



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Διπλωματική εργασία
Συντήρηση & προδιαγραφές 3D εκτυπωτών για ιατρική
χρήση

Φοιτητής: Βασίλης Καλτσάς
Αριθμός Μητρώου: 48014029

Επιβλέπων Νεκτάριος Καλύβας, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ
2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Νεκτάριος Καλύβας

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Ιωάννης Βαλαής

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Χρήστος Μιχαήλ

Αναπληρωτής Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων **Καλτσά Βασίλης** του **Χριστάκη**, με αριθμό μητρώου **48014029** φοιτητής του Τμήματος **Μηχανικών Βιοϊατρικής** της Σχολής **Μηχανικών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ημερομηνία

27/3/2024

Ο Δηλών

Καλτσά Βασίλης

A handwritten signature in black ink, consisting of the letters 'K' and 'B' intertwined, with a long horizontal stroke extending to the left.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κύριο Νεκτάριο Καλύβα, ο οποίος με βοήθησε από την πρώτη στιγμή που ανέλαβα την εργασία για να την φτάσω εις πέρας και γενικά σε όλη μου την φοιτητική πορεία στα μαθήματά του.

Στην συνέχεια, θα ευχαριστήσω και η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου και στην κοπέλα μου, οι οποίοι με στήριξαν ψυχολογικά σε όλη μου την φοιτητική πορεία και ειδικά τώρα με την εργασία, για να φτάσω στο τέλος και να καταφέρω να την ολοκληρώσω και να πάρω το πτυχίο.

Τέλος, αυτή η εργασία είναι αφιερωμένη και στον εαυτό μου γιατί μετά από 10 χρόνια φοίτησης στην σχολή, μετά από τις πολλές αλλαγές που έγιναν λόγω της πολυτεχνοποίησης και λόγω της καραντίνας, δεν τα παράτησε και βλέπει ότι οι κόποι του ανταμείβονται, κερδίζοντας μία δουλειά πάνω στον τομέα της βιοϊατρικής μέσω της πρακτικής άσκησης, και το πτυχίο που σε λίγο καιρό θα το κρατάει στα χέρια του περήφανα για τα όσα πέρασε.

Περίληψη

Η τρισδιάστατη εκτύπωση συστημάτων χορήγησης φαρμάκων και ιατρικών συσκευών χρησιμεύει ως ελκυστικό εργαλείο για την παραγωγή προσαρμοσμένου προϊόντος. Οι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης αποκτούν σημασία στον τομέα των φαρμακευτικών και ιατρικών εφαρμογών λόγω της δυνατότητας ταχείας προετοιμασίας εξατομικευμένων αντικειμένων που μπορούν να εφαρμοστούν σε εξατομικευμένη θεραπεία ή ιατρική. Η χρήση ζωντανών κυττάρων επιτρέπει το σχηματισμό βιοϋλικών για την αναπαραγωγή αγγειωμένων ιστών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμφύτευση, έλεγχο φαρμάκων καθώς και για μοντελοποίηση ασθενειών. Με την κατάλληλη γνώση εξοπλισμού και τη χρήση των σωστών υλικών, η βιομηχανική τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να γίνει αποτελεσματική.

Λέξεις-Κλειδιά: τρισδιάστατη εκτύπωση, προδιαγραφές, ασφάλεια, συντήρηση

Abstract

3D printing of drug delivery systems and medical devices serves as an attractive tool for the production of customized products. 3D printing methods are gaining importance in the field of pharmaceutical and medical applications due to the ability to quickly prepare personalized objects that can be applied in personalized therapy or medicine. This promising technology offers flexibility in composition that is difficult to achieve with conventional technological processes. The use of living cells allows the formation of biomaterials for the reproduction of vascular tissues that can be used for implantation, drug control as well as for modeling diseases. With the right equipment, knowledge and the use of the right materials, industrial 3D printing can become effective.

Keywords: 3D printing, specifications, security, maintenance

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
Περίληψη.....	5
Abstract	6
Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 1: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ.....	10
1.1 Ανάπτυξη τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	10
1.2 Βιοϊατρικές Εφαρμογές.....	10
1.2.1 Εξατομικευμένη φαρμακοθεραπεία.....	10
1.3 Μοντέλα για χειρουργικό σχεδιασμό και εκπαίδευση.....	13
1.4 Ανάπτυξη τεχνητών οργάνων	13
Κεφάλαιο 2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ.....	14
2.1 Αρχές λειτουργίας τρισδιάστατων εκτυπωτών.....	14
2.1.1 Στέρεο λιθογραφία.....	14
2.1.2 Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης	14
2.1.3 Επιλεκτική τήξη με λέιζερ.....	14
2.1.4 Ηλεκτρονική τήξη δέσμης (EBM).....	15
2.1.5 Κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων.....	15
2.2 Πολυγαλακτικό οξύ PLA	15
2.2.1 Άμεση πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μετάλλων (DMLS)	15
2.2.2 Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (SLS).....	16
2.2.3 Ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP).....	16
2.2.4 Multi Jet Fusion (MJF)	16
2.3 Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται σε έναν 3d εκτυπωτή.....	17
2.3.1 Νάilon.....	17
2.3.2 ABS	17
2.3.3 Ρητίνη	17
2.3.4 Χρυσό και ασήμι.....	17
2.3.5 Ανοξείδωτο ατσάλι	17
2.3.6 Τιτάνιο	18
2.3.7 Κεραμικά.....	18
Κεφάλαιο 3: 3D PRINTING ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ.....	19
3.1 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές στο εμπόριο	19
3.2 Προδιαγραφές για έναν καλό εκτυπωτή για ιατρική χρήση.....	25
Κεφάλαιο 4: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ.....	29
4.1 Μελέτη περίπτωσης Bio X για την ασφάλεια του τρισδιάστατου εκτυπωτή	29

4.2 Τα βήματα για την διατήρηση ασφαλείας για την αποτελεσματικότητα της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	31
4.3 Συντήρηση τρισδιάστατων εκτυπωτών	32
4.3.1 Λίπανση του 3D εκτυπωτή.....	34
4.3.2 Διατήρηση της πλάκα κατασκευής ως καθαρή	35
4.3.3 Διατήρηση του εξωθητήρα ως καθαρό.....	36
4.3.4 Σφίξιμο των βιδών της τροχαλίας.....	36
4.3.5. Καθαρό ακροφύσιο νήματος.....	37
4.3.6 Ενημέρωση του λογισμικού του εκτυπωτή 3D	38
4.3.7 Αντικατάσταση της περιοχής δόμησης-επιφάνειας.....	38
4.3.8 Αντικατάσταση των φίλτρων ή χαλασμένων εξαρτημάτων	39
4.3.9 Τελικό αποτέλεσμα συντήρησης 3D εκτυπωτή	39
Κεφάλαιο 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 3D PRINTING	41
5.1 Εφαρμογές και τεχνικές προδιαγραφές	41
5.1.1 Εφαρμογές εκτύπωσης υλικών οδοντιατρικής	41
5.1.2 Εφαρμογές εκτύπωσης χειρουργικών εργαλείων και ορθοπεδικών υλικών ...	50
5.1.3 Έρευνα εκτύπωσης ιστών μυοκαρδίου.....	57
Κεφάλαιο 6: ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΑΝΩ ΣΤΟ 3D PRINTING 6.1 3D printing.....	61
6.2 3D printing bone tissue	62
6.3 3D printing in bone grafts.....	62
6.4 3D printing osteochondral tissue.....	65
6.5 4d printing bioprinting	66
6.6 Cranioplastry.....	67
6.7 3D printing bone dental	69
Συμπεράσματα	71
Βιβλιογραφία.....	73

Εισαγωγή

Σε αντίθεση με παραδοσιακές μεθόδους, η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια τεχνική που δημιουργεί τρισδιάστατα αντικείμενα χτίζοντας διαδοχικά στρώματα πρώτης ύλης όπως μέταλλα, πλαστικά, και κεραμικά. Τα αντικείμενα παράγονται από ψηφιακό αρχείο. Οι προσεγγίσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να διαφέρουν όσον αφορά τον τρόπο εναπόθεσης των στρωμάτων και τον τύπο των υλικών που χρησιμοποιούνται. Στην αγορά διατίθεται ποικιλία τρισδιάστατων εκτυπωτών, με διαφορετικό κόστος και προδιαγραφές (Chung et al, 2021).

Μέχρι σήμερα, τα περισσότερα προϊόντα που έχουν αξιολογηθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (FDA) και αναπτύχθηκαν μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης ήταν ιατρικές συσκευές όπως ορθοπαιδικά εμφυτεύματα (περισσότερα από 100 έχουν αναθεωρηθεί). Μια τέτοια προσέγγιση παραγωγής προσφέρει αρκετά κλινικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές έχουν χρησιμοποιήσει τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης για να δημιουργήσουν συσκευές με πολύπλοκες γεωμετρίες, όπως αντικαταστάσεις γονάτων με πορώδη δομή, που μπορεί να διευκολύνει την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση των ιστών (Jandyal et al, 2021)

Βασικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον τομέα της υγείας, καθώς και η ανάλυση των προδιαγραφών και της συντήρησης των τρισδιάστατων εκτυπωτών για ιατρική χρήση. Αξίζει να σημειωθεί ότι γίνεται και αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται στους τρισδιάστατους (3D) εκτυπωτές για ιατρική χρήση. Επιπλέον, αξίζει να γίνει αναφορά και στην μελέτη της κυρίας Στεφανίδου Γεωργίας με τίτλο “Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην ιατρική” που ολοκληρώθηκε στις 18 Ιουλίου του 2023, στην οποία κάνει αναφορά στην γενική χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης και των 3D εκτυπωτών στην ιατρική.

Κεφάλαιο 1: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ

1.1 Ανάπτυξη τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης

Οι κύριες τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης βασίζονται σε στερεοποίηση σε σκόνη, υγρή στερεοποίηση και εξώθηση (Jamróz et al, 2018). Η προετοιμασία του τρισδιάστατου αντικειμένου πριν την εκτύπωση περιλαμβάνει την σχεδίαση σε κατάλληλο λογισμικό, την εξαγωγή του σε μία μορφή που μπορεί να διαβάσει ο τρισδιάστατος εκτυπωτής π.χ. STL που περιλαμβάνει μόνο τρισδιάστατη γεωμετρία σε μορφή δεδομένων θέσης κάθε κορυφής ή OBJ στο οποίο κωδικοποιούνται επιπλέον πληροφορίες σχετικά με πολυγωνικές όψεις ή χρωματική υφή. Μετά ακολουθεί η εισαγωγή του αρχείου στο λογισμικό και η δημιουργία επιπέδων που θα εκτυπωθούν. Το ύψος του τυπωμένου στρώματος επηρεάζει ουσιαστικά την ποιότητα του εκτυπωμένου αντικειμένου καθώς και τον χρόνο εκτύπωσης και τέλος την κατασκευή του αντικειμένου με επακόλουθη εφαρμογή των στρώσεων υλικού (Jamróz et al, 2018).

Οι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης αποκτούν σημασία στον τομέα των φαρμακευτικών και ιατρικών εφαρμογών λόγω της δυνατότητας ταχείας προετοιμασίας εξατομικευμένων αντικειμένων που μπορούν να εφαρμοστούν σε εξατομικευμένη θεραπεία ή ιατρική. (Jamróz et al, 2018).

1.2 Βιοϊατρικές Εφαρμογές

Λόγω της δυνατότητας χρήσης διαφόρων υλικών, οι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών στην ιατρική π.χ. για την κατασκευή χωρικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στη μηχανική ιστών καθώς και στη φαρμακευτική για την παρασκευή τέτοιων μορφών δοσολογίας όπως δισκία, κάψουλες, εμφυτεύματα ή διασπειρόμενα στο στόμα φιλμ (Khaled et al, 2015).

1.2.1 Εξατομικευμένη φαρμακοθεραπεία

Η ιδέα της πιο εξατομικευμένης φαρμακοθεραπείας έχει αναπτυχθεί εδώ και πολλά χρόνια, ωστόσο το νόημά της δεν ήταν ποτέ μεγαλύτερο όσο σήμερα. (Sandler et al, 2016). Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την εξατομίκευση του φαρμάκου στο

σωματικό βάρος και τον τρόπο ζωής του ασθενούς με προσαρμογή της δόσης και της μορφής δοσολογίας π.χ. δισκία διασπειρόμενα στο στόμα αντί για συμβατικά δισκία για ενεργούς ή μη συμμορφούμενους ασθενείς, με πιθανό χαμηλότερο συνολικό κόστος. (Khaled et al, 2015, Zajicek et al, 2013). Επιπλέον η τρισδιάστατη εκτύπωση δίνει τη δυνατότητα παραγωγής δισκίων με περισσότερες από μία δραστικές ουσίες που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες και με διαφορετικά προφίλ διάλυσης. (Jamróz et al, 2018).

Αν και οι στερεές από του στόματος δοσολογικές μορφές έχουν μελετηθεί ευρέως, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε επίσης για την κατασκευή διαδερμικού συστήματος χορήγησης φαρμάκων (Fu et al, 2018).

Οι συσκευές τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να χρησιμοποιούνται για την επούλωση τραυμάτων, να αναπτύσσουν τεχνητά όργανα και να δημιουργούν χειρουργικά μοντέλα ασθενειών. Στα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης ανήκει η υψηλή ανάλυση, η καλή σταθερότητα, η αποτελεσματική θεραπεία, ο ακριβής σχεδιασμός, το αισθητικό και λειτουργικό αποτέλεσμα, η μείωση των επιπλοκών και η μείωση χρόνου και κόστους χειρουργικών διαδικασιών. Ακόμη, οι συσκευές τρισδιάστατης εκτύπωσης βιολογικής βάσης ασχολούνται με τον χόνδρο των αρθρώσεων καθώς και με την βιορομποτική και τις αντλίες καρδιάς. Στα πλεονεκτήματα τους ανήκει, η υψηλή ανάλυση, η καλή σταθερότητα, τα χαμηλά κόστη, η μείωση ρίσκου απόρριψης οργάνου κατά την μεταμόσχευση καθώς και η ενίσχυση των διαγνωστικών εργαλείων.

1.2.1.1 Πρόσφατες εξελίξεις σε 3D επιδέσμους τραυμάτων

Μία από τις προσεγγίσεις βελτίωσης των λειτουργιών των επιδέσμων τραυμάτων είναι η χρήση τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης για κατασκευή βιοαποδομήσιμων επιδέσμων πολλαπλών υλικών και επιδέσμων πληγών που εκκλύουν φάρμακα. (Nadhif et al, 2021).

1.2.1.2 3D εκτύπωση κεραμικών εμφυτευμάτων

Η τρισδιάστατη εκτύπωση σε σκόνη (3DP) είναι ελκυστική για την άμεση κατασκευή βιοκεραμικών εμφυτευμάτων και ικριωμάτων από ένα αρχείο σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή με τοπική εναπόθεση ενός συνδετικού υγρού σε λεπτές στρώσεις σκόνης. Τα προσαρμοσμένα κεραμικά εμφυτεύματα μπορούν να κατασκευαστούν με

3DP χρησιμοποιώντας δεδομένα τομογραφίας υπολογιστή που λαμβάνονται από έναν ασθενή, ενώ περαιτέρω τροποποίηση φαρμάκων τέτοιων εμφυτευμάτων μπορεί να επιτευχθεί είτε επί τόπου είτε μετά την εκτύπωση. Η εξαιρετική βιολογική *in vitro* και *in vivo* συμπεριφορά των τρισδιάστατων εκτυπωμένων βιοκεραμικών μαζί με την επεξεργασία σε συνθήκες περιβάλλοντος μπορεί να δώσει την ευκαιρία να παραχθούν άμεσα εμφυτεύματα με κυτταρικό σπόρο ειδικά για τον ασθενή για επιταχυνόμενη και ενισχυμένη οστική αναγέννηση στο μέλλον (Vorndran et al, 2015).

1.2.1.3 Το φάσμα των τρισδιάστατων εκτυπωμένων χειρουργικών μοντέλων

Τα χειρουργικά μοντέλα είναι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις των ανατομικών δομών σε μια συγκεκριμένη περιοχή του ασθενούς, συνήθως τη ζώνη όπου πρόκειται να γίνει η χειρουργική επέμβαση ή τη διαδρομή προς αυτήν μέσω του σώματος. Στο μακρινό παρελθόν οι χειρουργοί έπρεπε να βασίζονται αποκλειστικά στις ανατομικές τους γνώσεις για το ανθρώπινο σώμα και να καταλαβαίνουν τα πράγματα καθώς προχωρούσαν στην επέμβαση. Όμως, με την έλευση της τεχνολογίας των υπολογιστών, οι χειρουργοί μπόρεσαν να κατασκευάσουν και να χρησιμοποιήσουν ψηφιακά μοντέλα της περιοχής επέμβασης για να εξοικειωθούν πριν από την πραγματική επέμβαση. Στη συνέχεια, πιο πρόσφατα, προέκυψε η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης χειρουργικών μοντέλων. Σε αυτή την προσέγγιση οι μαλακοί ιστοί εκτυπώνονται τρισδιάστατα σε τμήματα ή ολόκληρα και παρέχονται στους χειρουργούς (Stevenson, 2021).

1.2.1.4 3D βιοεκτύπωση κυττάρων, ιστών και οργάνων

Η τρισδιάστατη βιοεκτύπωση έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη νέα προσέγγιση για την κατασκευή πολύπλοκων βιολογικών κατασκευών στον τομέα της μηχανικής ιστών και της αναγεννητικής ιατρικής. (Dey et al, 2020).

1.2.1.5 4D βιοεκτύπωση για Βιοϊατρικές Εφαρμογές

Η τρισδιάστατη βιοεκτύπωση έχει βρει ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς της μηχανικής και της βιοϊατρικής. Πρόσφατα, η τεχνική εξελίχθηκε ως «4D βιοεκτύπωση», όπου τα τυπωμένα αντικείμενα μπορούν να αλλάξουν τα σχήματα ή τις λειτουργίες τους με την πάροδο του χρόνου όταν ένα εξωτερικό ερέθισμα επιβάλλεται. (Gao et al, 2016).

