων αλλά και στεφανών για την καθολική επιτυχία της θεραπείας. Οι προσωρινές αποκαταστάσεις οδόντων χρησιμοποιούνται όχι μόνο για να προστατεύουν τους εκτεθειμένους ιστούς των δοντιών αλλά δίνουν και μια πιο αισθητική εμφάνιση κατά τη διάρκεια του χρόνου που κατασκευάζονται οι μόνιμες αποκαταστάσεις. Επίσης επιτρέπουν τη δοκιμαστική εκτέλεση του μεγέθους, του σχήματος και του περιγράμματος των μόνιμων αποκαταστάσεων οι οποίες πλέον διακρίνονται για την αισθητική τους και διαθέτουν πολύ υψηλή αντοχή, βιοσυμβατότητα, εφαρμογή, και μακροβιότητα. Πολύ σημαντικές πλέον είναι και οι όψεις ρητίνης ή οι θήκες πορσελάνης που παρασκευάζονται σε ένα μεγάλο ποσοστό από CAD/CAM συστήματα και παρέχουν στον ασθενή όμορφο χαμόγελο (Smile Design) και επιδιορθώνουν τυχόν ατέλειες στην όψη του στόματος.

Ένας άλλος τομέας με αυξημένη χρήση συστημάτων CAD/CAM είναι η γναθοχειρουργική. Μετά τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου θεραπείας, ενδιάμεσοι και τελικοί τρισδιάστατοι εικονικοί χειρουργικοί νάρθηκες μπορούν να

δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές CAD/CAM. Οι χειρουργικοί οδοντικοί οδηγοί, όπως ονομάζονται, δημιουργούνται με μια υπολογιστική διαδικασία μετά τη λήψη μιας ψηφιακής αποτύπωσης της άνω γνάθου και της κάτω γνάθου και βοηθούν τον χειρουργό να μπορέσει να περάσει τα όργανα του χειρουργείου στα σωστά σημεία, εκεί δηλαδή που θα χρειαστεί να γίνουν τομές. Πλέον λοιπόν, ένας γναθοχειρουργός μπορεί να σχεδιάζει και να παράγει ο ίδιος στο ιατρείο του οδηγούς για κάθε ασθενή που υπόκειται σε επέμβαση χωρίς να χρειάζεται επιπλέον χρόνος και κόστος.

Μεγάλη εξέλιξη και βοήθεια έχουν προσφέρει τα CAD / CAM συστήματα και στην προσθετική. Τα εμφυτεύματα αποτελούν πλέον τον πιο διαδεδομένο και σύγχρονο τρόπο αποκατάστασης ενός δοντιού που έχει χαθεί. Τα εμφυτεύματα αποτελούνται είτε από δύο μέρη με το κυρίως εμφύτευμα πάνω στο οποίο βιδώνεται το προσθετικό δόντι είτε από τρία μέρη και έχουν το κυρίως εμφύτευμα, το προσθετικό κολόβωμα και την προσθετική στεφάνη. Το προσθετικό δόντι, το κολόβωμα και η στεφάνη παράγονται πλέον μέσω ψηφιακού συστήματος, εντός του ιατρείου και ο ασθενής μπορεί σε μία μόνο συνεδρία να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στην προσθετική είναι η εφαρμογή του σχεδιασμού και κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή για την παραγωγή κολοβωμάτων και σκελετών εμφυτευμάτων από μέταλλο ή κεραμικό υλικό. Στόχος είναι πάντα η παραγωγή ανθεκτικών εξαρτημάτων εμφυτεύματος. Τα προσθετικά εξαρτήματα μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν με τη χρήση CAD/CAM με παρόμοια ποιότητα και ακρίβεια με τα αντίστοιχα βιομηχανικά εξαρτήματα. Σήμερα, τα CAD/CAM είναι το μόνο μέσο παραγωγής ανθεκτικών εξαρτημάτων στο χρώμα των δοντιών και χωρίς καθόλου μέταλλα και το πιο σημαντικό είναι ότι η διαδικασία παραγωγής γίνεται με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. [8]

Σημαντική ενίσχυση έχει προσφέρει το ψηφιακό σύστημα σχεδιασμού και παραγωγής και στην ορθοδοντική. Ένα παράδειγμα είναι το Invisalign (Align Technology, Inc, Santa Clara, CA, USA), μια θεραπεία που χρησιμοποιεί πολλαπλά, διάφανα, αφαιρούμενα μασελάκια σχεδιασμένα και κατασκευασμένα μέσω CAD/CAM για ίσιωμα δοντιών. Οι ορθοδοντικοί απεικονίζουν τρισδιάστατα τη στοματική κοιλότητα και μέσω ειδικών λογισμικών μπορούν να κάνουν τις απαραίτητες διορθώσεις και να παράγουν το πλάνο θεραπείας κι αποκατάστασης/αντικατάστασης οδόντων ενός ασθενή. Αυτό το επιτυγχάνουν με εικονική μετακίνηση δοντιών η οποία γίνεται από

το λογισμικό. Μέσω του λογισμικού υπολογίζουν σε πόσο καιρό και σε ποια θέση θα βρεθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης, τους νάρθηκες μπορούν να τους παράγουν οι ίδιοι μέσω ψηφιακής εκτύπωσης (3D printing) με ελάχιστο κόστος και λιγότερη ταλαιπωρία για τον ασθενή [9].

Μεγάλη είναι η συνεισφορά των εν λόγω συστημάτων και στην οδοντοτεχνική. Οι οδοντοτεχνίτες πλέον χειρίζονται τους υπολογιστές και σχεδιάζουν τις αποκαταστάσεις οδόντων που τους αναθέτουν οι οδοντίατροι. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τρισδιάστατα ψηφιακά αποτυπώματα των δοντιών που παίρνουν οι οδοντίατροι μέσω των ενδοστοματικών scanner αποστέλλονται εύκολα και γρήγορα στους οδοντοτεχνίτες σε μορφή .STL (ασπρόμαυρα τρισδιάστατα μοντέλα με γεωμετρία) οι οποίοι με τη σειρά τους τα επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας παραμέτρους των λογισμικών σχεδίασης και πληροφορίες που τους αποστέλλονται επίσης ηλεκτρονικά από τους οδοντιάτρους. Κάθε λογισμικό σχεδίασης περιέχει μια μεγάλη βιβλιοθήκη με παραμέτρους σχεδίασης και έτσι κάθε περιστατικό αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητο. Ας μην ξεχνάμε ότι ο πρώτος στόχος της δημιουργία των CAD/CAM συστημάτων ήταν να διευκολυνθεί ο κλάδος της οδοντοτεχνικής και για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν αυτές οι βιβλιοθήκες παραμέτρων και φυσικά τα κοπτικά μηχανήματα 5 αξόνων τα οποία χρησιμοποιούν ολόκληρους δίσκους υλικών ώστε να παράγονται πολλές και μεγάλες αποκαταστάσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Όπως είναι λογικό τα ψηφιακά συστήματα αυτά αποτελούνται από διάφορα μηχανήματα σύγχρονης τεχνολογίας και τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση και από κάθε κλάδο της Οδοντιατρικής είναι βιοσυμβατά και πλησιάζουν πολύ στη φυσική οδοντοστοιχία. Στη συνέχεια αυτής της εργασίας θα επεξηγηθούν οι τρόποι λειτουργίας των μηχανημάτων καθώς και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση. Σημαντική αναφορά θα γίνει και στα υλικά καθώς είναι και αυτά που καθορίζουν την ποιότητα, την ακρίβεια, την μορφολογία και την ανθεκτικότητα μιας αποκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΠΟΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΠΛΕΟΝ ΕΝΑ ΠΛΗΡΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ CAD/CAM ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ

Τα πρώιμα συστήματα CAD/CAM περιορίζονταν στην κατασκευή επιθεμάτων, ενθεμάτων και μονών στεφανών. Τώρα, με την πληθώρα τεχνολογιών CAD/CAM, δεν υπάρχει ουσιαστικά κανένα όριο στον τύπο της οδοντικής αποκατάστασης που μπορεί να κατασκευαστεί από απλές στεφάνες, μέχρι και γέφυρες, όψεις, εμφυτεύματα, στηρίγματα εμφυτευμάτων ακόμα και αφαιρούμενες προσθετικές οδοντοστοιχίες για μερικώς και εντελώς νωδούς ασθενείς, ασθενείς δηλαδή που έχουν ελάχιστα ή καθόλου δόντια. [10]

Όλα τα συστήματα CAD/CAM αποτελούνται από τρία βασικά γενικά μέρη:

1. Ένα ψηφιακό σκάνερ που μετατρέπει τη μορφολογία ενός μοντέλου σε ψηφιακά δεδομένα που μπορούν να υποστούν επεξεργασία από ηλεκτρονικό υπολογιστή.
2. Ένα λογισμικό το οποίο επεξεργάζεται τα δεδομένα και παράγει ένα άλλο σύνολο δεδομένων που μπορεί να εισαχθεί στα μηχανήματα παραγωγής.
3. Μια σειρά μηχανημάτων παραγωγής που μετατρέπουν το σύνολο δεδομένων από γλώσσα μηχανής στο επιθυμητό τελικό προϊόν.

Όσον αφορά στην οδοντιατρική, τα τρία βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος είναι :

1. Το ενδοστοματικό σκάνερ που μπορεί να είναι είτε οπτικό είτε μηχανικό και το οποίο συνοδεύεται από λογισμικό ψηφιακής αποτύπωσης (λογισμικό σάρωσης).
2. Το λογισμικό σχεδίασης και επεξεργασίας αποκαταστάσεων και εργασιών
3. Οι συσκευές παραγωγής του τελικού προϊόντος που είναι τα κοπτικά μηχανήματα, τα οποία βάσει των αξόνων κοπής χωρίζονται σε 3-αξονικά, 4-αξονικά και 5-αξονικά και οι φούρνοι σύντηξης και γυαλίσματος. [11]

Αξίζει να σημειωθεί πως τα μηχανήματα παραγωγής που αναφέρθηκαν παραπάνω, πολλές φορές συνοδεύονται και αυτά από δικό τους λογισμικό (CAM Software) το οποίο φυσικά συνδέεται με το λογισμικό ψηφιακής σχεδίασης και επεξεργασίας. Το λογισμικό παραγωγής περιέχει όλους τους καταλόγους με τις παραμέτρους των μηχανημάτων και βάσει των δεδομένων που λαμβάνει από το λογισμικό σχεδίασης

δίνει τις κατάλληλες εντολές στα μηχανήματα, ρυθμίζοντας τις παραμέτρους τους, ώστε να παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

2.2 ΛΗΨΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΟΔΟΝΤΟΣΤΟΙΧΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ SCANNER

Είναι γνωστό πως ακόμα και μέχρι σήμερα, τα αποτυπώματα των γνάθων ενός ανθρώπου λαμβάνονται ορισμένες φορές με τη χρήση σιλικόνης μέσω μιας διαδικασίας αρκετά κουραστικής και χρονοβόρας τόσο για τον ιατρό όσο και για τον ασθενή. Όταν μιλάμε για αποτύπωμα ή όπως συνηθίζεται να λέγεται για <<τα μέτρα>> της οδοντοστοιχίας αναφερόμαστε στον τρόπο λήψης ενός αντιγράφου του στόματος, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για μελέτη ενός περιστατικού είτε για την κατασκευή μιας εργασίας. Η διαδικασία είναι η εξής : ο ιατρός ετοιμάζει ένα παχύρευστο μίγμα σιλικόνης ή αλγινικού , το τοποθετεί μέσα σε δύο δισκάρια αποτύπωσης ημικυκλικού σχήματος (ένα για την άνω γνάθο και ένα για την κάτω γνάθο), στη συνέχεια βάζει το κάθε δισκάριο στο στόμα του ασθενούς και περιμένει τον ανάλογο χρόνο ώστε να πήξει το υλικό. Αφού πήξει, δημιουργείται στην ουσία μια «θήκη» (που είναι το αρνητικό αποτύπωμα της οδοντοστοιχίας), η οποία γεμίζει με γύψο και έτσι δημιουργείται το τελικό αποτέλεσμα που ονομάζεται εκμαγείο και που είναι ουσιαστικά ένα κατασκευασμένο στόμα ασθενούς. [12]



Εικ.1 : Δισκάρια αποτύπωσης οδοντοστοιχίας

2.3 ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΑ ΣΚΑΝΕΡ – DIGITAL INTRAORAL SCANNERS

Την παραπάνω διαδικασία έρχονται να αντικαταστήσουν επάξια τα ενδοστοματικά σκάνερ. Τα ενδοστοματικά σκάνερ έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως μείωση του πόνου και της δυσφορίας των ασθενών, μείωση του κινδύνου μολύνσεων, σάρωση και οπτικοποίηση αποτυπώσεων σε πραγματικό χρόνο, επιλεκτική σάρωση συγκεκριμένου σημείου του στόματος, μείωση του κόστους και της σπατάλης των υλικών και τέλος ανίχνευση οδοντικής τερηδόνας και ρωγμών που μπορεί να υπάρχουν στα δόντια και να μη γίνονται αντιληπτές με την κλασική μέθοδο. [13]

Τα πιο σύγχρονα σκάνερ της αγοράς είναι αυτόνομες μονάδες (standalone units), που σημαίνει πως όλα τα εξαρτήματα που το αποτελούν βρίσκονται μαζί, αγοράζονται ως πακέτο και λειτουργούν σε συνδυασμό.

Ένα ενδοστοματικό σκάνερ αποτελείται επί της ουσίας από μία ψηφιακή κάμερα και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (σταθερός υπολογιστής, τάμπλετ ή λάπτοπ). Η υψηλή τεχνολογία των ψηφιακών σκάνερ καθώς και αυτό που κάνει το κάθε σκάνερ διαφορετικό και ιδιαίτερο βρίσκεται στην κάμερα.

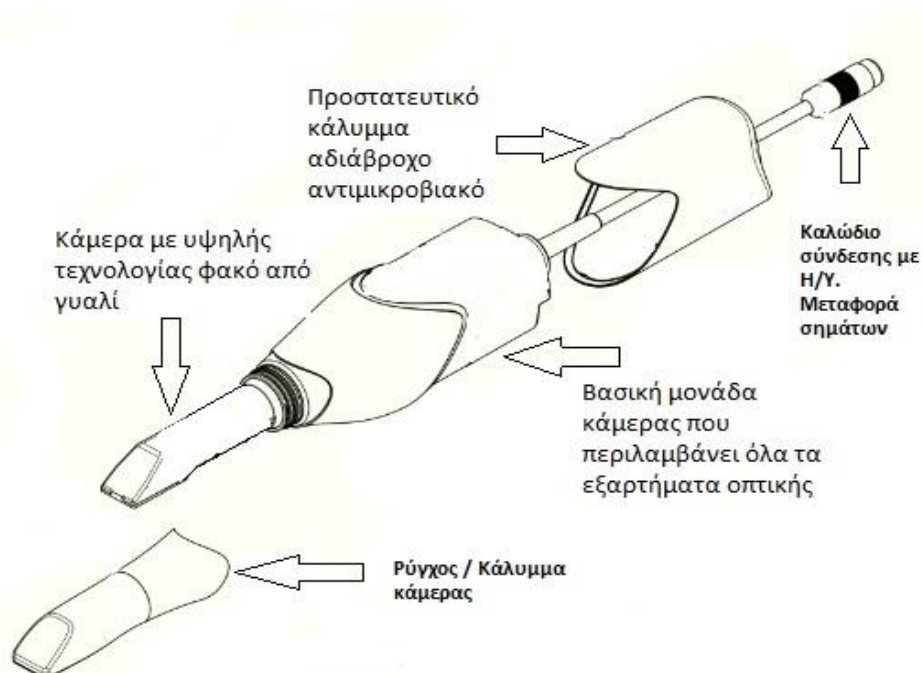
Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένας ενδοστοματικός σαρωτής είναι:

- Ταχύτητα σάρωσης , όσο το δυνατόν υψηλότερη
- Ομαλή ροή σάρωσης , όσο το δυνατόν αδιάκοπη
- Μέγεθος κάμερας , όσο το δυνατόν μικρότερη ώστε ο ασθενής να μη νιώθει άβολα
- Ακρίβεια στη λεπτομέρεια και σε σημεία που είναι δύσκολο να απεικονιστούν
- Σωστή και εύκολη αποστείρωση (κατά προτίμηση κλιβανισμός) για την αποφυγή λοιμώξεων και μολύνσεων. [13]

