



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



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΚΕΛΕΤΩΝ
ΜΕΡΙΚΩΝ ΟΔΟΝΤΟΣΤΟΙΧΙΩΝ**

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ (16006)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ



Αθήνα 2021



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



***DISSERTATION*
3D-PRINTERS FOR PARTIAL DENTURES FRAMEWORK**

ELEFThERIADOU GEORGIA (16006)

SUPERVISOR: IOANNIDOU ALEXANDRA, LECTURER



Athens 2021

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ελευθεριάδου Γεωργία του Αριστείδη, με αριθμό μητρώου 62916006 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Ιστορική ανασκόπηση.....	2
Σκοπός.....	5
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	6
Κεφάλαιο 1 ^ο : Μερικές οδοντοστοιχίες.....	6
Τμήματα μίας μερικής οδοντοστοιχίας.....	7
Σχεδίαση μίας μερικής οδοντοστοιχίας	8
Κεφάλαιο 2 ^ο : Τα στάδια κατασκευής μίας μερικής οδοντοστοιχίας.....	10
Ανάλυση των σταδίων κατασκευής μέχρι την ολοκλήρωση και επεξεργασία του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας.....	12
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	27
Κεφάλαιο 1 ^ο : Ψηφιακή τεχνολογία.....	27
Έννοιες και ορισμοί.....	27
Τα μέρη ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή.....	29
Τρόπος λειτουργίας ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή.....	31
Τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	33
Πλεονεκτήματα της χρήσης CAD-CAM.....	41
Μειονεκτήματα της χρήσης CAD/CAM	43
Κεφάλαιο 2 ^ο : Η τρισδιάστατη εκτύπωση ειδικότερα στον χώρο της οδοντιατρικής – οδοντοτεχνικής.....	46
Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών	46
Τα στάδια ψηφιακού σχεδιασμού του σκελετού μιας μερικής οδοντοστοιχίας	50
Αφαιρετική μέθοδος	56
Προσθετική μέθοδος.....	58
Πλεονεκτήματα της ψηφιακής έναντι της συμβατικής μεθόδου	59
Παραδείγματα εκτυπωτών για οδοντοτεχνική χρήση	61
Συζήτηση	64
Συμπεράσματα	67
Βιβλιογραφία.....	70

Συντομογραφίες

M.O.= Μερική οδοντοστοιχία

Δ.Σ.= Δόντια στηρίγματα

3D=Τρισδιάστατος-η-ο

CAD= Computer Aided Design

SLS=Selective laser sintering

LOM= Laminated object manufacturing

SLA=Stereolithography

FDM=Fused deposition modeling

SGC= Solid Ground Curing

RP=Rapid prototyping

MIT= Massachusetts Institute of Technology

UFP= Ultrafine particles

Εισαγωγή

Η τεχνολογία εξελίσσεται καθημερινά με ραγδαίους ρυθμούς σε όλους τους τομείς των επιστημών. Η εξέλιξη αυτή φέρνει στο προσκήνιο νέες εφαρμογές, οι οποίες ανταποκρίνονται στην ανάγκη του ανθρώπου για μία πιο ιδανική ζωή.

Μία από αυτές τις εφαρμογές είναι και η τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση. Είναι μία επαναστατική μέθοδος κατασκευής υλικών αντικειμένων σε 3D διάσταση με τη χρήση διαφόρων υλικών που υπόσχεται μία πιο γρήγορη και άνετη ζωή. (1) Πλέον, χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας όπως στην ιατρική, στις αυτοκινητοβιομηχανίες, στον μηχανοκίνητο αθλητισμό, στην παραγωγή ενέργειας, στα ηλεκτρονικά κυκλώματα, στην τέχνη και γλυπτική, στα κοσμήματα και στην εστίαση. Τα προϊόντα που παράγονται από αυτήν είναι συνήθως ανώτερα καθώς είναι ελαφρύτερα, έτοιμα συναρμολογημένα, πιο ισχυρά και απόλυτα προσαρμοσμένα στο ιδανικό μοντέλο, από αυτά που κατασκευάζονται με χειρωνακτικούς τρόπους. Σύμφωνα με τον καθηγητή στον τομέα επιχειρήσεων του Χάρβαρντ Clayton Christensen είναι μια επαναστατική μέθοδος, η οποία θα ανταποκριθεί στις ανάγκες της αγοράς ακριβών και εξελιγμένων προϊόντων με μικρότερο κόστος. (2)

Στον τομέα της οδοντιατρικής πιο συγκεκριμένα, η θετική επίδραση σύμφωνα με τον κύριο J. Ubeda , είναι πως η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών έχει αλλάξει σε βάθος την ροή εργασίας από την επικοινωνία ανάμεσα στο εργαστήριο και το οδοντιατρείο, μέχρι τη μελέτη των περιστατικών και το σχεδιασμό της θεραπείας. Παράλληλα, το κόστος υλικών και ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εργασίας έχει μειωθεί σημαντικά, αυξάνοντας παράλληλα την ακρίβεια και την απόδοση της τελικής κατασκευής. (3)

Ιστορική ανασκόπηση

Η επιθυμία και η προσπάθεια του ανθρώπου για την κάλυψη των απολεσθέντων δοντιών ξεκίνησε ήδη από την αρχή της εμφάνισης του. Από τα μεσαιωνικά χρόνια υπήρχε πρόοδος στην οδοντική προσθετική με μη όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο στο λειτουργικό όσο και στο αισθητικό μέρος. Μέχρι και τον 16^ο αιώνα η πρόοδος στην οδοντοπροσθετική ήταν μειωμένη λόγω θρησκευτικού φανατισμού αλλά συνάμα και έλλειψης επαρκών γνώσεων και ερευνών. Ωστόσο, η ανακάλυψη της τυπογραφίας καθώς και η διάδοση του γραπτού λόγου οδήγησε στην ταχύτερη εξέλιξη και πρόοδο των προσθετικών εργασιών.

Συγκεκριμένα, τον 18^ο αιώνα ουσιαστικά άρχισε η πρόοδος της Κινητής Προσθετικής δηλαδή των ολικών και μερικών οδοντοστοιχιών. (4) **Ολική** οδοντοστοιχία καλείται η προσθετική εργασία που κατασκευάζεται για ολικά νωδή γνάθο. (5) Όσον αφορά την ολική, βασικό πρόβλημα που υπήρξε κατά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης ήταν η συγκράτηση κυρίως της ολικής άνω γνάθου για αυτό και άμεση λύση φάνηκε η σύνδεση της με της κάτω γνάθου με τη βοήθεια ειδικών ελατηρίων. (John Greenwood). Οι οδοντοστοιχίες αυτές αποδείχτηκαν όμως αρκετά ογκώδεις, άβολες καθώς και ανθυγιεινές, αφού φιλοξενούσαν πλήθος μικροβίων. Το 1780 η ανακάλυψη του Γάλλου Jacques Gardette οδήγησε στην απαλλαγή των οδοντοστοιχιών, μετά από κάποιες δεκαετίες, από τα ελατήρια. Τον 20^ο αιώνα στην αγορά έκαναν την εμφάνιση τους τα ακρυλικά πολυμερή, τα οποία έλυσαν προβλήματα που εμφάνιζε μία κατασκευή ολικής οδοντοστοιχίας. (4)



Εικ.1

Ολική οδοντοστοιχία κατασκευασμένη με ελατήρια για συγκράτηση (john greenwood) (6).



Εικ.2

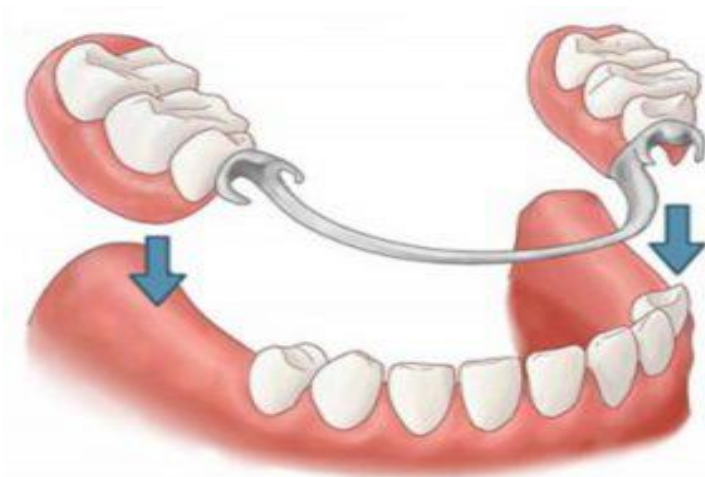
Ολική οδοντοστοιχία κατασκευασμένη από ακρυλικό. (5)

Μερική οδοντοστοιχία ορίζεται ως η κινητή πρόσθεση που αντικαθιστά ένα ή περισσότερα, ή όλα εκτός από ένα φυσικά δόντια, όταν αντενδείκνυνται η κατασκευή γεφυρών. (7) Τον 18^ο αιώνα ο Γάλλος Pierre Fauchard ασχολήθηκε κυρίως με την κατασκευή της μερικής οδοντοστοιχίας στην οποία για προσθέσεις πάνω από έξι δοντιών χρησιμοποιούσε μία βάση, μία χρυσή πλάκα με πάχος 3 χιλιοστά στην οποία στερέωνε τα δόντια. Για να υπάρχει βέβαια στήριξη ανάμεσα στα δόντια χρησιμοποιούσε κάποιες περιδέσεις με νήματα από λινάρι, κερωμένο μετάξι και χρυσά νήματα. Αφού αντιλήφθηκε πόσο σημαντικές ήταν οι λειτουργίες της μερικής οδοντοστοιχίας (συγκράτηση -στήριξη - σταθερότητα) τοποθέτησε και μεταλλικές δοκούς για την βελτίωση της ακαμψίας του σκελετού και κατ' επέκταση όλων των λειτουργιών της οδοντοστοιχίας. Αυτές, προφανώς, ήταν οι πρώτοι μείζονες συνδετήρες που χρησιμοποιήθηκαν.

Ήδη από την αρχαιότητα υπάρχουν πηγές που αποκαλύπτουν την κατασκευή μεταλλικών αντικειμένων με την τεχνική της χύτευσης (Πλίνιος, 1ος αιώνας π.Χ., Θεόφιλος, 11ος αιώνας, Cellini, 16ος αιώνας) Σύμφωνα με αυτήν ένα κέρινο πρόπλασμα μετατρέπεται σε μεταλλικό αντικείμενο με την πλήρωση του κέρινου προπλάσματος με λιωμένο κράμα. Η τεχνική αυτή όσον αφορά τα οδοντιατρικά χυτά παρουσιάστηκε αρχικά στην οδοντιατρική κοινότητα το 1907 από τον William Taggart και συγκεκριμένα η χύτευση μεταλλικού σκελετού μερικών οδοντοστοιχιών αναπτύχθηκε από τον Norman B. Nesbett.

Στην εποχή της τεχνολογίας που διανύουμε, όμως, ανακαλύφθηκε και χρησιμοποιήθηκε και μια πολύ πιο σύγχρονη, γρήγορη και εύκολη μέθοδος κατασκευής μεταλλικών σκελετών μερικών οδοντοστοιχιών, η οποία είναι η τεχνολογία **CAD/CAM**. Σύμφωνα με τις τελευταίες εξελίξεις, λαμβάνονται ψηφιακά αποτυπώματα και εκμαγεία, πάνω στα οποία κατασκευάζεται ο μεταλλικός σκελετός μερικών οδοντοστοιχιών με τη εκσυγχρονισμένη αυτή μέθοδο CAD/CAM. (4)

Τα πρώτα πειράματα για **τριδιάστατη εκτύπωση** είχαν ξεκινήσει ήδη από τη δεκαετία του 1960 με τη χρήση λέιζερ και φωτοπολυμερών. Ο πρώτος τριδιάστατος εκτυπωτής ανακαλύφθηκε από τον Αμερικανό μηχανικό Chuck Hull το 1984 μελετώντας τα πολυμερή υλικά που μπορούν να αποκτήσουν την απαιτούμενη σκληρότητα με τη χρήση του φωτός. Ήθελε να κατασκευάσει μια μηχανή που θα επέτρεπε στον χρήστη να σκληρύνει λεπτά στρώματα πλαστικού το ένα πάνω στο άλλο, φτιάχνοντας έτσι το επιθυμητό αντικείμενο. Την μέθοδο αυτή ονόμασε κατασκευαστική στερεολιθογραφία (manufacturing stereolithography). (2) Όσον αφορά την οδοντιατρική η ψηφιακή τεχνολογία εισήχθη τη δεκαετία του 1970 από τον Francois Duret. (8) Από τότε έως και σήμερα, η τριδιάστατη εκτύπωση στον χώρο έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης παρέχοντας πλέον στον κλάδο της οδοντιατρικής μία ιδανική και ολοκληρωμένη τεχνολογία που προσφέρει μία πιο εύλικτη και εύκολη ζωή σε σύγκριση με τις αναχρονιστικές συμβατικές μεθόδους.



Εικ.3

Μερική οδοντοστοιχία κάτω γνάθου. (9)



Εικ.4 Envision One CDLM Dental. Τρισδιάστατος εκτυπωτής. (10)

Σκοπός

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής του μεταλλικού σκελετού μιας μερικής οδοντοστοιχίας με το συνδυασμό ψηφιακής τεχνολογίας και 3D εκτυπωτή και η σύγκρισή της με την συμβατική μέθοδο κατασκευής μερικών οδοντοστοιχιών. Θα γίνει αναλυτική περιγραφή των σταδίων κατασκευής και των δύο μεθόδων έτσι ώστε να γίνουν απολύτως κατανοητές οι διαφορές, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει η κάθε μια μέθοδος ξεχωριστά.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1^ο : Μερικές οδοντοστοιχίες

Οι μερικές οδοντοστοιχίες χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις καθώς αποτελούν μία οικονομική και μη επεμβατική λύση και επιπλέον μπορεί να αποκαταστήσει κάθε περίπτωση νωδότητας, την έλλειψη ενός ή όλων των δοντιών πλην βέβαια ενός. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που **δεν μπορεί να υποστηριχτεί ακίνητη προσθετική λόγω έλλειψης αρκετών δοντιών**.

Οι μερικές οδοντοστοιχίες διακρίνονται γενικότερα σύμφωνα με τον **Bailyn** σε τρεις βασικές κατηγορίες, τις μερικές οδοντοστοιχίες που στηρίζονται εξ' ολοκλήρου στα δόντια στηρίγματα (οδοντικής στήριξης), στις μερικές που στηρίζονται εξ' ολοκλήρου στον βλεννογόνο (βλεννογόνιας στήριξης), στις μερικές που στηρίζονται και στα δόντια στηρίγματα αλλά και στον βλεννογόνο (μικτής στήριξης). (7)

Ειδικότερα οι μερικές οδοντοστοιχίες ταξινομούνται κατά **Gummer** δηλαδή ανάλογα με την θέση που βρίσκονται οι άμεσοι συγκρατήρες στην μερική οδοντοστοιχία, και κατά **Kennedy** δηλαδή ανάλογα με την νωδότητα που καλύπτει η εκάστοτε μερική οδοντοστοιχία.

Η ταξινόμηση κατά **Gummer** αποτελείται από 4 κατηγορίες, τη διαγώνια, την πολύπλευρη, την διαμετρική και την μονόπλευρη.

Η ταξινόμηση κατά **Kennedy** αποτελείται από 4 κατηγορίες:

- αμφοτερόπλευρα νωδές περιοχές πίσω από τα φυσικά δόντια,
- ετερόπλευρα νωδή περιοχή πίσω από τα φυσικά δόντια,
- ετερόπλευρα νωδή περιοχή με ύπαρξη τελευταίου γομφίου (στην περίπτωση αυτή υπάρχουν και υποομάδες),
- πρόσθια νωδή περιοχή μπροστά από τα φυσικά δόντια (στην περίπτωση αυτή υπάρχουν και υποομάδες). (7)

Τμήματα μίας μερικής οδοντοστοιχίας

Μία μερική οδοντοστοιχία αποτελείται από τρία κύρια μέρη, τον μεταλλικό σκελετό, τις ακρυλικές βάσεις ή εφίπια και τα τεχνητά δόντια. Τον μεταλλικό σκελετό απαρτίζουν, ο μεγάλος συνδετήρας, ο μικρός συνδετήρας, το πλέγμα συγκράτησης καθώς και τα συγκρατητικά μέσα.

Ακρυλικές βάσεις ή εφίπια

Βάση λέγεται το τμήμα ή τμήματα που καλύπτουν την νωδή περιοχή της μερικής οδοντοστοιχίας, σαν εφίπια και η οποία μπορεί να παρέχει στήριξη στην μερική οδοντοστοιχία.

Μεταλλικός σκελετός

Τον μεταλλικό σκελετό μίας μερικής οδοντοστοιχίας απαρτίζουν οι μείζονες συνδετήρες (μεγάλοι) και τα συγκρατητικά στοιχεία.

Μείζονες συνδετήρες είναι τα μέρη της μ.ο. που συνδέουν μεταξύ τους τη βάση, τα άγκιστρα και κάθε άλλο μέρος της μ.ο. το οποίο υπάρχει στη μία πλευρά της γνάθου με το αντίστοιχο της άλλης πλευράς της ίδιας γνάθου. Όσον αφορά την άνω γνάθο διακρίνονται σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους: την απλή υπερώια δοκό, την διπλή υπερώια δοκό, το ίππειο πέταλο και την υπερώια πλάκα. Όσον αφορά την κάτω γνάθο διακρίνονται σε έξι τύπους: γλωσσική δοκός, διπλή γλωσσική δοκός, γλωσσική πλάκα, χειλική δοκός, υπογλώσσια δοκός και ενισχυμένη δευτερεύουσα γλωσσική δοκός. *Συγκρατητικά στοιχεία* είναι το σπουδαιότερο τμήμα της μ.ο. καθώς αποτελούν την στήριξη και τη συγκράτηση αυτής στα φυσικά δόντια-στηρίγματα. Διακρίνονται σε 2 κατηγορίες, στα έμμεσα και στα άμεσα.

Τεχνητά δόντια

Χρησιμεύουν για την μάσηση της τροφής, για την αισθητική αποκατάσταση και για την

διατήρηση της κάθετης διάστασης σύγκλεισης. Τα υλικά κατασκευής τους είναι είτε κεραμικά είτε ακρυλικά, με κυριότερα αυτά της ακρυλικής ρητίνης. (7)

Σχεδίαση μίας μερικής οδοντοστοιχίας

Μία μερική οδοντοστοιχία θα πρέπει πριν κατασκευαστεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να καλύπτει πλήρως όλες τις προϋποθέσεις που είναι απαραίτητες για την ορθή λειτουργία της μέσα στο στόμα του ασθενούς. Συγκεκριμένα, αποκαθιστώντας τα νωδά τμήματα προκειμένου για μία ορθή μάσηση να μην επιβαρύνει τα υγιή δόντια και τέλος να λειτουργεί ως μία ενιαία μονάδα και όχι ως μεμονωμένα τμήματα.

Κατά την σχεδίασή της θα πρέπει:

- Οι δυνάμεις που μεταφέρονται στα δόντια στηρίγματα να είναι οι ελάχιστες δυνατές.
- Η μερική οδοντοστοιχία να μπορεί να τοποθετηθεί στον ασθενή με άνεση, χωρίς να του ασκεί πίεση και πόνο.
- Η σχεδίαση της μ.ο. να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση της στοματικής υγιεινής του ασθενούς.
- Να βελτιώνεται η αισθητική του ασθενή με μία απλή σχεδίαση της μ.ο. (7)

Αρχικό στάδιο της σχεδίασης αποτελεί ο προσδιορισμός της σωστής φοράς ένθεσης η οποία εξαρτάται από τα οδηγά επίπεδα, τις συγκρατητικές εσοχές, τη μη παρεμβολή ιστών και την αισθητική.