1.2.1.6 Βιορομποτική

Οι βιορομποτικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται συχνά για την παροχή βοήθειας για την αντιμετώπιση μιας ανεπάρκειας, είτε ως πλήρως λειτουργικά ρομπότ, είτε ως εξαιρετικά προηγμένα προσθετικά. Το τελευταίο αντιπροσωπεύει μια περιοχή στην οποία η νευρωνική μηχανική και η βιορομποτική τέμνονται καθώς απαιτούνται και οι δύο κλάδοι προκειμένου πρώτα να σηματοδοτήσουν και στη συνέχεια να δημιουργήσουν κίνηση. (Embs.org, 2021).

1.3 Μοντέλα για χειρουργικό σχεδιασμό και εκπαίδευση

Ένα από τα παραδείγματα χρήσης τρισδιάστατων ιατρικών μοντέλων είναι η κατασκευή μοντέλων ήπατος, όπου ασθενής υποβλήθηκε σε επιτυχή επακόλουθη λαπαροσκοπική δεξιά ημιηπατεκτομή. Επίσης δύναται να μοντελοποιηθούν για μελέτη νεφρικές κακοήθειες (Zein et al, 2013) (Cheung et al, 2014) (Marks et al, 2017).

1.4 Ανάπτυξη τεχνητών οργάνων

Οι ανεπάρκειες οργάνων που σχετίζονται με τη γήρανση, τις ασθένειες ή τα ατυχήματα είναι ένα σοβαρό ιατρικό πρόβλημα το τελευταίο έτος. Πρόσφατα, η κατασκευή πολυστρωματικών αντικειμένων κατασκευασμένων από μαλακά βιολογικά υλικά, πιστεύεται ότι είναι μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες. Το μέλλον της ιατρικής με επίκεντρο τον ασθενή διερευνάται τώρα ως προς την ανάπτυξη βιολογικών κατασκευών που είναι σε θέση να αποκαταστήσουν την αρχιτεκτονική και τις λειτουργίες των ιστών (Skardal et al, 2015), (Cui et al, 2017).

Κεφάλαιο 2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ

2.1 Αρχές λειτουργίας τρισδιάστατων εκτυπωτών

Οι αρχές σχεδιασμού της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι η Στέρεο λιθογραφία, η Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης, η Επιλεκτική τήξη με λέιζερ, η Ηλεκτρονική τήξη δέσμης καθώς και η Κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων (Thakar et al, 2021).

Επιπλέον, ορισμένες ακόμα τεχνικές 3D εκτύπωσης είναι η Άμεση πυροσυσσώματωση με λέιζερ μετάλλων (DMLS) , η Επιλεκτικής πυροσυσσώματωσης λέιζερ (SLS) , η Ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP) , και η Multi Jet Fusion (MJF)

2.1.1 Στέρεο λιθογραφία

Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει το υγρό και το υπεριώδες φωτοπολυμερικό φως, το οποίο στη συνέχεια στερεοποιείται και κάνει το μοντάλ όταν το υπεριώδες φως χτυπά με το φωτοπολυμερές. Η στερεοφωνική λιθογραφία είναι ένα είδος τεχνικής τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων, πρωτοτύπων, μοτίβων λειτουργίας στρώμα προς στρώμα χρησιμοποιώντας φωτοπολυμερισμό, μια τεχνική μέσω της οποίας το φως συνδέει μοριακές αλυσίδες και σχηματίζει πολυμερή. Στη συνέχεια αυτά τα πολυμερή σχηματίζουν μια τρισδιάστατη στερεά οντότητα. (Thakar et al, 2021).

2.1.2 Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης

Το μοντέλο κατασκευάζεται με αυτήν την τεχνολογία με την εξώθηση μικρών περιλών υλικού που στερεοποιούνται σε στρώματα. Ένα πρόγραμμα λογισμικού παραγωγής με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM) που λειτουργεί σε έναν μικροελεγκτή μπορεί να αφαιρέσει την κεφαλή τόσο σε κάθετους όσο και σε οριζόντιους αισθητήρες και να ρυθμίσει τον μηχανισμό (Valchanov, 2017).

2.1.3 Επιλεκτική τήξη με λέιζερ

Το υλικό πούδρας που χρησιμοποιείται στον εκτυπωτή στη συνέχεια τήκεται αντί να συνδυάζεται. Η τήξη μπορεί να λάβει χώρα μεμονωμένα ή με ένα υπόστρωμα μέσω της χαλάρωσης ή μερικής τήξης των σωματιδίων σκόνης. Με αυτόν τον τρόπο, η

τήξη συμβαίνει όταν το ιξώδες των κόκκων πέφτει με μια διεπιφανειακή σύνδεση μεταξύ των κόκκων χωρίς την πλήρη τήξη της θερμοκρασίας (Valchanov, 2017).

2.1.4 Ηλεκτρονική τήξη δέσμης (EBM)

Στη διαδικασία EBM, η στρώση προς στρώμα μεταλλικής σκόνης που διαμορφώνεται από μια ισχυρή δέσμη ηλεκτρονίων δημιουργεί εντελώς πυκνά μεταλλικά συστατικά. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλη ενέργεια με μεγάλη ικανότητα τήξης και υψηλή παραγωγικότητα χάρη στην τεχνική EBM. (Council et al, 2014). Λόγω της οξείδωσης που θέτει σε κίνδυνο υλικά υψηλής αντίδρασης, η διαδικασία γίνεται σε θάλαμο κενού, αφού το αντικείμενο έχει δημιουργηθεί πορηγουμένως από μοντέλο CAD.

2.1.5 Κατασκευή πλαστικοποιημένων αντικειμένων

Τα ελάσματα από χαρτί, πλαστικό ή μέταλλο συναρμολογούνται σταδιακά και κόβονται σε κατάλληλη μορφή με κόπτες λείζερ. Τα τυπωμένα αντικείμενα μπορούν να προσαρμοστούν μετά τη διαδικασία εκτύπωσης με μηχανική κατεργασία. Η τυπική ανάλυση στρώσης αυτής της μεθόδου υπαγορεύεται από την πρώτη ύλη υλικών και είναι συνήθως με πολλά παχιά φύλλα (Klift et al, 2016).

2.2 Πολυγαλακτικό οξύ PLA

Το Fusion Deposition Modeling (FDM) είναι ένα ιδιαίτερα πρότυπο τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης. Είναι πιθανό να ληφθούν νήματα διαφόρων τύπων, καθώς και βιοσύνθετα νημάτια. Το Fusion Deposition Modeling (FDM), αποτελεί μια διαδικασία πρόσθετης κατασκευής (AM) που χρησιμοποιεί ένα θερμοπλαστικό νήμα για την κατασκευή εξαρτημάτων στρώμα προς στρώμα, τείνει να είναι μια επιλογή χαμηλού κόστους. Το πολυγαλακτικό οξύ (PLA) είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο θερμοπλαστικό και οι φυσικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πληρωτικό υλικό (Arockiam et al, 2021).

2.2.1 Άμεση πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μετάλλων (DMLS)

Η άμεση πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ μετάλλων (DMLS) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη εκτύπωση μετάλλων. Σε αυτή τη διαδικασία, η μεταλλική σκόνη με διάμετρο της τάξης των 20 μm, λιώνει πλήρως με τη σάρωση μιας δέσμης λέιζερ υψηλής ισχύος, χωρίς την χρήση παράγοντα ροής. Το αποτέλεσμα που προκύπτει έχει τις ίδιες ιδιότητες με το αρχικό υλικό. Διακρίνεται για την υψηλή

ανάληψη λεπτομέρειας λόγω της χρήσης λεπτότερων στρωμάτων, που επιτρέπονται από τη χρήση μικρότερης διαμέτρου σκόνης. (Martinho, 2021).

2.2.2 Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (SLS)

Η τεχνική της 3D εκτύπωσης επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης λέιζερ (SLS) είναι μια δημοφιλής επιλογή λόγω του χαμηλού κόστους ανά ανταλλακτικό, της υψηλής και ταχείας παραγωγικότητας και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Είναι μια τεχνολογία πρόσθετης κατασκευής στην οποία χρησιμοποιείται λέιζερ υψηλής ισχύος για τη σύντηξη μικρών σωματιδίων σκόνης πολυμερούς σε μια στερεή δομή βάση ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την συγκεκριμένη τεχνική είναι ένα ισχυρό και λειτουργικό εξάρτημα.

2.2.3 Ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP)

Το DLP (Digital Light Processing) είναι μια τεχνική 3D εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για την ταχεία παραγωγή φωτοπολυμερών εξαρτημάτων και για την εκτύπωση περίπλοκων αντικειμένων ρητίνης. Είναι παρόμοια με το SLA με την διαφορά πως στην DLP χρησιμοποιείται μια προβαλλόμενη πηγή φωτός για ταυτόχρονη θεραπεία και ωρίμανση του στρώματος εκτύπωσης. Το τμήμα σχηματίζεται στρώμα-στρώμα.

2.2.4 Multi Jet Fusion (MJF)

Το Multi Jet Fusion (MJF) είναι μια τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης στην οποία παράγονται ακριβή και λεπτομερή σύνθετα μέρη με θερμοπλαστικά σε σκόνη. Διακρίνεται για την γρήγορη κατασκευή εξαρτημάτων για τελική χρήση. Τα τελικά εξαρτήματα που παράγονται χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, λεπτή ανάλυση χαρακτηριστικών και καλά καθορισμένες και σταθερές μηχανικές ιδιότητες.

2.3 Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται σε έναν 3d εκτυπωτή

Είναι γεγονός ότι με τα χρόνια, η βιομηχανία της τρισδιάστατης εκτύπωσης αναπτύσσεται και εισάγονται νέες εξελίξεις. Νέες μηχανές τρισδιάστατης εκτύπωσης αναπτύσσονται επίσης για την εκτύπωση διαφορετικών ειδών υλικών όπως πλαστικά, μέταλλα, σύνθετα υλικά και πολλά άλλα (Jandyal et al, 2021).

2.3.1 Νάιλον

Το νάιλον (γνωστό ως πολυαμίδιο) είναι ένα συνθετικό θερμοπλαστικό γραμμικό πολυαμίδιο και είναι το πιο κοινό πλαστικό υλικό. Είναι ένα πολύ γνωστό νήμα τρισδιάστατης εκτύπωσης λόγω της ευελιξίας, της αντοχής, της χαμηλής τριβής και της αντοχής στη διάβρωση. (Jandyal et al, 2021).

2.3.2 ABS

Το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) είναι ένα θερμοπλαστικό που χρησιμοποιείται συνήθως ως νήμα 3D εκτυπωτή. Είναι επίσης ένα υλικό που χρησιμοποιείται γενικά σε προσωπικές ή οικιακές τρισδιάστατες εκτυπώσεις και είναι κατάλληλο υλικό για τους περισσότερους τρισδιάστατους εκτυπωτές (Jandyal et al, 2021).

2.3.3 Ρητίνη

Η ρητίνη είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα υλικά στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Χρησιμοποιείται κυρίως σε τεχνολογίες όπως οι τεχνολογίες SLA, DLP, Multijet ή CLIP. (Jandyal et al, 2021).

2.3.4 Χρυσό και ασήμι

Σήμερα, είναι δυνατή η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιώντας χρυσό και ασήμι. Αυτά τα νήματα είναι ανθεκτικά υλικά και επεξεργάζονται σε μορφή σκόνης και χρησιμοποιούνται στη αργυροχρυσοχοία (Jandyal et al, 2021).

2.3.5 Ανοξειδωτο ατσάλι

Ο ανοξειδωτος χάλυβας εκτυπώνεται με σύντηξη ή πυροσυσσωμάτωση λέιζερ.. Επειδή ο ανοξειδωτος χάλυβας έχει να κάνει με τη δύναμη και τη λεπτομέρεια, είναι τέλειος για χρήση σε μινιατούρες, μπουλόνια και μπρελόκ (Jandyal et al, 2021).

2.3.6 Τιτάνιο

Το τιτάνιο είναι το ισχυρότερο και το ελαφρύτερο υλικό για τρισδιάστατη εκτύπωση. Αυτό το μέταλλο χρησιμοποιείται κυρίως σε τομείς υψηλής τεχνολογίας όπως η εξερεύνηση του διαστήματος, η αεροναυπηγική και ο ιατρικός τομέας (Jandyal et al, 2021).

2.3.7 Κεραμικά

Το κεραμικό δεν είναι επιρρεπές στη διάβρωση όπως άλλα μέταλλα ούτε φθείρεται όπως τα πλαστικά. Χρησιμοποιείται γενικά στην τεχνολογία Binder Jetting, SLA (Stereolithography) και DLP (Digital Light Processing) (Jandyal et al, 2021).

Κεφάλαιο 3: 3D PRINTING ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ

3.1 Τρισδιάστατοι εκτυπωτές στο εμπόριο

Η ανάπτυξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης περιλαμβάνει την παροχή υπηρεσιών εγκατάστασης, την προσφορά συμβουλευτικών λύσεων και την υποστήριξη πελατών, καθώς και τον χειρισμό πτυχών που σχετίζονται με τα πνευματικά δικαιώματα, την αδειοδότηση και την κατοχύρωση διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Η τρισδιάστατη εκτύπωση ωφελεί τους κατασκευαστές όσον αφορά τη δημιουργία πρωτοτύπων, τη σχεδίαση της δομής και των τελικών προϊόντων, τη μοντελοποίηση και τον χρόνο διάθεσης στην αγορά. Ως αποτέλεσμα, τα έξοδα παραγωγής έχουν μειωθεί σημαντικά και οι κατασκευαστές είναι σε θέση να προσφέρουν καλύτερα προϊόντα σε λογικές τιμές. (Chung et al, 2021).

Στον **Πίνακα 1** και στον **Πίνακα 2**, παρουσιάζονται οι κυριότεροι κατασκευαστές μοντέλων επιδαπέδιων και επιτραπέζιων τρισδιάστατων εκτυπωτών, αντίστοιχα, για βιοϊατρικές εφαρμογές.

Επίσης, στον **Πίνακα 3** έχει γίνει επιλογή ορισμένων από τα κυριότερα μοντέλα των Πινάκων 1 και 2, όπου φαίνεται και η εικόνα τους και παρέχεται η βασική περιγραφή τους με σκοπό τη σύγκριση των επιδόσεών τους.

Πίνακας 1 Επιδαπέδιοι τρισδιάστατοι βιοεκτυπωτές

Κατασκευαστής	Μοντέλα	Εφαρμογές
EOS GmbH Electro Optical Systems	Medical 3D printer EOS P 500, Medical 3D printer EOS P 770, Medical 3D printer FORMIGA P 110 Velocis, Orthodontic 3D printer EOS M 400-4,	Ορθοπεδικές (εμφυτεύματα), Ορθοδοντικές.

	Medical 3D printer EOS M 290	
Stratasys PolyJet	3D printer J750 & J850	Ιατρικός εξοπλισμός και ανατομικά μοντέλα
	Medical 3D printer J5 MediJet, Medical 3D printer Objet500 Connex 1	Ιατρικές (3D καρδιά), μοσχεύματα, Υλικά χειρουργείου, Οδοντιατρικές εφαρμογές.
Poietis	4D bioprinter NGB-R, 4D bioprinter NGB-C	Τομείς της μηχανικής ιστών (όπως δέρμα, οστά, χόνδροι κ.λπ.)
Wasp	Medical 3D printer Delta WASP 4070	Ιατρικά εμφυτεύματα, βιομηχανικές, ορθοπεδικές εφαρμογές
Lithoz	Medical 3D printer CeraFab System S65	Ιατρικά (κεραμικά εμφυτεύματα), ορθοπεδικές και οδοντιατρικές εφαρμογές
3D Systems	Dental 3D printer ProJet MJP 3600	Οδοντιατρικές


Creatbot	Creatbot PEEK-300	Βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές
Bright Laser Technologies CO., Ltd	Medical 3D printer BLT-S210, BLT-S400, BLT-S615, BLT-S815	Ορθοπαιδικά, εκμαγεία, stent καρδιολογικά






Πίνακας 2 Επιτραπέζιοι τρισδιάστατοι βιοεκτυπωτές

Κατασκευαστής	Μοντέλα	Εφαρμογές
Rapidshape GmbH	Hearing aid 3D printer HA30, Hearing aid 3D printer HA60	Για ακουστικά βαρηκοΐας
ASIGA	Hearing aid 3D printer PICO 2	Για ακουστικά βαρηκοΐας
CELLINK	BIO X, BIO X6, INKREDIBLE, Medical 3D printer Lumen X	Εκτύπωση ζωντανών κυττάρων και ιστών
Microlay	Hearing aid 3D printer Microlay Versus	Οδοντιατρικές
Carima Co., Ltd	Dental 3D printer IMD	Οδοντιατρικές


DENTAS	Dental 3D printer LMP200	Οδοντιατρικές
regenHU	3D bioprinter 3DDISCOVERY™ EVOLUTION	Εκτύπωση ζωντανών κυττάρων και ιστών
DENTICA A.E.	Medical 3D printer Form 3B	Οδοντιατρικές
Sinterit	Medical 3D printer Lisa Pro	Ιατρικές εφαρμογές (καρδιά κλπ.), Ορθοπεδικά εμφυτεύματα (άρθρωση γόνατου κλπ.)

Πίνακας 3: Σύγκριση μοντέλων τρισδιάστατων εκτυπωτών (Medicalexpro.com, 2021).