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη της τρισδιάστατης οπτικής απεικόνισης της στοματικής κοιλότητας είναι να μην υπάρχουν γυαλισμένες επιφάνειες και υπερβολική σίελος, διότι δημιουργούνται αντανάκλασεις που αποτρέπουν τον εντοπισμό των σημείων ενδιαφέροντος (POI). Για να ξεπεραστεί αυτό, ο χειριστής πρέπει είτε να αλλάξει τον προσανατολισμό της κάμερας, είτε να χρησιμοποιήσει κάμερα με πολωτικό φίλτρο ή να επικαλύψει την οδοντοστοιχία με κατάλληλη πούδρα. [14]

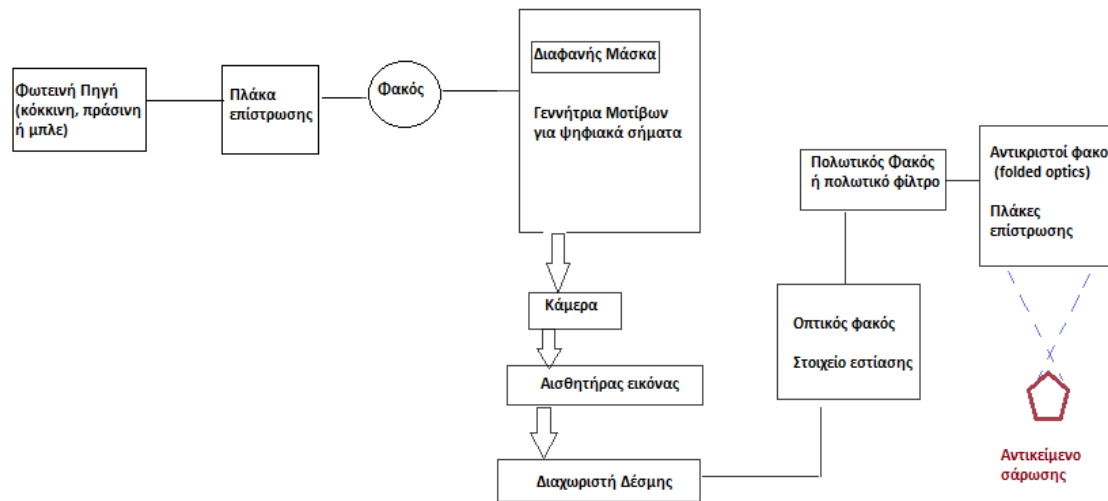
Μόλις η στοματική κοιλότητα είναι έτοιμη για αποτύπωση, τα ενδοστοματικά σκάνερ που έχουν το σχήμα μιας φαρδιάς και μεγάλης οδοντόβουρτσας, προβάλλουν μία πηγή φωτός πάνω στην επιθυμητή περιοχή σάρωσης. Χιλιάδες εικόνες ή σημεία καταγράφονται στη συνέχεια από αισθητήρες και υποβάλλονται σε επεξεργασία από το λογισμικό σάρωσης. Τα σημεία ή οι εικόνες ενδιαφέροντος έπειτα, συνδυάζονται μεταξύ τους ανάλογα τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά και στη συνέχεια παράγεται ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο που απεικονίζει τα δόντια και τη γεωμετρία των ούλων. [14]

Καθώς ο χειριστής καθοδηγεί το ενδοστοματικό σκάνερ μέσα στη στοματική κοιλότητα του εξεταζόμενου, το σύστημα εμφανίζει οτιδήποτε σαρώνει σε μια συμβατική οθόνη τηλεόρασης ή οθόνη υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο. Καταγράφει και αποθηκεύει επίσης τα ψηφιακά δεδομένα για μετέπειτα επανεξέταση, μελέτη, κοινή χρήση με συναδέλφους και προσωπικό και ενδεχόμενη μεταφορά σε οποιαδήποτε κατάλληλα εξοπλισμένη μηχανή παραγωγής.



Εικ 2 : Βασική μορφολογία κάμερας ενδοστοματικού σαρωτή , αναλυτική περιγραφή των εξαρτημάτων της

2.4 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΜΕΡΑΣ ΕΝΔΟΣΤΟΜΑΤΙΚΟΥ ΣΑΡΩΤΗ



Εικ. 3: Σχηματικό διάγραμμα των κύριων στοιχείων της κάμερας ενός ενδοστοματικού σκάνερ. Αρχή λειτουργίας της ενδοστοματικής οπτικής απεικόνισης

Από το παραπάνω σχηματικό διάγραμμα, η αρχή λειτουργίας της κάμερας ενός ενδοστοματικού σαρωτή βασίζεται κυρίως στην επιστήμη της οπτικής σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση. Η ενδοστοματική σάρωση (ή αλλιώς IOS – Intra Oral Scanning) έχει σχεδιαστεί με τη χρήση των ανέπαφων οπτικών τεχνολογιών και πιο συγκεκριμένα έχει βασιστεί στην αρχή της συνεστιακής μικροσκοπίας σάρωσης με τη χρήση ακτινών λέιζερ. [15]

Η τεχνική αυτή παράγει εικόνες με υψηλή ανάλυση σε ένα επιλεγμένο βάθος. Το δείγμα φωτίζεται μέσω μιας μονοχρωματικής ακτίνας λέιζερ, η οποία διέρχεται μέσω ενός μικρού διαφράγματος. Έτσι, το φως εστιάζει σε μια πολύ μικρή περιοχή του αντικειμένου (π.χ. δοντιού ή οστού) με τη χρήση ενός αντικειμενικού φακού και συνεπώς ο φωτισμός των περιοχών που είναι εκτός πεδίου εστίασης εξαλείφεται. Έπειτα, η ανακλώμενη ή η σκεδαζόμενη ακτινοβολία της φωτισμένης περιοχής γυρνάει πίσω στον φακό και μέσω ενός διαχωριστή δέσμης προσπίπτει στον αισθητήρα (φωτοδίοδο ή φωτοπολλαπλασιαστή) και μέσω αυτού η ακτινοβολία του φωτός μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο εν συνεχεία μεταφέρεται και επεξεργάζεται από τον υπολογιστή. Όλα τα σημεία του πεδίου της εστίασης

σαρώνονται κατ' αυτό τον τρόπο με αποτέλεσμα τη δημιουργία της επιθυμητής εικόνας. [16] Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί πως η ποιότητα της κάμερας ενός ενδοστοματικού σαρωτή καθορίζεται από την ποιότητα των επιμέρους εξαρτημάτων της. Μια καλή και ακριβής κάμερα καθορίζεται κυρίως από το μέγεθος και την ποιότητα του φακού στο προστόμιο της και φυσικά από τον αισθητήρα CCD ή CMOS που έχει. Και οι δύο αισθητήρες μετατρέπουν τα φωτεινά σήματα και τα ηλεκτρόνια σε ηλεκτρικά σήματα (δεδομένα). Οι αισθητήρες CCD είναι περισσότερο φωτοευαίσθητοι και παράγουν εικόνες μεγαλύτερης ακρίβειας, χωρίς θόρυβο και συνεπώς είναι πιο ακριβοί. Από την άλλη, οι αισθητήρες CMOS είναι πιο οικονομικοί καθώς το σήμα λαμβάνεται σε κάθε pixel του αισθητήρα κι έτσι η διαδικασία είναι πιο ευέλικτη επειδή κάθε pixel μπορεί να διαβαστεί μεμονωμένα και να δώσει τα δεδομένα. Συνεπώς η ταχύτητα λήψης δεδομένων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ταχύτητα που δίνει δεδομένα ένας αισθητήρας CCD. [17]

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη σάρωση της στοματικής κοιλότητας του εξεταζομένου, ο χειριστής έχει την δυνατότητα να βλέπει στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο τι ακριβώς απεικονίζει. Συνεπώς, το ενδοστοματικό σκάνερ πρέπει να περιλαμβάνει εκτός από την κάμερα τον Η/Υ και τον περιφερειακό εξοπλισμό όπως ποντίκι, πληκτρολόγιο, οθόνη και ηχεία. Κάποια παραδείγματα ολόκληρων μονάδων ενδοστοματικών σκάνερ.

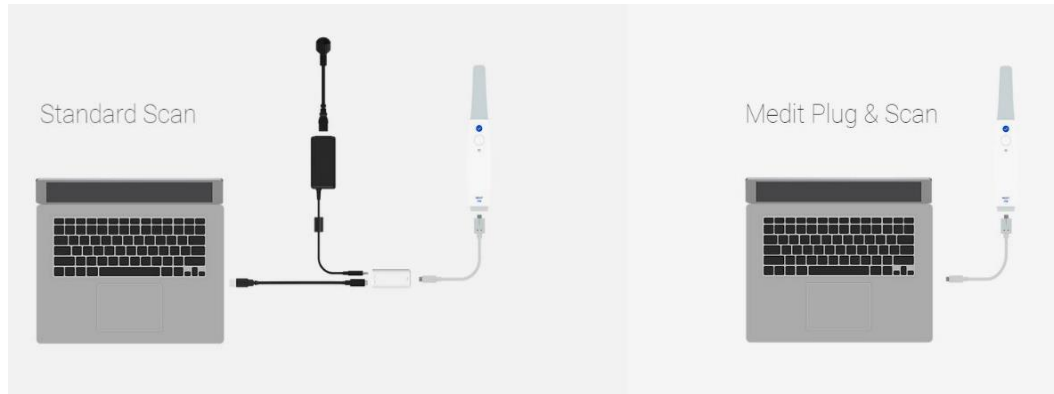


(4)



(5)

Εικ 4. & Εικ. 5 : Ενδοστοματικά σκάνερ με χρήση tablet.



(6)



(7)

(8)



(9)

Εικ 6, 7, 8, 9 : Ενδοστοματικά scanner με χρήση laptop.



(10)



(11)

Εικ. 10 & 11 : Ενδοστοματικά σκάνερ με χρήση ολόκληρων Η/Υ.

Για να γίνει η σάρωση πιο εύκολη και γρήγορη κάθε υπολογιστής , laptop ή tablet πρέπει να έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές ώστε να μπορέσει να υποστηρίξει το λογισμικό σάρωσης, το λογισμικό σχεδίασης και το λογισμικό κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο εξαρτήματα που είναι απαραίτητο να είναι άριστης ποιότητας και απόδοσης είναι ο επεξεργαστής (CPU) και η κάρτα γραφικών (Graphics card). Από τη μία ο επεξεργαστής είναι εκείνο το στοιχείο που ανακαλεί, αποκωδικοποιεί και εκτελεί τις εντολές που λαμβάνονται ως δεδομένα από τον ενδοστοματικό σαρωτή. Συνεπώς, χρειάζεται ένας πολύ δυνατός επεξεργαστής (με πολλούς πυρήνες) ώστε η ταχύτητα της αποκωδικοποίησης και της εκτέλεσης των εντολών να είναι η γρηγορότερη δυνατή. Ένας επεξεργαστής αποτελείται από πυρήνες, που ουσιαστικά είναι από μόνοι τους επεξεργαστές. Δηλαδή , κάθε πυρήνας παίζει το ρόλο ενός μικρότερου επεξεργαστή. Έτσι λοιπόν, η ισχύς του συνολικού πολλαπλασιάζεται όταν αυξάνεται ο αριθμός των πυρήνων. Για απλούς υπολογιστές τις αγοράς οι 4 πυρήνες είναι αρκετοί. Για υπολογιστές που θα ενσωματώσουν τα λογισμικά απεικόνισης και επεξεργασίας οδοντικών αποκαταστάσεων χρειάζονται πάνω από 8 πυρήνες. Από την άλλη ένα καλό και ποιοτικό ενδοστοματικό σκάνερ χρειάζεται απαραίτητως και μια εξαιρετική κάρτα γραφικών. Η κάρτα γραφικών είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση της λειτουργίας των εικόνων στο μόνιτορ. Κάθε εικόνα αποτελείται από πολλά μικρά σημεία (κουκκίδες) τα επονομαζόμενα pixel. Κάθε pixel έχει τη δική του φωτεινότητα και το δικό του χρώμα. Τις πληροφορίες αυτές για το κάθε εικονοστοιχείο τις κατέχει η κάρτα γραφικών. Έτσι λοιπόν, εάν το σκάνερ διαθέτει

μια καλή κάρτα γραφικών η απεικόνιση της στοματικής κοιλότητας ή των στοιχείων αυτής γίνεται πιο ρεαλιστική και πιο επιτυχημένη. Πράγμα που αποζητούν τόσο οι οδοντίατροι όσο και οι οδοντοτεχνίτες που θα λάβουν το αρχείο της αποτύπωσης από τους οδοντίατρος. Η κάρτα γραφικών θα πρέπει να έχει μία καλή ταχύτητα μνήμης (Memory speed), ούτως ώστε να μπορεί να ανακαλεί τα δεδομένα που χρειάζεται από τη μνήμη RAM του υπολογιστή. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως όσο καλύτερη ταχύτητα μνήμης διαθέτει μια κάρτα γραφικών, τόσο πιο γρήγορα ανακαλεί δεδομένα άρα τόσο πιο γρήγορα τα επεξεργάζεται. Η ταχύτητα αυτή αναφέρεται σε gigabits / second (ρυθμός μεταφοράς δεδομένων) και μια καλή κάρτα γραφικών θα πρέπει να έχει ταχύτητα από 5 Gbps και πάνω. Επιπλέον, οι πυρήνες μιας κάρτας γραφικών που συμμετέχουν στη συνολική απόδοση και ισχύ της είναι σημαντικοί. Όσο περισσότεροι πυρήνες τόσο μεγαλύτερη η ισχύς της κάρτας. Λόγω του ότι μιλάμε για μεγάλο όγκο δεδομένων στα οδοντιατρικά σκάνερ καθώς και για εργασίες που πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα η κάρτα γραφικών ενός αξιόπιστου ενδοστοματικού σκάνερ πρέπει να έχει πάνω από 1300 πυρήνες (stream processors) Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και η μνήμη του H/Y καθώς τα στοιχεία που λαμβάνονται από την κάμερα είναι εκατομμύρια και πρέπει να υπάρχει ο κατάλληλος χώρος για να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν. Έτσι λοιπόν, είναι σημαντικό να υπάρχουν εσωτερικά του υπολογιστή τουλάχιστον 16 Gigabytes μνήμη. Αυτή είναι η ελάχιστη μνήμη που χρειάζεται ένας υπολογιστής ενδοστοματικού σαρωτή ώστε να χωρέσει τα Windows και το λογισμικό επεξεργασίας και σχεδιασμού αποκαταστάσεων. Σε περίπτωση όμως που πρέπει να εγκατασταθούν κι άλλες εφαρμογές συνίσταται η αναβάθμιση της μνήμης σε 32 Gb. Είναι λοιπόν εύκολα αντιληπτό, πως όσο καλύτερα τα εσωτερικά εξαρτήματα ενός H/Y τόσο πιο ακριβός αλλά αξιόπιστος και ταχύτερος θα είναι.