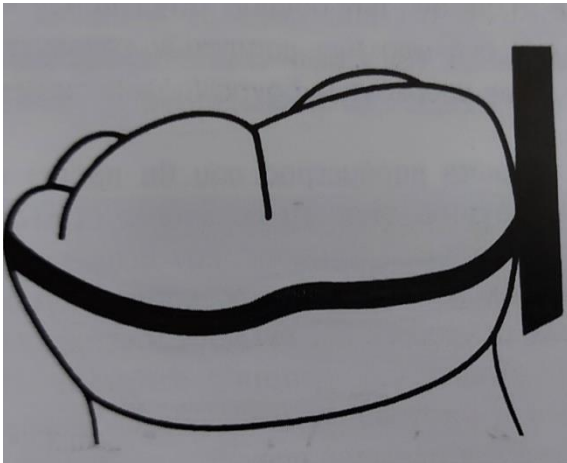
Όσον αφορά τα οδηγά επίπεδα αποτελούνται από τις όμορες επιφάνειες κυρίως των δοντιών στηριγμάτων μίας μ.ο., οι οποίες θα πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους προκειμένου να καθορίζουν την μοναδική φορά ένθεσης και αφαίρεσης της μ.ο., να εξασφαλίζουν αντιστήριξη και σταθερότητα στην μ.ο. και να συμβάλλουν κατά το μέγιστο στην αποφυγή δημιουργίας ανθυγιεινών και αντιαισθητικών χώρων μεταξύ των δοντιών στηριγμάτων της μ.ο. και του μεταλλικού σκελετού.

Αναφορικά στην φορά ένθεσης, αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση του παραλληλογράφου, ο οποίος προσδιορίζει με την ίδια φορά όλων των δοντιών στηριγμάτων την μέγιστη περίμετρο του δοντιού.

Φορά ένθεσης καλείται η φορά με την οποία γίνεται παραλληλογράφηση της μέγιστης περιμέτρου των δοντιών στηριγμάτων μίας μ.ο. και με την οποία τοποθετείται αυτή και εδράζεται στην θέση της.

Φορά αφαίρεσης καλείται η αντίθετη κίνηση της φοράς ένθεσης και είναι η ταυτόχρονη και παράλληλη διαδρομή όλων των στοιχείων της μ.ο. μέχρι να χάσει την επαφή της με τους ιστούς και τα δόντια πάνω στα οποία εδράζεται.

Η μέγιστη περίμετρος στα δόντια δεν βρίσκεται σε όλο το μήκος της στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο αλλά σε διαφορετικά επίπεδα σε κάθε περιοχή αφού παρουσιάζουν ασυνεχή καμπυλότητα. (Εικ.13)



Εικ.13 Μέγιστη περίμετρος ενός δοντιού (7)

Βέβαια υπάρχουν και κάποιοι επιπλέον σημαντικοί παράγοντες που δεν πρέπει να παραμελούνται και είναι οι εξής:

- Το πολύγωνο στήριξης
- Η ανάλυση των μασητικών επιφανειών των υπαρχόντων δοντιών
- Η επιλογή των δοντιών στηριγμάτων
- Η περιστροφή της μερικής οδοντοστοιχίας γύρω από εγκάρσιο άξονα
- Η χρήση εγγύς επαπτήρων σε ελευθέρου άκρου μερικής οδοντοστοιχίας
- Η περιστροφή γύρω από διαγώνιο άξονα
- Η περιστροφή γύρω από οβελιαίο άξονα

Κεφάλαιο 2^ο : Τα στάδια κατασκευής μίας μερικής οδοντοστοιχίας

Μία μερική οδοντοστοιχία για να κατασκευαστεί πρέπει να προηγηθούν κάποια απαραίτητα στάδια τα οποία διακρίνονται σε κλινικά και σε εργαστηριακά.

Τα στάδια για μια ορθή κατασκευή μίας μερικής οδοντοστοιχίας κατά σειρά είναι τα εξής:

1	ΚΛΙΝΙΚΟ	Εξέταση ασθενή
2	ΚΛΙΝΙΚΟ	Λήψη αρχικού αποτυπώματος
3	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Δημιουργία αρχικού εκμαγείου ή εκμαγείου μελέτης
4	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Ανάλυση αρχικού εκμαγείου ή εκμαγείου μελέτης
5	ΚΛΙΝΙΚΟ	Προετοιμασία του στόματος του ασθενή πριν γίνει η τοποθέτηση της μερικής οδοντοστοιχίας.
6	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Κατασκευή ατομικού δισκαρίου
7	ΚΛΙΝΙΚΟ	Λήψη τελικού αποτυπώματος

8	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Κατασκευή τελικού εκμαγείου
9	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Ανάλυση τελικού εκμαγείου και σχεδιασμός της μερικής οδοντοστοιχίας
10	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Προετοιμασία του τελικού εκμαγείου για ανατύπωση (ντουμπλάρισμα)
11	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Ανατύπωση του τελικού εκμαγείου
12	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Δημιουργία πυροχωμάτινου εκμαγείου και σχεδιασμός της μερικής οδοντοστοιχίας
13	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Διαμόρφωση του κέρινου προπλάσματος του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας
14	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Τοποθέτηση των αγωγών χύτευσης
15	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Τοποθέτηση και επένδυση του κέρινου προπλάσματος του μεταλλικού σκελετού με πυρόχωμα
16	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Αποκρήρωση και προθέρμανση του εκμαγείου
17	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Χύτευση του μεταλλικού σκελετού
18	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Στίλβωση του μεταλλικού σκελετού
19	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Δημιουργία βασικής πλάκας και διαμόρφωση του κέρινου ύψους της μερικής οδοντοστοιχίας
20	ΚΛΙΝΙΚΟ	Λήψη καταγραφών του προσώπου του ασθενούς
21	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Ανάρτηση των εκμαγείων στον αρθρωτήρα
22	ΚΛΙΝΙΚΟ	Επιλογή τεχνητών δοντιών
23	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Σύνταξη των τεχνητών δοντιών
24	ΚΛΙΝΙΚΟ	Πρόβα του μεταλλικού σκελετού στο στόμα του ασθενούς
25	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Τοποθέτηση στα έγκλειστρα
26	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Αποκρήρωση και όπτηση της μερικής οδοντοστοιχίας
27	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ	Λείανση και στίλβωση της μερικής οδοντοστοιχίας
28	ΚΛΙΝΙΚΟ	Παράδοση και τοποθέτηση της μερικής οδοντοστοιχίας στο στόμα

Ανάλυση των σταδίων κατασκευής μέχρι την ολοκλήρωση και επεξεργασία του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας

Αρχικό αποτύπωμα και κατασκευή του αρχικού εκμαγείου

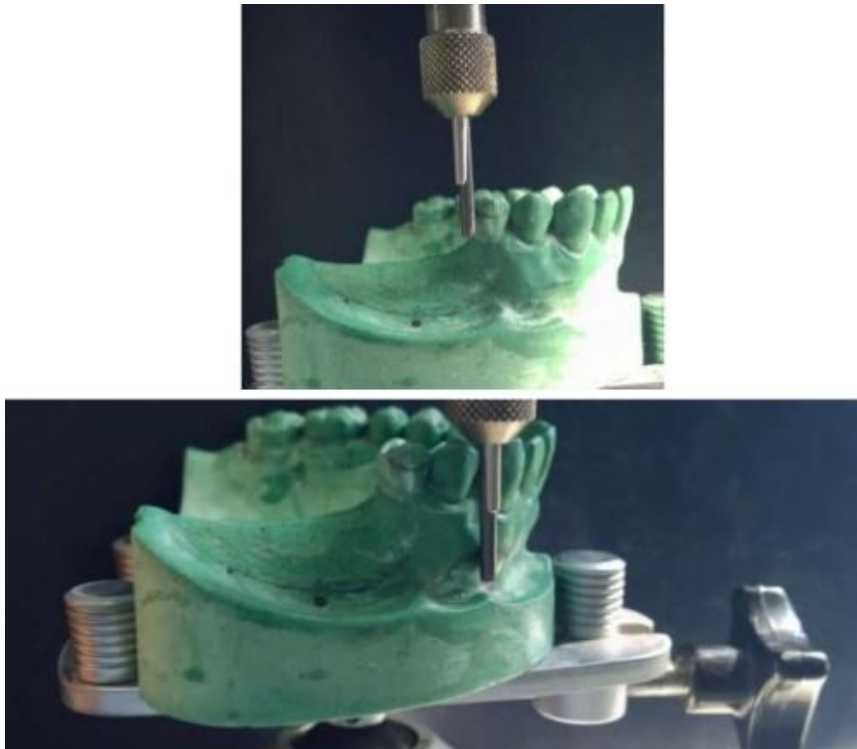
Λαμβάνεται το αρχικό αποτύπωμα συνήθως με αλγινικό και ένα δισκάριο του εμπορίου. Γίνεται επένδυση με σκληρή γύψο, καθώς θα χρειαστεί να γίνει ανάλυση στον παραλληλογράφο και θα πρέπει να έχει αντοχή. Το εκμαγείο θα πρέπει να κατασκευάζεται απευθείας μετά την λήψη του αποτυπώματος καθώς το αλγινικό είναι ένα ευαίσθητο υλικό που αφυδατώνεται και στρεβλώνεται πολύ εύκολα.

Ανάλυση του αρχικού εκμαγείου

Γίνεται ανάρτηση των εκμαγείων σε ανατομικό ημιπροσαρμοζόμενο αρθρωτήρα αφού κατασκευαστεί η βασική πλάκα, κυρίως από αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη για να υπάρχει αντοχή κατά τη λήψη καταγραφών, και διαμορφωθεί το κέρινο ύψος. Στην συνέχεια, γίνεται ανάλυση των εκμαγείων με τον προσδιορισμό της φοράς ένθεσης και τη καταγραφή της μέγιστης περιμέτρου των δοντιών στηριγμάτων, καθώς επίσης και τροποποιήσεις που είναι απαραίτητες τόσο στις όμορες επιφάνειες των δοντιών στηριγμάτων όσο και στην κυρτότητα των υπόλοιπων επιφανειών που καταλήγουν τα άγκιστρα. Η ανάλυση των αρχικών εκμαγείων γίνεται με τη βοήθεια παραλληλογράφου. Σημαντική είναι η καταγραφή της κλίσης του αρχικού εκμαγείου που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τέσσερις διαφορετικές μεθόδους:

- Μέθοδος των τριών σημείων
- Μέθοδος των αυλακών

- Μέθοδος πακτωμένης βίδας
- Μέθοδος του αποτυπωτικού υλικού



Εικ.14 Καταγραφές στον παραλληλογράφο (11)

Προετοιμασία του στόματος πριν την τοποθέτηση μ.ο.

Είναι απαραίτητη η μερική οδοντοστοιχία που θα τοποθετηθεί να καλύπτει όχι μόνο τα κενά από τα δόντια που λείπουν αλλά να διατηρεί και την στοματική υγιεινή των μαλακών και σκληρών ιστών στους οποίους θα εγκατασταθεί και θα στηριχτεί.

Η προετοιμασία του στόματος περιλαμβάνει:

- Χειρουργική επέμβαση για την προετοιμασία του στόματος
- Περιοδοντική θεραπεία στα φυσικά δόντια που έχουν παραμείνει
- Διόρθωση του μασητικού επιπέδου, αν αυτό χρειάζεται, η εξισορρόπηση της σύγκλισης και η ναρθηκοποίηση των δοντιών, όταν αυτή είναι απαραίτητη (7)

Κατασκευή ατομικού δισκαρίου

Για τη λήψη του τελικού αποτυπώματος κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή ενός ατομικού δισκαρίου, διότι η αποτύπωση του στόματος με δισκάριο του εμπορίου θα έχει ως αποτέλεσμα την λανθασμένη αποτύπωση των μαλακών ιστών. Στην μερική οδοντοστοιχία τα δισκάρια που είναι πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι αυτά του χώρου, καθώς και τα μικτά, δηλαδή επαφής στην νωδή περιοχή και χώρου στην περιοχή με τα δόντια. Τα υλικά κατασκευής είναι φωτοπολυμεριζόμενη ή αυτοπολυμεριζόμενη ακρυλική ρητίνη.

Λήψη του τελικού αποτυπώματος

Τα υλικά για την τελική λήψη αποτυπώματος μπορεί να είναι το αλγινικό, οι σιλικόνες, οι πολυαιθέρες και τα πολυσουλφίδια.

Κατασκευή του τελικού εκμαγείου

Το εκμαγείο πρέπει να κατασκευάζεται αμέσως μετά την λήψη του αποτυπώματος κυρίως όταν πρόκειται για αποτυπωτικό υλικό αλγινικό. Κατασκευάζεται με την έγχυση σκληρής γύψου και αν είναι εφικτό και υπέρσκληρης. Αφήνεται 1 ώρα όταν πρόκειται για σκληρή γύψο και έπειτα τροχίζεται χωρίς να αλλοιωθούν τα όρια του στόματος. (7)

Ανάλυση του τελικού εκμαγείου και σχεδίαση της μερικής οδοντοστοιχίας

Σε αυτό το στάδιο επανατοποθετείται το εκμαγείο με την ίδια κλίση και φορά ένθεσης με το αρχικό εκμαγείο στο τραπεζίδιο του παραλληλογράφου για να εξακριβωθούν οι εσοχές και το βάθος τους, που έχουν δημιουργηθεί μετά την επεξεργασία των δοντιών στηριγμάτων, με τη βοήθεια ράβδου ανάλυσης. Τέλος, αντικαθίσταται η ράβδος αυτή με την γραφίδα για την σημείωση της μέγιστης περιμέτρου των δοντιών στηριγμάτων.

Σχεδίαση της μερικής οδοντοστοιχίας

Σχεδιάζονται τα άγκιστρα, οι βάσεις, οι μείζονες και ελάσσονες συνδετήρες, καθώς και οι έμμεσοι συγκρατήρες και οποιαδήποτε άλλα μέρη που απαρτίζουν τον μεταλλικό σκελετό.



Εικ.15 Σχεδίαση της μερικής οδοντοστοιχίας (11)

Προετοιμασία του τελικού εκμαγείου για ανατύπωση

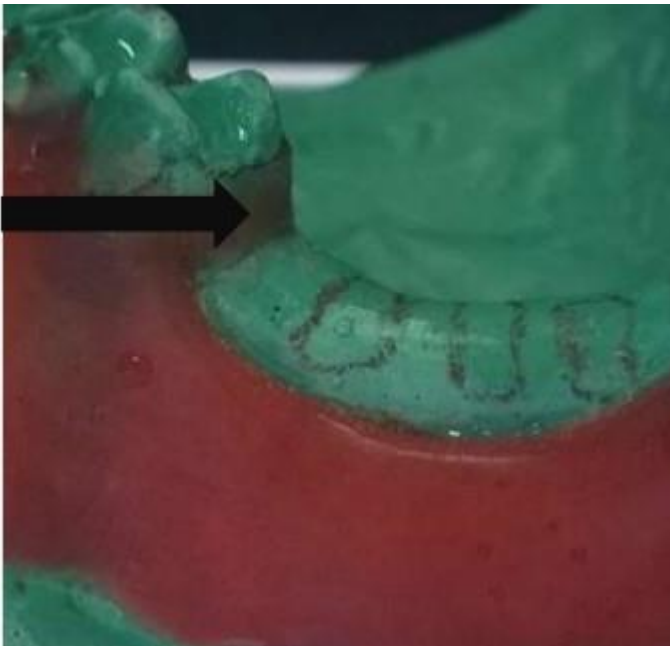
Πριν την ανατύπωση του εκμαγείου πρέπει να γίνεται μία απαραίτητη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει την απαλοιφή εσοχών τόσο αυτών που βρίσκονται έξω από τα όρια της μερικής οδοντοστοιχίας όσο και αυτών που βρίσκονται μέσα στα όριά της. Το κεριό που χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων εσοχών πρέπει να έχει υψηλό σημείο τήξης έτσι ώστε να μην λιώσει κατά τη διάρκεια της ανατύπωσης από την θερμότητα του αντιστρεπτού υδροκολλοειδούς (Άγαρ - Άγαρ) που διαθέτει θερμοκρασία περίπου 55°C. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία απαλοιφής ανεπιθύμητων εσοχών, γίνεται ανακούφιση της παρυφής των ούλων, με μία λεπτή επίστρωση κεριού πάχους 0.5 με 0.7mm, από κάθε πίεση που μπορεί να ασκηθεί από τον μεταλλικό σκελετό.

Επιπλέον, επίστρωση κεριού πάχους 1mm γίνεται και στην κορυφή της φατνιακής

ακρολοφίας, προκειμένου να υπάρχει ελεύθερος χώρος για την προσθήκη ακρυλικού για την βάση της μερικής οδοντοστοιχίας.

Σε περιπτώσεις που έχουμε μερικές οδοντοστοιχίες που αφορούν την I κατηγορία κατά Kennedy, δηλαδή τη κατηγορία που αφορά μερικές οδοντοστοιχίες ελευθέρου άκρου, δημιουργείται στο πίσω μέρος της επίστρωσης κεριού μία μικρή οπή (εσοχή), προκειμένου να μπορεί ο μεταλλικός σκελετός να εφάπτεται με το εκμαγείο κατά την διάρκεια όπτησης της μερικής οδοντοστοιχίας για να υπάρχει σταθερότητα και να μην υποχωρεί προς το εκμαγείο.

Τέλος, προσθήκη κεριού γίνεται και κάτω από τους μείζονες και ελάσσονες συνδετήρες της κάτω γνάθου, όχι όμως και της άνω παρά μόνο κατά μήκος της υπερώας αντίστοιχα με την οβελιαία ραφή όταν δεν υπάρχουν εξογκώματα και πρόκειται να τοποθετηθεί υπερώια δοκός ή ζώνη. (7)



Εικ.16 Απαλοιφή εσοχών (11)

Ανατύπωση του τελικού εκμαγείου και κατασκευή νέου πυροχωμάτινου

Η ανατύπωση του τελικού εκμαγείου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους ανάλογα με το

υλικό που θα χρησιμοποιηθεί, δηλαδή αντιστρεπτό υδροκολλοειδές ή λεπτόρρευση σιλικόνη σε μεταλλικά ή πλαστικά έγκλειστρα.

Ως επί των πλείστον χρησιμοποιείται το αντιστρεπτό υδροκολλοειδές κυρίως για οικονομικούς λόγους αφού μπορεί να ξανά χρησιμοποιηθεί χωρίς να καταστρέφεται καθώς επίσης και για λόγους ακρίβειας και εύκολης χρήσης. Μειονέκτημα του είναι το γεγονός ότι δεν μπορεί να ξανά κατασκευαστεί από το ίδιο αποτύπωμα κι άλλο πυροχωμάτινο εκμαγείο, καθώς δεν έχει την ιδανική αντοχή όπως η σιλικόνη. (7)

Η διαδικασία με το **αντιστρεπτό υδροκολλοειδές** (άγαρ- άγαρ) είναι η εξής:

Το εκμαγείο πρέπει να βυθιστεί αρχικά σε νερό θερμοκρασίας 40°C για 15-20 λεπτά για να σταματήσουν να ανέρχονται φυσαλίδες αέρα από αυτό. Επιπλέον, η διαβροχή του βοηθάει στην καλύτερη και ελεύθερη ροή του υδροκολλοειδούς επάνω στην επιφάνεια του εκμαγείου, καθώς επίσης συμβάλλει στην μη αφυδάτωση του υδροκολλοειδούς. Τοποθετείται το εκμαγείο στο κέντρο του εγκλείστρου και συγκολλάται με κερί και γύρω από την βάση του εκμαγείου τοποθετείται λίγη πλαστελίνη σε κωνικό σχήμα για να αφαιρεθεί το εκμαγείο από το υδροκολλοειδές με μεγαλύτερη ευκολία. Το υδροκολλοειδές (άγαρ- άγαρ) για να λιώσει τοποθετείται σε ειδική συσκευή που ανεβάζει θερμοκρασία μέχρι τους 90°C όπου παραμένει το άγαρ για κάποια ώρα μέχρι την πλήρης ρευστοποίηση του. Στην συνέχεια, όταν η θερμοκρασία του άγαρ φτάσει τους 45-50°C είναι έτοιμο για χρήση. Η θερμοκρασία του δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνάει τους 50°C, καθώς έτσι θα λιώσουν τα κεριά με τα οποία έγινε ο σχεδιασμός του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας στο τελικό εκμαγείο. Το άγαρ τοποθετείται από ύψος περίπου 30 cm έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων και να ψυχθεί πιο γρήγορα το υλικό.