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΚΥΡΙΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΚΑΤΑΣΚΕΥ ΑΣΤΗΣ	ΕΙΚΟΝΑ
MEDICAL 3D PRINTER J750	Πάχος στρωμάτων: Οριζόντια δομικά στρώματα έως 14 microns Ακρίβεια: Έως 200 microns για πλήρες μέγεθος μοντέλου	Stratasys PolyJet	

<p>MEDICAL 3D PRINTER J5 MEDIJET</p>	<p>Πάχος στρωμάτων: Οριζόντια δομικά στρώματα έως 18 microns Ακρίβεια: <100 mm: ±150μ & > 100 mm: ±0.15%</p>	<p>Stratasys PolyJet</p>	
<p>MEDICAL 3D PRINTER OBJET500 CONNEX1</p>	<p>Πάχος στρωμάτων: Ψηφιακό υλικό: 30 micron Υψηλή ποιότητα: 16 micron Υψηλή ταχύτητα: 30 micron Ακρίβεια: 20-85 micron για χαρακτηριστικά <50 mm και έως 200 micron για πλήρες μέγεθος μοντέλου</p>	<p>Stratasys</p>	
<p>MEDICAL 3D PRINTER EOS P 500</p>	<p>Πάχος στρωμάτων: Οριζόντια δομικά στρώματα έως 120μm Ακρίβεια: 40 μm</p>	<p>EOS GmbH Electro Optical Systems</p>	
<p>MEDICAL 3D PRINTER EOS P 770</p>	<p>Πάχος στρωμάτων: 0.06 - 0.10 - 0.12 - 0.15 - 0.18 mm Ακρίβεια: 40 μm</p>	<p>EOS GmbH Electro Optical Systems</p>	
<p>3D BIOPRINTE R NGB-R & NGB-C</p>	<p>Πάχος στρωμάτων: 100μm Ακρίβεια: 10 μm</p>	<p>Poietis</p>	

			
HEARING AID 3D PRINTER HA30	Πάχος στρωμάτων: 100μm Ακρίβεια: 30μm	Rapidshape GmbH	
HEARING AID 3D PRINTER HA60	Πάχος στρωμάτων: 100μm Ακρίβεια: 59μm	Rapidshape GmbH	
DENTAL 3D PRINTER LMP200	Πάχος στρώματος: 15-100μm Ακρίβεια: 45 μm	DENTAS	
HEARING AID 3D PRINTER PICO 2	Πάχος στρώματος: 1μm Ακρίβεια: 50 μm	ASIGA	

<p>MEDICAL 3D PRINTER BLT-S600</p>	<p>Πάχος στρωμάτων: 20-100 μm Ακρίβεια: 600mm</p>	<p>Bright Laser Technologies CO., Ltd</p>	
---	---	---	---

3.2 Προδιαγραφές για έναν καλό εκτυπωτή για ιατρική χρήση

Η τρισδιάστατη εκτύπωση παρουσιάζει μοναδικές ευκαιρίες για βιοϊατρική έρευνα και ανάπτυξη ιατρικών προϊόντων, αλλά θέτει επίσης νέους κινδύνους και προκλήσεις επίβλεψης, επειδή επιτρέπει την αποκεντρωμένη παραγωγή εξαιρετικά εξατομικευμένων προϊόντων, ακόμα και προϊόντων υψηλού κινδύνου, όπως εμφυτεύσιμες συσκευές, από οργανισμούς ή άτομα που ενδέχεται να έχουν περιορισμένη εμπειρία με τους κανονισμούς του FDA (Food and Drug Administration) και άλλων φορέων πιστοποίησης. (Richardson, 2020).

Σύμφωνα με τις πληροφορίες του Οργανισμού Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψιν τα παρακάτω:

Πίνακας 4 Εννοιολογικό πλαίσιο για τρισδιάστατη εκτύπωση στο σημείο φροντίδας (U.S. Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health Additive Manufacturing Working Group; The American Society of Mechanical Engineers).

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<p>A) ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΠΟ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΑ ΥΓΕΙΑΣ</p>	<p>Οι συσκευές οι οποίες εμπίπτουν σε αυτή την περίπτωση ενέχουν ελάχιστο κίνδυνο βλάβης στους ασθενείς. Αυτό το πρότυπο καθορίζεται από τον FDA, αλλά περιλαμβάνει μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση ή την παροχή συμβουλών ασθενών.</p>
<p>B) ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΠΙΚΥΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΤΟ ΚΛΕΙΔΙ ΣΤΟ ΧΕΡΙ</p>	<p>Ο κατασκευαστής είναι απαραίτητο να λάβει έγκριση από τον FDA για το προϊόν του που θα χρησιμοποιηθεί στο σημείο φροντίδας, κάτι το οποίο απαιτεί απόδειξη ότι οι προδιαγραφές του προϊόντος τείνουν να πληρούνται όταν εκτυπώνεται 3D από τον τελικό χρήστη.</p>
<p>Γ) ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΠΙΚΥΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ: ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΩΝ ΥΓΕΙΑΣ</p>	<p>Αυτή είναι παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση, με τη διαφορά ότι η εγκατάσταση του σημείου φροντίδας ενδέχεται να υποβληθεί σε ακόμα πιο περίπλοκες διαδικασίες κατασκευής ή μετά την εκτύπωση. Η εγκατάσταση χρειάζεται ιδιαίτερα εκπαιδευμένο προσωπικό και κατάλληλο εξοπλισμό.</p>
<p>Δ) Ο ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ ΣΥΣΤΕΓΑΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΦΡΟΝΤΙΔΑΣ</p>	<p>Ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος για τις περισσότερες ή όλες τις πτυχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης του</p>

<p>E) Η ΜΟΝΑΔΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΓΙΝΕΤΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ</p>	<p>δικού του προσωπικού και εξοπλισμού.</p> <p>Ένα κέντρο εξυπηρέτησης συνήθως επιθυμεί όχι μόνο να εκτυπώσει αλλά και να ελέγξει τις δικές του λειτουργίες. Η μονάδα υγειονομικής περίθαλψης γίνεται κατασκευαστής τρισδιάστατων εκτυπώσεων και επομένως είναι υπεύθυνη για όλες τις κανονιστικές απαιτήσεις και για την ανάπτυξη, το σχεδιασμό και τη δοκιμή συσκευών.</p>
---	--

Όσον αφορά τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό του 3D εκτυπωμένου προϊόντος, μπορεί να χαρακτηριστούν ως ιατροτεχνολογικά προϊόντα ή αξεσουάρ σύμφωνα με τους ορισμούς που ορίζονται στη νομοθεσία για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα. Τα προϊόντα αυτά είναι απαραίτητο να πληρούν τις απαιτήσεις του κανονισμού της ΕΕ 2017/745, ο οποίος αντικατέστησε την Οδηγία 93/42/ΕΟΚ5 για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα.

Πιο συγκεκριμένα, τα αξεσουάρ ιατροτεχνολογικών προϊόντων, προορίζονται από τον κατασκευαστή να χρησιμοποιηθούν ειδικά για να επιτρέψουν τη χρήση ιατροτεχνολογικού προϊόντος, ενώ χαρακτηρίζονται ως συσκευές και πληρούν τις απαιτήσεις της νομοθεσίας για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει απαραίτητα για εξαρτήματα ιατροτεχνολογικών προϊόντων, τα οποία δεν έχουν ρυθμιστικό καθεστώς σύμφωνα με τις ιατρικές συσκευές (Ec.europa.eu, 2021).

Όταν η διαδικασία αξιολόγησης της συμμόρφωσης για το ιατροτεχνολογικό προϊόν βασίζεται στο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας των Κατασκευαστών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ακόλουθο εναρμονισμένο πρότυπο: EN ISO 13485:2016 Ιατρικές συσκευές - Συστήματα διαχείρισης ποιότητας - Απαιτήσεις για κανονιστικούς σκοπούς (ISO 13485:2016) EN ISO 13485:2016/AC:2018

Δεν υπάρχουν εναρμονισμένα πρότυπα που να ισχύουν ειδικά για εξαρτήματα που κατασκευάζονται με πρόσθετα που θα χρησιμοποιούνται στον τομέα των

ιατροτεχνολογικών προϊόντων. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα πρότυπα (Ec.europa.eu, 2021).

- Τα υφιστάμενα πρότυπα ασφαλείας που σχετίζονται με την κατασκευή και τη χρήση του συγκεκριμένου εξαρτήματος στον τομέα των ιατροτεχνολογικών προϊόντων ισχύουν ανεξάρτητα από τον τύπο του μηχανήματος/διαδικασίας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τους.
- Είναι σημαντικό να επιλέγονται τα σωστά υλικά για την ανάπτυξη των απαραίτητων εξαρτημάτων (π.χ. στην περίπτωση βαλβίδων αναπνευστήρα, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί δοκιμή συμβατότητας μεταξύ του υλικού και του υγρού εμπλουτισμένου οξυγόνου που θα χορηγηθεί)
- Είναι αρκετά σημαντικό να εφαρμόζονται κατάλληλες διεργασίες. Όπως για παράδειγμα καθαρισμός, αποστείρωση, αλλά και βιολογική αξιολόγηση στο κατασκευασμένο μέρος έτσι ώστε να διασφαλιστεί η απουσία χαλαρών σωματιδίων σκόνης και οποιονδήποτε άλλων επιβλαβών στοιχείων (Ec.europa.eu, 2021).

Το κόστος των οργάνων τρισδιάστατης εκτύπωσης αλλάζει με την πρόοδο της τεχνολογίας. Είναι γεγονός ότι έχει εκτυπωθεί με επιτυχία ζωντανός ιστός με έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή 1000 \$, ενώ οι πιο εξειδικευμένοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές κοστίζουν πάνω από 100.000 \$ (3DBiology.com. 2021).

Κεφάλαιο 4: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΤΗ

4.1 Μελέτη περίπτωσης Bio X για την ασφάλεια του τρισδιάστατου εκτυπωτή

Πολλές φορές οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, όπως στην περίπτωση του Bio X (Εικόνα 3). Οι εκτυπωτές BIO X αποτελούν την επόμενη γενιά βιοεκτυπωτών, φέρνοντας τους επιστήμονες πιο κοντά στο μέλλον της ιατρικής.

Περιέχουν λαμπτήρες UV για σκοπούς αποστείρωσης και σκλήρυνσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρήστης απαγορεύεται να κοιτάζει απευθείας τις λάμπες UV καθώς και να ακουμπάει τον 3d εκτυπωτή ενώ είναι αναμμένες οι λάμπες UV, αφού κάτι τέτοιο κινδυνεύει να προκαλέσει τραυματισμό.



Εικόνα 3 Τρισδιάστατος εκτυπωτής Bio X (Assets.thermofisher.com. 2021).

Οι εκτυπωτές BIO X θεωρούνται ιδιαίτερα εύχρηστοι και ευέλικτοι βιοεκτυπωτές. Με τα ενσωματωμένα χαρακτηριστικά που διαθέτουν σε συνδυασμό με το σύγχρονο λογισμικό BIO X είναι διαχειρίσιμα μέσω οθόνης αφής.

Οι βιοεκτυπωμένοι ιστοί χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη φαρμάκων, όπου οι ερευνητές μπορούν να δοκιμάσουν νέα πιθανές θεραπείες και να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητά τους σε πρώιμα στάδια. Χάρη σε αυτόν τον τύπο εκτυπωτή, νέα

φάρμακα και οι θεραπείες πρόκειται να αναπτυχθούν σε κλινικές δοκιμές πολύ πιο γρήγορα και με μείωση της πιθανότητας αποτυχίας. Επίσης, περιορίζονται οι ανάγκες κλινικών δοκιμών σε ζώα.

Στους εκτυπωτές BIO X, τόσο ο συμπιεστής όσο και η μονάδα ψύξης είναι ενσωματωμένοι, χωρίς να απαιτείται αύξηση του όγκου τους. Εντός του θαλάμου εκτύπωσης διασφαλίζεται το απαραίτητο αποστειρωμένο περιβάλλον.

Παρά το γεγονός ότι οι εκτυπωτές BIO X λειτουργούν αυτόνομα με απόλυτη επιτυχία, υφίσταται η δυνατότητα αύξησης της εκτέλεσης πρόσθετων λειτουργιών. Συγκεκριμένα, χάρη στη δυνατότητα σύνδεσης μέσω ενός βύσματος στο πίσω μέρος τους υπάρχει η δυνατότητα παροχής αέρα, εφόσον αυτό απαιτείται. Με τη σύνδεση της εξωτερικής παροχής αέρα, η εκτύπωση γίνεται υπό υψηλότερη πίεση από τα συνηθισμένα επίπεδα, γεγονός που σε συγκεκριμένες περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητο για βιομελάνια με υψηλότερο ιξώδες.

Οι εκτυπωτές BIOX μπορούν να κατασκευάσουν οποιοδήποτε τύπο κυττάρων (π.χ. ηπατοκύτταρα, κύτταρα μυελού των οστών (BMSCs) ή μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα (MSCs)), για χρήση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης εξειδικευμένων κυττάρων όπως χονδρο-κύτταρα ή ινοβλάστες ή και αγγειακών δικτύων.

Σημειώνεται ότι ο μη σωστά τοποθετημένος εξοπλισμός, όπως η κλίνη εκτύπωσης, οι κεφαλές εκτύπωσης ή οι κασέτες μπορεί να είναι επικίνδυνος. Τα λανθασμένα τοποθετημένα καλώδια, τα στόμια υγρών και τα στόμια αέρα μπορεί επίσης να είναι επικίνδυνα. Είναι σημαντικό να ελέγχεται ότι όλες οι συνδέσεις είναι σωστά συνδεδεμένες και ότι όλα τα εξαρτήματα έχουν καθοριστεί για τις προβλεπόμενες συνθήκες πίεσης, UV και θερμοκρασίας.

Επίσης, είναι απαραίτητο να φοριούνται πάντα προστατευτικά γυαλιά και γάντια και να προστατεύεται το περιβάλλον γύρω από το όργανο από άλλο προσωπικό κατά τη λειτουργία του BIO X. Όλος ο εξοπλισμός ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένων των προστατευτικών γυαλιών προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται κατά τη λειτουργία του συστήματος σκλήρυνσης με υπεριώδη ακτινοβολία ή του συστήματος αποστείρωσης με υπεριώδη ακτινοβολία.

Επίσης, επιβάλλεται πάντα να φοριούνται προστατευτικά γυαλιά και γάντια κατά το χειρισμό επικίνδυνων υλικών που μπορούν να απορροφηθούν από το δέρμα ή που είναι τοξικά, ελκυστικά, διαβρωτικά, αλλεργιογόνα, καρκινογόνα, επικίνδυνα για την αναπαραγωγή ή μεταλλαξιογόνα για τον άνθρωπο.

Σημειώνεται ότι είναι απαραίτητο να διαβάζονται πάντα πρώτα τα φύλλα δεδομένων ασφαλείας υλικού, τις ετικέτες συσκευασίας, τον κατάλογο του κατασκευαστή ή του αντιπροσώπου και να χρησιμοποιείτε επαρκή εξοπλισμό ασφαλείας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διαδικασία αποστείρωσης με χρήση UV, δεν επιτρέπεται να εισέρχεται το χέρι του χρήστη εντός του θαλάμου εκτύπωσης. Επίσης, απαγορεύεται να κοιτάζει απευθείας τη λάμπα UV. Σε αντίθετη περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης τραυματισμού (Assets.thermofisher.com. 2021).

Η διαδικασία αποστείρωσης με υπεριώδη ακτινοβολία θα σκοτώσει ή θα βλάψει τους ζωντανούς οργανισμούς μέσα στο θάλαμο εκτύπωσης. Είναι σημαντικό να μην έχει αφαιρεθεί οποιοδήποτε από τα κύτταρα ή τους ιστούς σας από το θάλαμο εκτύπωσης πριν ξεκινήσει η διαδικασία αποστείρωσης με υπεριώδη ακτινοβολία (Christensen et al, 2017).

Για να διασφαλιστεί ένα αποστειρωμένο περιβάλλον, το BIO X είναι εξοπλισμένο με σύστημα αποστείρωσης με υπεριώδη ακτινοβολία το οποίο θα δημιουργήσει έναν αποστειρωμένο θάλαμο εκτύπωσης ο οποίος στη συνέχεια διατηρείται αποστειρωμένος με την τεχνολογία Clean Chamber. Η CELLINK συνιστά την εκτέλεση της διαδικασίας αποστείρωσης με υπεριώδη ακτινοβολία πριν από κάθε συνεδρία βιοεκτύπωσης (Assets.thermofisher.com. 2021).

4.2 Τα βήματα για την διατήρηση ασφαλείας για την αποτελεσματικότητα της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Πρέπει το υλικό και το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ιατρικών εικόνων να είναι πιστοποιημένο. Η διαδικασία για τρισδιάστατη εκτύπωση πρέπει να είναι τμηματοποιημένη και σαφώς καθορισμένη. Ενδεχόμενες αλλαγές στο ανατομικό μοντέλο που πρόκειται να εκτυπωθεί πρέπει να γίνονται λαμβάνοντας υπόψη τα ιατρικά πρωτόκολλα και τον κατά περίπτωση ασθενή (Christensen et al, 2017).

Πρέπει να επιλεγεί κάθε φορά ο κατάλληλος εκτυπωτής, τα χαρακτηριστικά του και το υλικό εκτύπωσης. Επίσης, το εκτυπωμένο αντικείμενο πρέπει να χρησιμοποιείται από ειδικευμένο προσωπικό (Chareancholvanich et al, 2013), (Christensen et al, 2017).

4.3 Συντήρηση τρισδιάστατων εκτυπωτών

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια νέα τεχνολογία που βρίσκεται ακόμη σε διαδικασία ανάπτυξης. Τα επόμενα χρόνια θα υπάρξουν πολλές εξελίξεις που θα γίνουν στον τομέα της 3D εκτύπωσης. Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής απαιτεί συντήρηση από τους χρήστες του για να αποφύγει τις τακτικές επισκευές (3Printr.com. 2017).

Πρέπει να σημειωθεί ότι υφίστανται κατασκευαστικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων μοντέλων. Επομένως, θα υφίστανται και αποκλίσεις αναφορικά με τη διάγνωση και την επισκευή τους. Ορισμένοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές (π.χ. οι βιομηχανικοί) είναι περίπλοκοι. Συνεπώς, πάντα θα πρέπει οι χρήστες να συμβουλευούνται το εγχειρίδιο του συγκεκριμένου μοντέλου ή την τεχνική υπηρεσία της μάρκας του εκτυπωτή.