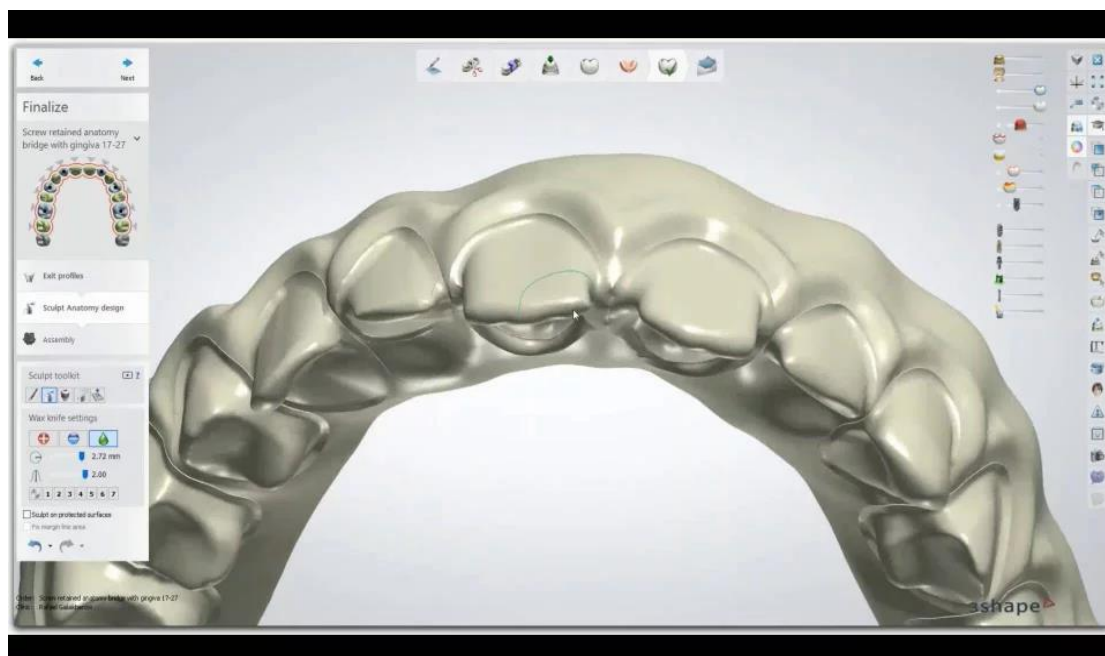
2.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το επόμενο σημαντικό στοιχείο ενός πλήρους συστήματος CAD/CAM στην οδοντιατρική είναι το λογισμικό επεξεργασίας και σχεδιασμού. Το λογισμικό είναι υπεύθυνο για τη διαλογή των δεδομένων που συλλέγονται από τη σάρωση αλλά και για τη μετέπειτα επεξεργασία τους. Πρόκειται για ένα λογισμικό το οποίο εκτελεί κάποιες συγκεκριμένες εργασίες. Πρώτη εργασία είναι η ταξινόμηση των σημείων ενδιαφέροντος που συλλέγονται από την κάμερα και ο διαχωρισμός των σημαντικών πληροφοριών (δεδομένων) από τα ασήμαντα ή άχρηστα. Δεύτερη εργασία του

λογισμικού είναι η επεξεργασία αυτών των δεδομένων βάσει επιλογών που γίνονται από το χειριστή. Κάθε λογισμικό διαθέτει καταλόγους με απεριόριστες επιλογές, μοντέλα, κινήσεις που μπορεί να κάνει ο χειριστής που συνήθως είναι οδοντίατρος ή οδοντοτεχνίτης. Διαθέτει επίσης καταλόγους όλων των υλικών της αγοράς και των χαρακτηριστικών τους. Το λογισμικό αναλύει όλα τα στοιχεία που έχουν σαρωθεί (δόντια, ούλα κ.λ.π) και προβλέπει την ανατομία τους μέσω εξειδικευμένων αλγορίθμων. Με την παρέμβαση του χειριστή, επάνω στο σαρωμένο αποτύπωμα μπορούν να γίνουν όλες οι επιθυμητές αλλαγές όπως π.χ. να κοπούν κάποια άχρηστα για τον οδοντίατρο τμήματα, να σχεδιαστούν τα όρια σε μία αποκατάσταση, να σχεδιαστεί ένα καινούργιο δόντι, μία στεφάνη, μια γέφυρα, ένα εμφύτευμα ακόμα κι ένα σφράγισμα. Τέλος, μέσω του λογισμικού μπορεί να γίνει χρωματοληψία. Την ώρα του σκαναρίσματος ή την ώρα της επεξεργασίας το λογισμικό διαθέτει συγκεκριμένο εργαλείο και χρωματολόγιο το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει ο χειριστής ώστε να διαπιστώσει ποια είναι η απόχρωση των δοντιών του εξεταζομένου ώστε η αποκατάσταση που θα σχεδιάσει, θα κατασκευάσει και θα τοποθετήσει στο στόμα του να είναι ίδια με την πραγματική απόχρωση των δοντιών του. Έχοντας λοιπόν κάνει όλο το σχεδιασμό και την επεξεργασία το λογισμικό διαθέτει επιλογή δημιουργίας αρχείου STL. Αυτή η μορφή αρχείου περιγράφει μόνο τη γεωμετρία της ενός τρισδιάστατου αντικειμένου χωρίς περιέχει άλλα χαρακτηριστικά όπως χρώμα, υφή. Το πιο σημαντικό όμως είναι πως η μορφή STL αρχείων είναι η παγκόσμια κοινή μορφή που δέχονται όλα τα CAD/CAM λογισμικά στην ψηφιακή οδοντιατρική. Είναι σαφές ότι όλες οι εταιρείες που παράγουν μηχανήματα ψηφιακής οδοντιατρικής έχουν και το δικό τους λογισμικό. Για να είναι εύκολη η επικοινωνία μεταξύ των λογισμικών, τα αρχεία που έχουν επεξεργαστεί οι οδοντίατροι παράγονται από όλα τα λογισμικά σε μορφή STL, ώστε να μπορούν να σταλούν σε άλλους οδοντιάτρους ή οδοντοτεχνίτες για παραγωγή. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια, πως όλες οι μεγάλες εταιρείες παραγωγής ψηφιακών οδοντιατρικών μηχανημάτων έχουν «ανοιχτά» λογισμικά. Δηλαδή είναι έτσι διαμορφωμένα ώστε να μπορούν να επικοινωνούν και να αποστέλλουν περιστατικά σε όλες τις μορφές αρχείων της αγοράς για να μην χάνονται χρήσιμες πληροφορίες από το τελικό αποτέλεσμα όπως το χρώμα και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των αποτυπωμάτων, που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία της τελικής αποκατάστασης οδόντων.

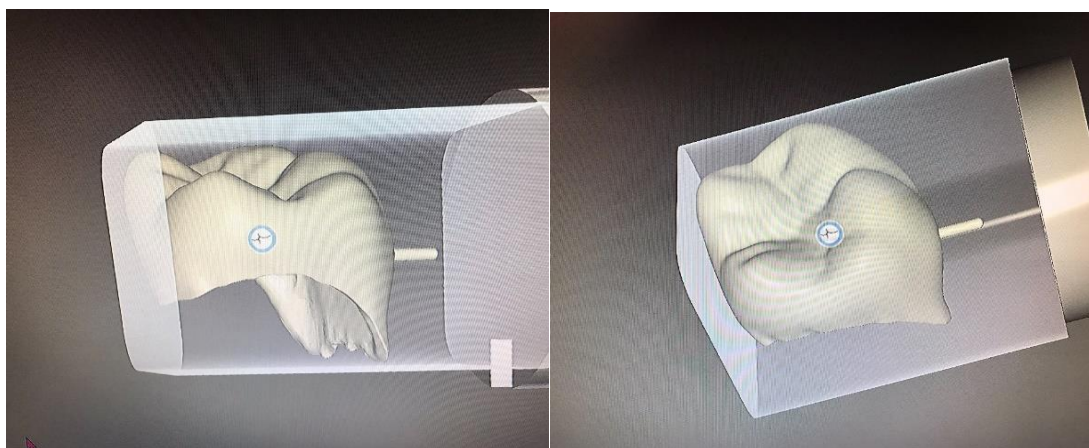


Εικ 12 : Λογισμικό επεξεργασίας και αποτύπωσης , στο πλάι δεξιά φαίνονται όλα τα διαθέσιμα εργαλεία που έχει στη διάθεσή του ο χειριστής ώστε να σχεδιάσει όπως ο ίδιος επιθυμεί την αποκατάστασή.

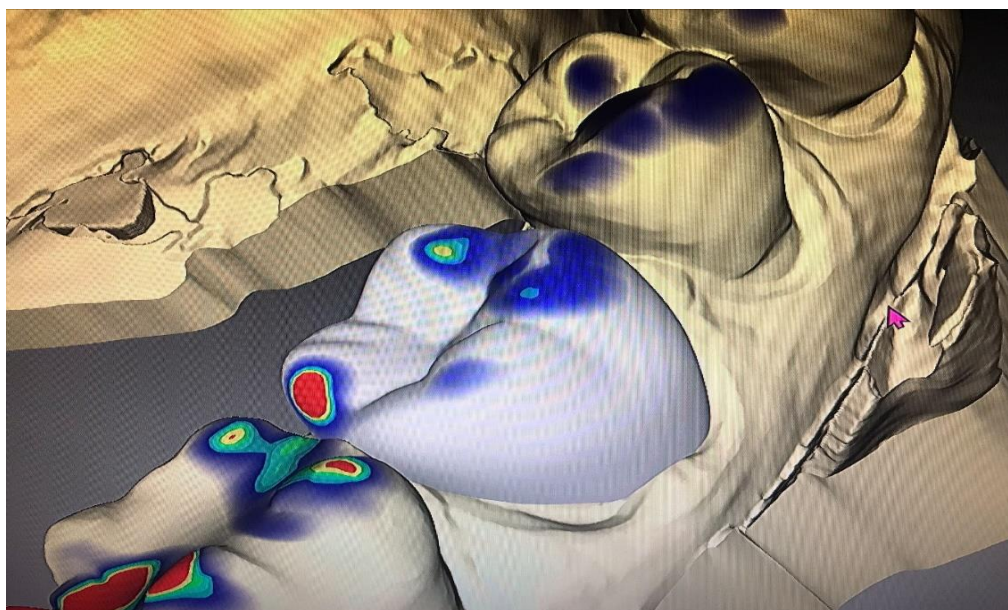


Εικ 13 : Λογισμικό επεξεργασίας και αποτύπωσης διαφορετικής εταιρείας. Επίσης αριστερά και δεξιά φαίνονται τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα από το λογισμικό.

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω δύο φωτογραφίες, τα λογισμικά αποτύπωσης και σχεδιασμού διαθέτουν αμέτρητα εργαλεία και επιλογές για την δημιουργία μιας αποκατάστασης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως τα λογισμικά δίνουν την επιλογή της επεξεργασίας και υλοποίησης ολόκληρης της αποκατάστασης από τον ίδιο τον οδοντίατρο, όμως δίνουν και την επιλογή μόνο της σάρωσης του στόματος του ασθενούς. Από εκεί κι έπειτα ο οδοντίατρος αποστέλλει το περιστατικό που έχει σαρώσει στον οδοντοτεχνίτη με τον οποίο συνεργάζεται έχοντας απλά συμπληρώσει το είδος της αποκατάστασης, το υλικό που θέλει να χρησιμοποιηθεί, το χρώμα που έχει η οδοντοστοιχία του εξεταζόμενου και όποιο άλλο στοιχείο θεωρεί εκείνος σημαντικό και ο οδοντοτεχνίτης με τη σειρά του αναλαμβάνει να σχεδιάσει αυτό που του έχει ζητηθεί από τον πελάτη του. Η ποιότητα ενός ενδοστοματικού σκάνερ εξαρτάται κατά πολύ και από το λογισμικό. Όσο μεγαλύτερη δυνατότητα έχει ένα λογισμικό, να διαχωρίζει τα σημαντικά στοιχεία της σάρωσης από τα ασήμαντα και όσο πιο γρήγορα εκτελεί αυτή τη διαδικασία αλλά και τη διαδικασία ομαδοποίησης των points of interest τόσο πιο εξελιγμένο και ποιοτικό είναι.



Εικ 14 & 15 : Πως φαίνεται σχεδιασμένη μια αποκατάσταση (απλή μονή στεφάνη) στο λογισμικό.



Εικ. 16 : Η παραπάνω μονή στεφάνη τοποθετημένη στη θέση της για επεξεργασία σε πραγματικές συνθήκες. Τα χρώματα αντιπροσωπεύουν δυνάμεις σύγκλισης δοντιών με τους ανταγωνιστές και με τα διπλανά δόντια και προκύπτουν αυτόματα από τον αλγόριθμο του λογισμικού (λαμβάνοντας υπόψη την αποτύπωση άνω & κάτω γνάθου).

Εφόσον λοιπόν, ο οδοντίατρος ή ο οδοντοτεχνίτης έχει τελειώσει με το σχεδιασμό της επιθυμητής αποκατάστασης και έχει ρυθμίσει όλες τις παραμέτρους που αφορούν τον ασθενή του, σειρά έχει η παραγωγή της. Μέσω του λογισμικού CAD (σχεδιαστικό) , η εργασία αποστέλλεται αυτόματα μέσω ενός πλήκτρου στο λογισμικό CAM (παραγωγής) , εάν πρόκειται για λογισμικά της ίδιας εταιρείας. Το λογισμικό CAM περιέχει όλες τις εντολές και ρυθμίσεις που αφορούν στα μηχανήματα παραγωγής. Είναι δηλαδή το λογισμικό που μετατρέπει την επεξεργασμένη αποκατάσταση σε γλώσσα μηχανής ώστε να δοθούν οι σωστές οδηγίες κίνησης, πίεσης, δύναμης, τριβής χρόνου στο κοπτικό μηχανήμα για να προχωρήσει στην κοπή.

2.6 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΚΟΠΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο μιας πλήρους οδοντικής αποκατάστασης σε σύστημα ψηφιακής οδοντιατρικής , είναι η τελική κατασκευή της με τη χρήση κοπτικού μηχανήματος και το στίλβωμα και γυάλισμα εάν χρειάζεται σε φούρνο σύντηξης. Τα ψηφιακά δεδομένα της επεξεργασίας από το λογισμικό CAD μετατρέπονται στο φυσικό προϊόν από τα κοπτικά μηχανήματα που χρησιμοποιούν υψηλής ποιότητας φρέζες διαμαντιού σε διάφορες διαμέτρους , οι οποίες σκαλίζουν από έξω προς τα

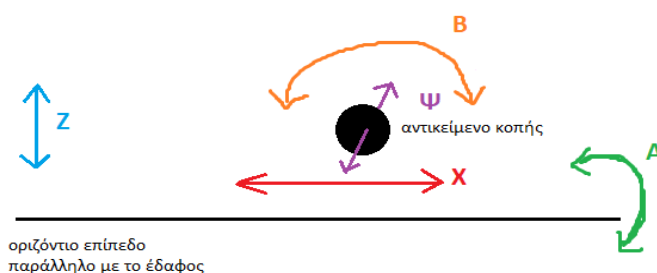
μέσα το υλικό και σχηματίζουν όλες τις λεπτομέρειες που έχουν σχεδιαστεί στο πρόγραμμα CAD. [18]



Εικ. 17 & 18: Παραδείγματα φρεζών που χρησιμοποιούν τα κοπτικά μηχανήματα. Ποικίλλουν μορφολογικά ανάλογα το περιστατικό

και το υλικό που πρόκειται να κοπεί. Οι φρέζες είναι τα όργανα που σκαλίζουν, κόβουν και τριμάρουν το υλικό.

Τα κοπτικά μηχανήματα χωρίζονται σε 3 αξόνων, 4 αξόνων και 5 αξόνων. Οι μηχανές 3 αξόνων, διαθέτουν 3 άξονες κινήσεως, X, Ψ και Z. Δηλαδή η κίνηση που γίνεται κατά την κοπή γίνεται σε 3 άξονες ή διαδρομές κίνησης. Αντίστοιχα και τα μηχανήματα 4 και 5 αξόνων. Όσοι παραπάνω οι άξονες κίνησης τόσο περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να σκαλιστούν στο αντικείμενο – υλικό. Οι κινήσεις αυτές μπορούν να γίνουν είτε από τα μοτέρ του κοπτικού μηχανήματος, είτε από τη βάση πάνω στην οποία στηρίζεται το αντικείμενο κοπής, είτε όπως γίνεται συνήθως συνδυαστικά, τόσο δηλαδή από τα μοτέρ του μηχανήματος όσο και από το ίδιο το αντικείμενο. Για να γίνουν κατανοητοί όλοι οι άξονες κίνησης παρατίθεται μία εικόνα.



Εικ. 19 : Σε αυτή την εικόνα βλέπουμε τις κινήσεις που μπορούν να εκτελεστούν κατά τη διαδικασία της κοπής (παραγωγής) μιας οδοντικής αποκατάστασης.