Μόλις ολοκληρωθεί η έγχυση του υδροκολλοειδούς, αφήνεται το έγκλειστρο για λίγο στον αέρα και μετέπειτα, αφού δημιουργηθεί μία μεμβράνη στην επιφάνεια, τοποθετείται μέσα σε νερό ή σε ψυγείο όπου και παραμένει τουλάχιστον για 30 λεπτά της ώρας. (12)

Μετά την στερεοποίηση του υδροκολλοειδούς το εκμαγείο αφαιρείται σιγά σιγά από το υδροκολλοειδές αφού πρώτα δημιουργηθεί μία περιμετρική κοίλανση γύρω από το εκμαγείο που θα διευκολύνει την αφαίρεσή του. Η αφαίρεσή του μπορεί να γίνει είτε με δύο μαχαιρίδια είτε με ειδική λαβίδα για αυτόν τον σκοπό. Τέλος, τοποθετείται ένας

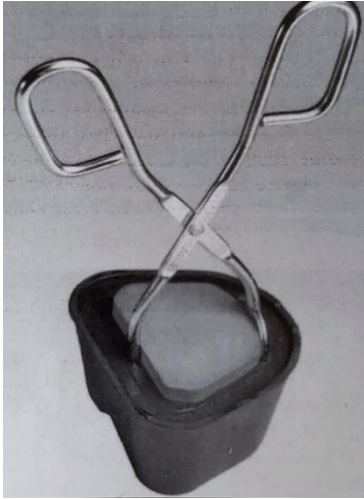
σηματιστής διαύλου, δηλαδή ένα κωνικό πλαστικό εξάρτημα που φέρει μία επιμήκη προεξοχή με τη μορφή καρφίδας με την οποία στερεοποιείται μέσα στο υδροκολλοειδές, δημιουργώντας έτσι μετά την χύτευση του πυροχώματος και την αφαίρεση του σηματιστή, μία κωνική εσοχή μέσα από την οποία θα εισέλθει το τηγμένο μέταλλο. (7)



Εικ.17 Τοποθέτηση του εκμαγείου στο έγκλειστρο (11)



Εικ.18 Έγχυση του άγαρ-άγαρ (11)



Εικ.19 Αφαίρεση του εκμαγείου από το αντιστρεπτό υδροκολλοειδές με ειδική λαβίδα (7)

Η διαδικασία με τη **σιλικόνη** είναι η εξής:

Δεν διαφέρει και πολύ από τη διαδικασία με το αντιστρεπτό υδροκολλοειδές. Το εκμαγείο τοποθετείται στο κέντρο του εγκλείστρου χωρίς συγκόλληση. Τα δύο συστατικά της σιλικόνης αναμιγνύονται με προσοχή και αναδεύονται αρχικά με σπάθη και στην συνέχεια τοποθετείται το μείγμα σε ειδικό αναδευτήρα κενού για 30-40 δευτερόλεπα της ώρας. Η σιλικόνη εγχύεται και αυτή από ύψος 30cm, με το έγκλειστρο να βρίσκεται πάνω σε δονητή για την αποφυγή φυσαλίδων αέρα. Η σιλικόνη αφήνεται να πολυμεριστεί για περίπου 30 λεπτά της ώρας και έπειτα το εκμαγείο αφαιρείται. Αξίζει να σημειωθεί, πως η σιλικόνη παρέχει την δυνατότητα να κατασκευαστούν παραπάνω από ένα εκμαγεία από το ίδιο αποτύπωμα λόγω της υψηλής αντοχής της. (7)

Προσθήκη του πυροχώματος

Στην περίπτωση του αντιστρεπτού υδροκολλοειδούς το πυρόχωμα πρέπει να τοποθετείται απευθείας, διότι αν το αποτύπωμα αφεθεί μπορεί να υπάρξουν

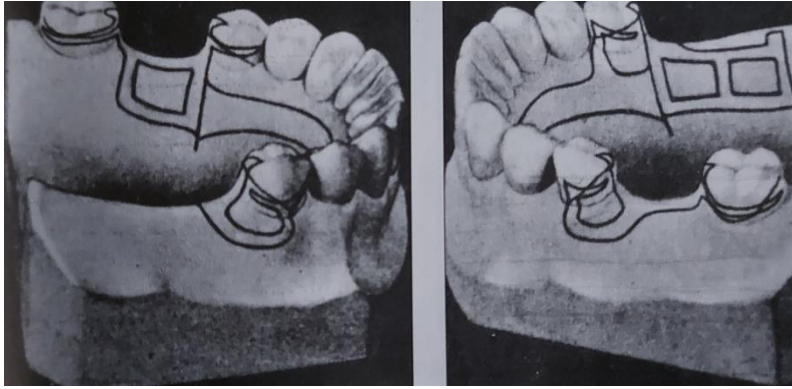
μεταβολές στις διαστάσεις του σε αντίθεση με το αποτύπωμα σιλικόνης το οποίο αν έχει πολυμεριστεί πλήρως είναι πιο ανθεκτικό.

Το πυρόχωμα αναδύεται με την βοήθεια ειδικού αναδευτήρα κενού και εγχύεται, στο αποτύπωμα που έχει τοποθετηθεί σε δονητή, πάντα πρώτα στα υψηλότερα σημεία του αποτυπώματος με κατεύθυνση στα χαμηλότερα. Αφού ολοκληρωθεί η έγχυση του πυροχώματος αφήνεται να πήξει για περίπου μία ώρα. Σε περίπτωση που έχει χρησιμοποιηθεί υδροκολλοειδές δεν επιτρέπεται να αφεθεί περισσότερη ώρα, καθώς το πυρόχωμα θα απορροφήσει το υγρό του υδροκολλοειδούς με αποτέλεσμα να αλλοιωθεί και να προκληθεί η θραύση του. Ορθότερος τρόπος αφαίρεσης του υδροκολλοειδούς από το εκμαγείο κρίνεται η κοπή του σε μικρά κομματάκια με ένα μαχαίρι με μεγάλη προσοχή για να μην προκληθεί κάποια ζημιά στο εκμαγείο. Αφού αφαιρεθεί, το πυροχωμάτινο εκμαγείο τρόχιζεται στο TRIMMER και ξεκινάει η επεξεργασία της επιφάνειας πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί η διαμόρφωση του κέρινου προπλάσματος του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας.

Το εκμαγείο αφού τοποθετηθεί σε κλίβανο προθέρμανσης στους 200°C, εμβαπτίζεται από ειδικούς σκληρυντές οι οποίοι βρίσκονται και με την μορφή υγρού αλλά και με τη μορφή σπρέι. (12)

Σχεδιασμός της μερικής οδοντοστοιχίας στο πυροχωμάτινο εκμαγείο

Ο σχεδιασμός του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας γίνεται στο τελικό εκμαγείο και αποτυπώνεται αμυδρά και στο πυροχωμάτινο. Για να φαίνεται πιο έντονα επισημαίνεται με ένα μολύβι σκληρο και όχι μαλακό για να μην αφήνει υπολείματα γραφίτη, τα οποία θα δυσχαίρεναν την προσκόλληση του προπλάσματος στην επιφάνεια του πυροχωμάτινου εκμαγείου.



Εικ.20 Μεταφορά του σχεδιασμού του μεταλλικού σκελετού στην επιφάνεια του πυροχωμάτινου εκμαγείου (7)

Διαμόρφωση του κέρινου προπλάσματος του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας

Για την κατασκευή του μεταλλικού σκελετού πρέπει να χρησιμοποιούνται κέρινα προπλάσματα και όχι στακτό κερί, διότι με τη χρήση στακτού κεριού εμφανίζεται συγκέντρωση τάσεων.

Γίνεται εφαρμογή των κέρινων προπλασμάτων που μπορεί να είναι άγκιστρα, μείζονες και ελάσσονες συνδετήρες και συγκρατήματα της ακρυλικής ρητίνης της βάσης. Η χρήση τους θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, όπως να μην ασκείται πίεση κατά την αφαίρεση τους από την καρτέλα και κατά την τοποθέτησή τους στην επιφάνεια του εκμαγείου. Τέλος, θα πρέπει να θερμαίνεται το εκμαγείο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης εφαρμογή του προπλάσματος στην επιφάνεια του εκμαγείου. (7)

Τοποθέτηση των αγωγών χύτευσης

Οι κύριοι αγωγοί που χρησιμοποιούνται έχουν διάμετρο 3-3.5 mm και συνήθως δεν χρειάζονται δεξαμενή. Οι αγωγοί που θα τοποθετηθούν πρέπει να είναι όσο το δυνατόν

λιγότεροι σε αριθμό για δύο λόγους που αφορούν την οικονομία στο μέταλλο, καθώς και την πιο εύκολη κατεργασία του μεταλλικού σκελετού μετά την χύτευση. Τοποθετούνται ακτινοειδώς από την οπή που είναι στο κέντρο του εκμαγείου με τέτοιο τρόπο ώστε το μέταλλο να ρέει ομοιόμορφα. Οι ενώσεις των αγωγών με τα κέρινα προπλάσματα θα πρέπει να είναι ομαλές και οι αγωγοί να μην καταλήγουν κάθετα σε αυτά για την αποφυγή ατελούς χυτού λόγω της επιβράδυνσης της ροής του μετάλλου. Επιπλέον, δεν θα πρέπει να υπάρχουν οξείες γωνίες στις ενώσεις των αγωγών μεταξύ τους, γιατί αυτό θα έχει ως επακόλουθο την ύπαρξη γωνιώσεων και στο πυρόχωμα οι οποίες μπορεί να σπάσουν και τα θρύμματα του πυροχώματος να φράξουν την δίοδο του μετάλλου. (7)



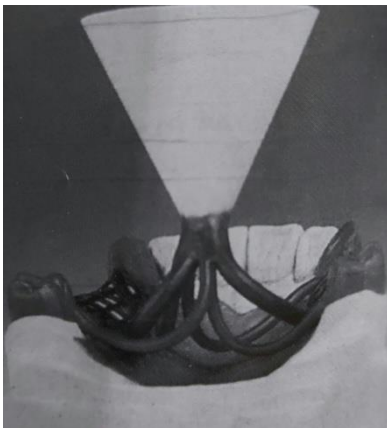
Εικ.21 Τοποθέτηση αγωγών (11)

Στην περίπτωση της **ανεστραμμένης χύτευσης** ο αγωγός θα πρέπει να περνάει μέσα από την οπή που έχει δημιουργηθεί. Στην μέθοδο αυτή είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση του κέρινου ομοιώματος σε απόσταση 10-15 mm από τον πυθμένα του εγκλείστρου πράγμα που θα έχει ως συνέπεια να υπάρχει επαρκής ανάπτυξη της θερμικής ζώνης και να διαφύγει πιο εύκολα ο αέρας κατά την δίοδο του κράματος. Χρησιμοποιείται αγωγός διαμέτρου 3-3.5 mm που ξεκινά από τον σχηματιστή του κώνου και φτάνει σε ένα παχύ τμήμα του κέρινου ομοιώματος.

Στην περίπτωση χύτευσης με όρθιο εκμαγείο οι αγωγοί τοποθετούνται στο πίσω άκρο του κέρινου προπλάσματος του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας με τρόπο ώστε να

ρέει ομοιόμορφα το κράμα. Ο σχηματιστής του κώνου συγκολλάται απευθείας στο κέρινο ομοίωμα και βεβαιώνεται ότι συγκρατείται καλά. (7)

Η τεχνική του **ανεστραμμένου κώνου** (χύτευση από πάνω) χρησιμοποιείται κυρίως για την τοποθέτηση αγωγών σε κέρινα προπλάσματα μεταλλικού σκελετού μ.ο. της άνω γνάθου. Οι αγωγοί χύτευσης τοποθετούνται με φορά από το πρόπλασμα προς ένα κώνο χύτευσης που βρίσκεται πάνω από το κέντρο του επιπέδου του προπλάσματος. Έχουν διατομή 3-3.5 mm και συνήθως τοποθετούνται δύο με τρεις ανάλογα με την έκταση του κέρινου ομοιώματος. Να επισημανθεί ότι θα πρέπει να φέρονται στο πρόπλασμα όχι κάθετα αλλά με αμβλεία γωνία για να γίνει ομαλά η ροή του τηγμένου κράματος. Για να δημιουργηθεί μία θερμική ζώνη θα πρέπει η βάση του καλουπιού να έχει πάχος 15-20 mm. Στο κέρινο πρόπλασμα, τοποθετούνται και αγωγοί αντιστάθμισης της πίεσης, που ενώνουν τα άκρα του προπλάσματος και διαθέτουν πάχος 1,2mm. (7)



Εικ.22 Χύτευση από πάνω (7)

Πριν γίνει επένδυση του κέρινου προπλάσματος με πυρόχωμα θα πρέπει να ακολουθούνται κάποιοι “κανόνες” σύμφωνα με τους οποίους, το πυρόχωμα θα πρέπει να είναι της ίδιας σύστασης και παρασκευής με το πυρόχωμα που χρησιμοποιήθηκε για

το ανατυπωμένο εκμαγείο, έτσι ώστε να μην προκληθεί κάποια ρωγμή στην μάζα και των δύο πυροχωμάτων λόγω της διαφορετικής θερμικής διαστολής. Επίσης, σημαντικό είναι να γίνει ψεκασμός του κέρινου προπλάσματος με ένα υγρό επιφανειακής τάσης προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος εμφάνισης φυσαλίδων αέρα πάνω σε αυτό. Τέλος, θα πρέπει η ανάμιξη του πυροχώματος να γίνει σε ειδικό αναδευτήρα σε κενό.

Αποκήρωση και προθέρμανση του πυροχωμάτινου δακτυλίου

Αφού γίνει επένδυση του κέρινου προπλάσματος με πυρόχωμα σε ειδικούς δακτυλίους που αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες της χύτευσης μετάλλου, γίνεται αποκήρωση και προθέρμανση του πυροχωμάτινου κυλίνδρου με την τοποθέτηση του σε φούρνο αποκήρωσης και με φορά προς τα κάτω για την εύκολη απομάκρυνση του λιωμένου κεριού. Οι φούρνοι που χρησιμοποιούνται είναι ειδικοί με ψηφιακό προγραμματισμό για να ανεβαίνει η θερμοκρασία όσο το δυνατόν πιο ομαλά και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο κύλινδρος θα πρέπει να θερμανθεί σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία για να υποστεί το πυρόχωμα την αναγκαία θερμική διαστολή έτσι ώστε να μπορεί να αντισταθμίσει την συστολή του μετάλλου. Αφού τοποθετηθεί στον φούρνο αποκήρωσης για 30 λεπτά της ώρας στους 200-250°C μεταφέρεται στον κυρίως φούρνο προθέρμανσης που είναι ήδη σε αυτήν την θερμοκρασία, τοποθετημένος σε οριζόντια θέση και η θερμοκρασία αυξάνεται στους 280°C, όπου και παραμένει για 40 με 60 λεπτά της ώρας. Ο πυροχωμάτινος κύλινδρος δεν θα πρέπει να εφάπτεται ούτε με τα τοιχώματα του φούρνου αλλά ούτε με κάποιον άλλον δακτύλιο. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία αυξάνεται στους 580°C και διατηρείται για 30 λεπτά και τέλος η θερμοκρασία αγγίζει τους 980°C-1050°C, όπου και παραμένει για ακόμα 30 λεπτά της ώρας. Απότομη αύξηση της θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ρωγμών στο πυρόχωμα και τον διαχωρισμό του εκμαγείου από το πυρόχωμα επένδυσης. Αφαιρείται με ειδική λαβίδα και τοποθετείται στην συσκευή χύτευσης του λιωμένου κράματος. Αφού γίνει και απόψυξη του κράματος ακολουθώντας την σωστή διαδικασία για το κάθε κράμα ξεχωριστά ανάλογα με τις ιδιότητες του, αφαιρείται προσεκτικά ο μεταλλικός σκελετός και καθαρίζεται από το πυρόχωμα. Να σημειωθεί ότι με την σωστή απόψυξη βελτιώνονται κάποιες μηχανικές ιδιότητες του κράματος δίνοντας έτσι ένα χυτό με αυξημένη αντοχή. Γίνεται αμμοβολή του σκελετού σε συσκευή αμμοβολής κλειστού

τύπου που εκτοξεύει ρεύμα λεπτόκοκκης χαλαζιακής άμμου σε ατμοσφαιρική πίεση 4-6 Atm και σε απόσταση 8-10cm από το ακροφύσιο της συσκευής. Τέλος, ελέγχεται η εφαρμογή του μεταλλικού σκελετού στο εκμαγείο καθώς και αν είναι ολοκληρωμένη η δομή του και ξεκινούν η κατεργασία, η λείανση και η στίλβωση με ειδικές φρέζες και σωστή τεχνική. (7) (12)



Εικ.23 Φούρνος εξάχνωσης του κεριού. (13)



Εικ.24 Μεταλλικός σκελετός μετά την αμμοβολή. (13)



Εικ.25 Μεταλλικός σκελετός μετά την τελική κατεργασία. (14)

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1^ο : Ψηφιακή τεχνολογία

Η τεχνολογία ψηφιακής κατασκευής, που αναφέρεται επίσης ως τρισδιάστατη εκτύπωση, δημιουργεί φυσικά αντικείμενα από μια γεωμετρική αναπαράσταση με διαδοχική προσθήκη υλικών. Η τεχνολογία εκτύπωσης 3D είναι μια ταχέως αναδυόμενη τεχνολογία. Σήμερα, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται ευρέως στον κόσμο. Η τεχνολογία εκτύπωσης 3D χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για τη μαζική προσαρμογή, την παραγωγή οποιουδήποτε τύπου σχεδίων ανοιχτού κώδικα στον τομέα της γεωργίας, στην υγειονομική περίθαλψη, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην ατμομηχανή και στις αεροπορικές βιομηχανίες. Η ψηφιακή τεχνολογία είναι μία πρόκληση για τη νέα γενιά, καθώς μπορεί να την εξελίξει και να την φτάσει στα επιθυμητά αποτελέσματα, που θα καταφέρουν να κάνουν καλύτερη και ευκολότερη την καθημερινότητα των ανθρώπων.

Έννοιες και ορισμοί

Ταχεία πρωτοτυποποίηση: είναι ο συλλογικός όρος για διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας που κατασκευάζουν ακριβή τριών διαστάσεων (3D) μοντέλα απευθείας από τα ηλεκτρονικά τρισδιάστατα (3D) δεδομένα σε σύντομο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας την τεχνική κατασκευής στρώμα-στρώμα. (15)

Τρισδιάστατη εκτύπωση: Ως τρισδιάστατη εκτύπωση ορίζεται η μέθοδος εκτύπωσης ενός τρισδιάστατου σχεδίου στον υπολογιστή (Computer Aided Design Cad), κατά την οποία κατασκευάζονται αντικείμενα μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Η όλη διαδικασία μιμείται τους εκτυπωτές γραφείου καθώς το αντικείμενο δημιουργείται από το μηδέν σε επάλληλα στρώματα.

Τρισδιάστατος εκτυπωτής: Είναι η συσκευή εξόδου ενός υπολογιστικού συστήματος, η οποία αποσκοπεί στην εκτύπωση κάποιων πληροφοριών που έχουν δημιουργηθεί μέσω κάποιου λογισμικού σε κάποιο φυσικό μέσο. (16) Οι κινήσεις του ακολουθούν ένα τρισδιάστατο σχεδιασμό, ο οποίος γίνεται σε κάποιο από τα προγράμματα σχεδιασμού στον υπολογιστή που ελέγχεται από κάποιον χρήστη. Ο εκτυπωτής λειτουργεί θερμαίνοντας το υλικό που έχει τοποθετηθεί προκειμένου να λιώσει τόσο ώστε να μπορεί να εναποθέσει μία στρώση υλικού και κατ' επέκταση να κατασκευάσει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. (17)

Υλικό: Υλικό ονομάζεται το υλικό με το οποίο κατασκευάζεται το τρισδιάστατο αντικείμενο. (16) Μπορεί να είναι πλαστικό, γυαλί, μέταλλο, κεραμικά, τροφή, άμμος, υφάσματα, ρητίνη και βιοϋλικά. (18)

Λογισμικό σχεδιασμού: Ονομάζεται το πρόγραμμα στο οποίο γίνεται η σχεδίαση του τρισδιάστατου αντικειμένου πριν προχωρήσει στην εκτύπωση του. Υπάρχουν διάφοροι τύποι λογισμικών μερικοί εκ των οποίων είναι:

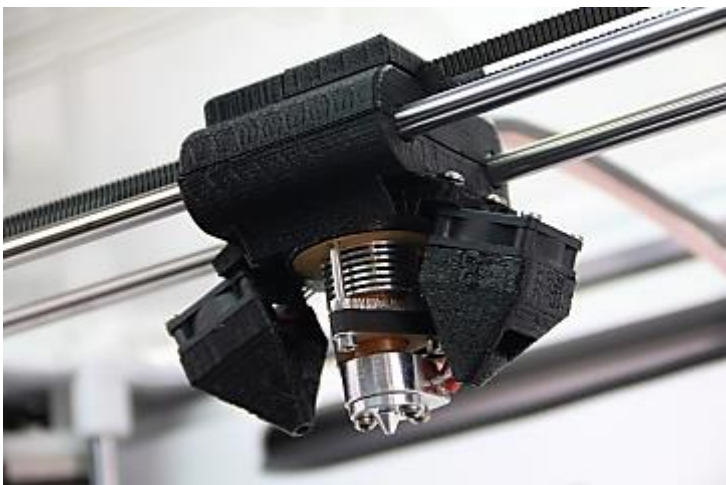
- Rhino 3D
- AutoCad
- OpenSCAD
- CATIA
- Solidworks
- 3ds MAX
- Photoshop CC (16)

Τα μέρη ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν κοινή δομή τόσο για τα μηχανικά μέρη όσο και για τα δομικά. Αυτά αφορούν:

Κεφαλή απόθεσης υλικού: Από τα πιο σημαντικά μέρη του 3D εκτυπωτή.