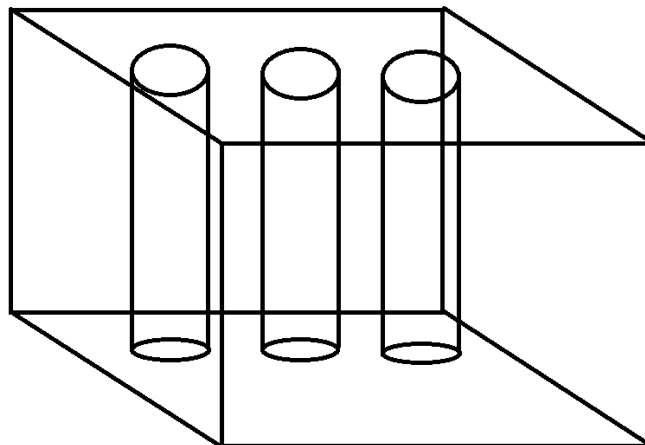
Για την τακτική συντήρηση οποιουδήποτε 3D εκτυπωτή, μπορεί να δημιουργηθεί ένα έντυπο με τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την διαδικασία της συντήρησης. Ένα τέτοιο έντυπο είναι και το παρακάτω:

Φύλλο συντήρησης 3D εκτυπωτή

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>				
<u>Σειριακός αριθμός:</u>				
<u>Μοντέλο:</u>				
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>				
<u>Ωρα:</u>				
<u>Διαδικασία συντήρησης</u>	<u>Pass</u>	<u>Fail</u>		
1) Λίπανση				
2) Έλεγχος πλάκας κατασκευής				
3) Έλεγχος εξωθητήρα				
4) Έλεγχος βιδών τροχαλίας				
5) Έλεγχος ακροφύσιου νήματος				
6) Software version				
7) Έλεγχος περιοχής δόμησης-επιφάνειας				
8) Έλεγχος φίλτρων				
9) Δοκιμαστική εκτύπωση ομοιώματος				
<u>Αποτελέσματα ελέγχου:</u>				

Τα παραπάνω βήματα συντήρησης αποτελούν την διαδικασία του ελέγχου και της συντήρησης κυρίως για τους επιτραπέζιους 3d εκτυπωτές και σε λιγότερες περιπτώσεις στους επιδαπέδιους.

Για την διαδικασία της συντήρησης, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια εντολή-οδηγία στον εκτυπωτή για εκτύπωση ομοιώματος ανά δίμηνο , όπως το ομοίωμα της παρακάτω εικόνας.



Ο σκοπός αυτός θα βοηθήσει στον εντοπισμό ατελειών που μπορεί να υπάρξουν στο αποτέλεσμα της εκτύπωσης. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία θα προκαθοριστεί ένας χρόνος της τάξης των 15 λεπτών πριν την διαδικασία , προκειμένου να γίνουν τα βήματα συντήρησης που αναφέρονται παραπάνω. Για το κάθε βήμα αναγράφονται παρακάτω και τα αντίστοιχα υλικά που χρησιμοποιούνται για το καλύτερο αποτέλεσμα.

4.3.1 Λίπανση του 3D εκτυπωτή

Καθώς ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής αποτελείται από πολλά μεταλλικά κινούμενα μέρη είναι σημαντική η λίπανση του εκτυπωτή 3D. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί λάδι ραπτικής, αλλά και άλλα λιπαντικά. (3Print.com. 2017).

Η συχνότητα λίπανσης των κινητών μερών ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τον τύπο του εκτυπωτή, το περιβάλλον, τη χρήση και την ποιότητα του λιπαντικού. Γενικά, ένας εκτυπωτής που εκτίθεται σε σκόνη, υγρασία ή σε μεταβολές στη θερμοκρασία μπορεί να χρειάζεται περισσότερη λίπανση από έναν εκτυπωτή που βρίσκεται σε καθαρό και σταθερό περιβάλλον. Ακόμη, αν ένας εκτυπωτής χρησιμοποιείται συχνά ή για εκτυπώσεις μεγάλης διάρκειας μπορεί να χρειάζεται περισσότερη λίπανση σε σχέση με έναν εκτυπωτή, ο οποίος χρησιμοποιείται περιστασιακά ή εν γένει για εκτυπώσεις μικρής διάρκειας. Επίσης, εφόσον χρησιμοποιείται λιπαντικό υψηλής ποιότητας σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή, ενδέχεται να χρειάζεται λιγότερο συχνή λίπανση σε σχέση με έναν εκτυπωτή που χρησιμοποιεί λιπαντικό χαμηλής ποιότητας. Σε γενικές γραμμές η λίπανση λαμβάνει χώρα κάθε 100 ώρες χρήσης. Ωστόσο, πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες του κατασκευαστή (airwolf3d.com).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>								
<u>Σειριακός αριθμός:</u>								
<u>Μοντέλο:</u>								
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>								
<u>Ώρα:</u>								
<u>1ο βήμα:</u>	Λίπανση							
<u>Σκοπός:</u>	Λόγω των κινούμενων μεταλλικών μερών του εκτυπωτή, απαιτείται η λίπανσή τους							
<u>Εργαλεία:</u>	Καθαριστικό επαφών , λάδι ραπτικής ή WD-40							
<u>Αποτέλεσμα:</u>								

4.3.2 Διατήρηση της πλάκα κατασκευής ως καθαρή

Διατηρώντας τα διάφορα εξαρτήματα του 3D εκτυπωτή σας καθαρά, θα διατηρηθεί σε λειτουργία και θα αυξηθεί η μακροζωία του. Μπορεί να υπάρχει μια κατάσταση όπου μερικά από τα κομμάτια μπορεί να μετατοπιστούν και να κολλήσουν σε άλλες περιοχές. Αυτό μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη λειτουργία του εκτυπωτή. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί διατηρώντας όλα τα μέρη του εκτυπωτή καθαρά (3Printr.com. 2017).

Κατά τη λήψη εκτυπώσεων από έναν εκτυπωτή 3D, θα απλωθεί κόλλα στην πλάκα κατασκευής για να αποφευχθεί το τύλιγμα των εκτυπώσεων. Λόγω της κόλλας, υπάρχει πιθανότητα κάποια ξένα σωματίδια ή λιωμένο πλαστικό να κολλήσουν στην πλάκα κατασκευής. Επομένως, συνιστάται ο καθαρισμός της πλάκας κατασκευής μετά τη λήψη μιας εκτύπωσης. Εάν η πλάκα δεν καθαριστεί, θα προκύψουν ακατάλληλες εκτυπώσεις. Γι' αυτό το λόγο, η πλάκα κατασκευής είναι αποσπώμενη. Μπορεί να καθαριστεί χρησιμοποιώντας ένα καθαρό πανί και βυθίζοντας την πλάκα σε ζεστό νερό (3Printr.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>	
<u>Σειριακός αριθμός:</u>	
<u>Μοντέλο:</u>	
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>	
<u>Ώρα:</u>	
<u>2ο βήμα:</u>	Έλεγχος πλάκας κατασκευής
<u>Σκοπός:</u>	Λόγω πιθανότητας ύπαρξης ξένων σωματιδίων ή κόλλας , απαιτείται καθαρισμός της πλάκας
<u>Εργαλεία:</u>	Ζεστό νερό για βύθιση της πλάκας και καθαρό πανί για στέγνωμα και καθαρισμό
<u>Αποτέλεσμα:</u>	

4.3.3 Διατήρηση του εξωθητήρα ως καθαρό

Γενικά στους τρισδιάστατους εκτυπωτές, το νήμα περνά μέσα από τους κυλίνδρους για εξώθηση στο ψυχρό άκρο του εξωθητήρα. Κατά τη στιγμή της εξώθησης ή της πλαστικής παραμόρφωσης, υπάρχουν μερικά σωματίδια που θα φθαρούν από το υλικό στους κυλίνδρους. Αυτά τα υλικά θα κολλήσουν σε αυτό. Για τον καθαρισμό των κυλίνδρων είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται ειδική βούρτσα η οποία θα διασφαλίσει την ομαλή λειτουργία του εξωθητήρα και τη δημιουργία ποιοτικών εκτυπώσεων (3Print.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>	
<u>Σειριακός αριθμός:</u>	
<u>Μοντέλο:</u>	
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>	
<u>Ώρα:</u>	
<u>3ο βήμα:</u>	Έλεγχος εξωθητήρα
<u>Σκοπός:</u>	Λόγω ύπαρξης σωματιδίων που θα φθαρούν από τους κυλίνδρους του εξωθητήρα και το υλικό θα κολλήσει πάνω σε αυτά, απαιτείται καθαρισμός του εξωθητήρα
<u>Εργαλεία:</u>	Ειδική βούρτσα και καθαριστικό επαφών
<u>Αποτέλεσμα:</u>	

4.3.4 Σφίξιμο των βιδών της τροχαλίας

Σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή, οι τροχαλίες είναι εγκατεστημένες στους άξονες X και Y. Καθώς αυτοί οι άξονες έχουν συνεχή κίνηση, θα οδηγήσουν σε κραδασμούς που θα χαλαρώσουν τις βίδες της τροχαλίας. Για αυτό το λόγο, οι χρήστες πρέπει να

κάνουν τακτικά σχετικούς ελέγχους και εφόσον χρειαστεί να σφίγγουν τις βίδες της τροχαλίας (3Print.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>									
<u>Σειριακός αριθμός:</u>									
<u>Μοντέλο:</u>									
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>									
<u>Ώρα:</u>									
<u>4ο βήμα:</u>	Έλεγχος βιδών τροχαλίας								
<u>Σκοπός:</u>	Λόγω χαλάρωσης από τους κραδασμούς που προκαλεί η συνεχή κίνηση των τροχαλιών								
<u>Εργαλεία:</u>	Κατσαβίδι ανάλογα με το σχήμα των βιδών ή νέες βίδες								
<u>Αποτέλεσμα:</u>									

4.3.5. Καθαρό ακροφύσιο νήματος

Οι χρήστες, καθαρίζοντας το ακροφύσιο νήματος του εκτυπωτή, διασφαλίζουν ότι δεν παρεμποδίζεται η ποιότητα εκτύπωσής του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ακόμη και το μικρότερο τσόκαρο θα κάνει τις σελίδες λιγότερο δομικά ήρεμες και θα επιδεινώσει ολόκληρο το σχέδιο (3Print.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>									
<u>Σειριακός αριθμός:</u>									
<u>Μοντέλο:</u>									
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>									
<u>Ώρα:</u>									
<u>5ο βήμα:</u>	Έλεγχος ακροφύσιου νήματος								
<u>Σκοπός:</u>	Για να μην παρεμποδιστεί η ποιότητα της εκτύπωσης από τυχόν ύπαρξη τσοκάρων								
<u>Εργαλεία:</u>	Πεπιεσμένος αέρας για τυχόν σκόνη και βουρτσάκι μικρό για καθαρισμό								
<u>Αποτέλεσμα:</u>									

4.3.6 Ενημέρωση του λογισμικού του εκτυπωτή 3D

Συστήνεται να ενημερώνεται τακτικά το λογισμικό του εκτυπωτή (3Printr.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>									
<u>Σειριακός αριθμός:</u>									
<u>Μοντέλο:</u>									
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>									
<u>Ώρα:</u>									
<u>6ο βήμα:</u>	Software version								
<u>Σκοπός:</u>	Ο εκτυπωτής να είναι ενημερωμένος και να λειτουργεί με τυχόν νέες λειτουργίες και δυνατότητες σύμφωνα με τον κατασκευαστικό οίκο								
<u>Εργαλεία:</u>	Ενημερωμένο λογισμικό από τον εκάστοτε κατασκευαστικό οίκο του εκτυπωτή								
<u>Αποτέλεσμα:</u>									

4.3.7 Αντικατάσταση της περιοχής δόμησης-επιφάνειας

Υφίσταται μεγάλη πιθανότητα να παρουσιαστούν γρατσουνιές στην επιφάνεια κατασκευής του εκτυπωτή. Το γεγονός αυτό έχει αντίκτυπο στην οπτική εμφάνιση των τρισδιάστατων κατασκευών. Γι' αυτό το λόγο, συστήνεται η αντικατάσταση της ταινίας στην επιφάνεια του εκτυπωτή από καινούργια εάν παρουσιασθούν φθορές. Εν γένει, πρόκειται για έναν από τους πιο εύκολους τρόπους συντήρησης ενός 3D εκτυπωτή (3Printr.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>									
<u>Σειριακός αριθμός:</u>									
<u>Μοντέλο:</u>									
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>									
<u>Ώρα:</u>									
<u>7ο βήμα:</u>	Έλεγχος περιοχής δόμησης-επιφάνειας								
<u>Σκοπός:</u>	Προκειμένου να μην υπάρξει αλοιώση στο αποτέλεσμα της εκτύπωσης								
<u>Εργαλεία:</u>	Πανί για καθαρισμό ταινίας ή νέα ταινία ύστερα από φθορές								
<u>Αποτέλεσμα:</u>									

4.3.8 Αντικατάσταση των φίλτρων ή χαλασμένων εξαρτημάτων

Τα φίλτρα αέρος στους 3D εκτυπωτές συμβάλλουν στην μείωση της συγκέντρωσης δυνητικά επιβλαβών σωματιδίων και αερίων που βρίσκονται στον αέρα. Κατά τη διαδικασία εκτύπωσης, ορισμένα υλικά (όπως π.χ. το πλαστικό ABS) εκπέμπουν πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και εξαιρετικά λεπτά σωματίδια (UFPs) που μπορεί να είναι επιβλαβή εφόσον εισπνευστούν. Γι' αυτό το λόγο, είναι σημαντικός ο έλεγχος της καλής λειτουργίας των φίλτρων των 3D εκτυπωτών, καθώς και η φυσική κατάσταση των μερών του. Εφόσον διαπιστωθούν φθορές, επιβάλλεται η αντικατάστασή τους (3Print.com. 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>									
<u>Σειριακός αριθμός:</u>									
<u>Μοντέλο:</u>									
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>									
<u>Ώρα:</u>									
<u>8ο βήμα:</u>	Έλεγχος φίλτρων								
<u>Σκοπός:</u>	Για να φιλτράρονται με σωστό τρόπο τα μέρη του εκτυπωτή και να αποφεύγεται η σκόνη								
<u>Εργαλεία:</u>	Νερό και ζεστό αέρα για καλό καθαρισμό και στέγνωμα								
<u>Αποτέλεσμα:</u>									

4.3.9 Τελικό αποτέλεσμα συντήρησης 3D εκτυπωτή

Αφού γίνουν όλα τα παραπάνω , μπορεί να ξεκινήσει η δοκιμαστική εκτύπωση του ομοιώματος. Ωστόσο, μπορεί το τελικό αποτέλεσμα να μην είναι το επιθυμητό. Για αυτό μπορεί και να χρειαστεί αντικατάσταση κάποιου εξαρτήματος. Παράδειγμα τέτοιων εξαρτημάτων είναι τα φίλτρα , η περιοχή δόμησης- επιφάνειας , οι βίδες της τροχαλίας λόγω χαλάρωσής τους με την πάροδο του χρόνου και των κραδασμών από την συνεχή κίνηση ή ακόμα και το ακροφύσιο του νήματος. Αφού αντικατασταθεί ένα ή οποιοδήποτε εξάρτημα θεωρηθεί ότι χρειάζεται αντικατάσταση , τότε προχωράμε ξανά στην δοκιμαστική εκτύπωση για να δούμε το τελικό αποτέλεσμα και να κριθεί αν ο εκτυπωτής είναι έτοιμος προς χρήση.

Τέλος, σε περίπτωση που ο τρισδιάστατος εκτυπωτής καταστραφεί με οποιονδήποτε τρόπο, είναι απαραίτητο να αποσυνδεθεί και να επικοινωνήσει ο χρήστης με την εταιρεία κατασκευής πριν από την περαιτέρω χρήση του εξοπλισμού (Christensen et al, 2017).

<u>Όνομασία Εκτυπωτή:</u>										
<u>Σειριακός αριθμός:</u>										
<u>Μοντέλο:</u>										
<u>Ημερομηνία συντήρησης:</u>										
<u>Ώρα:</u>										
<u>9ο βήμα:</u>	Δοκιμαστική εκτύπωση ομοιώματος									
<u>Σκοπός:</u>	Για να δούμε αν το αποτέλεσμα της εκτύπωσης είναι το επιθυμητό ή χρειάζονται αντικαταστάσεις εξαρτημάτων									
<u>Αποτέλεσμα:</u>										

Κεφάλαιο 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 3D PRINTING

5.1 Εφαρμογές και τεχνικές προδιαγραφές

5.1.1 Εφαρμογές εκτύπωσης υλικών οδοντιατρικής

Για την εκτύπωση οδοντιατρικών υλικών επιλέγεται η εταιρία **Formlabs**. Πρόκειται για μια ανερχόμενη και πολλά υποσχόμενη εταιρία που προσφέρει ένα μεγάλο φάσμα λύσεων τρισδιάστατης εκτύπωσης για κάθε ανατομία με τη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας υλικών και εφαρμογών που διατίθενται στον εκτυπωτή τρισδιάστατης εκτύπωσης **Form 3B+**. Δεν είναι τυχαίο ότι η Formlabs έχει συγκεντρώσει πάνω από 250 εκατομμύρια δολάρια από χορηγίες, προσελκύοντας το ενδιαφέρον των επενδυτών στη διεθνή αγορά.

Ο λόγος επιλογής της ανωτέρω εταιρίας είναι το γεγονός ότι η 3D εκτύπωση είναι προσβάσιμη σε όλους και βάσει των κριτικών, οι εκτυπωτές που διαθέτει κρίνονται ιδιαίτερα αξιόπιστοι, οικονομικοί και ισχυροί. Η απλή ροή εργασίας των εκτυπώσεων παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να χρησιμοποιούν τους εκτυπωτές της εταιρίας κατόπιν ελάχιστης εκπαίδευσης και ενημέρωσης. Άλλωστε, η Formlabs παρέχει δυνατότητες επικοινωνίας και εκπαίδευσης μέσω του διαδικτύου ή και δια ζώσης εφόσον ζητηθεί. Βάσει αυτών, διευκολύνεται και επιταχύνεται σημαντικά το έργο των ερευνητών, δεδομένου ότι η εταιρία προσφέρει τη δυνατότητα αδιάλειπτης χρήσης των μηχανημάτων που παρέχει.