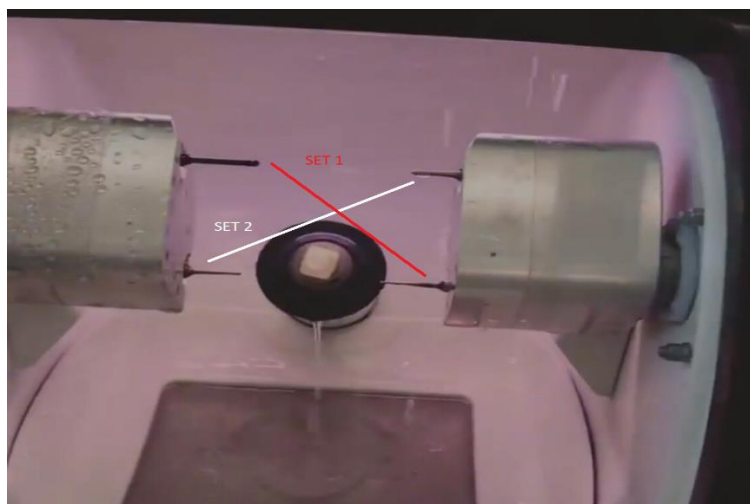
Τα 3-αξονικά μηχανήματα κόβουν μόνο στους άξονες X,Ψ,Z . Τα 4-αξονικά μηχανήματα κινούνται στους άξονες X,Ψ,Z και A (περιστροφική κίνηση) . Και τέλος τα 5-αξονικά μηχανήματα κινούνται στους άξονες X,Ψ,Z, A & B. Όλες οι κινήσεις μπορούν να γίνουν συνδυαστικά. Συνήθως, τις οριζόντιες και κάθετες κινήσεις τις κάνουν τα μοτέρ των κοπτικών πάνω στα οποία τοποθετούνται οι φρέζες. Οι περιστροφικές κινήσεις συνήθως εκτελούνται από τη βάση του αντικείμενου κοπής, καθώς τα υλικά κοπής είναι μικρά μπλοκ ορθογώνιου σχήματος ή δίσκοι που έχουν κυκλικό σχήμα. Φυσικά, εάν ένα μοτέρ εκτελεί περιστροφική κίνηση ως πούμε στον άξονα A της εικόνας, αυτό δε σημαίνει ότι αυτή η συγκεκριμένη κίνηση δεν μπορεί να γίνει και από τη βάση στήριξης του αντικειμένου. Όμως, καθώς ο άξονας παραμένει ο ίδιος η κίνηση μετράται ως μία. Για αυτό το λόγο τα μηχανήματα κοπής φτάνουν μέχρι στιγμής έως και 5 άξονες. Τα κοπτικά μηχανήματα όπως προαναφέρθηκε αποτελούνται από μοτέρ πάνω στα οποία τοποθετούνται τα όργανα κοπής, δηλαδή οι φρέζες ή πάνω στα οποία τοποθετούνται τα αντικείμενα κοπής, δηλαδή τα υλικά (μπλοκ ή δίσκοι). [18]



Εικ. 20 : Εσωτερικός θάλαμος κοπτικού μηχανήματος. Μοτέρ πάνω στο οποίο βιδώνεται ή κουμπώνεται η φρέζα. Πρόκειται για κοπτικό μηχανήμα 3 αξόνων το οποίο δεν μπορεί να κόψει ολόκληρο δίσκο, παρά μόνο ένα μπλοκ. Δηλαδή μπορεί να κόψει, μία απλή μονή αποκατάσταση (ενός δοντιού) ή μέχρι μία 3άρα γέφυρα. (γέφυρα αποτελούμενη από 3 αποκαταστάσεις στη σειρά).

Το μοτέρ μέσα στο οποίο ενθυλακώνεται η φρέζα και περιστρέφεται αποτελεί το πιο βασικό εξάρτημα ενός κοπτικού μηχανήματος. Το λογισμικό CAM είναι αυτό που δίνει την εντολή στον μικροεπεξεργαστή της μητρικής πλακέτας του μηχανήματος για το πόσο γρήγορα θα περιστρέφει το μοτέρ τη φρέζα. Δηλαδή πόσες στροφές θα εκτελεί η φρέζα στο δευτερόλεπτο (rpm/sec). Το πόσες στροφές εκτελούν οι φρέζες κατά τη διάρκεια μιας κοπής δεν είναι κάτι σταθερό αλλά αλλάζει ανάλογα τον τύπο και το μέγεθος της φρέζας, τον τύπο του υλικού που πρόκειται να κοπεί αλλά και τον τύπο της αποκατάστασης. Οι κατασκευαστές των κοπτικών μηχανημάτων και οι προγραμματιστές των λογισμικών χρησιμοποιούν παγκόσμιες οδηγίες της βιομηχανίας ώστε να επιλέξουν τις ταχύτητες των μοτέρ και να βελτιστοποιήσουν τη διάρκεια ζωής των φρεζών, την ταχύτητα και την ποιότητα κοπής. [19]

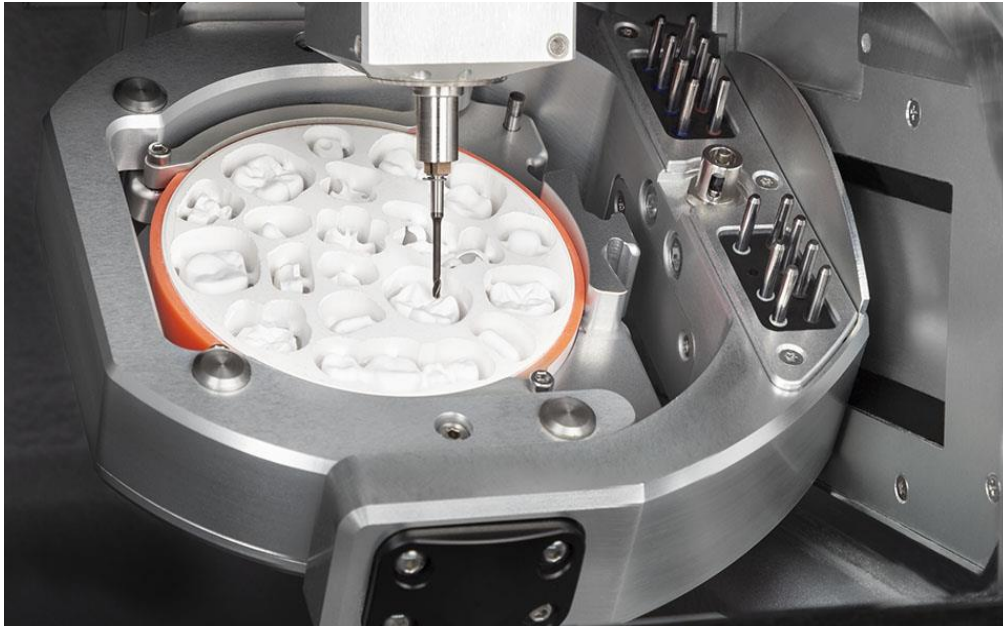
Τα κοπτικά μηχανήματα δεν αποτελούνται από μία και μόνο φρέζα. Αντιθέτως, για την καλύτερη ποιότητα της κοπής αποτελούνται από σετ εσωτερικών μοτέρ , τα οποία βρίσκονται το ένα απέναντι από το άλλο. Συνεπώς, οι φρέζες που μπορεί έχει ένα κοπτικό μηχανήμα είναι σίγουρα δύο ή και παραπάνω. Η κοπή ενός υλικού γίνεται με ένα συνδυασμό φρεζών οι οποίες βρίσκονται απέναντι.Επίσης, υπάρχουν κοπτικά μηχανήματα 3-αξόνων τα οποία διαθέτουν 4 φρέζες. Δύο από τη μία μεριά και δύο από την άλλη. Τα μοτέρ δουλεύουν σε σετ σε κάθε κοπή.



Εικ. 21 : 4-αξονικό κοπτικό μηχανήμα που μπορεί να πάρει 4 φρέζες. Σε κάθε κοπή δουλεύουν μόνο οι δύο φρέζες σε σετ.

Η επιλογή του σετ σε κάθε κοπή γίνεται από το λογισμικό. Στο λογισμικό CAM κάθε φορά δηλώνονται από το χειριστή οι φρέζες που έχουν μπει στο κάθε σετ. Έτσι, ανάλογα το υλικό που πρόκειται να κοπεί, επιλέγονται από το λογισμικό οι αντίστοιχες φρέζες. Επειδή λοιπόν οι φρέζες σε κάθε κοπή είναι δύο και δουλεύουν συνδυαστικά, κάθε υλικό έχει το δικό του συνδυασμό φρεζών. Δηλαδή, οι φρέζες τοποθετούνται στη θέση τους ως ζεύγος κι όχι αυτόνομα. Εάν το υλικό κοπής δεν συμφωνεί με τις φρέζες που έχουν τοποθετηθεί από το χειριστή, το λογισμικό το αντιλαμβάνεται μέσω αισθητήρων και ενημερώνει το χρήστη για αυτό το λάθος. Σε αυτού του είδους τα κοπτικά, χρειάζεται η συμβολή του χειριστή για την εναλλαγή φρεζών κ για την αρχική τους τοποθέτηση.

Τα κοπτικά μηχανήματα 5 αξόνων διαφέρουν αρκετά ως προς το θάλαμο κοπής αλλά και ως προς τον τύπο των αποκαταστάσεων που μπορούν να διεκπεραιώσουν. Αρχικά, είναι μεγαλύτερα σε σχέση με τα 3-αξονικά και δεν επιδέχονται ένα μόνο μπλοκ αλλά ολόκληρο δίσκο υλικού ή πολλά μπλοκ μαζί. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να κόψουν πολλές μονές αποκαταστάσεις, μεγάλες γέφυρες ακόμα και ολόκληρη οδοντοστοιχία. Για αυτούς τους λόγους τα κοπτικά μηχανήματα 5-αξόνων τα χρησιμοποιούν περισσότερο οι οδοντοτεχνίτες οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο όγκο εργασίας. Επίσης, τα 5-αξονικά κοπτικά έχουν τη δυνατότητα εναλλαγή φρέζας. Κατά τη διάρκεια της κοπής, μπορούν να επιλέξουν και να αλλάζουν αυτόματα φρέζα ανάλογα με το είδος και το υλικό κοπής. Έτσι λοιπόν, όλες οι φρέζες τοποθετούνται στο πλάι και το μηχανήμα γνωρίζοντας τη θέση της κάθε φρέζας πηγαίνει και επιλέγει ποια χρειάζεται για το συγκεκριμένο υλικό, αφήνει την υπάρχουσα φρέζα στην κενή θέση της και επιλέγει τη σωστή.



Εικ. 22 : Οδοντιατρικό κοπτικό μηχάνημα 5-αξόνων. Στο κέντρο βρίσκεται ο δίσκος υλικού και το spindle motor πάνω στο οποίο είναι η φρέζα. Δεξιά , είναι η βάση στήριξης των υπόλοιπων φρεζών από τις οποίες επιλέγει το μηχάνημα κάθε φορά ποια θα χρησιμοποιήσει. Φυσικά, κάθε φρέζα έχει τη δική της θέση ώστε να αναγνωρίζεται από το σύστημα.

Τα συγκεκριμένα κοπτικά μπορούν να κινούν και το δίσκο και το μοτέρ είτε οριζόντια, είτε κάθετα, είτε περιστροφικά. Συνεπώς, παράγουν καλύτερες , πιο λεπτομερείς αποκαταστάσεις καθώς μπορούν να κόψουν σε διάφορες γωνίες.

Γενικώς, τα κοπτικά μηχανήματα είναι εύκολα στη χρήση , τα λογισμικά είναι αρκετά «έξυπνα» ώστε να εντοπίζουν λάθη στις φρέζες, ελαττωματικές φρέζες ή φρέζες που έχουν φτάσει στο όριο της ζωής τους. Χρειάζονται αρχικοποίηση (calibration) συνήθως 1 φορά στους 6 ή στους 3 μήνες αναλόγως τη χρήση τους. Το calibration γίνεται από τον ίδιο το χειριστή, δεν χρειάζεται δηλαδή η παρέμβαση του τεχνικού και δεν είναι χειροκίνητο αλλά αυτόματο μέσω του λογισμικού. Η αρχικοποίηση αφορά στα μοτέρ, στα οποία τοποθετούνται φρέζες ειδικές (calibration pins) και τα οποία μετρούν τις διαστάσεις ενός ομοιώματος (calibration body). Ουσιαστικά μέσω της αρχικοποίησης επαναπροσδιορίζονται οι άξονες κίνησης όλων των μοτέρ ενός κοπτικού.

2.6.1 ΕΙΔΗ ΚΟΠΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

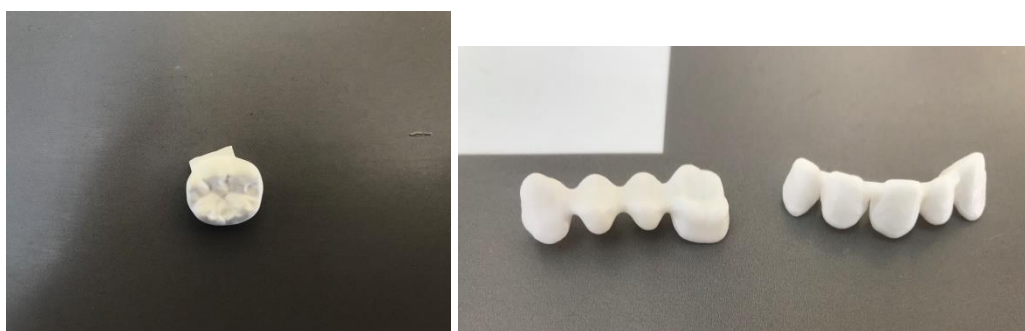
Τα κοπτικά μηχανήματα διαθέτουν δύο επιλογές κοπής υλικών. Είτε υγρή κοπή, είτε ξηρή κοπή. Το είδος κοπής εξαρτάται κυρίως από το υλικό της αποκατάστασης. Για την υγρή κοπή, τα κοπτικά μηχανήματα διαθέτουν μια αυτόνομη δεξαμενή νερού η οποία γεμίζεται από το χρήστη, διαδρομές νερού εσωτερικά του μηχανήματος (σωληνώσεις), οι οποίες μεταφέρουν το νερό στα εσωτερικά μοτέρ του μηχανήματος και πιο συγκεκριμένα στις φρέζες. Δίπλα από κάθε φρέζα υπάρχουν μικρές οπές (nozzles) μέσα από τις οποίες βγαίνει το νερό με συγκεκριμένη πίεση κατά τη διάρκεια της κοπής για την αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών. Ένας ακόμη λόγος που χρησιμοποιείται η υγρή κοπή είναι και η λίπανση των μοτέρ. Η δεξαμενή που περιέχει το νερό πρέπει να περιέχει και μια μικρή ποσότητα ειδικού λιπαντικού υγρού το οποίο όσο κυκλοφορεί τα μοτέρ και οι συνδέσεις λιπαίνονται και μειώνονται οι δυνάμεις τριβής. [11]



Εικ. 23 : Πρόσοψη μοτέρ 3-αξονικού ή 4-αξονικού κοπτικού. Οι οπές από όπου βγαίνει το νερό είναι κυκλωμένες.

Το νερό της δεξαμενής μαζί με το λιπαντικό υγρό δεν χάνεται σε κάθε κοπή αλλά επιστρέφει μέσα στη δεξαμενή. Για το λόγο αυτό η δεξαμενή δε γεμίζεται σε κάθε εργασία αλλά συνήθως 1 φορά την εβδομάδα, όπου γίνεται και ο καθαρισμός της. Ο καθαρισμός και η σωστή συντήρηση είναι απαραίτητη καθώς κατά την κοπή παράγονται ψήγματα υλικού τα οποία κατακάθονται στις οπές και δημιουργούν

πρόβλημα στην κυκλοφορία του νερού. Επίσης, επιστρέφουν και μέσα στη δεξαμενή. Για το λόγο αυτό η δεξαμενή του νερού των κοπτικών διαθέτει κυλινδρικό φίλτρο από σκληρό χαρτόνι ή από ανοξείδωτο ατσάλι με πτυχώσεις ώστε να κατακρατούνται τα ψήγματα. Οι υγρές κοπές μειώνουν τις τριβές και τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία των μοτέρ, όμως σε μερικά υλικά όπως το ζirkόνιο προκαλούν οξείδωση και αλλαγή χρώματος. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε η ανάγκη για εναλλακτικό τρόπο κοπής χωρίς νερό και γενικότερα υγρά. Η ξηρή κοπή γίνεται με τη χρήση μιας αναρροφητικής μηχανής που λειτουργεί με σύστημα vacuum. Ο θάλαμος του κοπτικού περιλαμβάνει μια οπή στην οποία συνδέεται ένας μεγάλος σχετικά σωλήνας (περίπου σαν αυτόν την ηλεκτρικής σκούπας). Η αναρρόφηση δημιουργεί μερικό κενό με τη χρήση μιας αντλίας αέρα, ώστε να απορροφήσει τη σκόνη και τα ψήγματα υλικού. Έτσι λοιπόν, τα υπολείμματα του υλικού περνάνε μέσω του σωλήνα στην αναρροφητική μηχανή και συγκεκριμένα σε μία σακούλα η οποία όταν γεμίζει αλλάζεται από το χειριστή. Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους κοπής είναι πως δεν κινδυνεύει το μηχάνημα από διαρροές νερού στα ηλεκτρονικά του μέρη, αλλά και φυσικά δεν κινδυνεύει από μούχλα και δυσχρωμίες των υλικών. Επίσης η αποκατάσταση δεν χρειάζεται στέγνωμα για την περαιτέρω επεξεργασία της. Από την άλλη είναι πολύ πιο εύκολο να μπουνε ψήγματα στις οπές του κοπτικού αλλά και το καθάρισμά του γίνεται πολύ πιο δύσκολο. [11]



Εικ. 24 & 25 : Πειραματικές αποκαταστάσεις αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κοπής από το κοπτικό μηχάνημα.