Ονομάζεται η κεφαλή η οποία εναποθέτει το υλικό στα σημεία που πρέπει να εκτυπωθούν. Στο μέρος αυτό ο μηχανισμός εξώθησης προωθεί το νήμα είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω ενός σωλήνα. (16) Η κεφαλή οδηγεί το νήμα προς το ακροφύσιο μέσα από το θερμαντικό σώμα. (20)



Εικ.26 Κεφαλή απόθεσης του υλικού (print head) (16)

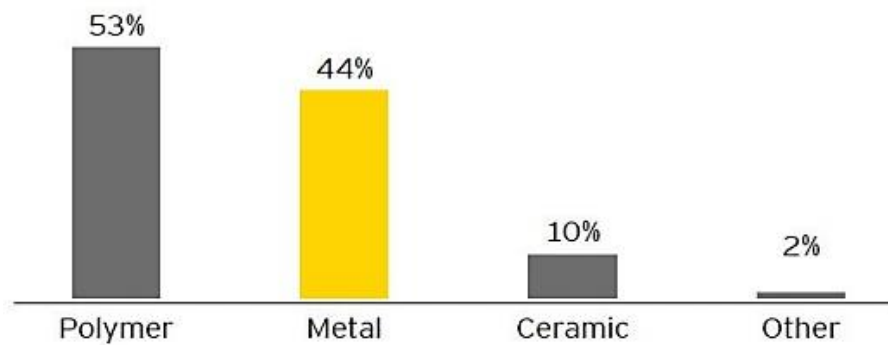
Μηχανισμός εξώθησης υλικού: Αποτελεί τον τροφοδότη της κεφαλής και μεταφέρει το κρύο νήμα στον θάλαμο θέρμανσης. Η ταχύτητα εξόδου του ρευστοποιημένου νήματος εξαρτάται από τη συχνότητα προώθησης του υλικού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία.

Πλάκα εκτύπωσης: Η πλάκα εκτύπωσης αποτελεί το οριζόντιο επίπεδο πάνω στο οποίο γίνεται η εναπόθεση του υλικού προκειμένου να γίνει η εκτύπωση του σχεδιασμένου αντικειμένου. Πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα ρύθμισης της ευθυγράμμισης του επιπέδου της πλάκας μέσω τεσσάρων κοχλιών που βρίσκονται στις γωνίες της. Το υλικό της ποικίλλει με πιο γνωστά το γυαλί και το μέταλλο.

Πλαίσιο στήριξης: Ως πλαίσιο στήριξης ορίζεται το σώμα του εκτυπωτή. Αυτό απαρτίζουν η πλάκα εκτύπωσης και η κεφαλή απώθησης του υλικού.

Υλικό: Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση τρισδιάστατων αντικειμένων ποικίλλουν. Μπορεί να είναι:

- Πολυαμίδιο – Polyamide
- ABS: Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρολίου - Acrylonitrile butadiene styrene
- Κεραμικά – Ceramics
- Αλουμίνιο – Alumide
- Ορείχαλκος – Brass
- Ανοξείδωτος Χάλυβας - Stainless steel
- Καουτσούκ – Rubber
- Τιτάνιο-Titanium
- Χρυσός-Gold
- PLA Polylactic acid or polylactide (PLA, Poly)
- Χαλκός-Copper
- Pime gray (16)

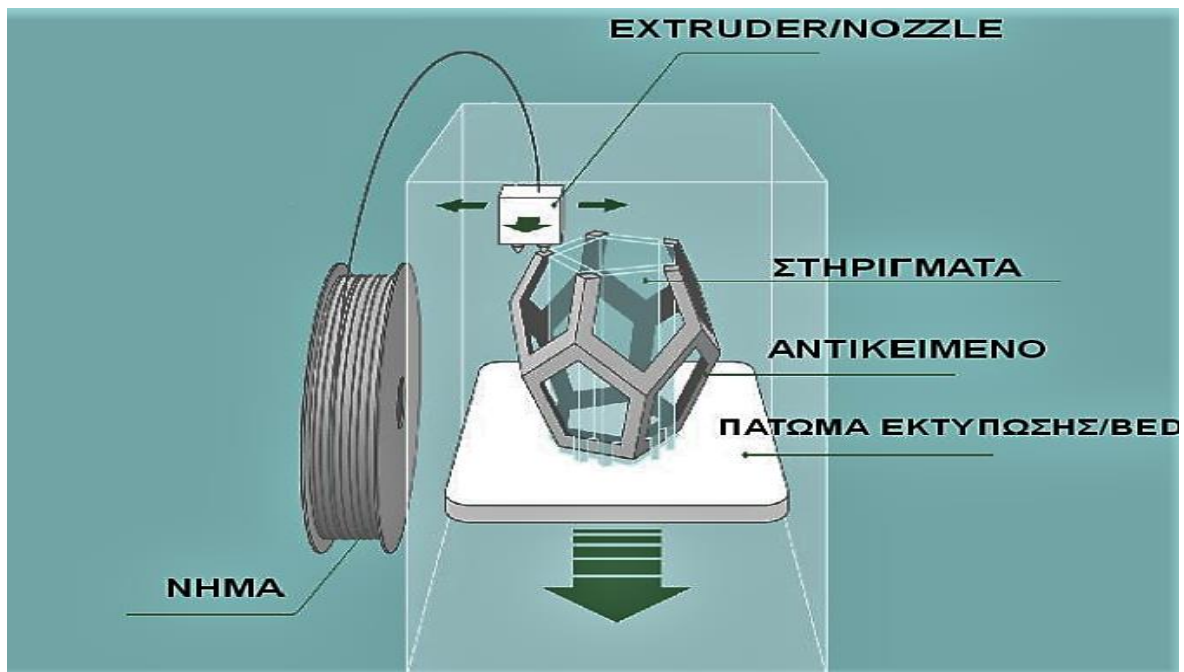


Εικ.27 Ποσοστά χρήσης υλικών. (2)

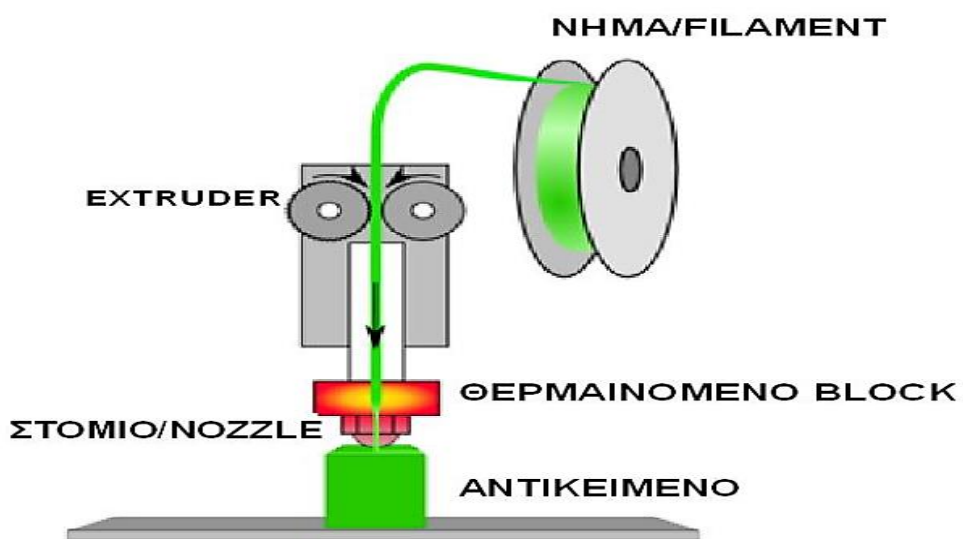
Τρόπος λειτουργίας ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή

Ο τρόπος λειτουργίας στους εκτυπωτές είναι σχετικά παρόμοιος, εκτός κάποιων διαφορών, αφού όλοι μοιάζουν μεταξύ τους έστω δομικά. Αρχικά, όσον αφορά τους άξονες, οι άξονες x και y αφορούν την κίνηση στην οριζόντια βάση (πάτωμα) της εκτύπωσης και ο z άξονας αφορά την κίνηση στον κατακόρυφο άξονα. Κάθε άξονας ελέγχεται από ένα μοτέρ. Ένα μοτέρ έχει και ο extruder ή αλλιώς εξωθητής. Ο εξωθητής είναι ένα εξάρτημα που έλκει ή απωθεί το νήμα ανάλογα με τις ανάγκες της εκτύπωσης. Το νήμα προωθείται προς το hotend, όπου θερμαίνεται από το θερμαινόμενο block σε θερμοκρασίες 170-240°C μέχρι να λιώσει, να βγει από το στόμιο και να τοποθετηθεί πάνω στο πάτωμα (βάση) της εκτύπωσης. Ο έλεγχος της διαδικασίας πραγματοποιείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και μέσα από την κεντρική πλακέτα του εκτυπωτή

γίνεται η σύνδεση του Η/Υ και του εκτυπωτή. (21)



Εικ.28 Εικόνα επεξήγησης των μερών του 3D εκτυπωτή. (17)



Εικ.29 Διάγραμμα επεξήγησης του τρόπου λειτουργίας ενός 3D εκτυπωτή. (17)

Τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης

Οι τεχνικές εκτύπωσης διακρίνονται σε 2 βασικές κατηγορίες, στην στερεολιθογραφία (stereolithography SLA) και στην εναπόθεση ύλης. Κάποιες επιπλέον κατηγορίες είναι Selective Laser Sintering (SLS), Επιλεκτική τήξη με την χρήση ακτινών laser-Selective laser melting (SLM), Fused deposition modeling (FDM), Laminated Object Manufacturing (LOM), Solid Ground Curing (SGC), 3D inkjet Printing. Όλες οι τεχνικές της τρισδιάστατης εκτύπωσης ακολουθούν **πέντε** συγκεκριμένα στάδια:

- Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου CAD του σχεδίου ή του σκαναρισμένου αντικειμένου
- Μετατροπή του μοντέλου CAD σε αρχείο STL
- Διαχωρισμός του αρχείου STL σε λεπτές διατομές ελάχιστου πάχους
- Κατασκευή του αντικειμένου με τη διαδοχική αλληλεπίθεση των διατομών
- Καθαρισμός και φινίρισμα του τελικού μοντέλου (22)

Πιο συγκεκριμένα:

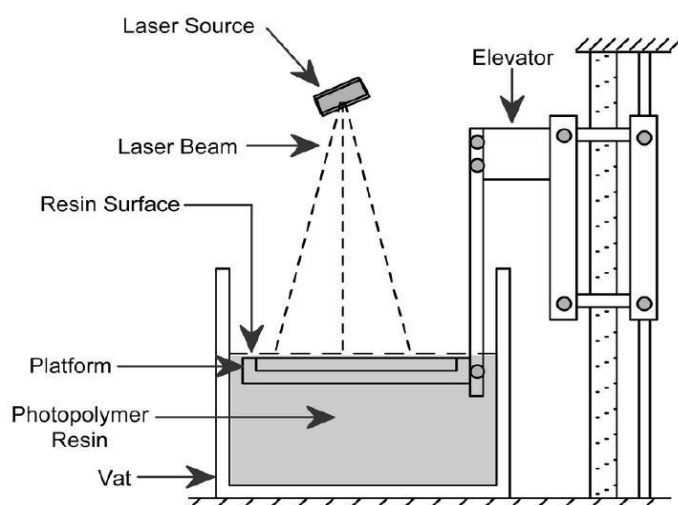
Στερεολιθογραφία (stereolithography)

Αυτή η μέθοδος αποτελεί την αρχαιότερη και ανακαλύφθηκε από τον Chuck hull το 1984 και οριστικοποιήθηκε το 1986. Σύμφωνα με αυτήν, όταν ένα υγρό εκτεθεί σε υπεριώδη ακτινοβολία τότε αυτό στερεοποιείται και έχουμε το λεγόμενο φαινόμενο του

πολυμερισμού. Αναλυτικότερα, το αντικείμενο εκτυπώνεται πάνω σε μία βάση, η οποία βυθίζεται σε ελάχιστο βάθος μέσα σε μία δεξαμενή με υγρή εποξική ή ακρυλική ρητίνη. Μια ακτίνα λέιζερ στους άξονες x και y κατασκευάζει το σχήμα της διατομής όπως αυτό ενδείκνυται από το ψηφιακό αρχείο του σχεδιασμού του επιθυμητού αντικειμένου, φωτίζοντας και στερεοποιώντας τα αντίστοιχα μέρη του στρώματος πολυμερούς. Κατόπιν η βάση ξανά βυθίζεται στο ελάχιστο της επόμενης διατομής ενώ ένας κύλινδρος φέρνει σε οριζόντιο επίπεδο το υγρό πάνω στο ήδη στερεοποιημένο στρώμα και η κεφαλή λέιζερ χαράσσει τη νέα διατομή πάνω στην πρώτη. (22) Αφού τελειώσει η εκτύπωση αφαιρείται από την βάση, ξεπλένεται με ένα διαλυτικό υγρό και τοποθετείται σε φούρνο U/V(υπεριώδης ακτινοβολίας) για την σκλήρυνση του. (16)

Τα **βασικά μέρη** της συσκευής στερεολιθογραφίας :

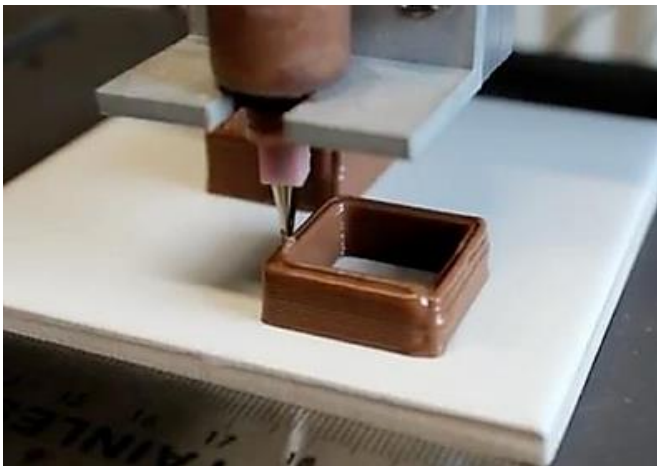
1. Laser υπεριώδους ακτινοβολίας και τα οπτικά συστήματα εστίασης της δέσμης
2. Καθρέφτες κατεύθυνσης της ακτίνας Laser
3. Δεξαμενή (VAT) που περιέχει το φωτοπολυμεριζόμενο υγρό
4. Σύστημα ευθυγράμμισης της επιφάνειας του υγρού
5. Σύστημα κατακόρυφη μετακίνησης του δοχείου, με βήματα ίσα με το πάχος των στρωμάτων.



Εικ.30 Μέθοδος της στερεολιθογραφίας (23)

Μοντελοποίηση εναπόθεσης τηγμένου υλικού-*Fused deposition modeling (FDM)*

Στην περίπτωση αυτή οι εκτυπωτές προωθούν ίνες θερμού πλαστικού υλικού όπως και ένας απλός εκτυπωτής το μελάνι στο χαρτί. Η κεφαλή του εκτυπωτή κινείται ελεύθερα (16), (22)(σε επίπεδο x-y) (22) στα σημεία που πρέπει να προωθήσει το υλικό εκτύπωσης αλλά και το υλικό υποστήριξης. Όταν η μία στρώση είναι έτοιμη, τότε η βάση στην οποία εκτοξεύεται το υλικό κατεβαίνει λίγο πιο κάτω προκειμένου να συνεχιστεί η δεύτερη στρώση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση του αντικειμένου. (16)

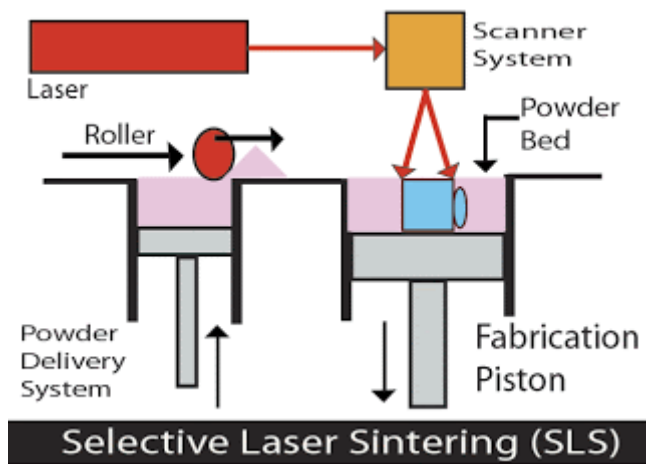


Εικ.31 Εκτυπωτής εναπόθεσης υλικού. (16)

Επιλεκτική σύντηξη με την χρήση ακτινών λέιζερ- *Selective laser sintering (SLS)*

Η τεχνική αυτή εξελίχθηκε από τον Carl Deckard στο Τέξας το 1989. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική τα υλικά που βρίσκονται σε μορφή σκόνης (22) θερμαίνονται (κάτω από το σημείο τήξης του υλικού) (24) λιώνουν και στερεοποιούνται με μία ακτίνα λέιζερ. Ένας κύλινδρος στρώνει μία ποσότητα σκόνης σε ένα επίπεδο κατάλληλου πάχους πάνω σε

μία επιφάνεια και η κεφαλή λέιζερ σχηματίζει το σχήμα της πρώτης διατομής του αντικειμένου που πρόκειται να εκτυπωθεί, λιώνοντας και στερεοποιώντας επιλεκτικά την σκόνη. Η επιφάνεια κατεβαίνει σύμφωνα με το πάχος της επόμενης διατομής, στρώνεται εκ νέου σκόνη και διαγράφεται η επόμενη διατομή πάνω στην πρώτη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι την ολική κατασκευή του μοντέλου εκτύπωσης. (22)



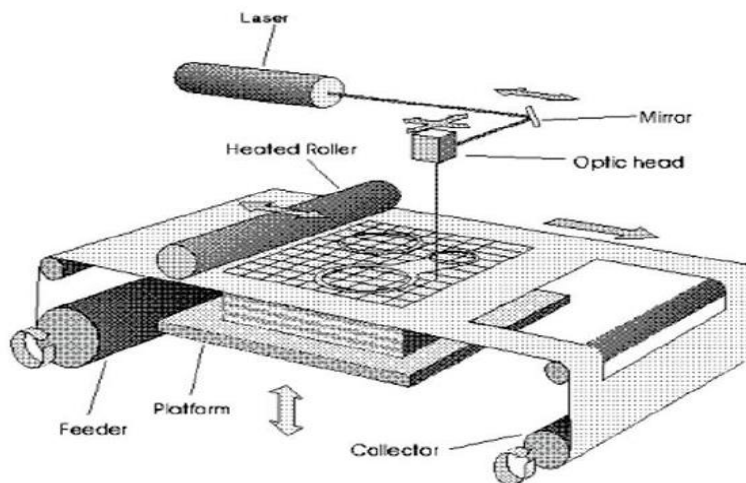
Εικ.32 Διάγραμμα που δείχνει τον τρόπο λειτουργίας της τεχνικής SLS. (24)

Επιλεκτική τήξη με την χρήση ακτινών laser-Selective laser melting (SLM)

Πολλοί την θεωρούν υποκατηγορία της SLS τεχνικής και είναι γνωστή και ως direct metal laser melting DMLM. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι η SLM έχει την ικανότητα να λιώνει πλήρως το μεταλλικό υλικό σε ένα συμπαγές τρισδιάστατο μέρος σε αντίθεση με την τεχνική SLS. Η SLM μπορεί να παράγει ένα ισχυρότερο μοντέλο λόγω του μειωμένου πορώδους και μεγαλύτερου ελέγχου της κρυσταλλικής δομής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όμως μόνο όταν χρησιμοποιείται μία μεταλλική σκόνη.