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι το **PreForm**. Το εν λόγω λογισμικό, προσφέρεται από την εταιρία εντελώς δωρεάν, ώστε να μην ανησυχούν οι χρήστες για τις άδειες, τα ετήσια τέλη ή για την εγκατάστασή του.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται έχει εφαρμοστεί σε ροές εργασίας που καθορίζονται από τον FDA, ενώ αναπτύσσονται και κατασκευάζονται και υλικά από την ίδια την εταιρία. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η τρισδιάστατη εκτύπωση Στερεολιθογραφίας Χαμηλής ισχύος (Low Force Stereolithography - LFS). Η τεχνολογία έχει σχέση με μια προηγμένη μορφή Στερεολιθογραφίας (SLA). Χρησιμοποιείται ένα εύκαμπτο δοχείο σε συνδυασμό με πρόσπτωση γραμμικού φωτισμού, ώστε να μετατρέπεται η υγρή ρητίνη σε άψογα 3D εκτυπωτικά αποτελέσματα. Με την τεχνολογία LFS δίνεται έμφαση στις λεπτομέρειες των

επιφανειών των 3D εκτυπωμένων αντικειμένων, στο φινιρίσμά τους και στις δομές στήριξης των εξαρτημάτων τους.

Στην διαθέσιμη εργαλειοθήκη - βιβλιοθήκη της εταιρίας υφίστανται πάνω από είκοσι (20) βιοσυμβατά υλικά παρασκευής σύμφωνα με την προτυποποίηση κατά ISO 13485 και ISO 18562. Ενδεικτικά, μεταξύ άλλων χρησιμοποιούνται οδοντικές ρητίνες, όπου επιτρέπεται με υψηλή ακρίβεια και χαμηλό κόστος η ψηφιακή παραγωγή μιας σειράς οδοντιατρικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων χειρουργικών οδηγών, διαφόρων ορθοδοντικών μοντέλων: (οδοντοστοιχίες (μασέλες), δοκιμαστικά μασελάκια), νάρθηκες, συγκρατητές και ευθυγραμμιστές (σιδεράκια από πλαστικό ή/και μέταλλο).

Τα διαθέσιμα υλικά για τον εκτυπωτή **Form 3B+** είναι:

- **IBT Flex Resin 1 L (1.1 kg):** Το IBT Flex Resin αποτελεί ένα βιοσυμβατό υλικό Κατηγορίας I με βελτιωμένη ευελιξία, αντοχή και ημιδιαφάνεια. Το χρώμα του εγγύαται τα βέλτιστα δυνατά κλινικά αποτελέσματα, ενώ παρέχεται παράλληλα εξαιρετική εμπειρία στον ασθενή και για απρόσκοπτη και ακριβή μεταφορά ορθοδοντικών στηριγμάτων και επανορθωτικών σύνθετων υλικών. Οι εύκαμπτοι και ανθεκτικοί ημιδιαφανείς δίσκοι και οι οδηγοί τρισδιάστατης εκτύπωσης εξοικονομούν χρόνο, ενώ προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Εικόνα 6 Τεχνητή οδοντοστοιχία κατασκευασμένη από IBT Flex Resin (formlabs.com.2023).

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην εκτύπωση έχουν ως ακολούθως:

- Εφαρμογή: Οδοντική
- Υλικό: βιοσυμβατό
- Τεχνολογία εκτύπωσης: SLA (stereolithography). Η στερεολιθογραφία χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη ρητίνη σκληρυνόμενη με υπεριώδη ακτινοβολία. Η ρητίνη χύνεται σε ειδικό δοχείο με γυάλινο πυθμένα.
- Διαφάνεια: 85 % (δείγμα 2mm)
- Συνολική αντοχή λόγω καταπόνησης εφελκυσμού (Ultimate Tensile Strength): 8MPa
- Μέτρο εφελκυσμού: 7,2 MPa
- Χημική Απολύμανση (Chemical Disinfection): Με ισοπροπυλική αλκοόλη 70% για 5 λεπτά.

- **Grey Resin 1 L:** Χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη Standard Resins της εταιρίας. Με ματ φινίρισμα επιφάνειας, αδιαφανή εμφάνιση και ακριβείς λεπτομέρειες, οι εκτυπώσεις είναι έτοιμες για χρήση απευθείας από τον εκτυπωτή. Ο ουδέτερος τόνος τους αποτελεί εξαιρετική βάση για εξαρτήματα που εν συνεχεία βάφονται ή υποβάλλονται σε άλλες διαδικασίες φινιρίσματος. Η γκρι ρητίνη είναι ιδανική για πρωτότυπα γενικής χρήσης και για το σχεδιασμό και την αποτύπωση μικρών λεπτομερειών. Υποστηρίζει αναλύσεις εκτύπωσης: 160, 100, 50 και 25 microns.



Εικόνα 7 Τεχνητή οδοντοστοιχία κατασκευασμένη από Grey Resin (formlabs.com.2023).

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην εκτύπωση έχουν ως ακολούθως:

- Συνολική αντοχή καταπόνησης εφελκυσμού (Ultimate Tensile Strength): 65 MPa (με την μέθοδο: ASTM D638-14)
- Μέτρο εφελκυσμού (Tensile Modulus): 2,6 GPa (με την μέθοδο: ASTM D638-14)
- Επιμήκυνση (Elongation): 6%(με την μέθοδο: ASTM D638-14)
- Μέτρο κάμψης (Flexural Modulus): 2,2 GPa (με την μέθοδο: ASTM D638-14)
- Δοκιμασία κρούσης (Notched Izod): 25 J/m
- Θερμοκρασία εκτροπής θερμότητας* (Heat Deflection Temperature): 73 °C στα 0,45 MPa

** Παράμετρος που εκφράζει τη σχέση μεταξύ της θέρμανσης και της παραμόρφωσης του αντικειμένου δοκιμής.*

- **Model Resin 1 L:** Το Model Resin συνιστά υλικό ταχείας εκτύπωσης για την παραγωγή, με υψηλή ακρίβεια, μοντέλων επανορθωτικής οδοντιατρικής κι αποκατάστασης. Το Model Resin αναπτύχθηκε για να ανταποκρίνεται σε απαιτήσεις ακρίβειας, αξιοπιστίας και απόδοσης. Εκτυπώνονται με ακρίβεια μοντέλα και μήτρες, παρέχοντας γρήγορα αποτελέσματα με υψηλή ποιότητα. Υποστηρίζει αναλύσεις εκτύπωσης: 100 και 50 microns. Απαιτείται μεταπολυμερισμός. Η διαδικασία μεταπολυμερισμού συνδέεται με τον μετασχηματισμό - πολυμερισμό της υγρής ρητίνης που (συχνά) κρίνεται ως ατελής. Χρησιμοποιείται UV και ορατή ακτινοβολία, ώστε να γίνει ο πολυμερισμός πλήρης. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται το μοριακό βάρος των προπολυμερών κι ενισχύεται η μηχανική συμπεριφορά των εκτυπωμένων προϊόντων (Bayarsaikhan et al., 2021).

- **Castable Wax Resin 1 L:** Με γέμισμα κεριού 20%, το Castable Wax Resin προσλαμβάνει περίπλοκα χαρακτηριστικά και προσφέρει λεία επιφάνεια για ακριβή χύτευση με μηδενική περιεκτικότητα σε τέφρα και μεγάλη καθαρότητα. Τα τυπωμένα εξαρτήματα είναι αρκετά ανθεκτικά, ώστε να μπορούν να χειρίζονται χωρίς να απαιτείται μεταπολυμερισμός. Με αυτόν τον τρόπο, διευκολύνεται η γρήγορη και ροή της εργασίας με όσο το δυνατόν πιο απλό τρόπο.

Στην οδοντιατρική χρήση του, το χυτό κέρι ρητίνης παράγει σχέδια χύτευσης υψηλής ακρίβειας και οδοντικά προσθετικά. Είναι ευρέως δοκιμασμένο από επαγγελματίες οδοντοτεχνίτες, ενώ μπορούν να φτιαχτούν τρισδιάστατα εκτυπωμένα μοτίβα για επικαλύψεις πλήρους περιγράμματος και αφαιρούμενα πλαίσια μερικής οδοντοστοιχίας.

Υποστηρίζει αναλύσεις: των 25 και 50 microns.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην εκτύπωση έχουν ως ακολούθως:

- Συνολική αντοχή καταπόνησης εφελκυσμού (Ultimate Tensile Strength): 12 MPa (με την μέθοδο: ASTM D 638-10)

- Μέτρο εφελκυσμού (Tensile Modulus): 220 MPa (με την μέθοδο: ASTM D 638-10)
- Επιμήκυνση (Elongation): 13% (με την μέθοδο: ASTM D 638-10)
- Θερμοκρασία για 5% απώλεια μάζας (Temp @ 5% Mass Loss): 249 °C
- Περιεχόμενο τέφρας (Ash Content -TGA): 0,0 - 0,1%

- **Χρωστική (κίτρινη, ματζέντα, κυανή):** Η πρώτη ολοκληρωμένη λύση ανάμειξης χρωμάτων για ρητίνη. Επιτρέπει την τρισδιάστατη εκτύπωση χωρίς τη χειρωνακτική εργασία φινιρίσματος ή βαφής. Οι εν λόγω χρωστικές χρησιμοποιούνται σε μοντέλα οδοντικής μάσκας ούλων.

- **Surgical Guide Resin 1 L:** Πρόκειται για βιοσυμβατή ρητίνη για εφαρμογές που περιλαμβάνουν τρισδιάστατη εκτύπωση οδοντιατρικών χειρουργικών οδηγών για τοποθέτηση εμφυτευμάτων, τα οποία δύνανται να αποστειρωθούν. Έχει διαμορφωθεί ειδικά για τους εκτυπωτές της εταιρίας και έχει δοκιμαστεί αυστηρά, ώστε να πληρούνται τα πρότυπα απολύμανσης με διαλύτες.

Κατάλληλα σε πρότυπα διάτρησης και μεγέθη συσκευών που υπερβαίνουν τις οδοντιατρικές απαιτήσεις σε ακρίβεια, ποιότητα εξαρτημάτων και απόδοση.

Υποστηρίζει αναλύσεις εκτύπωσης: 100 microns. Απαιτείται μεταπολυμερισμός.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην εκτύπωση έχουν ως ακολούθως (formlabs.com. 2023):

- Επιμήκυνση (Elongation): 12% (με την μέθοδο: ASTM D638)
- Δύναμη κάμψης (Flexural Strength): > 102 MPa (με την μέθοδο: ASTM D638)
- Μέτρο κάμψης (Flexural Modulus): > 2400 MPa (με την μέθοδο: ASTM D638)
- Αποστείρωση: α. με χημική Απολύμανση με αιθυλική αλκοόλη 100% για 180 λεπτά στους 55°C, β. Ακτινοβολία E-beam: 35 kGy, γ. Ακτινοβολία γάμμα: 29.4 - 31.2 kGy, δ. με ατμό: αεροστεγώς στους 134 °C για 20 λεπτά ή στους 121 °C για 30 λεπτά.
- Εφαρμοζόμενα πρότυπα: EN ISO 10993-5, EN ISO 10993-10, EN ISO 10993-10.

- **Dental LT Clear V2 Resin 1 L ή IBT Resin 1 LP:** Με τις ρητίνες παρέχεται η δυνατότητα στα οδοντιατρεία και στα εργαστήρια να κατασκευάζεται γρήγορα ένα μεγάλο εύρος από οδοντιατρικά προϊόντα, από βιοσυμβατούς χειρουργικούς οδηγούς και οδοντικούς νάρθηκες έως σταθερά προσθετικά και διαφανή μοντέλα ευθυγράμμισης.

Το Dental LT Clear Resin (V2) είναι βιοσυμβατό υλικό για άμεση εκτύπωση προσιτών, υψηλής ποιότητας οδοντικών νάρθηκες και τεχνητές οδοντοστοιχίες για τον ύπνο που προστατεύουν απέναντι στο τρίξιμο των δοντιών κλπ. Πρόκειται για υλικό εξαιρετικά ανθεκτικό στη θραύση με αντοχή στους αποχρωματισμούς με την πάροδο του χρόνου. Υποστηρίζει αναλύσεις 100 microns ενώ απαιτείται μετα-πολυμερισμός.



Εικόνα 8 Τεχνητή οδοντοστοιχία κατασκευασμένη από Dental IT clear Resin V2 (formlabs.com.2023).

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην εκτύπωση έχουν ως ακολούθως:

- Υλικό: βιοσυμβατό
- Συνολική αντοχή καταπόνησης εφελκυσμού (Ultimate Tensile Strength): 52 MPa
- Μέτρο εφελκυσμού (Tensile Modulus): 2080 MPa
- Επιμήκυνση (Elongation): 12% (με την μέθοδο ASTM D638-10 (Type IV))
- Μέτρο κάμψης (Flexural Modulus): 2.3 GPa (με την μέθοδο ASTM D790-15 (Method B))
- Δοκιμασία κρούσης (Notched Izod): 449 J/m
- Εφαρμοζόμενα πρότυπα: EN ISO 10993-5:2009, EN ISO 10993-10:2010/(R)2014, ISO 10993-10:2010/(R)2014, ISO 10993-11:2017, ISO 10993-3:2014

- **Custom Tray Resin 1 L:** Με τις ρητίνες κατασκευάζονται οδοντιατρικά προϊόντα από βιοσυμβατούς χειρουργικούς οδηγούς και οδοντικούς νάρθηκες έως και σταθερά προσθετικά και διαφανή μοντέλα ευθυγράμμισης.

Η προσαρμοσμένη ρητίνη δίσκου εκτυπώνει γρήγορα πλήρεις δίσκους αποτύπωσης χρησιμοποιώντας ύψη στρώματος 200 micron, μειώνοντας τον χρόνο εργασίας και επιτρέποντας υψηλότερη απόδοση.



Εικόνα 9 Τεχνητή οδοντοστοιχία κατασκευασμένη από Custom tray resin (formlabs.com.2023).

- Συνολική αντοχή καταπόνησης εφελκυσμού (Ultimate Tensile Strength): ≥ 70 MPa
- Επιμήκυνση (Elongation): $> 3\%$

- **Denture Teeth Resin 1 L:** Είναι πιστοποιημένο βιοσυμβατό υλικό για τρισδιάστατη εκτύπωση τελικών οδοντοστοιχιών ή οδοντοστοιχιών δοκιμής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το Denture Base Resin για να παραχθούν βιοσυμβατά ανθεκτική οδοντοστοιχία με μικρότερο κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές

μεθόδους. Διατίθενται έξι (6) αποχρώσεις, ώστε οι οδοντοτεχνίτες να επιτυγχάνουν την αισθητική που ταιριάζει σε κάθε ασθενή. Υποστηρίζει αναλύσεις 50 microns ενώ απαιτείται μετα-πολυμερισμός.



Εικόνα 10 Τεχνητή οδοντοστοιχία κατασκευασμένη από Denture Teeth Resin (formlabs.com.2023).

5.1.2 Εφαρμογές εκτύπωσης χειρουργικών εργαλείων και ορθοπεδικών υλικών

Για την τρισδιάστατη εκτύπωση των κάτωθι περιγραφόμενων υλικών στις ενότητες 5.1.3.1 έως και 5.1.3.5 επιλέγεται το μοντέλο BLT-S210 της εταιρίας Xi'an Bright

Laser Technologies Co., Ltd. (BLT). Για την εκτύπωση ποιοτικών εργαλείων με αντοχή χρησιμοποιείται η τεχνολογία δέσμης laser PBF (Powder Bed Fusion). Μέσω αυτής παράγονται εξαρτήματα από χάλυβα. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται είναι σκόνη. Σύμφωνα με την εταιρία, το μεγάλο εύρος λειτουργιών παρακολούθησης της ποιότητας των εκτυπωτών της υπόσχεται την παροχή «έξυπνων» λύσεων εκτύπωσης εξαρτημάτων, όπως τα χειρουργικά εργαλεία ή τα ορθοπεδικά υλικά, όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια και ποιότητα. Στο πλαίσιο αυτό, το μοντέλο εκτυπωτή BLT-S210 αποτελεί ένα μηχάνημα ειδικά σχεδιασμένο για επιστημονική έρευνα και ανάπτυξη υλικών υψηλής απόδοσης (tctmagazine.com, 2023).



Εικόνα 11 Εκτυπωτής BLT-S210 (xa-blt.com.2023).

Η τεχνολογία δέσμης laser PBF (Powder Bed Fusion) συμβάλλει στην παραγωγή υλικών. Τα προϊόντα σχηματίζονται μέσω της προσθήκης υλικού αντί της αφαίρεσής του μέσω συμβατικών εργασιών διαμόρφωσης, όπως π.χ. η άλεση. Η τεχνική PBF ξεκινά με τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου CAD, το οποίο «τεμαχίζεται» αριθμητικά σε διάφορα διακριτά στρώματα. Για κάθε στρώμα, υπολογίζεται μια

διαδρομή σάρωσης πηγής θερμότητας (laser) από την οποία καθορίζεται το μοτίβο του ράστερ. Εν συνεχεία, το κάθε στρώμα συνδέεται διαδοχικά το ένα πάνω από το άλλο. Με την τεχνική PBF απλώνεται το υλικό υπό μορφή σκόνης πάνω από το κάθε στρώμα. Επομένως η κατασκευή είναι διακριτή και όχι συνεχής αν και το κάθε στρώμα είναι πλήρως ενοποιημένο με τα γειτονικά του στρώματα. Μέσω μιας χοάνης τροφοδοτείται το κονιοποιημένο υλικό, το οποίο στη συνέχεια απλώνεται ομοιόμορφα στην περιοχή της πλατφόρμας κατασκευής μέσω ενός κυλίνδρου ή μιας λεπίδας. Το βέλτιστο πάχος κάθε στρώσης σκόνης επάλειψης εξαρτάται από τις συνθήκες επεξεργασίας και το χρησιμοποιούμενο υλικό (twi-global.com.n.d.).

Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το εν λόγω μοντέλο εκτυπωτή για τις εκτυπώσεις είναι: κράμα τιτανίου, κράμα αλουμινίου, υπερκράμα, κράμα χρωμίου κοβαλτίου, ταντάλιο, ασήμι, ανοξείδωτος χάλυβας, χάλυβας υψηλής αντοχής, χάλυβας εργαλείων, κράμα χαλκού, κράμα βολφραμίου, κράμα μαγνησίου.

Το laser εκτύπωσης έχει ισχύ εκτύπωσης 500W και η ταχύτητα εκτύπωσης είναι: 15cm³/h.

Οι διαστάσεις του εκτυπωτή είναι: 105mm×105mm×200mm (Π×Μ×Υ).

Ο εκτυπωτής έχει πιστοποιητικό CE, πιστοποίηση FDA και πιστοποίηση ATEX (Explosion Proof).

Η εταιρία BLT εφαρμόζει τις πιστοποιήσεις: ISO9001:2015, ISO14001:2015 και ISO45001:2018.

Τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση είναι τα εξής: Magics; BLT-BP; BLT-MCS, τα οποία παρέχουν παρακολούθηση της εκτύπωσης σε πραγματικό χρόνο.

5.1.2.1 Εκτύπωση αγγειακού στεντ με εκτυπωτή BLT-S210

Για την εκτύπωση ενός αγγειακού stent (στεντ) σε επεμβάσεις καρδιάς χρησιμοποιούνται τα υλικά: νικέλιο και κράμα τιτανίου.



Εικόνα 12 Εκτυπωμένο στεντ (xa-blt.com.2023).

Οι διαστάσεις του στεντ είναι: 200mm x 200mm x 100mm

Το βάρος του είναι 1g.

Ο χρόνος που απαιτείται για την εκτύπωσή του στεντ είναι δέκα (10) ώρες.

5.1.2.2 Εκτύπωση ορθοπεδικού εμφυτεύματος με εκτυπωτή BLT-S210

Τα υλικά εκτύπωσης είναι κράμα μαγνησίου. Πρόκειται για ένα πορώδες ορθοπεδικό εμφύτευμα.



Εικόνα 13 Εκτυπωμένο ορθοπεδικό εμφύτευμα (xa-blт.com.2023).

5.1.2.3 Εκτύπωση μηριαίου κόνδylου με εκτυπωτή BLT-S210



Εικόνα 13 Εκτυπωμένος μηριαίος κόνδυλος (xa-blт.com.2023).

5.1.2.4 Εκτύπωση βραχίονα γόνατου με εκτυπωτή BLT-S210



Εικόνα 14 Εκτυπωμένος βραχίονας γόνατου (xa-blt.com.2023).

Ο βραχίονας γόνατου είναι κατασκευασμένος από κράμα CoCrMo.

Οι διαστάσεις του είναι: 72mm x 46mm x 52 mm

Το βάρος του είναι 210 γραμμάρια.

Ο χρόνος εκτύπωσης είναι περίπου δύο (2) ώρες.

5.1.2.5 Εκτύπωση κύπελλου κοτύλης με εκτυπωτή BLT-S210

Το κύπελλο κοτύλης τοποθετείται στην ανθρώπινη λεκάνη. Αποτελείται από ταντάλιο. Το μέγεθός του είναι: 50mm x 50mm και έχει βάρος 500 γραμμάρια. Ο χρόνος εκτύπωσης δύο (2) κομματιών είναι δώδεκα (12) ώρες.



Εικόνα 15 Εκτυπωμένο κύπελλο κοτύλης (xa-blt.com.2023).

5.1.2.6 Όρθωση αυχενικής μοίρας

Με σκοπό την αυχενική όρθωση επιλέγεται το μοντέλο του εκτυπωτή EOS P 500 της εταιρίας EOS. Χάρη στις έξυπνες διεπαφές του εκτυπωτή, η διάρκεια ζωής του δύναται να αυξηθεί έως και 75% σε σύγκριση με άλλα ανταγωνιστικά μοντέλα.

Η εταιρία EOS με το μοντέλο EOS P 500 διασφαλίζει την ευέλικτη και αποδοτική παραγωγή προϊόντων σε βιομηχανική κλίμακα. Οι πελάτες της επωφελούνται από τη μέγιστη παραγωγικότητα, τους αυτοματισμούς που παρέχονται και την ικανότητα επεξεργασίας πολυμερών υλικών που απαιτούν θερμοκρασίες λειτουργίας έως και 300°C. Ως εκ τούτου, με τον εν λόγω εκτυπωτή ανταποκρίνεται σε απαιτήσεις μαζικής παραγωγής εξαρτημάτων από πολυμερή, τα οποία είναι υψηλής ποιότητας.

Η εταιρία EOS διαθέτει σημαντική τεχνογνωσία στα υλικά. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία Powder Bed Fusion (PBF) και πιο συγκεκριμένα την μέθοδο Selective Laser Sintering (SLS) για την παραγωγή θερμοπλαστικών εξαρτημάτων χρησιμοποιώντας σκόνη ως πρώτη ύλη.

Διαθέτει ένα ολοκληρωμένο χαρτοφυλάκιο πλαστικών υλικών για 3D εκτυπωτές. Πρόκειται για προηγμένα πλαστικά και πολυμερή υλικά που είναι κατάλληλα για την κατασκευή εξατομικευμένων προσθέτων ορθοπεδικών υλικών.

Διατίθενται τα ακόλουθα πλαστικά υλικά για τρισδιάστατη εκτύπωση:

- Πολυαμίδια (PA),
- Θερμοπλαστικά Ελαστομερή (TPE) και
- Πολυαρυλαιθερκετόνες (PAEK).

Για την εκτύπωση της αυχενικής όρθωσης επιλέγεται τα υλικά από PA2200. Τα υλικά PA2200 χαρακτηρίζονται από αντοχή, ακαμψία και χημική αντοχή. Μπορούν να είναι βιοσυμβατά, ενώ ταυτόχρονα είναι φιλικά προς το περιβάλλον με πιστοποίηση.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού PA2200 είναι:

- Συντελεστής εφελκυσμού: 1650 MPa
- Αντοχή εφελκυσμού: 48 MPa
- Θερμοκρασία τήξης (20°C/min): 176°C



Εικόνα 16 Εκτυπωμένο υλικό αυχενικής όρθωσης (eos.info.com.2023).

5.1.3 Έρευνα εκτύπωσης ιστών μυοκαρδίου

Για την εκτύπωση ιστών επιλέγεται ο εκτυπωτής 3D Digital Anatomy Stratasys J750 της εταιρίας Stratasys που εφαρμόζει την τεχνολογία PolyJet. Ο λόγος της επιλογής του ανωτέρω μοντέλου είναι το γεγονός ότι εφαρμόζεται μια επαναστατική

τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης φωτοπολυμερούς εκτόξευσης πολλαπλών υλικών που ζωντανεύει τα υλικά δίνοντας ένα αποτέλεσμα εξαιρετικής ακρίβειας.

Από την κατασκευή πρωτοτύπων έως την παραγωγή, η τεχνολογία PolyJet προσφέρει ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας πολύπλοκων γεωμετριών, περίπλοκων λεπτομερειών, συνδυασμών χρωμάτων, διαφανειών και ευέλικτων εξαρτημάτων - όλα σε ένα μόνο μοντέλο.

Η τεχνολογία PolyJet δημιουργεί γρήγορα ακριβή εξαρτήματα χρησιμοποιώντας φωτοπολυμερή, ακτινοβολία UV και κεφαλές inkjet. Η απαιτούμενη ακρίβεια επιτυγχάνεται με τη στρώματωση ρητίνων με σκοπό το σχηματισμό των ψηφιακών υλικών. Η διαδικασία ξεκινά με ένα μοντέλο CAD που έχει μετατραπεί σε εκτυπώσιμη μορφή. Σταγόνες φωτοπολυμερούς εκτοξεύονται στην πλατφόρμα κατασκευής και στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η διαδικασία σκλήρυνσης των υλικών με χρήση ακτινοβολίας UV. Τότε κολλούν μεταξύ τους τα στρώματα ρητίνης. Τα υλικά υποστήριξης διαλύονται ή αφαιρούνται με χειροκίνητο τρόπο και αναδεικνύεται το τελικό προϊόν με την τεχνολογία PolyJet.



Εικόνα 17 Εκτυπωτής 3D Digital Anatomy Stratasys J750 (support.stratasys.com. 2023).

Ο εκτυπωτής 3D Digital Anatomy Stratasys J750 επιτρέπει την απλοποίηση και εξοικονόμηση της διαδικασίας παραγωγής των ειδών από διαφορετικά υλικά.

Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής και ορισμού των χρωμάτων για τα διάφορα μέρη ενός εκτυπωμένου είδους στο στάδιο του σχεδιασμού (με τη βοήθεια του λογισμικού CAD). Το σχέδιο αποθηκεύεται σε αρχείο επέκτασης VRML.

Αναφορικά με τη διαθέσιμη επιφάνεια εκτύπωσης του εν λόγω μοντέλου είναι: 490 x 390 x 200 mm (19.3 x 15.35 x 7.8 in).

Η οικογένεια υλικών Digital Anatomy παρέχει πλήρως ρεαλιστικά τρισδιάστατα εκτυπωμένα ιατρικά μοντέλα. Με τη χρήση του λογισμικού Digital Anatomy διεξάγεται ο συνδυασμός υλικών τα οποία ποικίλλουν σε απαλότητα, ευελιξία και πυκνότητα για να μιμούνται τη συμπεριφορά του εγγενούς ιστού, καθώς επίσης και των οστών.

Οι ονομασίες των υλικών που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο μοντέλο εκτυπωτή είναι (Stratasys.com.2023):

- GelMatrix (FLG110)
- TissueMatrix (MED310)
- BoneMatrix (RGD516)
- RadioMatrix (MED410)

5.1.3.1 Αξιολόγηση τρισδιάστατης εκτύπωσης του ιστού μυοκαρδίου με τον 3D Digital Anatomy Stratasys J750

Η εταιρία Medtronic αποτελεί τον παγκόσμιο ηγέτη στις ιατρικές τεχνολογίες. Πρόκειται για εταιρία παροχής πρωτοποριακών λύσεων ιατροτεχνολογικής περίθαλψης για τις πλέον πολύπλοκες και απαιτητικές παθήσεις (όπως π.χ. καρδιακή ανεπάρκεια κλπ.).

Η εταιρία πραγματοποίησε έρευνες και έκανε δοκιμές σε υλικά ψηφιακής ανατομίας για να προσδιορίσει το πόσο αποτελεσματικά αναπλάθεται ο οργανικός ιστός του μυοκαρδίου (της καρδιάς). Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με το μυοκάρδιο του χοίρου, το οποίο προσομοιάζει με αυτό του ανθρώπινου ιστού.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει δυνατότητες για πολλές χρήσεις στην εκπαίδευση, την έρευνα και την ανάπτυξη εμφυτευμάτων. Συμβατικά, οι ιδιότητες του υλικού των τρισδιάστατα εκτυπωμένων ανατομικών μοντέλων ήταν συχνά παρόμοιες στη μορφή και όχι στην μηχανική απόκριση σε σύγκριση με τον βιολογικό ιστό.

Τα σύγχρονα υλικά που αναπτύχθηκαν από την εταιρία 3D εκτυπωτών Stratasys θεωρείται ότι μιμούνται σε μεγάλο βαθμό εκτός από την μορφή των ιστών και τις μηχανικές ιδιότητες του ιστού.

Μελετήθηκε, λοιπόν, και αξιολογήθηκε το εκτυπωμένο μυοκάρδιο σε σχέση με το μυοκάρδιο χοίρου όσον αφορά τη διάτρηση, τη συμμόρφωση - συμβατότητα, τις ραφές του και την απόδοσή του κατά την κοπή του.

Σε γενικές γραμμές το εκτυπωμένο μυοκάρδιο εμφάνισε αξιόλογες ομοιότητες με το μυοκάρδιο χοίρου. Αναφορικά με τη δοκιμή συμμόρφωσης-συμβατότητας, προέκυψε ότι είναι είτε εντός του ίδιου εύρους με το μυοκάρδιο χοίρου και εμφανίζεται λίγο πιο άκαμπτο.

Η εκτύπωση δεν απέδωσε σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με το μυοκάρδιο του χοίρου κατά την αξιολόγηση των ιδιοτήτων της ραφής και της κοπής των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, κατά τη δοκιμή, προέκυψε ότι οι ραφές σκίζονται πιο εύκολα στο εκτυπωμένο υλικό και εμφανίζονται μεγαλύτερες δυνάμεις καταπόνησης και τριβής τόσο κατά την εισαγωγή μιας βελόνας όσο και κατά την κοπή του υλικού.

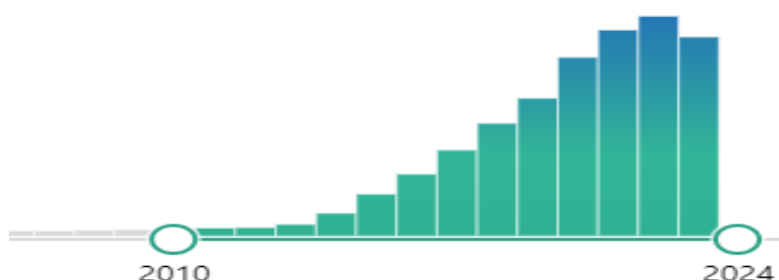
Παρά τις ανωτέρω διαφορές, το εκτυπωμένο υλικό του μυοκαρδίου φαίνεται να είναι πολύ πιο κοντά αναφορικά με τη συμβατότητά του σε σχέση με τον πραγματικό ιστό, εφόσον συγκριθεί με άλλα τρισδιάστατα εκτυπωμένα υλικά άλλων εταιριών.

Τέλος παρά το γεγονός ότι υφίστανται ορισμένοι περιορισμοί, το τρισδιάστατο υλικό του μυοκαρδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση δομών με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες με το μυοκάρδιο χοίρου, καθιστώντας το ένα πολύτιμο ερευνητικό εργαλείο.

Κεφάλαιο 6: ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΑΝΩ ΣΤΟ 3D PRINTING

6.1 3D printing

Για τις λέξεις κλειδιά: «3d printing» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 26.879 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη πραγματοποιήθηκε το έτος 2010 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και η δημοσίευση των άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2022.



Διάγραμμα 1: Αναζήτηση «3d printing» - Περίοδος 2010-2023

Σε άρθρο ανασκόπησης των Su et al. (2022) περιγράφεται η εξέλιξη της έρευνας περί της χρήσης φυσικών υλικών στην τρισδιάστατη βιοεκτύπωση δομικών εμφυτευμάτων με σκοπό την επιδιόρθωση των οργάνων ή την αναγέννηση των ιστών.

Αντιπαρατίθενται τα φυσικά υλικά με τα συνθετικά και αναφέρονται ενδεικτικά παραδείγματα φυσικών υλικών που χρησιμοποιούνται και εμφανίζουν εξαιρετικές ιδιότητες και βιοσυμβατότητα, όπως π.χ. η βιομελάνη, η πηκτίνη κλπ.

Επιπροσθέτως, στην έρευνα, αναφέρονται ορισμένες από τις πολλές εφαρμογές τους, όπως π.χ. αναφορικά με τους ιστούς στο χόνδρο, τους ιστούς σε οστά και τους ιστούς του αγγειακού συστήματος.

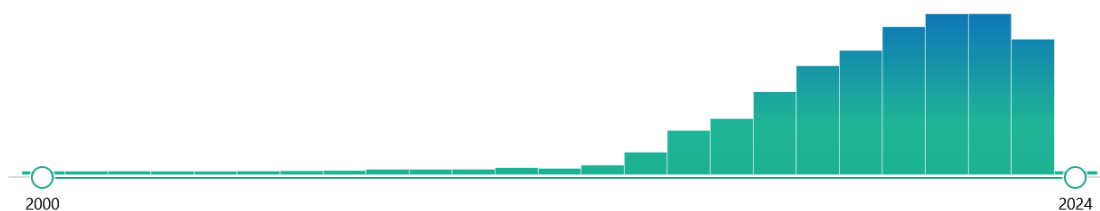
Οι συγγραφείς αφού αναδεικνύουν την αξία της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην αναγεννητική ιατρική, περιγράφουν και αναπτύσσουν τις θεωρήσεις του για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των φυσικών υλικών. Εξάγονται, επίσης σχετικά συμπεράσματα αναφορικά με τα κύρια πλεονεκτήματα που διαθέτουν τα υλικά αυτά κατά τη χρήση τους. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται η χαμηλή τοξικότητα ή και η μη τοξικότητά τους, η αφθονία τους και επομένως το χαμηλό κόστος. Επιπλέον,

περιγράφεται η εύκολη επεξεργασία τους, η εμφάνιση εξαιρετικών μηχανικών ιδιοτήτων, η ικανοποιητική συμβατότητα και συμβολή τους στην ομαλή κυτταρική δραστηριότητα των οργανισμών.

Τέλος, αναλύονται οι μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν κατά την επιλογή των υλικών τρισδιάστατης εκτύπωσης, όπως είναι η φυσική μέθοδος, η χημική μέθοδος και η μέθοδος αυτοσυναρμολόγησης των πρωτεϊνών στα κύτταρα.

6.2 3D printing bone tissue

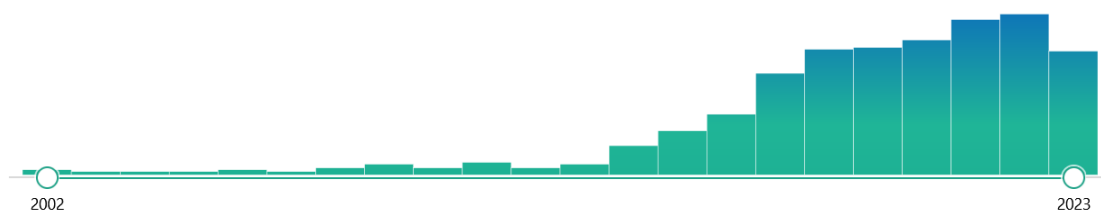
Για τις λέξεις κλειδιά: «3d printing bone tissue» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 4.400 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη πραγματοποιήθηκε το έτος 2000 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και η δημοσίευση των άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2021.