2.7 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – ΦΟΥΡΝΟΙ ΣΥΝΤΗΞΗΣ

Το τελευταίο στάδιο της παραγωγής μιας οδοντικής αποκατάστασης είναι η τοποθέτηση της στο φούρνο σύντηξης. Οι φούρνοι είναι απαραίτητοι για να φτάσουν ορισμένα υλικά στη μέγιστη σκληρότητα τους. Η τεχνολογία τους είναι σχετικά απλή,

καθώς μοιάζουν με τους κλασικούς φούρνους που όλοι γνωρίζουμε μόνο που οι θερμοκρασίες που ανεβάζουν αγγίζουν ακόμα και τους 1700 βαθμούς Κελσίου. Σαφώς και δεν χρειάζονται όλα τα υλικά φούρνο. Κάποια είναι αρκετά σκληρά από μόνα τους. Οι φούρνοι επίσης χρησιμοποιούνται και για γυάλισμα. Μετά την κοπή, η αποκατάσταση γυαλίζεται από τον οδοντίατρο ή τον οδοντοτεχνίτη με ειδικό σπρέι το οποίο για να στεγνώσει και να σταθεροποιηθεί χρειάζεται να τοποθετηθεί η αποκατάσταση σε φούρνο. Μια ακόμα λειτουργία των φούρνων σύντηξης είναι και το στέγνωμα. Οι αποκαταστάσεις που δημιουργούνται με υγρή κοπή έχουν κατακρατήσει υγρασία. Έτσι, για εξοικονόμηση χρόνου τοποθετούνται στο φούρνο ο οποίος ρίχνει θερμό αέρα ώστε να μην υπάρχει καθόλου υγρασία στην αποκατάσταση. Η υγρασία μπορεί να προκαλέσει μούχλα στην αποκατάσταση και συνεπώς να μολύνει το στόμα του ασθενούς αλλά και αποτρέπει την τοποθέτηση της αποκατάστασης με κόλλα. Οι φούρνοι δουλεύουν είτε σε συνεργασία με το κοπτικό μηχάνημα, δηλαδή το κοπτικό μηχάνημα μεταφέρει τις πληροφορίες για το υλικό στο φούρνο, ο οποίος με τη σειρά του ανάλογα με το τι πληροφορίες έχει λάβει επιλέγει το αντίστοιχο πρόγραμμα στεγνώματος, σύντηξης και γυαλίσματος, είτε αυτόνομα, δηλαδή ο χειριστής εισάγει στο πρόγραμμα CAM τις πληροφορίες του υλικού που σκοπεύει να τοποθετήσει μέσα στο φούρνο και επιλέγει ποια στάδια θέλει να ακολουθήσει. Δεν είναι απαραίτητο να γίνουν όλα τα στάδια σε μια αποκατάσταση. Πολλές φορές παραλείπεται το στέγνωμα εάν μιλάμε για ξηρή κοπή ή το γυάλισμα εάν μιλάμε για αποκαταστάσεις όπως σφράγισμα ή στεφάνη σε πίσω δόντια .

Φυσικά οι φούρνοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη χωρητικότητα αλλά και τις θερμοκρασίες. Ένας απλός φούρνος που συνήθως χρησιμοποιούν οι οδοντίατροι μπορεί να χωρέσει από μία απλή στεφάνη έως και μία τριπλή γέφυρα. Υπάρχουν και φούρνοι οι οποίοι μπορούν να χωρέσουν έως και 30 δόντια απλά ή μεγάλες γέφυρες. Η αυξημένη θερμοκρασία αλλά και η πίεση μειώνουν το πορώδες και αυξάνουν την πυκνότητα ενός υλικού. Επίσης, ενισχύει την αντοχή του υλικού. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό πως όλες οι αποκαταστάσεις θα τοποθετηθούν στο στόμα ενός ανθρώπου. Το στόμα είναι ένα περιβάλλον με μεγάλη υγρασία, οξειδωτικά στοιχεία, αίμα, διάφορες άλλες χρωστικές, μικρόβια , οξυγόνο και φυσικά μασητικές δυνάμεις. Συνεπώς, το τελικό αποτέλεσμα μιας αποκατάστασης πρέπει να είναι ικανό να «επιβιώσει» από όλα τα παραπάνω , χωρίς να δημιουργήσει μόλυνση στον ασθενή όπως ακριβώς και ένα φυσικό δόντι.[20]

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθούν και οι χρόνοι των διαδικασιών. Είναι λογικό πως για να αναπτυχθούν τόσο μεγάλες θερμοκρασίες χρειάζεται αρκετός χρόνος. Ένας κλασικός φούρνος, όχι γρήγορος, χρειάζεται περίπου 8 ώρες για να ολοκληρώσει τη σύντηξη χωρίς να παίζει ρόλο ο αριθμός των αποκαταστάσεων που έχουμε εισάγει. Όμως, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, έχουν δημιουργηθεί ταχύτεροι φούρνοι οι οποίοι χρειάζονται μόλις 2,5 ώρες για τη σύντηξη. Πρέπει να γίνει όμως κατανοητό ότι δεν μπορούν όλες οι αποκαταστάσεις να τοποθετηθούν σε φούρνο ταχείας σύντηξης. Για παράδειγμα τα εμφυτεύματα και ολόκληρες συμπαγείς οδοντοστοιχίες χρειάζονται πολύ περισσότερο χρόνο από τις 2.5 ώρες. Επίσης, εάν μία αποκατάσταση χρειάζεται και στέγνωμα θα πρέπει να υπολογιστούν αλλά 20-30 λεπτά στο γρήγορο φούρνο. Τέλος, το γυάλισμα ανάλογα το υλικό και το είδος της αποκατάστασης χρειάζεται επίσης 30 με 40 λεπτά.



Εικ. 26 & 27 : Ορισμένα παραδείγματα φούρνων σύντηξης. Οι περισσότεροι φούρνοι της αγοράς έχουν το ίδιο σχήμα και την ίδια μορφολογία. Διαθέτουν δύο πυρίμαχα τουβλάκια στήριξης των αποκαταστάσεων .



Εικ. 28 : Οδοντική αποκατάσταση πλήρως ολοκληρωμένη, έπειτα από σύντηξη και γυάλισμα. Έτοιμη για τοποθέτηση στον ασθενή.

2.8 ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ CAD-CAM

Αρκετές είναι οι εταιρείες που παράγουν πλήρη οδοντιατρικά συστήματα CAD/CAM είτε μεμονωμένα κάποια μηχανήματα του συστήματος. Υπάρχουν δηλαδή εταιρείες οι οποίες παράγουν αποκλειστικά και μόνο ενδοστοματικά σκάνερ και εταιρείες που παράγουν κοπτικά και φούρνους τα οποία είναι συμβατά με όλα τα λογισμικά της αγοράς ή λειτουργούν ανεξάρτητα με δικά τους προγράμματα. Το πιο ανταγωνιστικό είδος της αγοράς αυτή τη στιγμή είναι το ενδοστοματικό σκάνερ. Αφενός γιατί ολόκληρο το ψηφιακό σύστημα απαιτεί πολλά χρήματα, συνεπώς οι περισσότεροι ξεκινούν αγοράζοντας σκάνερ και αφετέρου γιατί ούτως ή άλλως αγοράζοντας σκάνερ εξοικονομούν αρκετό χρόνο παίρνοντας ψηφιακά αποτυπώματα και στέλνοντας τα απευθείας στον τεχνίτη τους για τη δημιουργία της αποκατάστασης. Οι μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής ενδοστοματικών σαρωτών και φυσικά οι πιο ανταγωνιστικές αυτή τη στιγμή παγκοσμίως είναι οι εξής :

1. 3Shape - TRIOS 4,
2. Dentsply Sirona - CEREC Primescan,
3. Planmeca - Emerald S,
4. Medit - i500,
5. Align - iTero Element 5D,
6. Carestream Dental - CS 3700.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας σύγκρισης των ενδοστοματικών σκάνερ που βασίστηκε στην έκθεση IDS 2019 και πραγματοποιήθηκε από το Institute of Digital Dentistry στο Wellington της Νέας Ζηλανδίας.

SCANNER	SPEED	FLOW	SIZE	EASE	PRICE	TOUCH	WIRELESS	CARIES	CAD	SUBS
3Shape TRIOS 4	5	4.5	3	4.5	\$\$\$\$	✓	✓	✓	✓	✓
Dentsply Sirona Primescan	5	5	1	5	\$\$\$\$\$	✓	✗	✗	✓	✗
Planmeca Emerald S	4	4	4	4	\$\$\$	✗	✗	✓	✓	✗
Medit i500	4.5	4.5	4	4	\$	✗	✗	✗	✗	✗
Align iTero Element 5D	3.5	4	1	3	\$\$\$\$	✓	✗	✓	✗	✓
Carestream Dental CS 3700	3	3	3	4	\$\$\$	✗	✗	✗	✓	✗

Εικ 29 : Σύγκριση ενδοστοματικών σκάνερ 2019 με βάση την έκθεση IDS 2019

Τα χαρακτηριστικά τα οποία κάνουν τα ενδοστοματικά σκάνερ ανταγωνιστικά είναι : Η ταχύτητα σάρωσης, η ροή της σάρωσης , το μέγεθος της κάμερας, η ευκολία στη χρήση, το κόστος , το design, η ευκολία στην απολύμανση της κάμερας και το λογισμικό σάρωσης το οποίο πρέπει να είναι ανοιχτό και να συνεργάζεται με τα λογισμικά των υπόλοιπων εταιρειών. Είναι αυτονόητο πως όσα περισσότερα χαρακτηριστικά διαθέτει ένας ενδοστοματικός σαρωτής όπως π.χ. η ασύρματη σύνδεση της κάμερας με τον υπολογιστή , η οθόνη και το πληκτρολόγιο αφής αλλά και η προσιτή τιμή τόσο πιο ανταγωνιστικό γίνεται ένα σκάνερ. Η τεχνολογία των ενδοστοματικών σκάνερ , επειδή βασίζεται στην επιστήμη της οπτικής δεν είναι τόσο περίπλοκη. Για το λόγο αυτό, παρατηρείται πως περισσότερες εταιρείες παράγουν μόνο ενδοστοματικά σκάνερ και όχι πλήρη συστήματα ψηφιακής οδοντιατρικής. Επιπροσθέτως, επειδή για έναν νέο οδοντίατρο το κόστος ενός πλήρους συστήματος είναι πολύ μεγάλο οι περισσότεροι ξεκινούν με την αγορά ενός καλού

ενδοστοματικού σκάνερ για αυτό και οι περισσότερες εταιρείες επενδύουν στην παραγωγή ενός ποιοτικού ενδοστοματικού σαρωτή.



Εικ. 30 : Τα πιο γνωστά και ανταγωνιστικά ενδοστοματικά σκάνερ της αγοράς.

Η εταιρεία 3shape είναι Δανέζικη και το εργοστάσιο παραγωγής βρίσκεται στην Κοπεγχάγη. Το τελευταίο μοντέλο της ονομάζεται TRIOS 4 και είναι ένα από τα ταχύτερα σκάνερ της αγοράς. Πρόκειται για μία πολύ μοντέρνα εταιρεία που βασίζεται αρκετά στο design. Η σάρωση μιας γνάθου γίνεται ενδοστοματικά σε 25 δευτερόλεπτα με το συγκεκριμένο σκάνερ , το οποίο περιλαμβάνει τεχνολογία φθορισμού ώστε να διαφαίνεται η τερηδόνα ακόμα και στα πιο δύσκολα σημεία. Τα ακροφύσια της κάμεράς του είναι κλιβανιζόμενα και παρέχουν τη δυνατότητα ανίχνευσης των κλιβανισμών. Δηλαδή, κάθε φορά που γίνεται η σάρωση ο χειριστής ενημερώνεται ποιος ήταν ο τελευταίος κύκλος κλιβανισμού. Στους 150 κύκλους , το ακροφύσιο πρέπει να αλλάζεται. Τέλος, είναι το μοναδικό σκάνερ της αγοράς με ασύρματη κάμερα.

Η εταιρεία Dentsply Sirona βρίσκεται στο Bensheim της Γερμανίας και πρόκειται για μια από τις πιο γνωστές και παλιές εταιρείες στο χώρο παραγωγής οδοντιατρικών μηχανημάτων. Το πιο πρόσφατο μοντέλο ενδοστοματικού σκάνερ της εταιρεία είναι το CEREC Primescan. Πρόκειται για το γρηγορότερο σκάνερ της αγοράς το οποίο σαρώνει άνω-κάτω γνάθο και δάγκωμα σε 1 μόλις λεπτό. Η γρήγορη σάρωση

οφείλεται στον αισθητήρα των pixel, ο οποίος επεξεργάζεται 1 εκατομμύριο τρισδιάστατα σημεία το δευτερόλεπτο. Παρέχει μια από τις πιο καθαρές και χωρίς καθυστερήσεις σαρώσεις. Επίσης, ο υπολογιστής του Primescan βρίσκεται σε τροχήλατη μορφή μαζί με την οθόνη η οποία είναι αφής και η κάμερα διαθέτει είτε ακροφύσια μιας χρήσης που δεν κλιβανίζονται είτε ένα μεταλλικό ακροφύσιο με γυαλί στην άκρη της κάμερας το οποίο είναι πολλαπλών χρήσεων και απολυμαίνεται με απολυμαντικά μαντηλάκια.

Συνεχίζοντας, μία ακόμα πολύ γνωστή εταιρεία είναι η Planmeca με το μοντέλο της Emerald S. Η εταιρεία είναι Φινλανδική και βρίσκεται στο Ελσίνκι. Το σκάνερ της είναι γρήγορο και πολύ ελαφρύ. Ζυγίζει μόλις 235 γραμμάρια και είναι πολύ εύκολο στη χρήση. Διαθέτει ακροφύσια που κλιβανίζονται έως και 300 φορές. Επίσης, διαθέτει επιλογή εναλλαγής κεφαλών της κάμερας.

Ένα ακόμα γνωστό σκάνερ της αγοράς είναι το i700 από την Κορεάτικη εταιρεία Medit. Το εργοστάσιο παραγωγής βρίσκεται στη Σεούλ. Πρόκειται για πρωτοεμφανιζόμενο σκάνερ, το οποίο είναι αρκετά ελαφρύ και γρήγορο. Αυτό που έχει προκαλέσει εντύπωση είναι η λεία σάρωσή του καθώς και η τιμή του η οποία συγκριτικά με τα υπόλοιπα σκάνερ είναι η πιο χαμηλή. Το λογισμικό του βασίζεται σε cloud και προσφέρει δωρεάν πεπερασμένη αποθηκευτική μνήμη. Διαθέτει επίσης πολύ καλό support για το λογισμικό του, με το προσωπικό να παρέχει λύσεις ακόμα και σε online συζήτηση.

Επόμενο γνωστό ενδοστοματικό σκάνερ είναι το iTero Element 5D της εταιρείας Align Technologies. Η εταιρεία βρίσκεται στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών και είναι η πιο διάσημη εταιρεία παραγωγής διάφανων ναρθήκων για ορθοδοντική (τα γνωστά μασελάκια Invisalign). Είναι το πιο βαρύ σκάνερ της αγοράς >500 γραμμάρια όμως είναι το πιο διαδεδομένο σκάνερ στην ορθοδοντική καθώς διαθέτει και το αντίστοιχο ορθοδοντικό λογισμικό το οποίο επιτρέπει στον ασθενή μετά τη σάρωση να δει πως θα είναι η οδοντοστοιχία του μετά την ορθοδοντική θεραπεία. Περιλαμβάνει οθόνη αφής και μπορεί να κάνει ταυτόχρονη σάρωση και χρωματοληψία της οδοντοστοιχίας.