Παραγωγή αντικειμένων με συγκόλληση-Laminated object manufacturing (LOM)

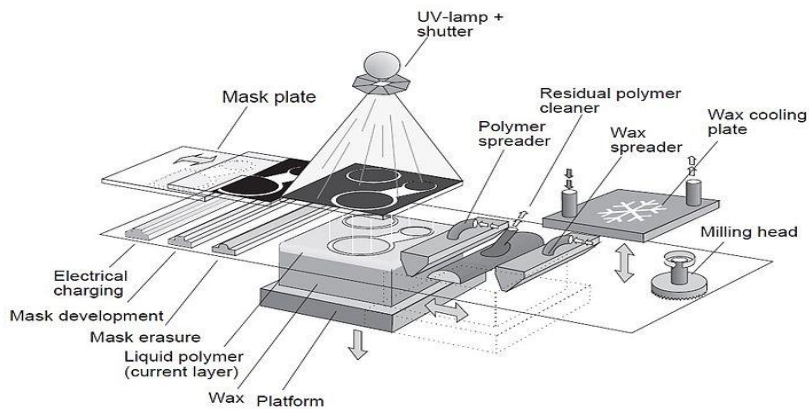
Η τεχνική αυτή εξελίχθηκε από την αμερικανική εταιρεία Helisys. Σύμφωνα με αυτήν η εκτύπωση αντικειμένων επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση λεπτών φύλλων υλικού που φέρουν επίστρωση θερμοκολλητικής ουσίας (heat activated glue). Αναλυτικότερα, μία διάταξη τροφοδοσίας τοποθετεί το πρώτο φύλλο χαρτιού πάνω σε μία βάση και περνάει από πάνω του ένας θερμαινόμενος κύλινδρος προκειμένου να το πιέσει για να κολλήσει πάνω σε αυτήν. Κατόπιν, η κεφαλή λέιζερ κόβει το σχήμα της διατομής πάνω στο χαρτί και χαράζει μικρά τετράγωνα στο υπόλοιπο τμήμα του για να είναι πιο εύκολη η αφαίρεση του αντικειμένου όταν πλέον έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία εκτύπωσής του. Εφόσον έχει κοπεί το πρώτο στρώμα, έπειτα η βάση κατέρχεται και η διάταξη τροφοδοσίας τοποθετεί άλλο ένα νέο φύλλο, το οποίο αφού η βάση ανέλθει, πιέζεται από τον θερμαινόμενο κύλινδρο έτσι ώστε να κολλήσει στο πρώτο φύλλο. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή του αντικειμένου. (22)



Εικ.33 Διάγραμμα που εξηγεί την τεχνική LOM. (25)

Σκλήρυνση στερεού εδάφους-Solid Ground Curing (SGC)

Η τεχνική αυτή εξελίχθηκε από την εταιρεία Cubital Ltd. του Ισραήλ το 1986 στο εναλλακτικό όνομα του Soldier System. (26) Είναι παραλλαγή της στερεολιθογραφίας καθώς και σε αυτήν την τεχνική χρησιμοποιούνται για την σκλήρυνση των φωτοευαίσθητων πολυμερών οι υπεριώδεις ακτινοβολίες. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι στη τεχνική SGC σκληραίνει όλο το στρώμα του υλικού και όχι μόνο η επιφάνεια που αντιστοιχεί στη διατομή του. Αναλυτικότερα, γίνεται ψεκασμός ενός στρώματος ρητίνης πάνω σε μία βάση και στη συνέχεια η μηχανή κατασκευάζει μια μάσκα που διαγράφει τη διατομή του μοντέλου. Η μάσκα αυτή τυπώνεται πάνω σε μία γυάλινη πλάκα με τη χρήση μίας ηλεκτροστατικής διαδικασίας. Έπειτα, η μάσκα εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία που διέρχεται από τα διαφανή τμήματά του με αποτέλεσμα να σκληραίνει στις αντίστοιχες περιοχές το στρώμα ρητίνης. Αφού γίνει η σκλήρυνση, η συσκευή απομακρύνει την περίσσεια ρητίνης και ψεκάζει στη θέση της κερί ως στήριγμα του αντικειμένου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή. (22)



Εικ.34 Διάγραμμα που εξηγεί την τεχνική SGC. (26)

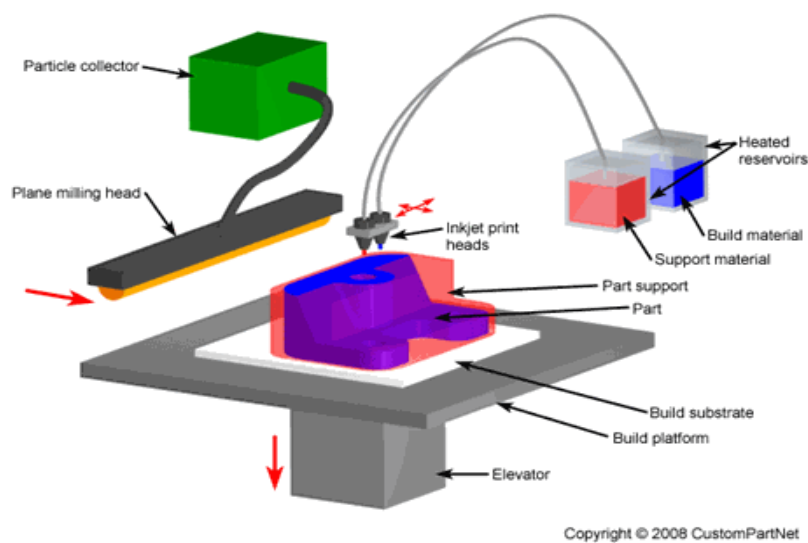
3D ink jet Printing

Η τεχνική αυτή είναι γνωστή και ως “Three Dimensional Printing”, “3d Printing”, “3DP”, “Digital part materialization”, “Powder bed and inkjet head 3D printing” και “drop-on powder”, “colorjet printing- CJP, “ Binder jetting jb”. (27)

Η πρώτη μηχανή αναπτύχθηκε το 1993 από το MIT (Massachusetts Institute of Technology) το οποίο έδωσε δικαιώματα κατασκευής σε κάποιες εταιρείες. Στον εκτυπωτή Z Corp της Z Corporation (1995), (27) που αποτελεί μία από αυτές τις εταιρείες, το αντικείμενο κατασκευάζεται πάνω σε μία δεξαμενή που εμπεριέχει σκόνη. Η βάση κατεβαίνει σύμφωνα με το πάχος μίας διατομής και μία διάταξη τροφοδοσίας τοποθετεί πάνω της μία κατάλληλη ποσότητα σκόνης. Στην συνέχεια, μία κεφαλή inkjet ψεκάζει επιλεκτικά ένα συγκολλητικό υγρό με το οποίο στερεοποιείται η σκόνη σχηματίζοντας το σχήμα της διατομής που έχει επιλεγεί. Η περίσσεια σκόνης χρησιμοποιείται για στήριξη. Κατόπιν, η διαδικασία επαναλαμβάνεται με την επόμενη διατομή μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή του αντικειμένου. Τέλος, απομακρύνεται από την δεξαμενή και με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα καθαρίζεται.

Οι μηχανές εκτύπωσης της 3D Systems κατασκευάζουν το αντικείμενο με θερμοπλαστικό υλικό χρησιμοποιώντας μία γραμμική διάταξη κεφαλών για γρήγορη κατασκευή. Σε περίπτωση που το μοντέλο εκτύπωσης έχει μικρό πλάτος τότε μπορεί και με μία διέλευση να ολοκληρωθεί η κατασκευή κάθε διατομής. (22)

Στις μηχανές της σειράς Model maker της εταιρείας Sanders prototype υπάρχουν δύο κεφαλές inkjet με δύο διαφορετικά υλικά που φυλάσσονται σε δύο θερμαινόμενες δεξαμενές. Από την μία εξωθείται θερμοπλαστικό υλικό και από την άλλη κερί για τη στήριξη. Και τα δύο κρύνουν και στερεοποιούνται αμέσως. Μετά την κατασκευή κάθε διατομής μία κεφαλή με κοπτικό εργαλείο κόβει την διατομή για να έχει ομοιόμορφο πάχος. (22), (28)



Εικ.35 Model Maker (28)

Τεχνική εκτύπωσης με την μέθοδο της κοπής

MILLING

Είναι μια διαδικασία η οποία αφαιρεί υλικό χρησιμοποιώντας περιστροφικούς κόπτες. Η κοπή μπορεί να γίνει με διαφορετική κατεύθυνση σε έναν ή περισσότερους άξονες, με μία κεφαλή κοπής και με πίεση. (29)

Οι **CNC** μηχανές (**C**omputer **N**umerical **C**ontrol) είναι μηχανές κοπής. Ένας υπολογιστής μετατρέπει σε αριθμούς το σχεδιασμό που παράγεται από λογισμικό σχεδίασης (CAD).

Οι αριθμοί μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι οι συντεταγμένες ενός γραφήματος και ελέγχουν την κίνηση του κόπτη. Έτσι ο υπολογιστής μπορεί να ελέγξει την διαμόρφωση και την κοπή του υλικού. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι των μηχανών CNC, ώστε

να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ευρεία ποικιλία υλικών.

Η πληθώρα τεχνικών εκτύπωσης παρέχει την δυνατότητα εκτύπωσης οποιουδήποτε αντικειμένου, καθιστώντας την ψηφιακή τεχνολογία όλο ένα και περισσότερο αποδεκτή από την κοινωνία, χωρίς όμως αυτό να συνεπάγεται ότι δεν υπάρχουν κίνδυνοι ανάμεσα σε αυτήν την τόσο εξελιγμένη τεχνολογία.

Πλεονεκτήματα της χρήσης CAD-CAM

- Η κατασκευή ενός προϊόντος με 3D εκτύπωση, παρέχει την δυνατότητα του σχεδιασμού μοναδικών προϊόντων, με αισθητικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επιλεγεί ώστε να ταιριάζουν απόλυτα στον άνθρωπο.

- Σχεδιασμός χωρίς όρια. Στις παλαιότερες μηχανές εκτύπωσης δεν μπορούσαν να σχεδιαστούν πολύπλοκα σχήματα, καθώς ήταν λιγότερο ευέλικτες και δεν είχαν τόσες πολλές δυνατότητες όπως οι 3D εκτυπωτές στις μέρες μας. Η 3D εκτύπωση δύναται να εκτυπώσει αντικείμενα με σύνθετες γεωμετρικές μορφές. (27)

-Βελτιστοποίηση σχεδίασης. Κατά την σχεδίαση υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού της τάσης με δεδομένες φορτίσεις. Αυτό θα επιφέρει ένα τελικό προϊόν 3D εκτύπωσης που θα είναι μέχρι και 60% πιο ελαφρύ από το προϊόν που παράγεται σε μία εργαλειομηχανή με τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες. (27)

- Απλοποίηση της πολυπλοκότητας. Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής απαιτεί μόνο ένα αρχείο σχεδιασμού για να αρχίσει την διαδικασία κατασκευής ενός αντικειμένου. Προϋποθέτει, λοιπόν, λιγότερες δεξιότητες χειρισμού από τον χρήστη σε σχέση με τις κοινές μεθόδους παραγωγής. (27)

-Φορητή παραγωγή με εύκολη πρόσβαση. Ο 3D εκτυπωτής μπορεί να κατασκευάσει αντικείμενα μεγέθους ισάξιου με την επιφάνεια της βάση εκτύπωσης του (print bed). Αυτό προσφέρει την δυνατότητα να εκτυπώνει σε όποιο μέρος είναι επιθυμητό, όπως στο γραφείο, στο σπίτι, στα σχολεία κτλ.. (27)

-Αυξημένος ρυθμός παραγωγής. Στην τρισδιάστατη εκτύπωση μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ωρών η εκτύπωση του αντικειμένου είναι έτοιμη. Κατασκευάζοντας βέβαια ένα σύνθετο σχέδιο, δεν συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος από την εκτύπωση ενός απλού αντικειμένου. (27)

-Μηδενική απαίτηση συναρμολόγησης. Όταν ένα προϊόν αποτελείται από πληθώρα τμημάτων τότε ο χρόνος ολοκλήρωσης της συμβατικής διαδικασίας συναρμολόγησης θα είναι αρκετά μεγάλος με αποτέλεσμα να είναι και πολύ ακριβή. Ο 3D εκτυπωτής, με τη μέθοδο στρώμα προς στρώμα θα μπορέσει να κατασκευάσει το ίδιο προϊόν στον χρόνο εκτύπωσης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους καθώς και του χρόνου της εργασίας. (27)

-Μείωση αποβλήτων - απώλειας υλικού ανά προϊόν. Η 3D εκτύπωση αποτελεί την πιο φιλική μέθοδο προς το περιβάλλον και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αποβάλλει πολύ λιγότερα απόβλητα σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συμβατικές μηχανές, αφαιρετικής μεθόδου, παραγωγής (27)

-Μείωση του κόστους παραγωγής. Πέραν των ανωτέρω που αναφέρθηκαν, σχετικά με τη μείωση του κόστους παραγωγής προστίθενται τα παρακάτω:

> Γίνεται πιο συμφέρον να διαθέτει κανείς δωρεάν στο διαδίκτυο ηλεκτρονικά αρχεία τα οποία μπορούν με την τρισδιάστατη εκτύπωση να μετατραπούν από άυλα σε υλικά

αντικείμενα πολύ απλά και πολύ φθηνά, με το πάτημα ενός κουμπιού χωρίς επιπλέον κόστος επανασχεδίασης.

>Εφόσον δεν χτίζεται η αφιερωμένη γραμμή παραγωγής η συμμετοχή εργατικού δυναμικού μικραίνει.

> Οι επιχειρήσεις γίνονται περισσότερο κερδοφόρες και προοδευτικές καθώς μπορούν να αποταμιεύσουν μέχρι και 70% του κόστους παραγωγής. (27)

-Μεγάλη παλέτα υλικών. Σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η ανάμιξη διαφορετικών υλικών για την κατασκευή ενός αντικειμένου είναι πιο εύκολη η χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή, εφόσον παρέχει την δυνατότητα αυτή με πολύ μεγαλύτερη ευκολία σε σχέση με την συμβατική διαδικασία. (27)

-Ακριβής αντιγραφή μοντέλων. Η δυνατότητα αντίστροφης σχεδίασης (Reverse engineering), όπως σάρωσης (scanning) μαζί με την 3D εκτύπωση προσφέρουν έναν φυσικό κόσμο παραγόμενο από το ψηφιακό περιβάλλον. Κατασκευάζονται έτσι ακριβή αντίγραφα φυσικών μοντέλων και μπορούν επιπλέον να βελτιωθούν τα πρωτότυπα . (27)

Μειονεκτήματα της χρήσης CAD/CAM

-Ασύμφορη για μαζική παραγωγή. Δεδομένου ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση δημιουργεί αντίγραφα των τρισδιάστατων αρχείων ένα προς ένα, οι οικονομίες κλίμακας δεν μπορούν να γίνουν όταν παράγεται το ίδιο αρχείο για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. (27)

-Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Loughborough ο τρισδιάστατος εκτυπωτής καταναλώνει μία μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που είναι περίπου 50 με 100 φορές μεγαλύτερη από

αυτήν που καταναλώνει η κατασκευή του ίδιου αντικειμένου με την χύτευση με έγχυση. Επιπλέον, στο MIT διεξάχθηκε μία έρευνα το 2009, σε βιομηχανικό πρόγραμμά του που έδειξε ότι η τεχνολογία σύντηξης μεταλλικής σκόνης καταναλώνει εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια από την παραδοσιακή χύτευση. Αυτό έχει ως απόρροια, οι 3D εκτυπωτές να είναι πιο καλοί και κατάλληλοι για μικρές σειρές παρτίδων. Οι βιομηχανικού μεγέθους 3D εκτυπωτές δεν μπορούν να είναι η απάντηση στην μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με αυτή των μηχανών που λειτουργούν με καύση άνθρακα. (27)

-Κίνδυνοι και ανθυγιεινές εκπομπές αερίων. Σύμφωνα με έρευνες στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Illinois, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι επιβλαβείς για την υγεία όταν γίνεται χρήση τους στο σπίτι, διότι οι απελευθερώσεις από τους εκτυπωτές είναι τόσο μολυσματικές όσο και το κάψιμο ενός τσιγάρου ή το μαγείρεμα με γκάζι. (27)

-Εξάρτηση από πλαστικές ύλες. Το πλαστικό είναι ιδιαίτερα καταστροφικό και αυτός είναι ο λόγος που στις μέρες μας γίνεται προσπάθεια αντικατάστασης αυτού με άλλα ανακυκλώσιμα υλικά. Οι πιο δημοφιλής και φθηνοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν πλαστικό νήμα. (27)

-Παραβίαση δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Με την χρήση της 3D εκτύπωσης, μπορεί να δημιουργηθεί ένα είδος ψηφιακής πειρατείας, καθώς πολλά σχέδια προϊόντων με πνευματικά δικαιώματα είναι αναρτημένα και προς ελεύθερη χρήση στο διαδίκτυο με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας απομίμησης, πράγμα που θα ήταν ιδιαίτερα αρνητικό για τους ιδιοκτήτες είτε αυτοί είναι μικροκαταστηματάρχες είτε εταιρείες διότι η πράξη αυτή θα μείωνε την ζήτηση και την αυθεντικότητα των προϊόντων τους.

-Κίνδυνοι εθνικής ασφάλειας. Υπάρχουν κίνδυνοι εθνικής ασφάλειας, με κύριο παράδειγμα την είσοδο των τρομοκρατών στον νέο τρόπο παραγωγής ή σε μία νέα πτυχή της επίθεσης της κυβέρνησης (cyber warfare), όπως ένα προγραμματισμένο ελάττωμα των προϊόντων ή στοχευμένες επιθέσεις των 3D εκτυπωτών. Με την εκτύπωση προσωπικών αντικειμένων π.χ. κλειδιά αυτοκινήτου υπάρχει μεγάλη

πιθανότητα να δημιουργηθεί καταπάτηση της ιδιωτικής ιδιοκτησίας.

-Εκτυπωμένα όπλα. Η δυνατότητα εκτύπωσης επικίνδυνων αντικειμένων, όπως πλαστικά ή μεταλλικά πιστόλια ή κεραμικά μαχαίρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορα κακούργηματα αποτελεί ένα από τα πολύ σημαντικά μειονεκτήματα της 3D εκτύπωσης.

-Εκτυπωμένα ναρκωτικά. Ένας ερευνητής του πανεπιστημίου της Γλασκώβης, κατασκεύασε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή τον "Chemputer" για να εκτυπώνει φάρμακα, προκειμένου στο μέλλον να μπορούν οι ασθενείς να εκτυπώνουν μόνοι τους τα φάρμακα τους με την βοήθεια έτοιμων σχεδίων από το φαρμακείο. Αυτό θα είχε ως συνέπεια αργότερα φαρμακοποιοί να μπορούν να κάνουν οποιοδήποτε χημικό συνδυασμό για την παραγωγή μέχρι και ναρκωτικών ή άλλων επικίνδυνων ουσιών.

-Ασφάλεια τροφίμων. Υπάρχει δυνατότητα εκτύπωσης διαφόρων μαγειρικών σκευών με την τρισδιάστατη εκτύπωση, αλλά αν χρησιμοποιηθεί το πλαστικό υλικό ABS θα υπάρξουν προβλήματα ασφαλείας όσον αφορά την επαφή των σκευών με το στόμα.

-Ηθική στην βιοεκτύπωση και κανονισμοί. Συζητήσεις σχετικά με τα ηθικά, δεοντολογικά και νομικά ζητήματα που περιβάλλουν τη βιοεκτύπωση έχουν αρχίσει να προκαλούν αναπόφευκτα πολύ μεγάλη διαμάχη, δεδομένου ότι γίνεται όλο και πιο σύνηθες φαινόμενο.

-Αύξηση της ανεργίας. Με την αύξηση της μεθόδου κατασκευής αντικειμένων με τρισδιάστατη εκτύπωση, θα υπάρξουν αρκετοί άνθρωποι που θα μείνουν άνεργοι, εφόσον ένας κλάδος θα αντικατασταθεί από τους εκτυπωτές και αυτός είναι ο κλάδος της χειρωνακτικής εργασίας, δηλαδή της κατασκευής αγαθών.