Διάγραμμα 2: Αναζήτηση «3d printing bone tissue» - Περίοδος 2000-2023

6.3 3D printing in bone grafts

Για τις λέξεις κλειδιά: «3d printing in bone grafts» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 507 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη πραγματοποιήθηκε το έτος 2002 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και η δημοσίευση άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2022.



Διάγραμμα 3: Αναζήτηση «3d printing in bone grafts» - Περίοδος 2002-2023

Έρευνα των Brachet et al. (2023) αναφέρεται στην τρισδιάστατη εκτύπωση οστικών μοσχευμάτων. Διαπιστώνουν ότι εν γένει οι μεταμοσχεύσεις ενέχουν τον κίνδυνο της ανοσολογικής απόκρισης από τους ασθενείς συνέπεια της οποίας είναι η φλεγμονώδης αντίδραση, η απόρριψη του μοσχεύματος ή/και ο ακρωτηριασμός.

Στην εργασία γίνεται αναφορά των κυριότερων τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Διεξάγεται η συγκριτική ανάλυση διαφορετικών μεθόδων τρισδιάστατης εκτύπωσης για την τοποθέτηση μοσχευμάτων, αναφέροντας τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ανά μέθοδο.

Με την αξιοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης υφίσταται έλεγχος σε όλα τα στάδια της μεταμόσχευσης. Παράλληλα, η χρήση του υλικού υδρογέλης μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες ανάπτυξης μολύνσεων και φλεγμονωδών αντιδράσεων. Επιπλέον, η επούλωση των τραυμάτων γίνεται ταχύτερα. Με τη δημιουργία εμφυτευμάτων οστίτη ιστού με τα λεγόμενα βιοϋλικά διευκολύνεται η ταχύτερη ανάπτυξη του οστίτη ιστού και αναγεννούνται ευκολότερα τα κύτταρα. Ταυτόχρονα δύναται η αποκατάσταση ενδεχόμενων οστικών ελαττωμάτων σε μεγάλο βαθμό.

Η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι θεωρείται βέβαιο ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα παίζει σημαντικό ρόλο στην ιατρική μεταμοσχεύσεων στο μέλλον.

Στην έρευνα των Zhang & Wu (2023) αναλύεται η τρισδιάστατη εκτύπωση για την αναγέννηση των ιστών των αιμοφόρων αγγείων και των νευρώνων με χρήση σύγχρονων βιοϋλικών. Επιπλέον, τονίζεται ο ρόλος του αγγειακού και νευρικού συστήματος αναφορικά με τη λειτουργική αναγέννηση των ιστών.

Επισημαίνεται ότι με τις εφαρμοζόμενες παραδοσιακές μεθόδους δεν κατασκευάζονται δομές που να πληρούν πλήρως όλες τις κλινικές απαιτήσεις. Με την

τρισδιάστατη εκτύπωση ανοίγεται ο δρόμος για την κατασκευή βέλτιστων δομών με εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες.

Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται η τρισδιάστατη κατασκευή ιστών δέρματος, οστών και σκελετικών μυών και επισημαίνεται ο κρίσιμος ρόλος των αιμοφόρων αγγείων και των νευρικών ινών στη διαδικασία της αναγέννησης.

Ακόμη, συζητούνται οι προοπτικές της χρήσης σύγχρονων βιοϋλικών. Στόχος είναι η επίτευξη της αγγειογένεσης, ώστε να αποκαθίστανται κατεστραμμένοι ιστοί και παράλληλα να ενσωματώνονται γρήγορα τα νέα νευροαγγειακά δίκτυα, επιταχύνοντας τη λειτουργική αναγέννηση του ιστού. Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός είναι η διερεύνηση, του βαθμού ενσωμάτωσης των εμφυτευμάτων αγγείων και νευρώνων, ώστε να δύνανται να αναγεννούνται οι ιστοί μαζί με το υφιστάμενο αγγειακό και νευρικό σύστημα και να μην αποβάλλονται από τον οργανισμό.

Με την προσέγγιση της τρισδιάστατης εκτύπωσης κατασκευάζονται πολυσύνθετες δομές με βιομιμητικές αρχιτεκτονικές πέραν των παραδοσιακών. Οι δομές αυτές είναι ικανές να ρυθμίζουν τις πολλαπλές συμπεριφορές των κυττάρων. Με αυτόν τον τρόπο, επιχειρείται η ικανοποίηση των απαιτήσεων των νευροαγγειακών συστημάτων και προωθούνται λύσεις σε ζητήματα αναφορικά με το μεταβολισμό και την αναγέννηση των ιστών.

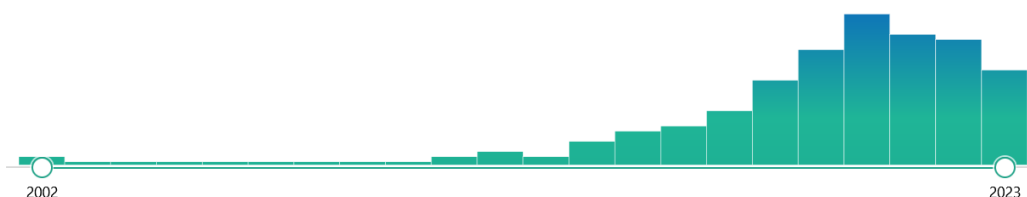
Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι η ανάπτυξη των βιοϋλικών αναγέννησης των ιστών βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο και απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση και έρευνα. Ενδεικτικά, επιβάλλεται η διερεύνηση του μηχανισμού της αλληλεπίδρασης των κυττάρων με τα πρόσθετα υλικά κατά τη διαδικασία της αναγέννησης των ιστών.

Αναφέρονται, επίσης στοχευμένα κριτήρια σχεδιασμού των βιοϋλικών που σχετίζονται με τις ιδιότητες των νευρικών ινών και την ανατομία. Επιπλέον, περιγράφουν μια θεραπεία που βασίζεται σε βλαστοκύτταρα.

Στην έρευνα συμπεραίνεται ότι με τη συνδρομή της τεχνολογίας της τρισδιάστατης βιοεκτύπωσης, αναμένεται στο μέλλον η ανάπτυξη μεθόδων αναγέννησης των ιστών (αγγείων και νευρώνων).

6.4 3D printing osteochondral tissue

Για τις λέξεις κλειδιά: «3d printing osteochondral tissue» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 149 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη έγινε το έτος 2002 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και δημοσίευση των άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2020.



Διάγραμμα 4: Αναζήτηση «3d printing osteochondral tissue» - Περίοδος 2002-2023

Σε άρθρο τους, οι Ege et al. (2023), επικεντρώνονται στη διερεύνηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την αναγέννηση του οστεοχονδρικού ιστού, κάτι που είναι εξαιρετικά δύσκολο εξαιτίας της μεγάλης πολυπλοκότητας της δομής του.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, διερευνώνται διάφορες προσεγγίσεις, όπως η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης με χρήση μίγματος υδρογέλης μαζί με ανθεκτικά πολυμερή υλικά. Τα υλικά αυτά αναφέρονται αναλυτικά ως προς τις ιδιότητές τους. Στόχος είναι η βέλτιστη προσέγγιση προσομοίωσης του οστεοχονδρικού ιστού.

Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι στο διάστημα από 2010 έως 2022 έχουν δημοσιευθεί πάνω από 211 σχετικές έρευνες. Σύμφωνα με αυτές, με τη χρήση των ανωτέρω υλικών, προσεγγίζεται με εξαιρετικά αποτελέσματα η ιδιαίτερα σύνθετη δομή του οστεοχόνδριου ιστού. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στην εκτύπωση ηλεκτροεγγραφής τήγματος (MEW). Η τεχνολογία MEW ενσωματώνει τις πολυεστερικές ίνες στο μίγμα υδρογέλης, προκειμένου να ενισχύονται οι μηχανικές ιδιότητες του μίγματος.

Τέλος, αναλύεται η inject 3D εκτύπωση δομών χωρίς τη συμμετοχή υδρογέλης και αναλύονται παρεμφερείς έρευνες, ενώ παρατίθενται σχετικοί περιορισμοί και

προοπτικές για την επέκταση της εν λόγω έρευνας που βασικός σκοπός της είναι η επισκευή και αναγέννηση του οστεοχόνδριου ιστού.

6.5 4d printing bioprinting

Για τις λέξεις κλειδιά: «4d printing bioprinting» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 126 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη έγινε το έτος 2016 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και δημοσίευση των άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2023, γεγονός που σημαίνει ότι η εν λόγω τεχνολογία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον την τρέχουσα περίοδο.



Διάγραμμα 5: Αναζήτηση «4d printing bioprinting» - Περίοδος 2016-2023

Οι Kang et al. (2022) περιγράφουν την τεχνική της τετραδιάστατης βιοεκτύπωσης ως μια σημαντική εναλλακτική θεραπεία αναγέννησης ιστών που ικανοποιεί ορισμένες ειδικές απαιτήσεις αναφορικά με την οστική αναγέννηση.

Επιπλέον, οι συγγραφείς αναφέρουν ότι με την βιοεκτύπωση, υποστηρίζεται η ανάπτυξη των βλαστοκυττάρων κατόπιν της διαδικασίας της εκτύπωσης, δεδομένου ότι επιδρά στην συμπεριφορά των κυττάρων.

Με την τρισδιάστατη εκτύπωση διατίθεται υποστηρίζεται η δημιουργία οστικών δομών με τρόπο δυναμικό, διορθώνοντας περιοχές των οστών που είναι κατεστραμμένες (π.χ. από κατάγματα, οστεοπόρωση, καρκίνο, κληρονομικές ασθένειες κλπ.). Τα υλικά εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται επιτρέπουν την αναγέννηση των οστών, όπως π.χ. του αγγειακού και του νευρικού ιστού. Επιπλέον, υφίσταται η λεγόμενη χωροχρονική διασπορά και διατηρείται η αναγκαία βιοδραστικότητα.

Η υδρογέλη αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο υλικό, χάρη στην εξαιρετική της βιοσυμβατότητα. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται η μίμηση της λειτουργίας και της πολύπλοκης δομής των φυσικών ιστών ή των οργάνων.

Επίσης, η τρισδιάστατη διαδικασία βιοεκτύπωσης βασίζεται σε ένα εύρος έξυπνων βιοϋλικών, τα οποία ανταποκρίνονται σε διάφορα εξωτερικά ερεθίσματα. Η απόκριση μπορεί να είναι σε φυσικά, χημικά ή/και βιολογικά ερεθίσματα.

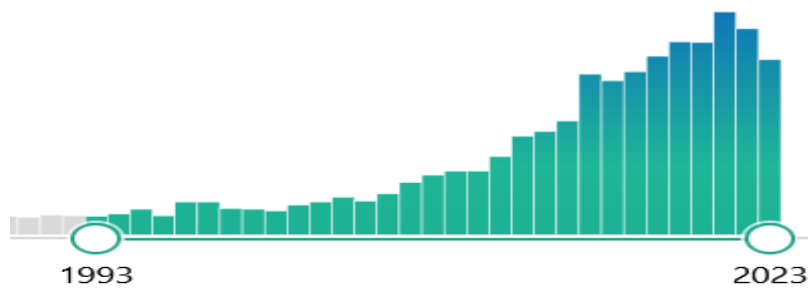
Η εν λόγω έρευνα επιχειρεί να εντοπίσει τις ελλείψεις των υφιστάμενων θεραπειών αναφορικά με ελαττώματα που βρίσκονται στους ιστούς. Αναδεικνύει τη χρησιμότητα των υλικών εκτύπωσης 4D σε κλινικές εφαρμογές, κατηγοριοποιώντας τα υλικά και τις τεχνικές εκτύπωσης και κάνει τη σύνοψη των τεχνικών δυσκολιών που ανακύπτουν κατά τις θεραπευτικές παρεμβάσεις αποκατάστασης ενός μεγάλου εύρους οστικών ελαττωμάτων.

Βάσει των ανωτέρω, η τετραδιάστατη βιοεκτύπωση διαθέτει προκλήσεις, όπως η βελτιστοποιημένη ανταπόκριση των βιοϋλικών στα διάφορα ερεθίσματα με εξελιγμένα βιομελάνια. Επίσης, παραμένουν προς διερεύνηση οι in vivo μέθοδοι βιοκατασκευής και η περιορισμένη δυνατότητα μαζικής παραγωγής εκτυπωμένων δομών. Επιπλέον, προκύπτει ότι δεν καλύπτονται πλήρως οι πολύπλοκες κλινικές ανάγκες.

Η εργασία καταλήγει ότι η τεχνολογία της τετραδιάστατης βιοεκτύπωσης αναμένεται να εξελιχθεί περαιτέρω αναφορικά με την βελτιστοποίηση της κατασκευής, της αντοχής και της λειτουργικότητας των εκτυπωμένων οστών.

6.6 Cranioplasty

Για τις λέξεις κλειδιά: «cranioplasty» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 2.760 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη πραγματοποιήθηκε το έτος 1993 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και δημοσίευση των άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2021.



Διάγραμμα 6: Αναζήτηση «cranioplasty» - Περίοδος 1993-2023

Οι Thimukonda Jegadeesan et al. (2022) περιγράφουν την τεχνική της κρανιοπλαστικής επέμβασης της επόμενης γενιάς σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης και την προσπάθεια θεραπείας σοβαρών παθήσεων όπως π.χ. της ενδοκρανιακής αιμορραγίας κλπ.

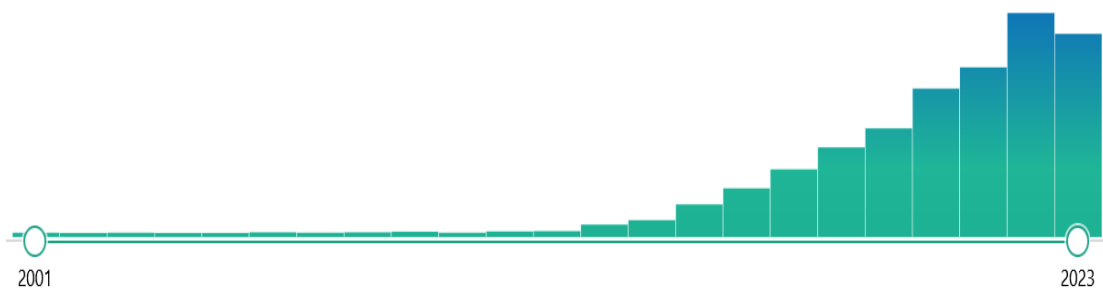
Κατ' αυτόν τον τρόπο, μελετάται η αυτοματοποιημένη τρισδιάστατη κατασκευή εμφυτευμάτων για την εφαρμογή εναλλακτικών θεραπειών αποκατάστασης κρανιακών βλαβών ασθενών που έχουν υποβληθεί σε αποσυμπιεστική κρανιεκτομή. Δίνεται έμφαση στην παροχή όσο το δυνατόν καλύτερων αισθητικών και λειτουργικών αποτελεσμάτων.

Στις τεχνικές που αναφέρονται στο άρθρο συμπεριλαμβάνεται η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάπτυξη ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων. Με την τεχνητή νοημοσύνη γίνεται καλύτερη η πρόβλεψη των κλινικών αποτελεσμάτων, αλλά και των πιθανών κλινικών επιπλοκών. Επιπροσθέτως, σχεδιάζονται καλύτερα και επιταχύνονται τα κλινικά πρωτόκολλα, μειώνοντας το βαθμό και τη διάρκεια της χειρουργικής παρέμβασης.

Τέλος, σημειώνεται από τους συγγραφείς ότι η κάλυψη των κλινικών απαιτήσεων ενός χειρουργείου κρανιοπλαστικής πρέπει να γίνεται ταχύτατα. Εντούτοις, η εν λόγω διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης κρανιακών εμφυτευμάτων θεωρείται ότι παραμένει χρονοβόρα και κοστοβόρα παρά την αλματώδη πρόοδο της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης.

6.7 3D printing bone dental

Για τις λέξεις κλειδιά: «3d printing dental» στην ιστοσελίδα: pubmed βρέθηκαν 2.271 δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες. Η πρώτη έγινε το έτος 2001 και η τελευταία το έτος 2023. Η παρακολούθηση και δημοσίευση των άρθρων διεξήχθη με μεγαλύτερη συχνότητα το έτος 2022.



Διάγραμμα 7: Αναζήτηση «3d printing dental» - Περίοδος 2001-2023

Σε άρθρο τους οι Cai et al. (2023) διεξάγουν μια ερευνητική ανασκόπηση αναφορικά με τα οδοντιατρικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες τρισδιάστατης και τετραδιάστατης εκτύπωσης.

Στην έρευνα γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή αναφορικά με τη χρήση διαφόρων υλικών, ενώ παράλληλα αναδεικνύεται η αξία της προόδου των τεχνολογιών πληροφορικής μετά τον 20^ο αιώνα. Το γεγονός αυτό συνέβαλε καταλυτικά στην τρισδιάστατη και τετραδιάστατη εκτύπωση και στην βιοεκτύπωση οδοντιατρικών υλικών με ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα και χαμηλό κόστος.

Επιπλέον, γίνεται μια σύντομη αναδρομή στην ανάπτυξη και εξέλιξη των διαφόρων τεχνολογιών εκτύπωσης διακρίνοντάς τις σύμφωνα με τον τρόπο απόθεσης των χρησιμοποιούμενων υλικών ή των μελανιών.

Εντοπίζονται οι διαφορές ανάμεσα στην τρισδιάστατη και τετραδιάστατη εκτύπωση σε συνάρτηση με την τεχνολογία, τα υλικά και τις αντίστοιχες εφαρμογές.

Επιπροσθέτως, επιχειρείται η κατηγοριοποίηση των οδοντιατρικών υλικών βάσει των χαρακτηριστικών και της χρησιμότητάς τους. Τα υλικά που ταξινομούνται είναι τα εξής:

- πολυμερή,
- μέταλλα,
- κεραμικά υλικά και
- βιοϋλικά.