Τέλος υπάρχει η εταιρεία Carestream Dental με το σκάνερ CS 3700. Η Carestream είναι επίσης Αμερικανική εταιρεία και βρίσκεται στην Ατλάντα. Ο σχεδιασμός του σαρωτή έγινε σε συνεργασία με την εταιρεία Studio F. A. Porsche και η ταχύτητα

σάρωσης σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο της εταιρείας αυξήθηκε κατά 30%. Η κάμερα του σαρωτή έχει μεγάλη εστιακή απόσταση, πράγμα που σημαίνει ότι όπως και να κρατηθεί το σκάνερ μέσα στο στόμα, θα λάβει μια αρκετά καλή εικόνα. [21]

Όσον αφορά τα κοπτικά μηχανήματα και τους φούρνους, από τις παραπάνω εταιρείες μόνο η Dentsply Sirona και η Planmeca παράγουν ολόκληρα συστήματα CAD/CAM. Η Dentsply Sirona παρέχει δύο επιλογές κοπτικών. Πρώτον, ένα 4-αξονικό κοπτικό μηχανήμα, το Primemill, το οποίο είναι σχεδιασμένο για οδοντιάτρους και αποκαταστάσεις που γίνονται «δίπλα στον ασθενή» (chairside) και διαθέτει οθόνη αφής, reader ασύρματο για τις φρέζες και το πιο σημαντικό, κόβει μια απλή στεφάνη σε μόλις 10 λεπτά. Δεύτερον, ένα 5-αξονικό κοπτικό μηχανήμα με όνομα inLab MCX5, το οποίο απευθύνεται κυρίως σε οδοντοτεχνίτες και κόβει δίσκους αλλά και απλά μπλοκ. Όσον αφορά τους φούρνους σύντηξης, η Dentsply Sirona, παρέχει επίσης δύο επιλογές. Το μικρό φούρνο ταχείας σύντηξης CEREC SpeedFire, ο οποίος αφορά κυρίως οδοντιάτρους και μπορεί να χωρέσει από μια μονή στεφάνη έως και τριπλή γέφυρα (δηλαδή έως και 3 δόντια στη σειρά) και τον μεγάλο οδοντοτεχνικό φούρνο 6 αντιστάσεων inFire HTC ο οποίος είναι επίσης ταχείας σύντηξης και μπορεί να συντήξει ταυτόχρονα μέχρι και 60 εργασίες [22]. Η Planmeca επίσης διαθέτει 3-αξονικό κοπτικό με όνομα PlanMill 40S το οποίο διαθέτει οθόνη αφής και εκτελεί την κοπή μιας απλής αποκατάστασης σε 10 λεπτά και το μεγάλο 5-αξονικό κοπτικό το οποίο ονομάζεται PlanMill 50 S και μπορεί να κόψει τόσο δίσκους όσο και πολλαπλά μπλοκ. εταιρεία Planmeca δεν παράγει φούρνο σύντηξης [23]. Φυσικά υπάρχουν και εταιρείες οι οποίες κατασκευάζουν κυρίως μηχανήματα παραγωγής. Μία από αυτές η οποία είναι εξαιρετικά ανταγωνιστική και απευθύνεται κυρίως σε οδοντοτεχνικά εργαστήρια με μεγάλο όγκο εργασίας είναι η εταιρεία Zirkonzahn. Πρόκειται για Ιταλική εταιρεία και τα τελευταία χρόνια έχει εισέλθει δυναμικά στο χώρο της ψηφιακής οδοντιατρικής τόσο με τα κοπτικά της μηχανήματα M1, M2, M4 και M5 όσο και με τους φούρνους σύντηξης Zirkonofen 700 και Zirkonofen Turbo. Οι φούρνοι έχουν χωρητικότητα μέχρι και 120 εργασίες ή για 3 γέφυρες ολικής γνάθου. Οι θερμοκρασίες των φούρνων φτάνουν έως και τους 1.700 βαθμούς Κελσίου και το γρήγορο πρόγραμμα ταχείας σύντηξης διαρκεί μόλις 1 ώρα και 30 λεπτά. Διαθέτουν επίσης οθόνη αφής και δημιουργία προγράμματος σύντηξης υλικού από το χειρίστη, χωρίς να πρέπει να διαλέξει κάποιο προεπιλεγμένο φορμάτ. Όσον αφορά τα κοπτικά μηχανήματα αυτής της εταιρείας, είναι όλα 5-αξονικά και

απευθύνονται σε κλινικές ή σε εργαστήρια. Το πιο μεγάλο κοπτικό τους M5 , έχει 5+1 άξονες κίνησης και περιλαμβάνει 16 επιλογές φρεζών. Όλα τα κοπτικά τους μπορούν να κάνουν τόσο υγρή όσο και ξηρή κοπή [24]. Επόμενη μεγάλη εταιρεία παραγωγής κοπτικών και φούρνων είναι η εταιρεία Roland DGA. Η εταιρεία είναι Ιαπωνική , όμως βρίσκεται στην Αμερική. Παράγει 4-αξονικά κοπτικά μηχανήματα όπως το DWX-42W Wet Dental Mill για οδοντιάτρους και για αποκαταστάσεις που κατασκευάζονται «δίπλα στον ασθενή» αλλά έχει και 5-αξονικό μηχάνημα για εργαστήρια, το DWX-52D 5-Axis Dental Milling Machine , με 15 επιλογές φρεζών και εύκολο χειρισμό [25]. Μία εξίσου γνωστή εταιρεία παραγωγής CAD/CAM οδοντιατρικών μηχανημάτων είναι η εταιρεία Amann Girrbach και βρίσκεται στην Γερμανία. Η εταιρεία παρέχει πολλές επιλογές όπως κοπτικά μηχανήματα 4 αξόνων Ceramill Mikro ic , αλλά και μεγάλα 5-αξονικά, όπως το Ceramill Motion 2 5X και το Ceramill Micro 5X τα οποία μπορεί να τα χρησιμοποιήσει και ο οδοντίατρος. Τέλος, παρέχει 4 επιλογές σε φούρνους σύντηξης τον Ceramill Therm drs ο οποίος είναι μικρός και κάνει σύντηξη μικρής αποκατάστασης σε μόλις 20 λεπτά και άλλους 3 οι οποίοι είναι για εργαστήρια είναι ταχείας σύντηξης και διαθέτουν θόνη αφής και σύστημα στεγνώματος Autodry [26]. Σαφώς υπάρχουν κι άλλες εταιρείες είτε πρωτοεμφανιζόμενες στο χώρο είτε παλαιότερες που έχουν κατασκευάσει εξίσου αξιόλογα μηχανήματα. Ο αναγνώστης καλείται να κάνει τη δική του μελέτη αγοράς δεδομένου ότι το CAD/CAM είναι μια συνεχώς ταχέα εξελισσόμενη τεχνολογία.



Εικ. 31 : Κάποια από τα προαναφερθέντα κοπτικά. Από αριστερά προς τα δεξιά : Dentsply Sirona – Primemill , Planmeca – Planmill 40S, Zirkozahn – M1 , Roland – DWX 52D , Amann Girschbach – Ceramill motion 2.



Εικ. 32 : Φούρνοι σύντηξης. Από αριστερά προς τα δεξιά : Detsply Sirona – inFire HTC , Amann Girschbach – Ceramill Therm 3 , Zirkozahn – Zirkonofen 600

2.9 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Η τεχνολογία των υλικών έχει εξελιχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια. Για το λόγο αυτό όλο και περισσότερα υλικά προστίθενται στη δημιουργία αποκαταστάσεων. Η ομάδα ή ο ιατρός που είναι υπεύθυνος για την κατασκευή μια αποκατάστασης θα πρέπει να λάβει υπόψη του όλα τα διαθέσιμα υλικά και να διαλέξει το κατάλληλο υλικό για τον ασθενή του. Τα διαθέσιμα υλικά της αγοράς είναι τα εξής :

1) Υαλοκεραμικά – Glass Ceramics

α) Ενισχυμένα με Λευκίτη

Πρόκειται για ένα κλασικό υλικό με καλή αισθητική είτε πολυχρωματικό είτε μονοχρωματικό , έχει μεγάλη αντοχή και είναι πολύ λείο μετά την κοπή και επιδέχονται στίλβωση (γυάλισμα). Αυτό το υλικό χρησιμοποιείται για στεφάνες, ένθετα, επένθετα και όψεις. [27]

β) Αστρίου – Feldspar

Επίσης κλασικό υλικό, ίσως και ένα από τα παλαιότερα υλικά που διαθέτει μηχανικές ιδιότητες της αδαμαντίνης των δοντιών, δεν χρειάζεται σύντηξη στο φούρνο μετά την κοπή και είναι λεία. Είναι υλικό πολυχρωματικό με καλή αισθητική, λιγότερο ανθεκτικά από τα παραπάνω και χρησιμοποιούνται κυρίως για ένθετα και για επένθετα και κάποιες φορές για στεφάνες πρόσθιων δοντιών στα οποία δεν ασκούνται μεγάλες μασητικές δυνάμεις. Επιδέχεται γυάλισμα. [27]

γ) Διπυριτικό Λίθιο – Lithium Disilicate

Τα υλικά αυτά είναι αρκετά ανθεκτικά (δέχονται δηλαδή δυνάμεις πίεσης έως και ~530 MPa). Διακρίνεται για την υψηλή του αισθητική και χρησιμοποιείται για λεπτές όψεις, γέφυρες 3 τεμαχίων και ένθετα-επένθετα και στεφάνες από 1 mm. Η συγκόλλησή τους στα δόντια γίνεται με ρητινώδη κονία και πρέπει να γίνει κρυσταλλοποίηση σε φούρνο. Παρέχει μια ποικιλία αποχρώσεων και διαπερατότητας στο φως και είναι και διαθέσιμο για εμφυτεύματα. [27]

δ) Μονοπυριτικό Λίθιο ενισχυμένο με Ζιρκόνιο – Zirconia Re-inforced lithium silicate

Το μείγμα αυτό παρέχει σταθερότητα στα όρια του υλικού και υψηλή αισθητική. Μπορούν να δεχτούν πιέσεις έως και ~370 MPa και χρειάζονται είτε μόνο στίλβωση είτε και φούρνο για μεγαλύτερη δύναμη. Είναι μονοχρωματικό και παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια τοποθέτησης σε σχέση με τα κεραμικά διπυριτικού λιθίου. Χρησιμοποιείται για επιεμφυτευματικές, στεφάνες και όψεις. [27]

2) Ζιρκόνια – Zirconia

Εδώ μιλάμε για καθαρό υλικό χωρίς να αναμειγνύεται με κάποιο άλλο. Είναι απαραίτητη η σύντηξή του και η στίλβωση του σε φούρνο ώστε να γίνει πιο δυνατό και ανθεκτικό. Είναι ένα υλικό πάρα πολύ ανθεκτικό, ίσως το ανθεκτικότερο, μπορεί να δεχτεί πιέσεις μεγαλύτερες από 700MPa για αυτό το λόγο το ζιρκόνιο χρησιμοποιείται σε μόνιμες αποκαταστάσεις. Επιδέχεται απλή συγκόλληση ή συγκόλληση με ρητινώδη κονία. Έχει διαπερατότητα στο φως και μπορεί να έχει πολυχρωματική δομή. Είναι κατάλληλο για στεφάνες και γέφυρες 3 τεμαχίων. Είναι ένα κλασικό υλικό που επιδέχεται και υγρή αλλά και ξηρή κοπή. Στην ξηρή κοπή όμως αντιδράει καλύτερα, καθώς το νερό χαλάει το χρώμα του. [27]

3) Υβριδικά Κεραμικά – Hybrid nano-ceramics

Τα υλικά αυτά κατατάσσονται στα κεραμικά , δεν χρειάζονται σύντηξη παρά μόνο γυάλισμα , δεν επιδέχονται συμβατική συγκόλληση άλλα κόλληση με ρητινώδη κονία. Κόβονται με υγρή κοπή και με φρέζες διαμαντιού. Έχουν υψηλή αντοχή στην κάμψη, στη συμπίεση και στην τριβή με τους ανταγωνιστές. Μπορούν να είτε πολυχρωματικά είτε μονοχρωματικά και η στίλβωσή τους διαρκεί στο χρόνο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις αποκαταστάσεις. Αυτό το υλικό χρησιμοποιείται σε ασθενείς που είναι βρυγγομανείς. Μετά την τοποθέτηση του στο στόμα, επιδέχεται επιδιόρθωση, έχει ένα μέσο επίπεδο διαπερατότητας και μπορεί να γίνει πολύ λεπτό χωρίς να καταστραφεί. [27]

4) Ακρυλικά – Acrylate Polymers (γνωστά και ως PMMA)

Τέλος έχουμε τα ακρυλικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για προσωρινές αποκαταστάσεις μεγάλης διάρκειας. Δεν χρειάζονται σύντηξη μόνο στίλβωση και είναι ιδανικά για στεφάνες και γέφυρες 3 τεμαχίων. [27]

Τα περισσότερα από τα παραπάνω υλικά μπορούν να βγουν είτε σε μπλοκ, είτε σε δίσκο.



Εικ. 33 : Μπλοκ υλικών. Τα λευκά μπλοκ είναι ζirkονίου, τα μωβ μπλοκ είναι διπυριτικού λιθίου, τα μπεζ μπλόκ είναι ακρυλικά, υβριδικά κεραμικά και

υαλοκεραμικά. Όσα μπλοκ έχουν οπή χρησιμοποιούνται για εμφυτεύματα και όσα μπλοκ είναι λίγο πιο μακριά χρησιμοποιούνται για γέφυρα 3 τεμαχίων.



Εικ. 34 : Συμπαγείς δίσκοι υλικών. Ο άσπρος δίσκος είναι ζirkονίου και οι άλλοι δύο είναι PMMA.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ – ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Υαλοκεραμικά	Zirconia	Υβριδικά	Ακρυλικά
με Λευκίτη :	CEREC Zirconia- Dentsply Sirona	Katana Avencia – Kuraray Noritake	Telio CAD – Ivoclar Vivadent
IPS Empress CAD – Ivoclar Vivadent	inCoris ZI / TZI – Dentsply Sirona	Enamic – VITA	CAD Temp - VITA
GC Initial - GC	Katana Zirconia – Kuraray Noritake	Brilliant Crios – Coltene	
Αστρίου – Feldspar :	Chairside Zirconia – 3M	Grandio – VOCO	
CEREC Bloc C / C-PC/ C-In – Dentsply Sirona	IPS e.max ZirCAD – Ivoclar Vivadent	Cerasmart – GC	
Mark II – VITA	CEREC Zirconia Meso – Dentsply Sirona	Lava Ultimate- 3M	
Triluxe - VITA	CEREC Zirconia + -	HC - Shofu	

	Dentsply Sirona		
RealLife - VITA	YZ – HT - VITA	Tetric CAD – Ivoclar Vivadent	
Διπυριτικού λιθίου :		Paradigm – 3M	
IPS e.max CAD – Ivoclar Vivadent			
Amber - Mill			
CEREC Tessera – Dentsply Sirona			
Πυριτικό Λίθιο ενισχυμένο με Ζιρκόνιο :			
Celtra Duo – Dentsply Sirona			
Suprinity PC - VITA			

Όπως βλέπουμε από τον παραπάνω πίνακα πολλές είναι οι εταιρείες που παράγουν και αναλώσιμα υλικά για τα κοπτικά μηχανήματα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα υλικά δεν κόβονται όλα με τις ίδιες φρέζες. Οι φρέζες διαμαντιού όπως ονομάζονται κόβουν μόνο υαλοκεραμικά , υβριδικά , αστρίου και κεραμικά υλικά. Για το ζιρκόνιο και τα ακρυλικά υλικά υπάρχουν άλλου είδους φρέζες με σπειρώματα, καθώς το ζιρκόνιο είναι ένα υλικό που μοιάζει με κιμωλία και το PMMA (ακρυλικό) είναι αρκετά σκληρό. Συνεπώς κάθε υλικό , ναι μεν κόβεται σε όλα τα κοπτικά μηχανήματα αλλά δεν μπορεί να κοπεί με όλους τους τύπους φρεζών. Επίσης, το ζιρκόνιο είναι το μοναδικό υλικό το οποίο μπορεί να υποστεί και τα δύο είδη κοπής δηλαδή και υγρή και ξηρή. Όλα τα υπόλοιπα υλικά μπορούν να κοπούν μόνο με υγρή κοπή. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε δεν χρειάζονται όλα τα υλικά σύντηξη ή φούρνο. Όμως σχεδόν όλα χρειάζονται στίλβωση ή χρωματισμό. Επιπλέον , οι χρόνοι κάθε υλικού στο φούρνο δεν είναι ίδιοι. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας ενδεικτικών χρόνων σε έναν από τους φούρνους που αναφέρθηκαν , τον φούρνο

CEREC SpeedFire ταχείας σύντηξης από την εταιρεία Dentsply Sirona :

Processing times Materials for CEREC SpeedFire CEREC SW ≥ 5.2.2 (in min.)