Κεφάλαιο 2° : Η τρισδιάστατη εκτύπωση ειδικότερα στον χώρο της οδοντιατρικής – οδοντοτεχνικής

Τα συστήματα CAD-CAM διαθέτουν δύο μεθόδους λειτουργίας, την αφαιρετική και την προσθετική. Στην αφαιρετική η κατασκευή εξαρτάται από την κοπή του προϊόντος από ένα block που ελέγχεται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Γίνεται σταδιακή αφαίρεση υλικού μέχρι να κατασκευαστεί το επιθυμητό αντικείμενο. Στην αφαιρετική μέθοδο ανήκει η τεχνική milling (CNC). Η προσθετική μέθοδος αφορά τεχνικές στις οποίες τα αντικείμενα κατασκευάζονται με την προσθήκη υλικού σε στρώματα. Παράδειγμα προσθετικής είναι η τεχνική της SLA. (30), (15)

Το CAD-CAM και το Rapid prototyping έχουν εγκατασταθεί στην οδοντιατρική εδώ και αρκετά χρόνια (1985) (31) για την κατασκευή στεφανών και ενθέτων. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται και για την κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών.

Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών

Η κατασκευή του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας χρησιμοποιώντας CAD / CAM ξεκινά με την προετοιμασία εκμαγείων τα οποία παράγονται από τα ψηφιακά ή συμβατικά αποτυπώματα των γνάθων. Τα εκμαγεία που λαμβάνονται από τη συμβατική εντύπωση σαρώνονται χρησιμοποιώντας ψηφιακό σαρωτή. Αυτό μειώνει τον χρόνο της λήψης αποτυπώματος, καθώς και της μεταφοράς του αποτυπώματος από τον οδοντίατρο στον οδοντοτεχνίτη εφόσον μπορεί να σταλεί απευθείας μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και έχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα, καθώς έχει την δυνατότητα να

αντιγράφει τους μαλακούς ιστούς με μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα αποτυπωτικό υλικό που στην ουσία υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης του.

Επιπλέον, ο σαρωτής μπορεί να εξαλείψει τα σφάλματα που μπορεί να προκύψουν και από την συστολή και διαστολή της γύψου που θα κατασκευαστεί το εκμαγείο. Στη συνέχεια, η διαδρομή της εισαγωγής του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας καθορίζεται από το λογισμικό, ακολουθούμενη από 3D σχεδιασμό των στοιχείων του σκελετού. Ο ψηφιακά σχεδιασμένος σκελετός παράγεται με την ταχεία πρωτοτυποποίηση. Οι τεχνολογίες ταχείας πρωτοτυποποίησης (RP) περιλαμβάνουν την στερεολιθογραφία (SLA), την επιλεκτική τήξη με λέιζερ (SLM), την επιλεκτική πυροσυσσώματωση με λέιζερ (SLS), την επιλεκτική μοντελοποίηση εναπόθεσης υλικού (FDM), την τρισδιάστατη εκτύπωση και την άμεση εκτύπωση inkjet . Η πρώτη τεχνική πρωτοτύπων που εισήχθη εμπορικά και χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του σκελετού της μ.ο. ήταν η στερεολιθογραφία. Η SLA χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή σκελετών μερικής οδοντοστοιχίας με ρητίνη οι οποίες μετά με συμβατικό τρόπο μετατρέπονταν σε μεταλλικό σκελετό. Οι SLS και FDM έχουν αναφέρει πολλά μειονεκτήματα όταν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας σε αντίθεση με την SLA. (15)



Εικ.36 Ψηφιακός σαρωτής (32)



Εικ.37 Ψηφιακός ενδοστοματικός σαρωτής (33)

Οι δύο εφικτοί τρόποι κατασκευής του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας με τρισδιάστατη εκτύπωση είναι οι εξής:

- στην πρώτη γίνεται εκτύπωση ενός σκελετού από υλικά κεριού ή ρητίνης και στην συνέχεια γίνεται μετατροπή του σκελετού αυτού σε μεταλλικό
- στην δεύτερη μέθοδο γίνεται κατασκευή απευθείας του μεταλλικού σκελετού με την τεχνική του SLM. Η άμεση κατασκευή του μεταλλικού σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας εξακολουθεί όμως να έχει υψηλό κόστος παραγωγής, καθώς και υψηλές απαιτήσεις τόσο οικονομικές όσο και μαθησιακές για την απόκτηση των μηχανών εκτύπωσης και των υλικών που είναι απαραίτητα.

Η κατασκευή του σκελετού μίας μερικής οδοντοστοιχίας μπορεί να γίνει και με ξηρή κοπή(CNC). Χρησιμοποιούνται μόνο για την κατασκευή σκελετού μερικής από PEEK ή από μαλακή προσυντηγμένη πλάκα κοβαλτίου χρωμίου.



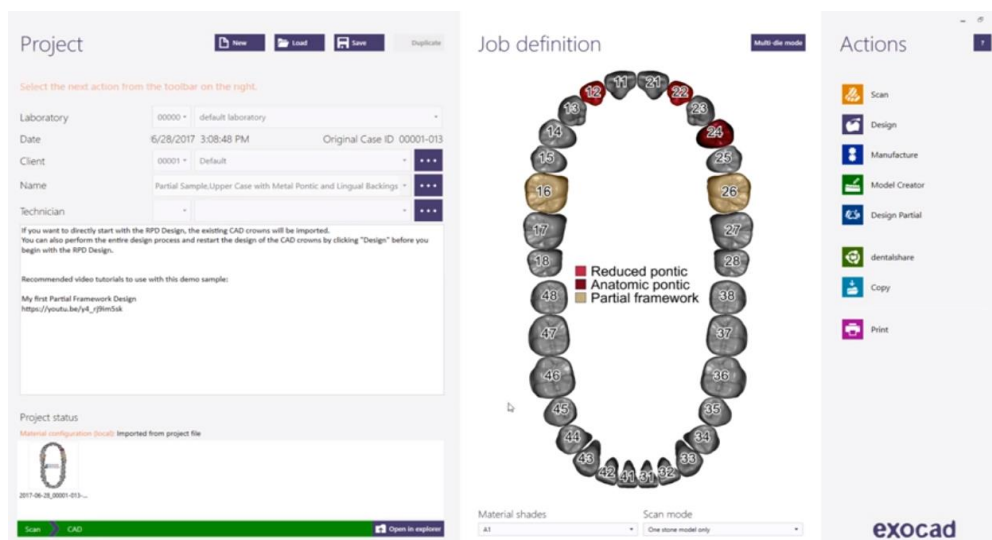
Εικ.38 Προσυντηγημένη πλάκα χρωμίου-κοβαλτίου (34)



Εικ.39 PEEK Framework (35)

Τα στάδια ψηφιακού σχεδιασμού του σκελετού μιας μερικής οδοντοστοιχίας

1) Αρχικά γίνεται καταγραφή των στοιχείων της εργασίας που πρόκειται να σχεδιαστεί σε μια ψηφιακή καρτέλα. Καταγράφεται το όνομα του οδοντιάτρου, στην συνέχεια το όνομα του ασθενούς, καθώς επίσης σημειώνεται και το όνομα του οδοντικού τεχνολόγου που διενεργεί την στιγμή εκείνη την σάρωση του συγκεκριμένου περιστατικού. Επιλέγονται τα δόντια στηρίγματα, τα παρακείμενα δόντια, τα απολεσθέντα δόντια, καθώς και οι ανταγωνιστές, εάν αυτοί υπάρχουν. Επιλέγεται το υλικό με το οποίο πρόκειται να εκτυπωθεί ο σκελετός, η σάρωση σε αρθρωτήρα, αν αυτή είναι επιθυμητή, και στην συνέχεια γίνεται αποθήκευση και σάρωση. (Εικ.40)



Εικ.40 (36)

2) Γίνεται η σάρωση του εκμαγείου που πρόκειται να τοποθετηθεί ο σκελετός της μερικής οδοντοστοιχίας. Σαρώνεται ο αρθρωτήρας, στην συνέχεια ξεχωριστά τα εκμαγεία και τέλος γίνεται αποθήκευση.

3)Ακολουθεί ο σχεδιασμός της εργασίας. Το εκμαγείο περιστρέφεται με την βοήθεια του ποντικιού, έτσι ώστε να είναι στην κατάλληλη θέση που να ευνοεί τον χειριστή να σχεδιάσει το σκελετό της μερικής οδοντοστοιχίας. Υπάρχουν έξι διαφορετικές και προκαθορισμένες οπτικές πλευρές. Ακολούθως, γίνεται μια αυτοματοποιημένη βέλτιστη φορά ένθεσης της εργασίας, η οποία δύναται να τροποποιηθεί χειροκίνητα από τον χειριστή του προγράμματος μέσω ενός στυλίσκου που μπορεί να περιστρέφεται μέχρις ότου να υπάρξει το ιδανικό αποτέλεσμα. Ιδανικό αποτέλεσμα θεωρείται η φορά ένθεσης που θα καταστήσει δυνατή και εύκολη τη τοποθέτηση του σκελετού στο στόμα του ασθενούς χωρίς καμία πίεση.

4)Έπειτα το σύστημα καλύπτει τις ανεπιθύμητες εσοχές όπως θα πραγματοποιούνταν αναλογικά με την χρήση κεριού και παραλληλογράφου με μεγάλη ακρίβεια.

5)Στην συνέχεια διαμορφώνονται οι ψηφιακές καλύψεις στα δόντια στηρίγματα, σύμφωνα με τα άγκιστρα που θα χρησιμοποιηθούν και την επιθυμητή συγκράτηση.

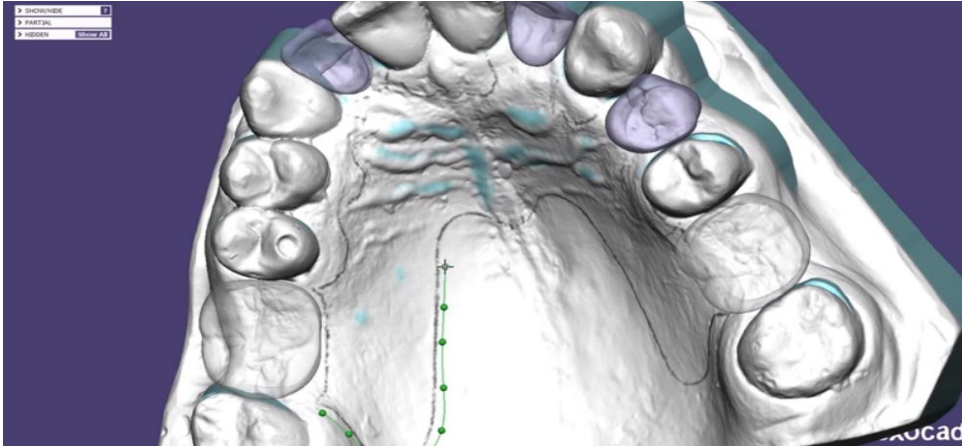
(Εικ.41)



Εικ.41 (36)

6)Για την διευκόλυνση της σχεδίασης του μεταλλικού σκελετού, πραγματοποιείται ,με μολύβι, στο αρχικό εκμαγείο, το προσχέδιο της εργασίας. Με την ψηφιακή σάρωση, το

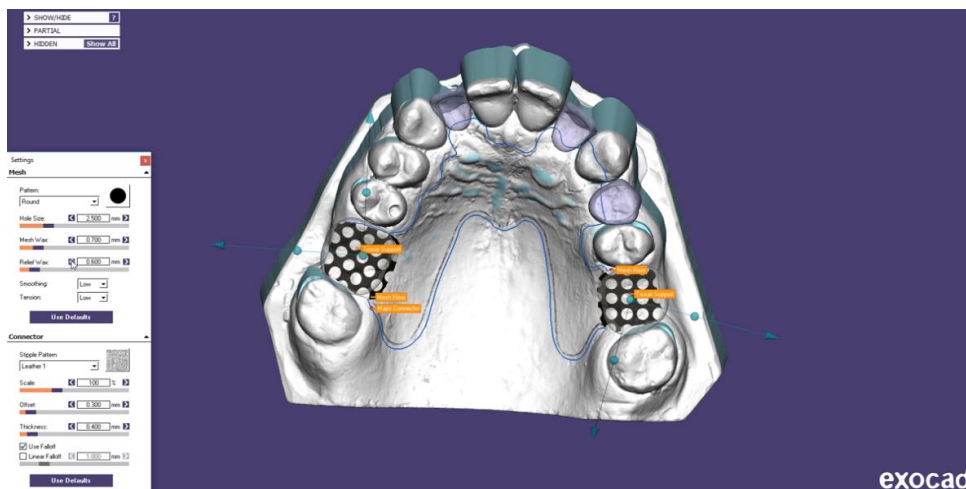
προσχέδιο αυτό αποτυπώνεται ψηφιακά και καθοδηγεί τον χειριστή του προγράμματος στη σχεδίαση της εργασίας με τα κατάλληλα ψηφιακά εργαλεία. (Εικ.42)



Εικ.42 (36)

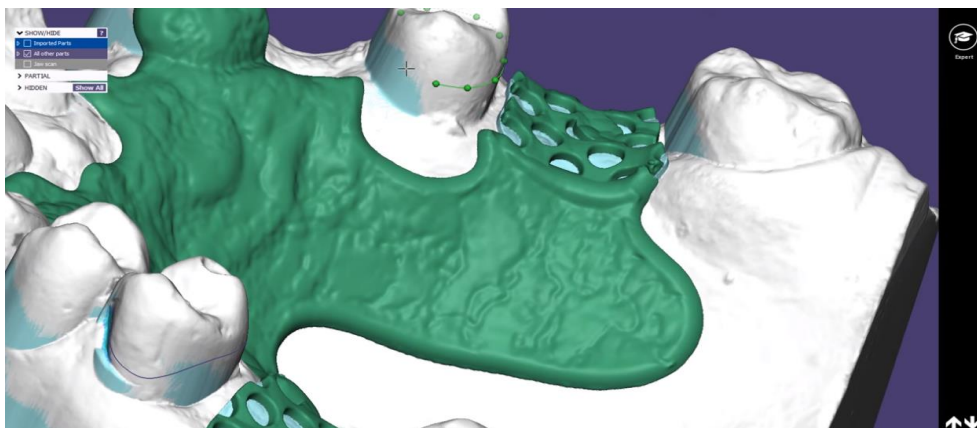
Να **επισημανθεί** πως το ψηφιακό μοντέλο δημιουργείται αυτόματα, με πάχος που έχει οριστεί αρχικά βάσει των προδιαγραφών που απαιτούνται από την εκάστοτε εργασία.

7)Γίνεται σχεδιασμός των πλεγμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στις νωδότητες. Υπάρχει πληθώρα επιλογών όσον αφορά το σχήμα και το μέγεθος των οπών του πλέγματος. Στην συνέχεια προσαρμόζεται ανάλογα με το τι επιθυμεί ο χρήστης. (Εικ.43)



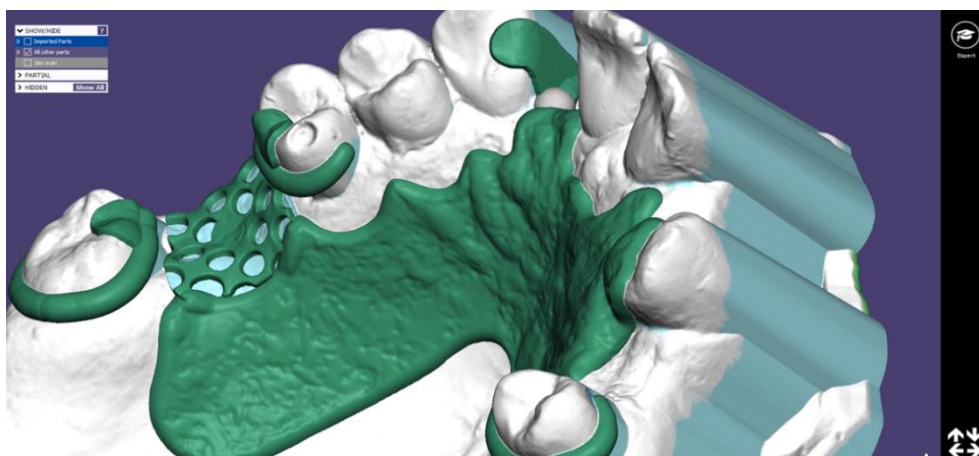
Εικ.43 (36)

8) Σχεδιάζονται τα άγκιστρα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και προσαρμόζονται με τρόπο που να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις του περιστατικού. (Εικ.44)



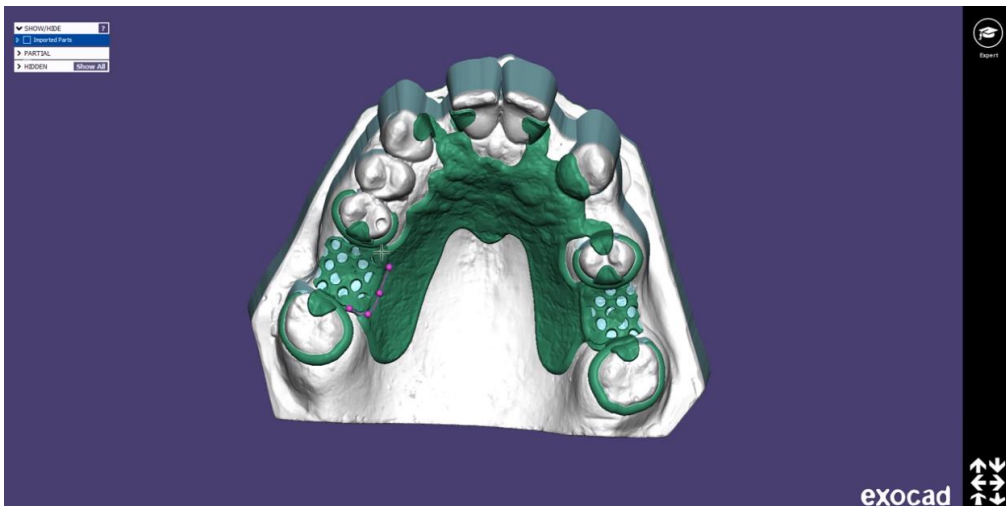
Εικ.44 (36)

9) Γίνεται ένωση των άγκιστρων με τον υπόλοιπο σκελετό με την βοήθεια ελασσόνων συνδετήρων. (Εικ.45)



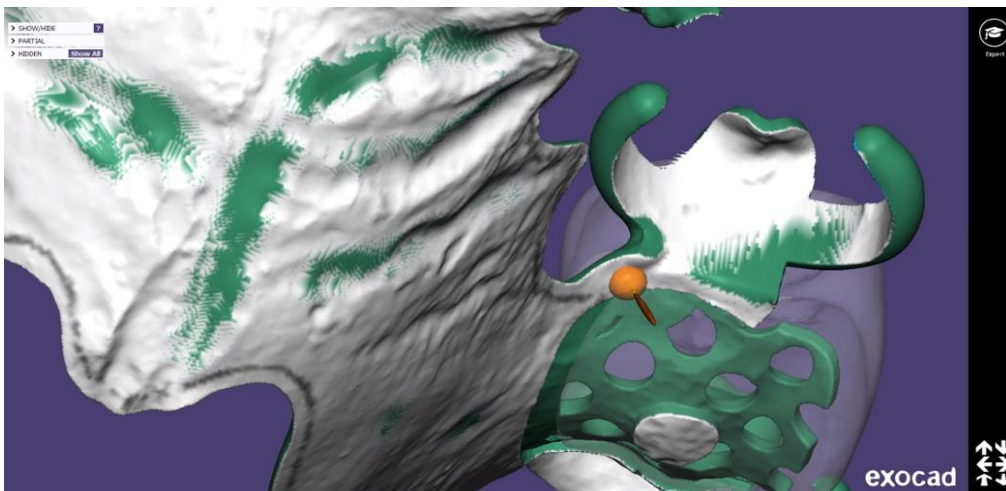
Εικ.45 (36)

10) Σχεδιασμός της γραμμής τελειώματος του πλέγματος (Finishing line). Γίνεται στην ένωσή του με τον μείζονα συνδετήρα. Δεν πρέπει να είναι πλατύς αλλά λεπτός και να ενώνεται ομαλά με τον υπόλοιπο σκελετό χωρίς να δημιουργεί εσοχές. (Εικ.46)



Εικ.46 (36)