Αντιστοίχως, περιγράφονται οι τεχνολογίες εκτύπωσης που εφαρμόζονται, καθώς και οι εφαρμογές τους σε κλινικό επίπεδο.

Επίσης, στο άρθρο διαπιστώνεται ότι με το συνδυασμό των σύνθετων υλικών δύναται να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων τους. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι η τετραδιάστατη εκτύπωση βελτίωσε σημαντικά τα θεραπευτικά αποτελέσματα στον κλάδο της γναθοχειρουργικής και επιτάχυνε το χρόνο επούλωσης των τραυμάτων κατόπιν των επεμβάσεων.

Τέλος, προβλέπεται ότι οι μελλοντικές μελέτες στοχεύουν στην περαιτέρω βελτιστοποίηση των βιολογικών και φυσικών ιδιοτήτων των εκτυπωμένων οδοντικών προϊόντων, όπου θα ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες μετεγχειρητικών φλεγμονών ή άλλων παρενεργειών. Αναφέρουν ορισμένα υλικά, όπως ο υδροξυαπατίτης που χρίζουν εκτενέστερης έρευνας στην εφαρμογή τους στην οδοντιατρική.

Συμπεράσματα

Η εργασία πραγματοποιήθηκε διεξοδικά την ανάπτυξη της τεχνολογίας των τρισδιάστατων εκτυπωτών στην ιατρική.

Υφίσταται ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών τρισδιάστατης εκτύπωσης με τη χρήση πολλαπλών υλικών που φέρουν διάφορες χρήσιμες ιδιότητες.

Επιπλέον, περιγράφεται η διαδικασία της αναγκαίας συντήρησης των τρισδιάστατων εκτυπωτών. Προκύπτει ότι απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για τη συντήρησή τους, ενώ συνιστά μια χρονοβόρα διαδικασία που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής σε τεχνικό επίπεδο.

Διαπιστώνεται, ακόμη, ότι εκ μέρους τόσο της επιστήμης σε συνεργασία με τις επιχειρήσεις, εμφανίζεται μια δυναμική ανάπτυξη και εξέλιξη των τεχνικών δυνατοτήτων των 3D εκτυπωτών, προκειμένου να παρέχεται η βέλτιστη κάλυψη των ιατρικών αναγκών. Κατ' επέκταση βελτιώνεται το επίπεδο διαβίωσης των ασθενών.

Εντούτοις, καθίσταται σαφές ότι η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης επιβάλλεται να εξελιχθεί περαιτέρω σε σχέση με την προσπάθεια βελτιστοποίησης των εκτυπωμένων δομών, της αντοχής των υλικών τους και της λειτουργικότητάς τους.

Ακόμη, κρίνεται ως αναγκαία η διερεύνηση των βιολογικών και φυσικών ιδιοτήτων των εκτυπωμένων προϊόντων, ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων παρενεργειών. Ενδεικτικά, ορισμένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται χρίζουν εκτενέστερης έρευνας στην εφαρμογή τους σε ποικίλους τομείς της ιατρικής, όπως π.χ. στην οδοντιατρική.

Επιπροσθέτως, προκύπτει από την εργασία ότι η τρισδιάστατη ή/και τετραδιάστατη βιοεκτύπωση, αναμένεται να συμβάλλει καθοριστικά στον τομέα της αναγέννησης των ιστών. Συνεπώς, θα είναι τεράστια η αξία της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης και στον τομέα της αναγεννητικής ιατρικής.

Παράλληλα, υφίστανται σημαντικές προκλήσεις στην ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων αξιοποίησης βιοϋλικών. Ήδη οι κατασκευάστριες εταιρίες τρισδιάστατων εκτυπωτών παρέχουν στην αγορά τεχνολογικά εξελιγμένα βιομελάνια. Στο πλαίσιο αυτό είναι προς διερεύνηση in vivo μέθοδοι βιοκατασκευής με σκοπό την μελλοντική

δυνατότητα μαζικής παραγωγής εκτυπωμένων δομών. Με άλλα λόγια, ο στόχος είναι η πλήρης κάλυψη πολύπλοκων κλινικών αναγκών σε όσο το δυνατόν συντομότερο χρονικό διάστημα.

Όλα τα ανωτέρω επιβεβαιώνονται ισχυρά και από τη βιβλιογραφική παράθεση ερευνητικών δημοσιεύσεων, σύμφωνα με τις οποίες αναδεικνύεται η τεράστια αξία της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην ιατρική και οδοντιατρική.

Συμπερασματικά, θεωρείται βέβαιο ότι με την ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας, η τρισδιάστατη εκτύπωση, θα διαδραματίσει καταλυτικό ρόλο στις μεταμοσχεύσεις στο μέλλον.

Βιβλιογραφία

3DBiology.com. (2021). How Much Does 3D Printing Organs Cost? The Actual Numbers - 3DBiology.com. Available at: <https://www.3dbiology.com/3d-printing-organs-cost/>. [Accessed 3 November 2021].

3D Printer Manufacturers - Airwolf 3D. Lubrication. Available at: <https://airwolf3d.com/3d-printer-support/encyclopedia/maintenance-troubleshooting/lubrication>. [Accessed 9 Mar. 2024].

3Printr.com. (2017). 10 Tips to Maintain Your 3D Printer - 3Printr.com. Available at: <https://www.3printr.com/10-tips-maintain-3d-printer-4148492/>. [Accessed 17 November 2021].

Arockiam, A., Karthikeyan, S., Padmanabhan, R., Rajeshkumar, S., Dilip, K., B., and Rajesh, S. (2021). A review on PLA with different fillers used as a filament in 3D printing. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.413>.

Assets.thermofisher.com. (2021). BIO X 3D Bioprinter. User Manual. Available at: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/ANZ/manuals/cellink-biox-3d-bioprinter-manual.pdf>. [Accessed 3 November 2021].

Bayarsaikhan, E., Lim, J.-H., Shin, S.-H., Park, K.-H., Park, Y.-B., Lee, J.-H., Kim, J.-E. (2021). Effects of Postcuring Temperature on the Mechanical Properties and Biocompatibility of Three-Dimensional Printed Dental Resin Material, *Polymers* 13, No. 8, 1180. <https://doi.org/10.3390/polym13081180>.

Brachet, A., Aleksandra, B., Furtak, D., Zuzanna, G., Dawid, T., Kinga, K., Karpiński, R., Maciejewski, M. and Baj, J. (2023). Application of 3D Printing in Bone Grafts. *Cells*, 12(6), pp.859–859. doi:<https://doi.org/10.3390/cells12060859>.

Cai, H., Xu, X., Lu, X., Zhao, M., Jia, Q., Heng, B., J., and Kwon, J.-S. (2023). Dental Materials Applied to 3D and 4D Printing Technologies: A Review. *Polymers*, 15(10), pp.2405–2405. doi:<https://doi.org/10.3390/polym15102405>.

Chareancholvanich, K., Narkbunnam, R., Pornrattanamaneewong, C. (2013). A prospective randomised controlled study of patient-specific cutting guides compared

with conventional instrumentation in total knee replacement. *Bone Joint J.* 95(3):354–9. doi: 10.1302/0301-620X.95B3.29903.

Cheung, C., Looi, T., Lendvay, T., Drake, J., Farhat, W. (2014). Use of 3-dimensional printing technology and silicone modeling in surgical simulation: development and face validation in pediatric laparoscopic Pyeloplasty. *J Surg Educ.* 71(5):762–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.03.001>.

Christensen, A., and Rybicki, F., J. (2017). Maintaining safety and efficacy for 3D printing in medicine. *3D Printing in Medicine*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.1186/s41205-016-0009-5>.

Chow, M.-J. and Zhang, Y. (2011). Changes in the Mechanical and Biochemical Properties of Aortic Tissue due to Cold Storage. *Journal of Surgical Research*, 171(2), pp.434–442. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jss.2010.04.007>.

Chung, J., Lee, G. and Kim, J., H. (2021). Framework for technical specifications of 3D concrete printers. *Automation in Construction*, 127, p.103732. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103732>.

Council, A., Petch, M., and Edward, L. (2014). *3D Printing: Rise of the Third Industrial Revolution*, Gyges 3D, Tumwater.

Cui, H., Nowicki, M., Fisher, J., P. and Zhang, L., G. (2016). 3D Bioprinting for Organ Regeneration. *Advanced Healthcare Materials*, 6(1), p.1601118. doi:<https://doi.org/10.1002/adhm.201601118>.

Dey, M., and Ozbolat, I., T. (2020). 3D bioprinting of cells, tissues and organs. *Scientific Reports*, 10(1). doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-020-70086-y>.

Ec.europa.eu. (2021). Conformity assessment procedures for 3D printing and 3D printed products to be used in a medical context for COVID-19. Available at: https://ec.europa.eu/health/sites/default/files/md_sector/docs/md_mdcg_qa_3d_ppp_covid-19_en.pdf. [Accessed 3 November 2021].

Ege, D. and Hasirci, V. (2023). Is 3D Printing Promising for Osteochondral Tissue Regeneration? *ACS Applied Bio Materials*. doi:<https://doi.org/10.1021/acsabm.3c00093>.

Embs.org. (2021). Biorobotics – EMBS. Available at: <https://www.embs.org/about-biomedical-engineering/our-areas-of-research/biorobotics/>. [Accessed 1 December 2021].

EOS. 3D Printing of Prosthetics | EOS. Available at: <https://www.eos.info/en/innovations/all-3d-printing-applications/medical/orthoses-prostheses>. [Accessed 9 Mar. 2024].

EOS. Polyamide (PA12). for Industrial 3D Printing | EOS. Available at: <https://www.eos.info/en/3d-printing-materials/plastic/polyamide-pa-12-alumide>. [Accessed 9 Mar. 2024].

Fabbaloo. The Full Spectrum Of 3D Printed Surgical Models «Fabbaloo. Available at: <https://www.fabbaloo.com/news/the-full-spectrum-of-3d-printed-surgical-models>. [Accessed 9 Mar. 2024].

FDA. Technical Considerations for Additive Manufactured Devices - Draft Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff. 2016. Available at: <http://www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/UCM499809.pdf>. [Accessed 13 November 2021].

Formlabs. Buy 3D Printing Materials. Available at: <https://formlabs.com/eu/store/materials>. [Accessed 9 Mar. 2024].

Formlabs. Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. Available at: <https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/>. [Accessed 27 Mar. 2024].

Fu, J., Yu, X. and Jin, Y. (2018). 3D printing of vaginal rings with personalized shapes for controlled release of progesterone. *International Journal of Pharmaceutics*, 539(1-2), pp.75–82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.01.036>.

Gao, B., Yang, Q., Zhao, X., Jin, G., Ma, Y. and Xu, F. (2016). 4D Bioprinting for Biomedical Applications. *Trends in Biotechnology*, 34(9), pp.746–756. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.03.004>.

Goyanes, A., Scarpa, M., Kamlow, M., Gaisford, S., Basit, A.W. and Orlu, M. (2017). Patient acceptability of 3D printed medicines. *International Journal of Pharmaceutics*, [online] 530(1-2), pp.71–78. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.07.064>.

Griffiths, L. (2023). BLT launches 12-laser metal 3D printer and demonstrates copper capabilities. TCT Magazine. Available at: <https://www.tctmagazine.com/blt-12-laser-metal-demonstrates-copper-3d-printing-capabilities/>. [Accessed 9 Mar. 2024].

HUBS. What is MJF (HP's Multi Jet Fusion) 3D printing?. Available at: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-multi-jet-fusion/>. [Accessed 27 Mar.2024].

Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A. and Ul Haq, M.I. (2022). 3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0. Sustainable Operations and Computers, 3, pp.33–42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004>.

Jamróz, W., Szafraniec, J., Kurek, M. and Jachowicz, R. (2018). 3D Printing in Pharmaceutical and Medical Applications – Recent Achievements and Challenges. Pharmaceutical Research, 35(9). doi:<https://doi.org/10.1007/s11095-018-2454-x>.

Kang, X., Zhang, X.-B., Gao, X.-D., Hao, D.-J., Li, T. and Xu, Z.-W. (2022). Bioprinting for bone tissue engineering. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 10. doi:<https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1036375>.

Khaled, S.A., Burley, J.C., Alexander, M.R., Yang, J. and Roberts, C.J. (2015). 3D printing of tablets containing multiple drugs with defined release profiles. International Journal of Pharmaceutics, 494(2), pp.643–650. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.07.067>.

Der Klift, F.V., Koga, Y., Todoroki, A., Ueda, M., Hirano, Y. and Matsuzaki, R. (2016). 3D Printing of Continuous Carbon Fibre Reinforced Thermo-Plastic (CFRTP) Tensile Test Specimens. Open Journal of Composite Materials, 06(01), pp.18–27. doi:<https://doi.org/10.4236/ojcm.2016.61003>.

Markforged. What is Electron Beam Melting (EBM)?. Available at: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-electron-beam-melting-ebm>. [Accessed 27 Mar. 2024].

Markforged. What is Digital Light Processing (DLP)?. Available at: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-digital-light-processing-dlp>. [Accessed 27 Mar. 2024].

Marks, M., Alexander, A., Matsumoto, J., Matsumoto, J., Morris, J., Petersen, R., Jack, C., Oishi, T. and Jones, D. (2017). Creating three dimensional models of Alzheimer's disease. *3D Printing in Medicine*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.1186/s41205-017-0020-5>.

Martinho, P., G. (2021). Design and Manufacturing of Plastics Products. Chapter 9 - Rapid manufacturing and tooling, pp.381-456. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819775-2.00008-5>.

Muhammad, H., N., Hanif, A., Muhammad, I., Pramesti, A.R. and Muhammad, S. (2021). Recent advances in 3D printed wound dressings. *Nucleation and Atmospheric Aerosols*. doi:<https://doi.org/10.1063/5.0047183>.

Printed Drug-Delivery Systems for Improved Patient Treatment. (2016). *Trends in Pharmacological Sciences*, 37(12), pp.1070–1080. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tips.2016.10.002>.

Richardson, L. (2020). What Is Medical 3D Printing—and How Is it Regulated? *pew.org*. Available at: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/issue-briefs/2020/10/what-is-medical-3d-printing-and-how-is-it-regulated>.

Sachs, E.M., Haggerty, J.S., Cima, M.J., Williams, P.A., Lawrence, E. and Steven, J., W. Three-dimensional printing techniques. Available at: <https://www.freepatentsonline.com/5204055.html>. [Accessed 9 Mar. 2024].

Severseike, L., Lee, V., Brandon, T., Bakken, C. and Bhatia, V. (2019). Polyjet 3D printing of tissue-mimicking materials: how well can 3D printed synthetic myocardium replicate mechanical properties of organic myocardium. doi: <https://doi.org/10.1101/825794>.

Skardal, A., Devarasetty, M., Kang, H.-W., Mead, I., Bishop, C., Shupe, T., Lee, S.J., Jackson, J., Yoo, J., Soker, S. and Atala, A. (2015). A hydrogel bioink toolkit for mimicking native tissue biochemical and mechanical properties in bioprinted tissue constructs. *Acta Biomaterialia*, 25, pp.24–34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actbio.2015.07.030>.

Stratasys. J750 Digital Anatomy | Stratasys™ Support Center. Available at: <https://support.stratasys.com/en/printers/polyjet-legacy/j750-digital-anatomy>. [Accessed 2 Dec. 2023].

Su, C., Chen, Y., Tian, S., Lu, C. and Lv, Q. (2022). Natural Materials for 3D Printing and Their Applications. *Gels*, 8(11), p.748. doi:<https://doi.org/10.3390/gels8110748>.

sumart.com. BLT-S210. BLT. Available at: <https://www.xa-blt.com/en/product/blt-s210/?category=29>. [Accessed 2 Feb. 2024].

Thakar, C.M., Parkhe, S.S., Jain, A., Phasinam, K., Murugesan, G. and Ventayen, R.J.M. (2021). 3d Printing: Basic principals and applications. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.272>.

Thimukonda, J., Baldia, M. and Basu, B. (2022). Next-generation personalized cranioplasty treatment. *Acta Biomaterialia*, 154, pp.63–82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.10.030>.

TWI. What is Powder Bed Fusion? Process Definition and Advantages. www.twi-global.com. Available at: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-powder-bed-fusion>. [Accessed 18 Nov. 2023]

Valchanov, P.S. (2017). 3D Printing in medicine – principles, applications and challenges. *Scripta Scientifica Vox Studentium*, 1(1), p.18. doi:<https://doi.org/10.14748/ssvs.v1i1.4109>.

Vorndran, E., Moseke, C. and Gbureck, U. (2015). 3D printing of ceramic implants. *MRS Bulletin*, 40(2), pp.127–136. doi:<https://doi.org/10.1557/mrs.2015.326>.

Zajicek, A., Fossler, M.J., Barrett, J.S., Worthington, J.H., Ternik, R., Charkoftaki, G., Lum, S., Breitzkreutz, J., Baltezor, M., Macheras, P., Khan, M., Agharkar, S. and MacLaren, D.D. (2013). A Report from the Pediatric Formulations Task Force: Perspectives on the State of Child-Friendly Oral Dosage Forms. *The AAPS Journal*, 15(4), pp.1072–1081. doi:<https://doi.org/10.1208/s12248-013-9511-5>.

Zein, N.N., Hanouneh, I.A., Bishop, P.D., Samaan, M., Eghtesad, B., Quintini, C., Miller, C., Yerian, L. and Klatte, R. (2013). Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation. *Liver Transplantation*, 19(12), pp.1304–1310. doi:<https://doi.org/10.1002/lt.23729>.

Zhang, H. and Wu, C. (2023). 3D printing of biomaterials for vascularized and innervated tissue regeneration. *International Journal of Bioprinting*, 9(3). doi:<https://doi.org/10.18063/ijb.706>.

Στεφανίδου, Γ. (2023). Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην ιατρική. *polynoe.lib.uniwa.gr*. doi:<https://doi.org/10.26265/polynoe-4829>.