Manufacturer	Material Name	Dry*	Dry* Multi	Sinter Single Crown (dry)*	Sinter Multi Crown (dry)*	Sinter Single Crown (wet)*	Sinter Multi Crown (wet)*	Sinter bridge (dry)*	Sinter bridge (wet)*	Crystallize/ Cryst(multi)/Cryst/ Glaze/Cryst/GI Multi	Glaze/ Glaze mult*	
Dentsply Sirona	inCoris ZI meso	12	-	35.5	-	47.5	-	-	-	-	-	
	inCoris TZI	12	12	18.5	32	30	48.5	32	48.5	-	9	
	inCoris TZI C	12	12	13.5-17	25	25.5-29	41.5	25	41.5	-	9	
	CEREC MTL Zirconia	12	-	18.75-25.5	-	30.75-41.5	-	18.75-25.5	30.75-41.5	-	9	
	CEREC Zirconia+	12	-	14.75-31.25	-	26.75-47.25	-	14.75-31.25	26.75-47.25	-	7.5-9.5	
	CEREC Zirconia	12	12	13.5-17	25	25.5-29	41.5	25	41.5	-	9	
	CEREC Zirconia Meso	12	-	25	-	41.5	-	-	-	-	9	
	CEREC Blocs C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.5
	CEREC Blocs C PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.5
	CEREC Blocs C In	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.5
	Celtra Duo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
	CEREC Tessera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5-10.5
	CEREC Tessera Abutment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5-10.5
Kuraray Noritake	KATANA Zirconia (STML)	12	12	18.5-31	18.5-31	31.5-43	31.5-42.5	43	43	-	8.5	
VITA	VITA Mark II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.5	
	VITA SUPRINITY	-	-	-	-	-	-	-	-	34.5	12.5	
	VITA RealLife	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.5	
	VITA TriLuxe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.5	
	VITA TriLuxe forte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.5	
	VITA YZ HT	12	12	14-17	25	26-29	41.5	25	41.5	-	9	
3M	Chairside Zirconia	12	12	19.5-24	-	33-35.5	-	24.5	35.5	-	9	
ivoclar vivadent	IPS e.max CAD LT, MT, HT	-	-	-	-	-	-	-	-	17-39	20-34.5	
	IPS e.max CAD MO, Impulse	-	-	-	-	-	-	-	-	30.5-42	20-34.5	
	IPS e.max CAD Abutment LT	-	-	-	-	-	-	-	-	24-39	20-34.5	
	IPS e.max CAD Abutment MO	-	-	-	-	-	-	-	-	30.5-42.5	20-34.5	
	IPS e.max ZirCAD LT	11-15	11-15	19-28.5	28.5	29.5-44	43.5	28.5	44	-	17	
IPS e.max ZirCAD MT	11-15	11-15	49-2h21.5	49	60-2h37	1h4	2h21	2h37	-	17		
GC	Initial LISI Block	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	

* Sintering-/glazing- and crystallization times depend on the restoration's thickness and color
 ** Dentsply Sirona is not responsible for the process times of the individual partner materials. These have been validated by the respective material partners and transferred to the system by Dentsply Sirona.



Εικ. 35 : Πίνακας χρόνων σε λεπτά που χρειάζεται κάθε υλικό για σύντηξη , στέγνωμα, γυάλισμα στο φούρνο CEREC SpeedFire της Sirona.

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα μία απλή στεφάνη ζirkονίου χρειάζεται από 50 λεπτά έως και 2,5 ώρες στο φούρνο ώστε να γίνει η σύντηξη, εάν η κοπή που έχει προηγηθεί είναι ξηρή. Εάν είναι υγρή θα πρέπει να υπολογιστεί και ο χρόνος στεγνώματος που είναι περίπου 15 λεπτά. Επίσης, όλα τα υλικά χρειάζονται γυάλισμα στο φούρνο το λιγότερο για 10 λεπτά.

Είναι λοιπόν σημαντικό να αναφερθεί πως από την αρχή μιας αποκατάστασης μέχρι και την τοποθέτησή της στον ασθενή μεσολαβούν πολλές διαδικασίες και χρονοβόρες. Για την ακρίβεια για μια απλή αποκατάσταση ο οδοντίατρος πρέπει να τροχίσει το ελαττωματικό δόντι, να σαρώσει τις γνάθους του ασθενή , να σχεδιάσει στο λογισμικό CAD την αποκατάσταση ώστε να ταιριάζει απόλυτα στα όρια της τροχισμένης περιοχής , να στείλει την σχεδιασμένη αποκατάσταση στο λογισμικό CAM, να επιλέξει το κατάλληλο υλικό για τον ασθενή του αλλά και για αυτό που έχει σχεδιάσει (πολύ πιθανό να χρειαστεί να το παραγγείλει εάν δεν το έχει διαθέσιμο στο ιατρείο), να τοποθετήσει το μπλοκ του υλικού και τις φρέζες στο κοπτικό του

μηχάνημα, να ξεκινήσει η κοπή (διαρκεί γύρω στα 15' για μια απλή στεφάνη) , έπειτα να βάλει την αποκατάσταση στο φούρνο για στέγνωμα και γυάλισμα χρειάζεται περίπου 50 λεπτά και στη συνέχεια να συγκολλήσει την αποκατάσταση στον ασθενή του. Αυτή όλη η διαδικασία διαρκεί γύρω στις 3-5 ώρες. Είναι όμως πολύ σημαντικό το ότι ένας ασθενής που μπορεί να μένει μακριά ή που εργάζεται κ δεν μπορεί να κάνει πολλαπλά ραντεβού , θα έχει έτοιμο δόντι σε ένα μόλις ραντεβού. Στο παρελθόν , αυτή η διαδικασία μπορεί να έπαιρνε μέρες ή και μήνες για να ολοκληρωθεί. Το σύστημα ψηφιακής οδοντιατρικής αποτελεί ένα τρομερό επίτευγμα και εργαλείο των ημερών τόσο για οδοντιάτρους όσο και για οδοντοτεχνίτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΤΙ ΝΕΟ ΥΠΑΡΧΕΙ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ CAD/CAM ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ

Αρχικά, τα τελευταία 2 χρόνια έχει εισαχθεί στο κομμάτι της ψηφιακής οδοντιατρικής και η τέχνη της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing). Είναι ήδη πολλοί οι οδοντίατροι και οι οδοντοτεχνίτες που έχουν αντικαταστήσει τα καλούπια με τρισδιάστατους εκτυπωτές για τη δημιουργία ναρθήκων από σιλικόνη και από άλλα πιο σκληρά υλικά. Έτσι, σαρώνουν τις γνάθους του ασθενούς, εξάγουν το αποτύπωμα σε μορφή STL, το περνάνε στο σχεδιαστικό λογισμικό ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή και μέσα σε λίγα λεπτά μπορούν να έχουν μασελάκι βρυγμού, χειρουργικό νάρθηκα, νάρθηκες λεύκανσης ακόμα και νάρθηκες ορθοδοντικής. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές δουλεύουν με ένα ευρύ φάσμα υλικών όπως οι κεραμικές πάστες (TCP), έχουν όμως συμβάλει και στην δημιουργία νέων υλικών για οδοντικές αποκαταστάσεις. Έως τώρα, τα κοπτικά μηχανήματα δουλεύουν με την αφαιρετική μέθοδο υλικού. Χρησιμοποιούν δηλαδή ένα συμπαγές υλικό και το σκαλίζουν – κόβουν, αφαιρώντας σιγά σιγά υλικό κι έτσι δημιουργούν το τελικό αποτέλεσμα. Αυτή η διαδικασία είναι ναί μεν βολική και εύκολη όμως το 80% του αρχικού υλικού τελικά αφαιρείται. Επίσης, τα όργανα κοπής όπως οι φρέζες έχουν κάποιο χρόνο ζωής και μπορούν να επιτελέσουν συγκεκριμένο αριθμό εργασιών. Έτσι, όταν κάποιο εργαλείο είναι στο τελευταίο στάδιο της ζωής του μπορεί να προκαλέσει καταστροφή στο υλικό ακόμα και στο ίδιο το μηχάνημα. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση γίνεται ακριβώς το αντίστροφο. Οι 3D Printers δουλεύουν με την προσθετική μέθοδο. Παίρνουν δηλαδή ένα μοντέλο και το χτίζουν σιγά σιγά σε στρώσεις. Όπως είναι προφανές, η σπατάλη του υλικού είναι σχεδόν μηδενική σε αυτή την περίπτωση, επίσης μπορούν να δημιουργηθούν πιο περίπλοκες γεωμετρίες. Συνεπώς, τα εκμαγεία, οι νάρθηκες και οι χειρουργικοί οδηγοί δεν χρειάζεται να γίνονται πλέον ούτε με καλούπια ούτε με κοπτικά μηχανήματα παρά μόνο με τρισδιάστατη εκτύπωση. Απώτερος σκοπός είναι να σχεδιάζονται όλες οι συμπαγείς αποκαταστάσεις όπως π.χ. τα εμφυτεύματα σε 3D εκτυπωτές [28].

Οι εκτυπωτές Inkjet έχουν μπει δυναμικά στο κομμάτι της οδοντιατρικής. Οι εκτυπωτές αυτοί έχουν την ικανότητα να εκτυπώνουν σε υψηλή ανάλυση με την τεχνική αποβολής πολύ λεπτών σταγονιδίων μελανιού. Οι εκτυπωτές προωθούν αυτά

τα μικρά σταγονίδια σε ένα υπόστρωμα, το οποίο υπόστρωμα μπορεί να είναι οτιδήποτε, από ένα υδατικό διάλυμα μέχρι κεραμικό μπλοκ. Έτσι λοιπόν, ο χρωματισμός των τελικών αποκαταστάσεων μπορεί να γίνει πολύ εύκολος. Είναι γνωστό πως κάθε οδοντοστοιχία έχει το δικό της ιδιαίτερο χρώμα. Με τους εκτυπωτές InkJet , μπορεί ο οδοντίατρος ή ο τεχνίτης να πετύχει ακριβώς το επιθυμητό χρώμα των δοντιών του ασθενή του, ειδικά όταν πρόκειται για πρόσθια δόντια όπου το αισθητικό αποτέλεσμα είναι το πιο σημαντικό. [29]

Μία νέα τεχνολογία κοπτικών μηχανημάτων είναι έτοιμη να βγει στην παγκόσμια αγορά. Γνωρίζουμε ότι τα μέχρι τώρα κοπτικά μηχανήματα στηρίζονται στην κίνηση μοτέρ πάνω στα οποία υπάρχουν φρέζες που σκαλίζουν – κόβουν το υλικό. Αυτή η τεχνολογία έρχεται να αντικατασταθεί από την τεχνολογία της κοπής με χρήση laser. Το κοπτικό αυτό μηχάνημα θα χρησιμοποιεί εκατομμύρια υψηλούς παλμούς λέιζερ για να αφαιρέσει ποσότητα υλικού. Το κόστος παραγωγής θα μειωθεί εφόσον δεν θα υπάρχει πια η ανάγκη για εργαλεία και αναλώσιμα όπως τα φίλτρα της δεξαμενής και της αναρρόφησης. Επίσης, το νέο κοπτικό θα διαθέτει εσωτερικό 3D scanner για τη διενέργεια ποιοτικού ελέγχου της τελικής αποκατάστασης. Η ακρίβεια και η λεπτομέρεια θα αυξηθεί καθώς η ανάλυση του κοπτικού είναι 10 φορές υψηλότερη από αυτή των μέχρι τώρα κοπτικών μηχανών. [30]

Η τεχνητή νοημοσύνη αναμένεται να φέρει αλλαγές στα συστήματα ψηφιακής οδοντιατρικής το 2022. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει ήδη βοηθήσει τους ενδοστοματικούς σαρωτές να εξαλείψουν τις ψευδενδείξεις (artifacts) . Στόχος είναι να αυτοματοποιηθούν ακόμα περισσότερο οι εντολές αλλά και τα εργαλεία σχεδιασμού σε ένα λογισμικό επεξεργασίας αποκαταστάσεων, που θα αρκεί μόνο η σάρωση για να δημιουργούνται ψηφιακές αποκαταστάσεις αυτόματα, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Το λογισμικό θα λαμβάνει όλα τα δεδομένα που χρειάζεται για τον ασθενή μόνο από τη σάρωση της οδοντοστοιχίας του, θα εντοπίζει τις προβληματικές περιοχές και θα σχεδιάζει μόνο του την κατάλληλη αποκατάσταση. [31].

Τέλος, η ανάγκη για ορθοδοντική με τη χρήση διάφανων νάρθηκων ολοένα και αυξάνεται. Τα παλιά σιδεράκια σχεδόν εγκαταλείπουν τη μάχη. Είναι όμως απαραίτητο να μπορέσουν να δημιουργηθούν υλικά για να φτιάχνονται διαφανείς νάρθηκες ορθοδοντικής και από τα ιατρεία χωρίς την παρέμβαση κάποιας μεγάλης

εταιρείας. Οι εταιρείες που παράγουν αυτού του είδους τις ορθοδοντικές τεχνικές ζητάνε συνήθως αρκετά χρήματα. Έτσι λοιπόν αναμένεται να δούμε πολλά νέα υλικά μέσα στο έτος που θα αποσκοπούν στην οικονομική και αξιοπρεπή εκτύπωση ολόκληρης της οδοντοστοιχίας [31]



Εικ. 36: Τρισδιάστατος οδοντιατρικός εκτυπωτής τεχνολογίας CAD/CAM.

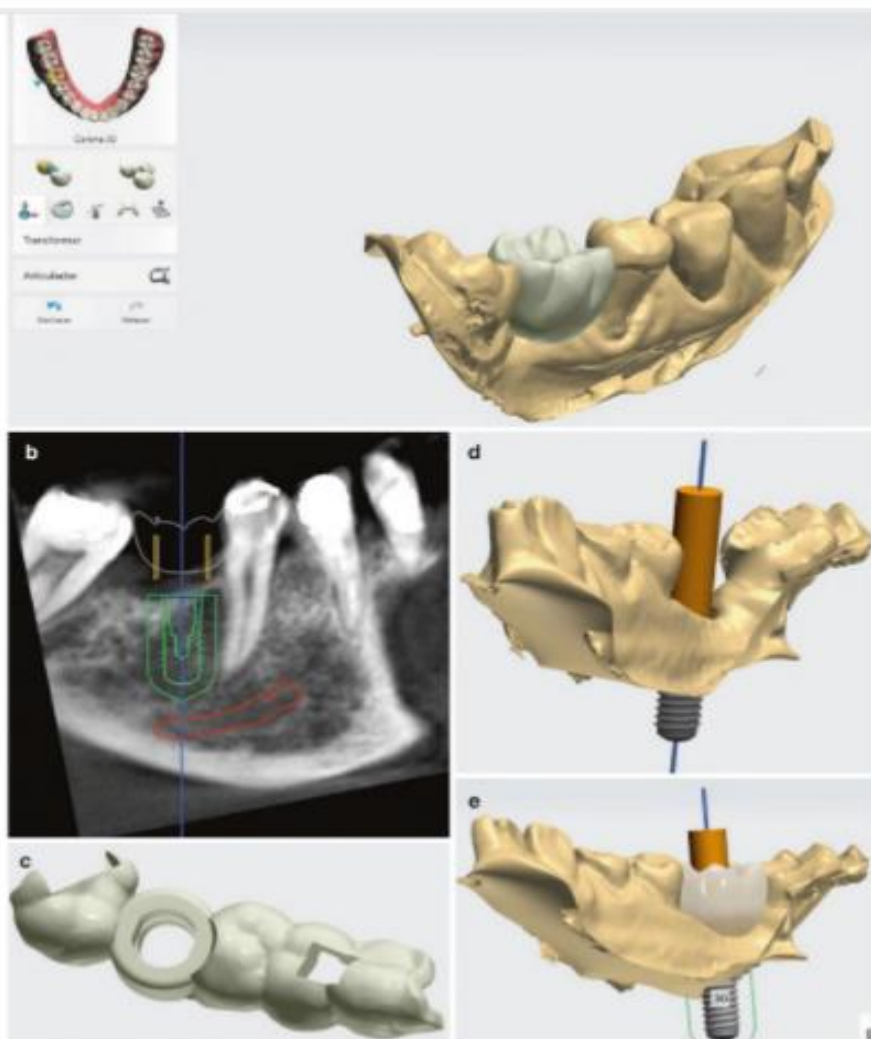
3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ CAD/CAM ΜΕ CBCT