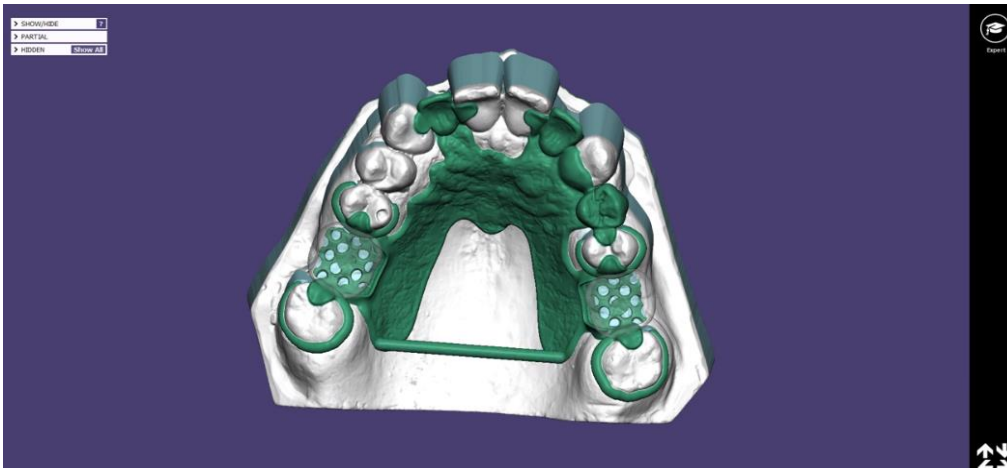
11) Γίνεται ομαλοποίηση της γραμμής τελειώματος, όπως και της βάσης σύνδεσης του ελάσσονα συνδετήρα με το πλέγμα. (Εικ.47)



Εικ.47 (36)

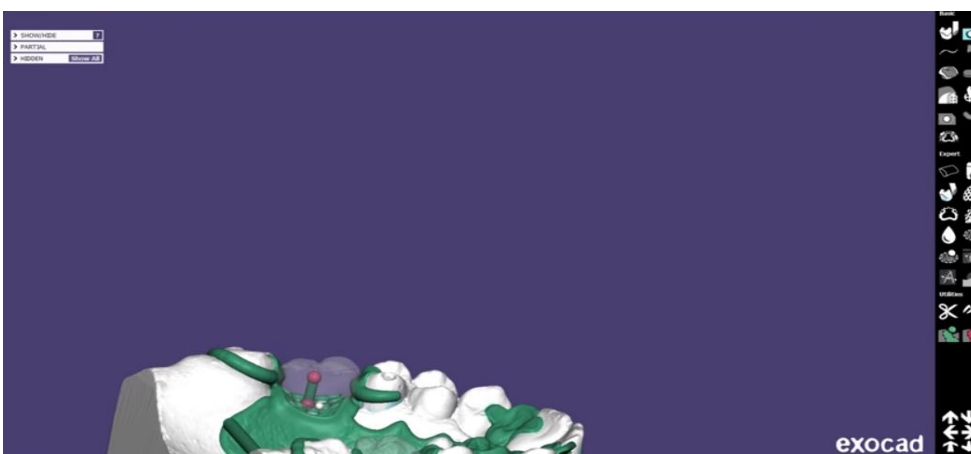
12) Ανάλογα με το αν η εργασία κατά την κατασκευή της απαιτεί την χρήση βοηθητικής μπάρας για την διατήρηση των διαστάσεων ή όχι, πράττεται ανάλογα. Η βοηθητική

μπάρα τοποθετείται, όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία, σε σημείο που δεν επηρεάζει άμεσα την εφαρμογή του σκελετού της μερικής, καθώς επίσης και σε σημείο που μπορεί εύκολα στην μετέπειτα επεξεργασία του εκτυπωμένου σκελετού να αφαιρεθεί. (Εικ.48)



Εικ.48 (36)

13) Τέλος σχεδιάζονται επάνω στο πλέγμα καρφίδες συγκράτησης των τεχνητών δοντιών. Αποτελεί ένα προαιρετικό στάδιο για την επιπλέον στήριξη σε περιπτώσεις κυρίως εκτεταμένης νωδότητας. (Εικ.49)



Εικ.49 (36)

Το αρχείο της σχεδίασης μεταφέρεται στο λογισμικό cam με μορφή κατάλληλη ώστε να αναγνωρίζεται (stl) και ανάλογα με την μέθοδο και το υλικό εκτύπωσης κατασκευάζεται ανάλογα. Οι περιπτώσεις εκτύπωσης ή συνδυασμού εκτύπωσης και χύτευσης εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το υλικό και την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, αφαιρετική ή προσθετική, μέταλλο ή πλαστικό ή πολυμερές.

Αφαιρετική μέθοδος

Σύμφωνα με την αφαιρετική μέθοδο η κατασκευή του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας περιορίζεται μόνο στην κοπή υλικών. Πραγματοποιείται σε δύο διαφορετικά υλικά τα οποία είναι το μέταλλο και το πολυμερές (PEEK & PAEK).

Εκτύπωση σε πλάκα PEEK (πολυαιθερικός αιθέρας κετόνη)

Σε αυτήν την περίπτωση ο σκελετός θα έχει τις ιδιότητες αυτού του υλικού και όχι του μετάλλου. Το PEEK είναι ένα φυσιολογικά αδρανές, αδιάλυτο πολυμερές υψηλής απόδοσης. Με βάση αυτές τις εξαιρετικές φυσικές και βιολογικές ιδιότητες, καθώς και τη διαφάνεια του σε ακτίνες X, αν και στερείται κλινικών μακροπρόθεσμων μελετών, αυτό το σύνθετο υλικό φαίνεται να αποτελεί ιδανικό υλικό για τον χώρο της οδοντιατρικής. Η PEEK έχει βρεθεί ανθεκτική σε όλες σχεδόν τις οργανικές και ανόργανες χημικές ουσίες και έχει επίσης επιδείξει επαρκείς φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Η σταθερή χημική δομή του PEEK έχει αποδειχθεί εξαιρετικά μη ενεργή και εγγενώς ανθεκτική στη χημική και θερμική αποικοδόμηση. Έχει μια υψηλή αναλογία αντοχής στο βάρος, ελαστικές

ιδιότητες παρόμοιες με το ανθρώπινο οστό, μηδενικό ποσοστό διάβρωσης και εξαιρετικά χαμηλή απορρόφηση νερού.

Η αδράνεια του πολυμερούς εξηγεί επίσης τη βιοσυμβατότητά του, η οποία έχει αποδειχθεί τόσο in vitro όσο και in vivo. Οι σκελετοί της Μ.Ο. που είναι κατασκευασμένοι από ΡΕΕΚ απορροφούν σε μεγάλο βαθμό τους κραδασμούς κατά τη διάρκεια της μάσησης και επιπλέον έχουν υψηλή αντοχή στην τριβή και την αποσύνθεση. (37)

Όσον αφορά το υλικό **ΡΑΕΚ (πολυαρυλαιθερκετόνη)** η διαφορά έγκειται στην υψηλότερη ολκιμότητα και ελαστικότητα του σε σχέση με το ΡΕΕΚ.

Σε σχέση με το μέταλλο ως υλικό, η κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών με ΡΕΕΚ & ΡΑΕΚ προσφέρει μια εργασία πιο άνετη και αισθητικά ευχάριστη καθώς, επίσης δεν υπάρχει και η δυσάρεστη γεύση μετάλλου.

Milling

Στην περίπτωση αυτή αφού σχεδιαστεί ο σκελετός γίνεται η κοπή του σε μία πλάκα μετάλλου (CrCo), μέθοδος που δεν προτιμάται, αν και παρέχει το καλύτερο αποτέλεσμα, λόγω του υψηλού συνολικά χρόνου αλλά και κόστους, καθώς το 90% της πλάκας του μετάλλου αφαιρείται και δεν ανακυκλώνεται και τα εργαλεία κοπής καταστρέφονται πιο εύκολα.

Ως συμπέρασμα κρίνεται ότι με την αφαιρετική μέθοδο υπάρχει η δυνατότητα επιλογής κατασκευής σκελετού για μερική οδοντοστοιχία από περισσότερα υλικά διαφορετικά του μετάλλου.

Προσθετική μέθοδος

Στην περίπτωση αυτή ο σκελετός σχεδιάζεται, εκτυπώνεται και στην συνέχεια χυτεύεται αν η κατασκευή του είναι από πλαστικό (πολυμερές) και εκτυπώνεται απλά, χωρίς να χρήζει χύτευσης, όταν εκτυπώνεται με μέταλλο.

Όσον αφορά την χύτευση του σκελετού που εκτυπώνεται με **πλαστικό**, θα πρέπει να υπάρξουν κάποιες αλλαγές σε σχέση με την κλασική χύτευση με κερί. Αρχικά, μόλις γίνει η εκτύπωση από κάποιο πολυμερές καλό θα είναι η χύτευση να γίνει απευθείας καθώς το υλικό είναι ευαίσθητο στο υπεριώδες φως και μπορεί να προκληθεί οποιαδήποτε παραμόρφωσή του που σχετίζεται με το φως του ήλιου. (38) Επιπλέον, οι ιδιότητες του πυροχώματος που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να ανταπεξέρχονται στις ιδιότητες τήξης και διαστολής του πλαστικού. Έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια κάποια πυροχώματα πιο φιλικά προς την διαστολή του πλαστικού η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτήν του κεριού. Η διαδικασία χύτευσης γίνεται κατά τα γνωστά με την επένδυση πυροχώματος, την παραμονή σε φούρνο αποκήρωσης, την παραμονή σε φούρνο προθέρμανσης και την χύτευση του κράματος. Στην συνέχεια, παραμένει σε θερμοκρασία δωματίου έως ότου ψυχθεί επαρκώς το κράμα για να είναι έτοιμο για αφαίρεση και επεξεργασία.

Η εκτύπωση του σκελετού μιας μερικής οδοντοστοιχίας με **μέταλλο** έχει το πλεονέκτημα της απουσίας χύτευσης. Αυτό συνεπάγεται την απουσία προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την διαδικασία της χύτευσης, όπως πόροι στο χυτό ή αλλαγή διαστάσεων του χυτού. Η εκτύπωση του μεταλλικού σκελετού εξαρτάται από την ταχύτητα πυροσυσσωμάτωσης, η οποία κυμαίνεται στα 1100-1200 mm/s, από την διάμετρο του σημείου λέιζερ $\approx 0,08-0,1$ mm και από το πάχος του στρώματος $\approx 0,2$ mm. Μετά την πυροσυσσωμάτωση, γίνεται ανόπτηση του σκελετού σε ειδικό φούρνο περίπου στους 1000°C για περίπου 30 λεπτά για την ολοκλήρωση της ομογενοποίησης του μετάλλου. Γίνεται η κοπή του σκελετού από την πλάκα με ειδικές φρέζες/εργαλεία. Στην συνέχεια, ακολουθεί αμμοβολή με σωματίδια Al_2O_3 50mm σε πίεση 0,5 MPa. Αφού

εκτελεστεί και αυτό το στάδιο, ακολουθεί η επεξεργασία της επιφάνειας του σκελετού, η οποία είναι αδρή, προκειμένου να γίνει λεία και να είναι έτοιμη να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της μερικής. (38)

Όπως αποδεικνύεται, από τα παραπάνω, η ψηφιακή κατασκευή του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας παρέχει ένα αρκετά μεγάλο φάσμα επιλογών για τον τρόπο και το υλικό υλοποίησης του, με αποτέλεσμα να κάνει εμφανή αρκετά μειονεκτήματα που διαθέτει η συμβατική μέθοδος.

Πλεονεκτήματα της ψηφιακής έναντι της συμβατικής μεθόδου

Τα **πλεονεκτήματα** του CAD-CAM στην κατασκευή του σκελετού της **μερικής οδοντοστοιχίας σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους** κατασκευής του είναι τα παρακάτω:

- Η εξέλιξη της τεχνολογίας CAD/ CAM μειώνει τη διάρκεια του χειρισμού της πρόσθεσης και παρέχει ανώτερα λειτουργικά και αισθητικά αποτελέσματα. (15)
- Οι αλλαγές του όγκου και του σχήματος της πρόσθεσης μειώνονται ή εξαλείφονται σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους με αποτέλεσμα η παραγόμενη πρόσθεση να εφαρμόζει απόλυτα στον βλεννογόνο του στόματος και να μεταφέρει ομοιόμορφα φορτία σε αυτόν. (15)
- Επιπλέον, επιτρέπει την εύκολη επιδιόρθωση της οδοντοστοιχίας και την κατασκευή

νέας με τη χρήση αποθηκευμένων ψηφιακών δεδομένων. Προσφέρει λοιπόν, το πλεονέκτημα της επανάληψης, η οποία μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των ανθρώπινων σφαλμάτων και να ενισχύσει τον ποιοτικό έλεγχο στο οδοντοτεχνικό εργαστήριο. (15)

- Η εισαγωγή του CAD-CAM στην κατασκευή του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας περιλαμβάνει τον αυτόματο προσδιορισμό μίας προτεινόμενης διαδρομής εργασίας, την άμεση εξάλειψη των ανεπιθύμητων εσοχών, καθώς και τον γρήγορο εντοπισμό των επιθυμητών εσοχών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρήση του παραλληλογράφου να αναιρείται από την διαδικασία κατασκευής της μερικής οδοντοστοιχίας. (15)

- Οι συμβατικές μέθοδοι κατασκευής περιλαμβάνουν την λήψη αποτυπώματος, την κατασκευή εκμαγείου, τον έλεγχο στον παραλληλογράφο και την απαλοιφή των ανεπιθύμητων εσοχών. Στη συνέχεια, την αναπαραγωγή (ντουμπλάρισμα) του τροποποιημένου εκμαγείου και τον σχεδιασμό της μερικής με κερί. Τέτοια βήματα απαιτούν σημαντική ανθρώπινη παρέμβαση και τον χειρισμό των υλικών που μπορεί επιπλέον να προσφέρει κατά την επεξεργασία συρρίκνωση ή επέκταση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα σφάλματα επεξεργασίας και ανακρίβειες που μπορεί να εξηγήσουν τις μειωμένες τιμές διατήρησης των συμβατικών οδοντοστοιχιών σε σύγκριση με εκείνες των ψηφιακών οδοντοστοιχιών. (15)

-Με την χρήση του Cad-Cam υπάρχει μεγάλη ακρίβεια καθώς με την διαδικασία σάρωσης αναπαράγονται όλες οι λεπτομέρειες γεγονός που προσφέρει καλή ποιότητα εργασίας και συνεπή αποτελέσματα. (8)

- Είναι δυνατή η εκτύπωση σύνθετων γεωμετρικών σχημάτων και αλληλοσυνδεόμενων τμημάτων που δεν απαιτούν συναρμολόγηση σε αντίθεση με την συμβατική μέθοδο. (8)

-Μειωμένη απώλεια υλικών που σχετίζονται με την παραγωγή. (8)

- Σε σύγκριση με τους σκελετούς που κατασκευάζονται με συμβατικές μεθόδους χύτευσης, εκείνοι που κατασκευάζονται με τη μέθοδο SLS δείχνουν ανώτερη αντοχή στην

κόπωση ,καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, και την ικανοποίηση των ασθενών. (38)

Βέβαια, όλα τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής μεθόδου εξαρτώνται πάντα και από τον εκτυπωτή που θα χρησιμοποιηθεί. Για να υφίστανται τα πλεονεκτήματα αυτά θα πρέπει και ο εκτυπωτής που θα χρησιμοποιηθεί να είναι καλής ποιότητας. Υπάρχουν αρκετές επιλογές εκτυπωτών που διαφέρουν ανάλογα με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

Παραδείγματα εκτυπωτών για οδοντοτεχνική χρήση

Στην εποχή μας, ενώ η ψηφιακή τεχνολογία στις μερικές οδοντοστοιχίες είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη, στην Ελλάδα δεν είναι αρκετά διαδεδομένη. Το CAD-CAM στην χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή ακίνητων εργασιών. Παρόλα αυτά, ύστερα από έρευνα, βρέθηκαν δύο παραδείγματα αξιόλογων εκτυπωτών για την εκτύπωση σκελετών μερικών οδοντοστοιχιών.



Εικ.50 Εκτυπωτής **Cara print 4.0** της εταιρείας Kulzer (39)

Ο εκτυπωτής **Cara Print 4.0** προσφέρει στους οδοντοτεχνίτες ένα πιο γρήγορο και οικονομικό τρόπο κατασκευής οδοντιατρικών εφαρμογών με πολυμερή υλικά. Παρέχει μια οικονομικότερη επιλογή έναντι της κοπής milling αλλά και έναντι άλλων εκτυπωτών της αγοράς και συγχρόνως αποδίδει μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα.

Ενδείκνυται για την κατασκευή σκελετού μερικής οδοντοστοιχίας, για νάρθηκες νυκτός, για ατομικό δισκάριο, για χειρουργικό νάρθηκα και για την κατασκευή εκμαγείων. (40)

Μερικά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι: α) Τεχνολογία πολυμερισμού με ψηφιακή προβολή φωτός HP DLP 405nm, β) μέση ταχύτητα κατασκευής 50mm/ώρα, γ) ελάχιστη / μέγιστη ταχύτητα κατασκευής 15-120mm/ώρα, δ) μέση διάρκεια ενός κύκλου εκτύπωσης 1ώρα, ε) συνδεσιμότητα δυνατότητα επιλογής Ethernet ή USB ή Wi-Fi, στ) συμβατότητα με λογισμικό CAD ,όλα τα CAD προγράμματα που χρησιμοποιούν ανοικτά STL, ζ) δεξαμενή ρητίνης που δεν θολώνει έχει δύο δεξαμενές. (39)



Εικ.51 Εκτυπωτής Formlabs form 3 (41)

Μερικά χαρακτηριστικά του εκτυπωτή Formlabs form 3 είναι: ο όγκος εκτύπωσης είναι 145x145x185mm, η ανάλυση Laser είναι 25 microns, το μέγεθος Laser spot είναι 85 microns. (42)

Συζήτηση

Η μερική οδοντοστοιχία αποτελεί μία από τις πιο συνηθισμένες προσθετικές αποκαταστάσεις για μερικές νωδότητες εδώ και δεκαετίες. Η εφαρμογή της τεχνολογίας CAD/CAM έχει χρησιμοποιηθεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες στον χώρο της οδοντιατρικής με μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής την ακίνητη προσθετική. Αντίθετα η ανάπτυξη των τεχνικών CAD/CAM για την κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών ήταν αργή λόγω της έλλειψης κατάλληλου λογισμικού, αλλά τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ραγδαία.

Οι συνήθεις ψηφιακές τεχνικές που εφαρμόζονται στην κατασκευή σκελετών μερικών οδοντοστοιχιών είναι η ταχεία πρωτοτυποποίηση που επιτυγχάνεται με την στερεολιθογραφία (SLA), την τρισδιάστατη εκτύπωση (3DP), την επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (SLS), την επιλεκτική τήξη λέιζερ (SLM) και την μοντελοποίηση εναπόθεσης τηγμένου υλικού (FDM). Η ταχεία πρωτοτυποποίηση μπορεί να κατασκευάσει προϊόντα οποιουδήποτε σχήματος που έχουν σχεδιαστεί από cad, ξεπερνώντας διάφορα προβλήματα που μπορεί να υπάρξουν κατά τη διάρκεια της συμβατικής κατασκευής προϊόντων. Πρόσφατες μελέτες επικεντρώθηκαν είτε στην ανάπτυξη ειδικού λογισμικού CAD για την κατασκευή σκελετών Μ.Ο. είτε στην προσπάθεια εφαρμογής της ψηφιακής σχεδίασης και εκτύπωσης σκελετών Μ.Ο. στην καθημερινή εργαστηριακή ρουτίνα. Έχουν γίνει εργασίες που αποδεικνύουν ότι οι τεχνικές CAD/CAM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό και την κατασκευή σκελετών από ρητίνη ή για την άμεση κατασκευή μεταλλικών σκελετών που αξιολογούνται με την εφαρμογή τους σε εκμαγεία εργασίας. Ωστόσο, λίγες κλινικές μελέτες έχουν αξιολογήσει αυτές τις τεχνικές σε ασθενείς. (43) (44)

Οι ψηφιακές μέθοδοι κατασκευής έχουν το πλεονέκτημα της καλύτερης εφαρμογής, της κατασκευής σε μικρότερο χρονικό διάστημα, και του μικρότερου χρόνου κατασκευής των εργαστηριακών σταδίων. (45) Ωστόσο, δεν υπάρχουν κλινικά στοιχεία που να υποστηρίζουν την ιδέα ότι η κλινική εφαρμογή των σκελετών μερικών οδοντοστοιχιών που είναι κατασκευασμένοι με την ψηφιακή μέθοδο είναι καλύτερη από εκείνη των

συμβατικά κατασκευασμένων σκελετών.

