

Ελληνικο Μεσογειακο Πανεπιστημιο

Σχολη Μηχανικων

Τμημα Ηλεκτρονικων Μηχανικων

ΤΙΤΛΟΣ

‘3D ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ’

ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΟΥΡΝΑΡΑ

ΤΛ20302

ΥΠΕΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΑΝΤΩΝΙΔΑΚΗΣ

Χανιά, Ακαδημαϊκό έτος: $10^{ο}$

Πίνακας περιεχομένων

1. Περίληψη....4
2. Abstract....5
3. Εισαγωγή....6
4. Σκοπός της εργασίας....7
5. 3D εκτύπωση....8
   - Τι εκτυπωτές υπάρχουν....8
   - Δυνατότητες, λειτουργία, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα....8
6. Προσθετικά μέλη....15
   - Γενικές κατηγορίες δυναμικών προσθετικών μελών....15
   - Δυναμικές κινήσεις ανά τύπο πρόσθετου μέλους....16

   Κινηματικές και Δυναμικές Κινήσεις – Προσθετικά Κάτω Άκρα....16

   Κινηματικές και Δυναμικές Κινήσεις – Προσθετικά Άνω Άκρα....18
   - Υλικά....19

   Ορθοπαιδική....19

   Οδοντιατρική....21

   Νευροχειρουργική & Κρανιοπροσωπική χειρουργική....21

   Βιοεκτύπωση (BioPrinting)....22

   Οφθαλμολογία....22

   Καρδιολογία & Αγγειοχειρουργική....23

   Ρομποτικά προσθετικά & αποκατάσταση....23
   - Τεχνικές απόκτησης 3D δεδομένων....24
7. Ρομποτική....28
   - Τι είναι τα ρομποτικά προσθετικά μέλη;....28
   - Τεχνική δομή ρομποτικών προσθετικών μελών....28
   - Hardware – Παραδείγματα....30

- Software – Παραδείγματα.....35
- Ανοιχτές Βιβλιοθήκες.....39

Προγραμματιστικές βιβλιοθήκες για έλεγχο προσθετικών.....40

8. Παράδειγμα Σχεδίασης Ποδιού Μέσω OSL.....41
9. Επίλογος.....46
10. Συμπεράσματα.....46
11. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....47
12. Αναφορές.....49

1. Περίληψη

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) έχει εξελιχθεί σε μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες του 21ου αιώνα, προσφέροντας δυνατότητες που ξεπερνούν τα παραδοσιακά όρια της κατασκευής. Η εφαρμογή της στον τομέα των προσθετικών μελών έχει δημιουργήσει νέες προοπτικές για την ιατρική αποκατάσταση, επιτρέποντας την παραγωγή εξατομικευμένων, λειτουργικών και οικονομικά προσιτών λύσεων. Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι κύριες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης και οι χρήσεις τους στην ιατρική, παρουσιάζονται οι κατηγορίες προσθετικών μελών και οι δυναμικές κινήσεις τους, ενώ αναλύονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά ιατρικά πεδία. Επιπλέον, εξετάζεται ο ρόλος της ρομποτικής και της τεχνητής νοημοσύνης στην ανάπτυξη προηγμένων βιονικών μελών, καθώς και οι ανοιχτές βιβλιοθήκες και πλατφόρμες που καθιστούν την τεχνολογία πιο προσβάσιμη. Τέλος, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σχεδίασης τεχνητού ποδιού βασισμένου σε open-source τεχνολογίες, ως πρακτική απόδειξη της δυνατότητας αξιοποίησης της 3D εκτύπωσης για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής ατόμων με κινητικές αναπηρίες.

2. Abstract

Three-dimensional printing (3D printing) has evolved into one of the most significant technologies of the 21st century, offering capabilities that transcend the traditional boundaries of manufacturing. Its application in the field of prosthetic limbs has created new prospects for medical rehabilitation, enabling the production of personalized, functional, and economically affordable solutions. This thesis studies the main 3D printing technologies and their uses in medicine, presents the categories of prosthetic limbs and their dynamic movements, while analyzing the materials used in different medical fields. Furthermore, it examines the role of robotics and artificial intelligence in the development of advanced bionic limbs, as well as the open libraries and platforms that make the technology more accessible. Finally, an example of the design of an artificial leg based on open-source technologies is presented, as practical evidence of the potential of 3D printing to improve the quality of life for people with mobility impairments.