Ένα μεγάλο κεφάλαιο που έχει ανοιχτεί μετά τη δημιουργία των ψηφιακών οδοντιατρικών συστημάτων, είναι ο συνδυασμός τους με τις 3D Αξονικές ακτινογραφίες, γνωστές και ως CBCT. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός δύο τύπων αρχείου .STL και DICOM είναι αυτός που επιθυμούν κυρίως οι γναθοχειρουργοί, οι ορθοδοντικοί και οι προσθετολόγοι. Το CBCT απεικονίζει την ανθρώπινη γνάθο τρισδιάστατα και παρέχει όλες τις πληροφορίες για τη δομή των οστών, τη θέση των δοντιών, τους μαλακούς ιστούς και τις νευρικές οδούς. Από την άλλη ο ψηφιακός ενδοστοματικός σαρωτής επιτρέπει τη σάρωση απευθείας στο στόμα του ασθενούς και δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού μίας αποκατάστασης λαμβάνοντας υπόψη το πώς θα στηριχθεί και θα τοποθετηθεί η αποκατάσταση σε σχέση με τα δίπλα και τα απέναντι δόντια. Ο συνδυασμός της τρισδιάστατης απεικόνισης του ψηφιακού ενδοστοματικού σαρωτή με την αξονική CBCT, προσφέρει υψηλή ακρίβεια στον προσδιορισμό της καλύτερης τοποθέτησης του εμφυτεύματος μαζί με το σωστό

μέγεθος και σχήμα της στεφάνης. Ουσιαστικά είναι ο καλύτερος συνδυασμός για να εξεταστούν όλα τα κλινικά χαρακτηριστικά της οδοντοστοιχίας του ασθενούς. Με το CBCT μπορεί ο οδοντίατρος να υπολογίσει το βάθος μέχρι το οστικό νεύρο αλλά και να υπολογίσει πως θα αντιδράσουν οι μαλακοί ιστοί και με το ενδοστοματικό σκάνερ μπορεί να γνωρίζει πως θα συμπεριφερθεί στο εμφύτευμα σε σχέση με τα διπλανά και τα απέναντι δόντια. Με τη χρήση ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή ή ενός κοπτικού μηχανήματος CAD/CAM και με τις πληροφορίες από τον σαρωτή και το CBCT μπορεί να δημιουργηθεί ένας χειρουργικός οδηγός για επεμβάσεις εμφυτευμάτων που είναι εξαιρετικά ακριβής και έχει χαμηλό κόστος. Ο οδηγός βοηθά στο να διασφαλιστεί ότι το εμφύτευμα τοποθετείται στην καλύτερη δυνατή θέση και δεν θα επηρεάσει τα οστά και τα γύρω δόντια. Το μεγάλο πλεονέκτημα του συνδυασμού αυτών των δύο τεχνολογιών είναι η εξαιρετική προβλεψιμότητα και ακρίβεια για το που θα τοποθετηθεί το εμφύτευμα. Ας μην ξεχνάμε πως η τοποθέτηση εμφυτεύματος πρόκειται για κανονική επέμβαση και για εγκατάσταση ενός ξένου – τρίτου σώματος στο σώμα του ασθενούς. Έτσι λοιπόν είναι μια πολύ δύσκολη διαδικασία η οποία πρέπει να είναι ακριβής και σωστά μελετημένη καθώς ένα λάθος μπορεί να στοιχίσει ακόμα και τη ζωή σε έναν ασθενή. Μπορεί να προκληθούν ανεπανόρθωτες βλάβες σε οστά, παράλυση, μόλυνση κ.α. [32].

Οι ψηφιακοί ενδοστοματικοί σαρωτές εξάγουν αρχεία τύπου STL ή και έγχρωμα αρχεία τύπου OBJ και PLY. Από την άλλη οι CBCT αξονικές είναι καθαρά και μόνο αρχεία DICOM (ή dcm). Συνεπώς, υπάρχει η ανάγκη για ένα λογισμικό που θα μπορεί να παρουσιάζει ταυτόχρονα το αρχείο της αξονικής αλλά και το αρχείο της σάρωσης σε τρισδιάστατη μορφή. Επίσης, πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα οποιαδήποτε επεξεργασία γίνεται στο ένα αρχείο να περνάει αυτόματα και στο άλλο. Τα στάδια της επεξεργασίας του συνδυασμού των αρχείων είναι τα εξής. Πρώτον, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η καμπύλη της πανοραμικής. Η καμπύλη αυτή διέρχεται από το κέντρο των οστών άνω και κάτω γνάθου και είτε πρέπει να σχεδιαστεί από το χειριστή είτε την σχεδιάζει αυτόματα το πρόγραμμα της αξονικής. Στη συνέχεια πρέπει να οριστεί το νοητικό νεύρο το οποίο είναι ένα αισθητήριο νεύρο και βρίσκεται στην κάτω γνάθο λίγο πιο πάνω από το πηγούνι και είναι αυτό που παρέχει τις αισθήσεις στα ούλα, στο πηγούνι και στο κάτω χείλος. Όπως είναι προφανές, όταν πρόκειται να τοποθετηθεί εμφύτευμα στην κάτω γνάθο το νεύρο αυτό πρέπει οπωσδήποτε να προσδιορίζεται ώστε να μη χτυπηθεί από το εμφύτευμα.

Έπειτα, πρέπει να τοποθετηθεί εικονικά ένα δοκιμαστικό δόντι από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος στη θέση του πιθανού εμφυτεύματος αφού μέσα από αυτό το δόντι θα περάσει το εμφύτευμα. Σειρά έχει συγχώνευση εικόνων STL με τα Dicom αρχεία. Πολλά λογισμικά κάνουν αυτόματα αυτό που ονομάζεται merging, όμως είναι καλύτερο να εντοπίζονται ίδια ανατομικά στοιχεία και στις δύο εικόνες κι έπειτα να ενώνονται. Τέλος, αφού έχει γίνει η ένωση, γίνεται και εικονικά η τοποθέτηση του εμφυτεύματος. Σαφώς και ο χειριστής μπορεί να κάνει αλλαγές στη θέση του εμφυτεύματος εικονικά εάν θεωρεί πως υπάρχει αυτή η δυνατότητα. [33]



Εικ. 37 : Στην εικόνα a βλέπουμε το 3D αρχείο της αποτύπωσης με ένα εικονικό δόντι τοποθετημένο στη θέση του εμφυτεύματος. Στην εικόνα b βλέπουμε τον σχεδιασμό της πανοραμικής καμπύλης (μπλε γραμμή) αλλά και του νοητικού νεύρου (κόκκινη γραμμή). Στην εικόνα c βλέπουμε το STL αρχείο όπου έχει σχεδιασθεί ο χειρουργικός οδηγός και πρόκειται να σταλεί για εκτύπωση. Στις εικόνες d και e

γίνεται η τοποθέτηση του εμφυτεύματος και η πλήρης τοποθέτηση του νέου δοντιού. Να σημειωθεί πως το τελικό αρχείο που παράγεται είναι σε μορφή DICOM.

3.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Η επικοινωνία μεταξύ των λογισμικών βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στη χρήση της ίδιας «γλώσσας». Πρέπει να γίνει κατανοητό πως παρόλο που όλα τα λογισμικά μπορούν να δεχτούν αρχεία παγκόσμιας μορφής, δηλαδή STL, κάθε πρόγραμμα καταλαβαίνει και λειτουργεί μόνο με τη δική του γλώσσα. Όταν το πλάνο της εμφύτευσης ολοκληρωθεί το λογισμικό μεταφέρει ένα STL αρχείο το οποίο περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την παραγωγή του χειρουργικού οδηγού ώστε να μπορέσει να γίνει η κατασκευή του, όμως δυστυχώς χάνει τις πληροφορίες για τη θέση του εμφυτεύματος και για την επιφάνεια του δοντιού. Δηλαδή, μεταφέρει μόνο τις πληροφορίες που βλέπουμε στην εικόνα 35c. Είναι λοιπόν αναμενόμενο ότι για τον πλήρη σχεδιασμό προσθετικής χρειάζονται δύο προγράμματα. Ένα πρόγραμμα που θα μπορεί να διαβάσει και να επεξεργάζεται εικόνες αξονικού τομογράφου οδόντων κωνικής δέσμης (CBCT) κι ένα πρόγραμμα που θα είναι σχεδιαστικό επάνω στο αποτύπωμα δηλαδή ένα πρόγραμμα CAD. Μεγάλη σημασία παίζουν και οι εταιρείες. Για να μπορέσουν να δουλέψουν συνδυαστικά τα λογισμικά πρέπει να είναι της ίδιας εταιρείας. Δηλαδή τόσο το σχεδιαστικό CAD όσο και αυτό για τις CBCT πρέπει να είναι από το ίδιο brand [33].

3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάγκη για δημιουργία ανοιχτών προγραμμάτων που θα συνδυάζουν πολλούς τύπους αρχείων και πολλά εργαλεία σχεδιασμού είναι επιτακτική. Μελέτες και προσπάθειες για τη δημιουργία τέτοιων προγραμμάτων γίνονται συνεχώς στα μεγαλύτερα Πανεπιστήμια του κόσμου. Η ψηφιακή οδοντιατρική είναι ακόμη στην αρχή της καθώς ούτε οι τεχνολογίες είναι ακόμα πολλές, ούτε τα υλικά που χρησιμοποιούνται αλλά ούτε και τα προγράμματα. Η δημιουργία ψηφιακών αποκαταστάσεων έχει δημιουργήσει νέες ανάγκες αλλά και νέες προοπτικές για πιο εύκολη επικοινωνία του ασθενή με τον ιατρό αλλά και για μια θεραπεία με λιγότερο πόνο, λιγότερο κόστος και λιγότερη ταλαιπωρία. Αυτά που αναμένονται να επιτευχθούν στην επιστήμη της οδοντιατρικής τα προσεχή χρόνια είναι συναρπαστικά και όσοι ασχολούνται και δουλεύουν σε αυτό τον τομέα, αξίζουν ένα μεγάλο μπράβο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM), Feb 6 2020, Διαθέσιμο στο: <https://www.inc.com/encyclopedia/computer-aided-design-cad-and-computer-aided-cam.html>
- [2] Reeta Jain et al, “CAD-CAM the future of digital dentistry: a review”, Annals of Prosthodontics & Restorative Dentistry, April–June 2016, pp 2(2):33-36
- [3] Davidowitz G., Kotick P.G., “The Use of CAD/CAM in Dentistry”, Dental Clinics 2011, pp 559–570
- [4] Preston J.D., Duret F., “CAD/CAM in dentistry.”, Oral Health 1997, 87(3):17-20, 23-4, 26-7.
- [5] Mormann WH, “The evolution of the CEREC system.”, American Dental Association, September 2006; pp 137(Suppl):7s–13s, JADA, Vol. 137
- [6] Rekow D., “Computer-aided design and manufacturing in dentistry: a review of the state of the art.”, The Journal of Prosthetic Dentistry 1987, VOLUME 58 NUMBER 4, pp (4):512-6
- [7] Andersson M. et al, “Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system”, The Journal of Prosthetic Dentistry August 1996, pp (7) :187-193
- [8] Jaafar A, Karl L, “Review Article: Rationale for the Use of CAD/CAM Technology in Implant Prosthodontics”, International Journal of Dentistry Volume 2013, Article ID 768121, 8 pages
- Διαθέσιμο στο :* <http://dx.doi.org/10.1155/2013/768121>
- [9] Gary D, Philip G. K, “The Use of CAD/CAM in Dentistry”, Dental Clinics, 2011, pp (12): 559–570
- [10] Markus B. B., Julian C, “The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials, Department of Preventive and Restorative Sciences”, University of Pennsylvania School of Dental Medicine, Dental Clinics, 2019, pp 175–197

- [11] Beuer F. et al, “Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations”, British dental journal volume 204 no. 9, May 2008, pp (7) : 505-511
- [12] Πως παίρνουμε αποτόπωμα στην Οδοντιατρική , Οδοντιατρική Άποψη, Ιανουάριος 2013 Διαθέσιμο στο : http://dentalopinions.blogspot.com/2013/01/blog-post_24.html
- [13] Kazuhiko S., “Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners”, Dental Materials Journal, 2020, pp (5):52-56
- [14] Nikoyan L., Patel R., “Intraoral Scanner, Three-Dimensional Imaging, and Three-Dimensional Printing in the Dental Office”, Dental Clinics of North America, 2020, pp 365-378
- [15] Hong-Seoka P., Chintala S. “Development of High Speed and High Accuracy 3D Dental Intra Oral Scanner”, Procedia Engineering 100, 2015, pp (8):1174 – 1181
- [16] Ταπεινός Χ., 2013. «Σύνθεση και Χαρακτηρισμός Τροποποιημένων Πολυλειτουργικών Νανοπεριεκτών», Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [17] Kainth K., Singh B., “Analysis of CCD and CMOS Sensor Based Images from Technical and Photographic Aspects”, International Conference of Advance Research and Innovation 2020, pp (5):14-18
- [18] Abdulla MA., Ali H Kh., Jamel RS. “CAD-CAM Technology: A literature Review.” Al-Rafidain Dent J. 2020, pp (19) : 95-113
- [19] Brown Ch. , “Options in Dental Milling : Making an informed decision when purchasing a milling machine” , Inside Dental Technology, June 2013, Volume 4, Issue 6
- [20] Brown Ch. , “Sintering Furnaces : Finding the best fit furnace for your laboratory.” , Inside Dental Technology, January 2012, Volume 3, Issue 1
- [21] Al-Hassiny A.,“ Review of the Intraoral Scanners at IDS 2019” , March 20, 2019, Online Article Διαθέσιμο στο : <https://instituteofdigitaldentistry.com/ids-2019/review-of-the-intra-oral-scanners-at-ids-2019/#tab-con-24>
- [22] <https://www.dentsplysirona.com/en-us/categories/cerec.html>
- [23] <https://www.planmeca.com/cadcam/>
- [24] <https://zirkonzahn.com/en/cad-cam-systems>
- [25] <https://www.rolanddga.com/products/dental/dwx-series>

- [26] <https://www.amangirrbach.com/en/products/sintering/>
- [27] Sulaiman Taiseer A., “Materials in digital dentistry—A review”, J Esthet Restor Dent. 2020, pp 1–11
- [28] Kessler A. et al, “3D Printing in Dentistry—State of the Art”, Operative Dentistry, January 2019
- [29] Van Noort R., “The future of dental devices is digital”, Dental Materials 28 , 2012,pp 3-12
- [30] "Laser milling" – an innovative manufacturing technology for restorations , Dental Visionist, Report 05/17 Διαθέσιμο στο : <https://www1.dental-visionist.com/en/Laser-milling-an-innovative-technology-673.html?kategorie=1617>
- [31] Al-Hassiny Ah. , “Digital Dentistry Trends 2022”, January 4, 2022, Institute of Digital Dentistry Διαθέσιμο στο : <https://instituteofdigitaldentistry.com/news/digital-dentistry-trends-2022/>
- [32] “The power of using CBCT with CAD/CAM solutions to elevate implant procedures”, Patterson Dental, November 2, 2021
- [33] Galante M. J. and Rubio N., “Digital Dental Implantology – From Treatment Planning to Guided surgery”, Springer Nature Switzerland, 2021 , pp 27-28

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2 : Dentsply Sirona, “CEREC Primescan AC, Primescan AC Operating Instructions” , 09/2019

Εικόνα 3 : Προσαρμοσμένο από Hong-Seoka P., Chintala S. “Development of High Speed and High Accuracy 3D Dental Intra Oral Scanner”, Procedia Engineering 100 (2015) 1174 – 1181

Εικόνα 4 : www.itero.com

Εικόνες 5 , 13 : www.3shape.com

Εικόνα 6 : www.medit.com

Εικόνα 7 : www.3shape.com

Εικόνα 8 : www.carestream.com

Εικόνα 9 : www.planmeca.com

Εικόνες 10 , 11 , 12 , 27 : www.dentsplysirona.com

Εικόνα 22 : www.vhf.com

Εικόνα 26 : www.zirkonzahn.com

Εικόνα 29 : <https://instituteofdigitaldentistry.com/ids-2019/review-of-the-intra-oral-scanners-at-ids-2019/#tab-con-24>

Εικόνα 30 : <https://bluesparkstrategies.com/quiz-which-ios-to-buy/>

Εικόνα 31 : Βλ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ σελ. 54 [22] , [23] , [24] , [25] , [26]

Εικόνα 31 : Βλ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ σελ. 54 [22] , [24], [26]

Εικόνα 35:

<https://assets.dentsplysirona.com/flagship/en/explore/cerec/documents/CER-Document-table-processing-timetable-SpeedFire.pdf>

Εικόνα 36: www.formlabs.com

Εικόνα. 37 : Βλ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ σελ. 55 [33]