Σύμφωνα με έρευνα, όσον αφορά τις μεθόδους κατασκευής του σκελετού μερικής οδοντοστοιχίας, αυτός που κατασκευάστηκε με την μέθοδο της ρητίνης που στην συνέχεια επενδύεται και χυτεύεται κατά τα γνωστά είχε καλή δοκιμαστική εφαρμογή στο εκμαγείο εργασίας. Αντίστροφα, σκελετός που κατασκευάστηκε με την μέθοδο της επιλεκτικής σύντηξης ανέφερε καλή απόδοση στον ασθενή. (43)

Σημαντικό αποτελεί το συμπέρασμα μέσα από μελέτες πως σε σύγκριση με τους σκελετούς που κατασκευάζονται με συμβατικές μεθόδους χύτευσης αυτοί που κατασκευάζονται με την μέθοδο SLS παρουσιάζουν ανώτερη αντοχή στην κόπωση, καλύτερες μηχανικές ιδιότητες αλλά και μεγαλύτερη ικανοποίηση του ασθενούς. Ωστόσο ενώ πολλές μελέτες έδειξαν πως υπάρχει καταλληλότητα στην κατασκευή των σκελετών με την ψηφιακή μέθοδο, είναι δύσκολο ακόμα να ειπωθεί με βεβαιότητα η ακρίβεια της κατασκευής αυτής λόγω της απουσίας έρευνας όλων των μελών της μερικής οδοντοστοιχίας και την πιθανότητα σφάλματος κατά την ενδοστοματική σάρωση. (46) (47) (48)

Επιπλέον, σύμφωνα με κάποιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν υπήρξαν και κάποια αποτελέσματα που έκριναν την καταλληλότητα που οδήγησε στην ραγδαία εξέλιξη των CAD/CAM. Παράδειγμα αποτελεί η έρευνα που έγινε από τον Williams και την ομάδα του που σχεδίασαν και κατασκεύασαν ένα σκελετό μερικής οδοντοστοιχίας με την χρήση CAD/CAM το 2004, μετατράπηκε σε μεταλλικό με την τεχνική της χύτευσης και απέδειξε πολύ καλή εφαρμογή στο εκμαγείο εργασίας. (49) Το 2006, η ίδια ομάδα σχεδίασε και κατασκεύασε έναν σκελετό από χρώμιο-κοβάλτιο χρησιμοποιώντας την ταχεία πρωτοτυποποίηση και στην συνέχεια δοκιμάστηκε σε ασθενή. (44)

Επίσης και άλλες έρευνες κατασκευής σκελετών με ψηφιακή μέθοδο πραγματοποιήθηκαν όπως αυτή από τον Bibb και Han που χρησιμοποίησαν την τεχνική της ταχείας πρωτοτυποποίησης για την άμεση κατασκευή σκελετών από κράμα χρωμίου-κοβαλτίου. (50)

Σε μια άλλη πρόσφατη μελέτη του Wang, που κατασκεύασε σκελετό μερικής οδοντοστοιχίας με την μέθοδο της SLA εξέτασαν την ποιότητα της εφαρμογής του σκελετού και διαπίστωσαν ότι ήταν εξαιρετική. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποστηρίχθηκαν επίσης από την Malara, η οποία διαπίστωσε ότι η πρόσθεση

που παράγεται από την τεχνολογία CAD/CAM, προσκολλάται στενά στον βλεννογόνο ενισχύοντας τη διατήρηση, τη σταθερότητα και τη μεταφορά φορτίων εξίσου στον βλεννογόνο, προκαλώντας λιγότερες παρεμβολές στην εφαρμογή της στο στόμα. (15)

Μέχρι σήμερα, λίγες μελέτες έχουν συζητήσει την κλινική καταλληλότητα και ακρίβεια των μερικών οδοντοστοιχιών, λόγω της πολυπλοκότητας των δομών, της ποικιλίας των συστατικών υλικών και της μεγάλης ποικιλίας σχεδίων. Οι μεταλλικοί σκελετοί των Μ.Ο. μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν άμεσα και αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας την τεχνική RP, με αποδεκτά αποτελέσματα στην κλινική εφαρμογή.

Τέλος, σε άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αξιολόγησαν την ακρίβεια των σκελετών της μερικής οδοντοστοιχίας μετρώντας την απόσταση μετατόπισης του σκελετού από τη γύψο στο εκμαγείο εργασίας ή το χώρο που δημιουργήθηκε μεταξύ των σημείων αναφοράς και της γύψου λόγω της στρέβλωσης του σκελετού. Στις περισσότερες από αυτές μελέτες όμως η απόσταση αυτή μετρήθηκε μόνο στον μεγάλο συνδετήρα και όχι και σε όλα τα υπόλοιπα μέλη του σκελετού της Μ.Ο γεγονός που οδηγεί στο μη απόλυτα αξιόπιστο αποτέλεσμα. (51) (52) (53) (54) (55)

Συμπεράσματα

1. Ένας εκτυπωτής αποτελείται από την κεφαλή απόθεσης υλικού, το μηχανισμό εξώθησης υλικού, το πλαίσιο στήριξης, την πλάκα εκτύπωσης και το υλικό.
2. Οι τεχνικές εκτύπωσης διακρίνονται σε 2 βασικές κατηγορίες, στην στερεολιθογραφία (stereolithography SLA) και στην εναπόθεση ύλης. Επιπλέον κατηγορίες είναι οι: Selective Laser Sintering (SLS), Επιλεκτική τήξη με την χρήση ακτινών laser-Selective laser melting (SLM), Fused deposition modeling (FDM), Laminated Object Manufacturing (LOM), Solid Ground Curing (SGC), 3D inkjet Printing.
3. Στην κατασκευή σκελετού μερικής οδοντοστοιχίας με εκτύπωση υπάρχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να κατασκευαστεί με διάφορες τεχνικές και από δύο διαφορετικά υλικά, το μέταλλο και το πολυμερές. Το πολυμερές (PEEK) που δεν υπάρχει στην συμβατική μέθοδο προσφέρει έναν σκελετό με αρκετά υψηλή ολκιμότητα και ελαστικότητα σε σύγκριση με το μέταλλο.
4. Στην εκτύπωση με την μέθοδο της σύντηξης απουσιάζει η διαδικασία της χύτευσης. Η έλλειψη αύξησης και μείωσης του όγκου της πρόσθεσης αλλά και αλλαγών του σχήματός της μειώνεται ή εξαλείφεται με αποτέλεσμα να υπάρχει μία σχετικά άριστη έδρασης της πρόσθεσης στον βλεννογόνο μεταφέροντας όλες τις δυνάμεις ομοιόμορφα σε αυτόν.
5. Σε αντίθεση με την συμβατική μέθοδο, όπου το κέρινο πρόπλασμα του σκελετού της Μ.Ο. μπορεί να χυτευτεί οποιαδήποτε στιγμή, το πολυμερές (πλαστικό) που προκύπτει από την εκτύπωση του σκελετού θα πρέπει να χυτευτεί απευθείας διότι είναι ευαίσθητο στο υπεριώδες φως γεγονός που το καθιστά επιρρεπές σε οποιαδήποτε παραμόρφωση.
6. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας CAD/CAM επιτυγχάνεται η μείωση του χρόνου κατασκευής του σκελετού μίας μερικής οδοντοστοιχίας παρέχοντας ανώτερα

λειτουργικά και αισθητικά αποτελέσματα. Λόγω της τυποποίησης που υπάρχει στην ψηφιακή τεχνολογία, ευνοείται ο οδοντικός τεχνολόγος όσον αφορά τον χρόνο καθώς υπάρχει μια συγκεκριμένη διαδρομή εργασίας, με την άμεση εξάλειψη των ανεπιθύμητων εσοχών και τον γρήγορο εντοπισμό των επιθυμητών κατά την διάρκεια της διαδικασίας του σκάνερ.

Περίληψη

Η κατασκευή του σκελετού της μερικής οδοντοστοιχίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο βασικές μεθόδους, την συμβατική μέθοδο και την ψηφιακή (CAD-CAM). Η συμβατική μέθοδος αποτελείται από μία πληθώρα σταδίων, τα οποία αναφέρονται αναλυτικά στο ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ, που την κάνουν αρκετά χρονοβόρα σε αντίθεση με την ψηφιακή που αρκείται σε ελάχιστα στάδια, τα οποία αναγράφονται στο ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ, που περιλαμβάνουν την σάρωση, τον σχεδιασμό σε ψηφιακό αρχείο και την εκτύπωση αυτού. Διαθέτει πληθώρα τεχνικών με βασικότερες την στερεολιθογραφία, την εναπόθεση υλικού και της κοπής. Τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής έναντι της συμβατικής μεθόδου είναι αρκετά, με κυριότερα την εξοικονόμηση χρόνου και υλικών.

Summary

The construction of the partial denture framework can be carried out by two basic methods, the conventional method and the digital (CAD-CAM). The conventional method consists of a multitude of stages, which are mentioned in detail in the GENERAL PART, that make it quite time consuming as opposed to digital which is sufficient in minimal stages, which are mentioned in detail in the SPECIAL PART, including scanning, designing in a digital file and printing it. It has a variety of techniques, most not only stereolithography, material deposition and cutting. The advantages of digital versus conventional method are numerous, mainly saving time and materials.

Βιβλιογραφία

1. Μπούτσικας Β. Πολυμερή και κράματα πολυμερών για συστήματα εκτύπωσης 3D(3D printing). Εφαρμογή τους σε διάφορα επίπεδα. Διπλωματική εργασία. Αθήνα:, Σχολή εφαρμοσμένων τεχνών; 2019.
2. Πάντος Κ. Η επανάσταση της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Μεταπτυχιακή εργασία. Αθήνα:, Εθνικό μετσόβιο πολυτεχνείο; 2016.
3. Οδοντιατρικό Βήμα. Το μέλλον είναι εδώ: Επίσημη πρώτη για τον Next Dent5100 της 3D Systems στην Ελλάδα. Οδοντιατρικό Βήμα. 2019 Ιανουάριος-Φεβρουάριος;(126).
4. Κωτσιομούτη Ελένη, Εμμανουήλ Ιωάννης, Πισιώτης Αργύριος. Εισαγωγή. In Κωτσιομούτη Ελένη ΕΙΠΑ. Προσθετική Αποκατάσταση με Κινητές Μερικές Οδοντοστοιχίες. Αθήνα: Εκδόσεις Κάλλιπος; 2015. p. 11-32.
5. Γιαννικάκης Σ. Ολικές Οδοντοστοιχίες Αθήνα; 2018.
6. Πελεκάση Ε. Χαμόγελο με υγεία και ομορφιά: Ιστορική αναδρομή σε προσθετική και αισθητική οδοντιατρική. 2019..
7. Προμπονάς Αντώνης, Βλησίδης Δημήτρης. Μερικές Οδοντοστοιχίες. Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ ed. Αθήνα; 2011.
8. Kohli TMA. 3D Printing in Dentistry – An Overview. ACTA SCIENTIFIC DENTAL SCIENCES. 2019 May: p. 35-41.
9. Dentalcenter. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 17. Available from: <https://www.dentalcenter.gr/>.
10. Envisiontec. [Online]. [cited 2021 05 11. Available from: <https://enviontec.com/3d-printing-industries/medical/dental/partial-denture-frameworks/>.
11. slideshare. [Online].; 2015 [cited 2021 05 22. Available from: <https://www.slideshare.net/alibai/lab-procedure-cast-partial>.
12. Μπαλούρδας ΘΔ. ΜΕΡΙΚΕΣ ΟΔΟΝΤΟΣΤΟΙΧΙΕΣ. 2005..
13. Εμμανουήλ Ιωάννης, Κωτσιομούτη Ελένη, Πισιώτης Αργύρης. Ο μεταλλικός σκελετός. In Εμμανουήλ Ιωάννης ΚΕΠΑ. Προσθετική αποκατάσταση με κινητές μερικές οδοντοστοιχίες. Αθήνα: Κάλλιπος; 2019.
14. Κωτσιομούτη Ελένη, Εμμανουήλ Ιωάννης, Πισιώτης Αργύριος. Σχεδίαση της μερικής οδοντοστοιχίας. In Κωτσιομούτη Ελένη ΕΙΠΑ. Προσθετική αποκατάσταση με κινητές μερικές οδοντοστοιχίες. Αθήνα: ebook: ΣΕΑΒ, ΚΕΠΑ; 2019.
15. Maryod WH. Retention of Removable Partial Denture Fabricated by Digital Designing and 3D Printing. J Dent Res. 2019;98(12):1503-1508.

- Printing Technology - A Cross Over Study. Advances in dentistry & oral health. 2019 Φεβρουάριος: p. 6.
16. Λασαλάντρα Μ. Αλέξανδρος, Καρποντίνης Δ. Ιωάννης. Τρισδιάστατη εκτύπωση. Διπλωματική εργασία. Αθήνα: Ανώτατο εκπαιδευτικό τμήμα πειραιά τεχνολογικού τομέα, Μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων; 2017.
 17. 3D expert. 3Dexpert. [Online].; 2014-20121 [cited 2021 Φεβρουάριος 8. Available from: <https://www.3dexpert.gr/main/3dprinters-intro/>.
 18. Βικιπαίδεια. Βικιπαίδεια. [Online].; 2020 [cited 2021 Φεβρουάριος 8. Available from: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B>
 19. Slideshare. Slideshare. [Online].; 2014 [cited 2021 Φεβρουαρίου 8. Available from: <https://www.slideshare.net/atlasb/cad-cam-apo-to-a-sto-w-3-cadsoftware>.
 20. 3D print in Greece. 3D print in Greece. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 9. Available from: <https://3dprintinggreece.gr/3d-printer-basics/>.
 21. Χαριτοπούλου ΔΓ. Εγχειρίδιο χρήσης λογισμικών τρισδιάστατης εκτύπωσης 3D και εφαρμογές στην διδασκαλία τριτοβάθμιας πανεπιστήμιο, Χημείας; 2020.
 22. Παπαθανάσης Η. Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Περισκόπιο της επιστήμης. 2005 Οκτώβριος.
 23. White clouds. Whiteclouds. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from: <https://www.whiteclouds.com/3DPedia/stereolithography.html>.
 24. HAMERYZAIMI EW. jj204teknologiworkshop2. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 10. Available from: <http://jj204teknologiworkshop2.blogspot.com/p/rapid-prototyping.html>.
 25. Whiteclouds. Whiteclouds. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 10. Available from: <https://www.whiteclouds.com/3DPedia/lom.html>.
 26. Wikipedia. Wikipedia. [Online].; 2020 [cited 2021 Φεβρουάριος 10. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_ground_curing.
 27. Καλτσής Α. Τρισδιάστατη εκτύπωση & στρατιωτικές εφαρμογές. Μεταπτυχιακή διατριβή. Κρήτη: Πολυτεχνείο Κρήτης, Στρατιωτική σχολή ευελπίδων; 2017.
 28. Custompart.net. Custompart.net. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 11. Available from: <https://www.custompartnet.com/wu/ink-jet-printing>.
 29. wikipedia. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_\(machining\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_(machining)).

30. Ξιφαράς Ν. In the nucleus. [Online].; 2015 [cited 2021 Φεβρουάριος 17. Available from:
<https://nucleus2012.wordpress.com/2015/06/10/%CF%84%CE%B9-%CE%B1%CE%BA%CF%81%CE%B9%CE%B2%CF%85%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7/>.
31. Daniel J. Poticny, James Klim. CAD/CAM in-office technology: innovations after 25 years for predictable, esthetic outcomes. [Online].; 2010 [cited 2021 Φεβρουάριος 13. Available from:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20516108/>.
32. Toothnews. [Online].; 2017 [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from:
<https://toothnews.gr/nea-epoxi-3shape/>.
33. Νεγριν Dental. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from:
<https://www.negrin.gr/product/heron-ios-scanner-3disc/>.
34. Xiang Yan, Hong Lin, Yang Wu, Wei Bai. Effect of two heat treatments on mechanical properties of selective-laser-melted Ti-6Al-4V. Journal of prosthetic dentistry. 2018 June.
35. Dentcare. [Online]. [cited 2021 Ιούνιος 29. Available from:
<https://www.dentcaredental.com/OurProducts.aspx?id=9>.
36. exocad GmbH. Youtube. [Online].; 2018 [cited 2021 05 17 [https://www.youtube.com/watch?v=tIDZanEjwYM&ab_channel=exocadGmbH.
https://www.youtube.com/watch?v=tIDZanEjwYM&ab_channel=exocadGmbH.
37. Nikita Sinha, Nidhi Gupta, K. Mahendranadh Reddy, Y. M. Shastry. Research gate. [Online].; 2017 [cited 2021 05 18.
https://www.researchgate.net/publication/313387874_Versatility_of_PEEK_as_a_fixed_partial_denture_framework
38. Akinori Tasaka, Takahiro Shimizu, Yoshimitsu Kato, Haruna Okano, Yuki Ida, Shizuo Higuchi, Shuichiro Yamashita. Accurate fabrication of a fixed partial denture framework using a 3D printer. Journal of Prosthodontic Research. 2019 August: p. 224-230.
39. Oral health. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from:
<https://www.oralhealthgroup.com/products/kulzer-launches-cara-print-4-0-3d-printer-dental-laboratories/>.
40. Kulzer. KULZER MITSUI CHEMICALS GROUP. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 5. Available from:
https://www.kulzer.gr/gr/ee/cara_33/cara_print/cara_print.aspx.
41. Dentica. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from:
<https://dentica.gr/dental-products/formlabs-form-3/>.
42. Get 3D. [Online]. [cited 2021 Φεβρουάριος 18. Available from:
<https://get3d.gr/product/formlabs-form-3/>.
43. R J Bibb, D Eggbeer, R J Williams, A Woodward. Trial fitting of a removable partial denture framework made using computer-aided design and rapid prototyping techniques. Journal of engineering in medicine. 2006 July: p. 793-797.

44. R. J. Williams, Richard Bibb, Dominic Eggbeer, John Collis. Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *Journal of prosthetic dentistry*. 2006 August: p. 96-99.
45. Lisa A. Lang, Ibrahim Tulunoglu. A critically appraised topic review of computer-aided design/computer-aided machining of removable partial denture frameworks. *Dental clinics of north america*. 2014: p. 247-255.
46. Omar Alageel, Mohamed-Nur Abdallah, Ammar Alsheghri, Jun Song, Eric Caron, Faleh Tamim. Removable partial denture alloys processed by laser-sintering. *Journal of biomedical materials research*. 2017 May: p. 1174-1185.
47. Balqees Almufleh, Elham Emami, Omar Alageel, Fabiana de Melo, Francois Seng, Eric Caron, Samer Abi Nader, Ashwaq Al-Hashedi, Rubens Albuquerque, Jocelyne Feine, Faleh Tamimi. Patient satisfaction with laser-sintered removable partial dentures. *Journal of prosthetic dentistry*. 2018: p. 560-567.
48. Christin Arnold, Jeremias Hey, Ramona Schweyen, Jürgen M. Setz. Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *Journal of prosthetic dentistry*. 2018: p. 585-592.
49. R. J. Williams, Richard Bibb, Tahseen Rafik. A technique for fabricating patterns for removable partial denture frameworks using digitized casts and electronic surveying. *Journal of prosthetic dentistry*. 2004: p. 85-88.
50. Jing Han, Yong Wang, Peijun Lü. A preliminary report of designing removable partial denture frameworks using a specifically developed software package. *Journal of prosthodontics*. 2010: p. 370-375.
51. Jong-Won Lee, Ji-Man Park, Eun-Jin Park, Seong-Joo Heo, Jai-Young Koak, Seong-Kyun Kim. Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: A clinical study. *Journal of prosthetic dentistry*. 2017: p. 348-353.
52. Hongqiang Ye, Jing Ning, Man Li, Li Niu, Jian Yang, Yuchun Sun, Yongsheng Zhou. Preliminary Clinical Application of Rapid Prototyping Techniques. *International journal of prosthodontics*. 2017: p. 348-353.
53. R Diwan, Y Talic, N Omar, W Sadiq. The effect of storage time of removable partial denture wax pattern on the accuracy of fit of the cast framework. *Journal of prosthetic dentistry*. 1997 April: p. 375-381.
54. M Ali, R I Nairn, M Sherriff, N E Waters. The distortion of cast cobalt-chromium alloy partial denture frameworks fitted to a working cast. *Journal of prosthetic dentistry*. 1997 October: p. 419-424.
55. M A Stern, J S Brudvik, R P Frank. Clinical evaluation of removable partial denture rest seat adaptation. *Journal of prosthetic dentistry*. 1985 May: p. 658-662.