3. Εισαγωγή

Η απώλεια ενός μέλους αποτελεί μία από τις πιο σοβαρές προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας άνθρωπος, καθώς επηρεάζει τόσο τη σωματική του λειτουργικότητα όσο και την ψυχολογική του ευημερία. Η ανάπτυξη προσθετικών μελών έχει ως στόχο την αποκατάσταση της κινητικότητας και της ανεξαρτησίας, παρέχοντας λύσεις που βελτιώνουν την καθημερινότητα των ασθενών. Παρά τις σημαντικές προόδους που έχουν σημειωθεί τα τελευταία χρόνια, τα παραδοσιακά προσθετικά μέλη συχνά παρουσιάζουν περιορισμούς σε επίπεδο κόστους, εξατομίκευσης και λειτουργικότητας. Η ραγδαία εξέλιξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης έρχεται να καλύψει αυτά τα κενά, καθώς επιτρέπει την παραγωγή εξατομικευμένων προσθετικών μελών με χαμηλότερο κόστος, υψηλότερη ακρίβεια και καλύτερη εφαρμογή. Παράλληλα, η ενσωμάτωση ρομποτικών συστημάτων και τεχνητής νοημοσύνης δίνει νέα διάσταση στην αποκατάσταση, προσφέροντας προσθετικά μέλη που όχι μόνο μιμούνται αλλά και βελτιώνουν τη φυσική κίνηση. Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη μελέτη των τεχνολογιών και των εφαρμογών της 3D εκτύπωσης στα προσθετικά μέλη, αναδεικνύοντας τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την αξιοποίησή της.

4. Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμβολής της τρισδιάστατης εκτύπωσης στη μελέτη, τον σχεδιασμό και την κατασκευή προσθετικών μελών. Ειδικότερα, επιδιώκεται:

- η παρουσίαση των βασικών τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης και των δυνατοτήτων τους στον ιατρικό τομέα,
- η ανάλυση των κατηγοριών και των δυναμικών κινήσεων των προσθετικών μελών,
- η διερεύνηση των υλικών που χρησιμοποιούνται για διαφορετικές ιατρικές εφαρμογές,
- η εξέταση του ρόλου της ρομποτικής και της τεχνητής νοημοσύνης στην ανάπτυξη βιονικών προσθετικών,
- καθώς και η παρουσίαση ενός παραδείγματος σχεδίασης προσθετικού ποδιού με χρήση open-source τεχνολογιών.

Μέσα από αυτήν την προσέγγιση επιδιώκεται να καταδειχθεί πώς η 3D εκτύπωση μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης για την εξέλιξη της αποκατάστασης, παρέχοντας καινοτόμες, λειτουργικές και προσβάσιμες λύσεις.

5. 3D εκτύπωση

➢ Τι εκτυπωτές υπάρχουν

Παρόλο που υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί εκτυπωτές, υπάρχουν επί του παρόντος μόνο έντεκα βασικοί τύποι τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης:

1) Fused Deposition Modeling (FDM)
2) Stereolithography (SLA)
3) Selective Laser Sintering (SLS)
4) Selective Laser Melting (SLM)
5) Direct Metal Laser Sintering (DMLS)
6) BioPrinters
7) Digital Light Processing (DLP)
8) Electron Beam Melting (EMB)
9) Laminated Object Manufacturing (LOM)
10) Binder Jetting (BJ)
11) Material Jetting/Wax Casting (MJ)

Οι εκτυπωτές που θα δώσουμε περισσότερη σημασία διότι χρησιμοποιούνται στον κλάδο της ιατρικής είναι οι SLA, SLS, FDM, DMLS, SLM και BioPrinters.

➢ Δυνατότητες, λειτουργία, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Όταν πρόκειται για τρισδιάστατους εκτυπωτές με ιατρικές χρήσεις είναι σημαντικό να επιλέξουμε την σωστή τεχνολογία εκτύπωσης για συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης:

- **Fused Deposition Modeling (FDM)**

  Λειτουργία:

  Το FDM βασίζεται στη θέρμανση και εξώθηση θερμοπλαστικού υλικού (όπως PLA ή ABS), το οποίο εναποτίθεται στρώση-στρώση για να δημιουργηθεί το αντικείμενο.

  Δυνατότητες:

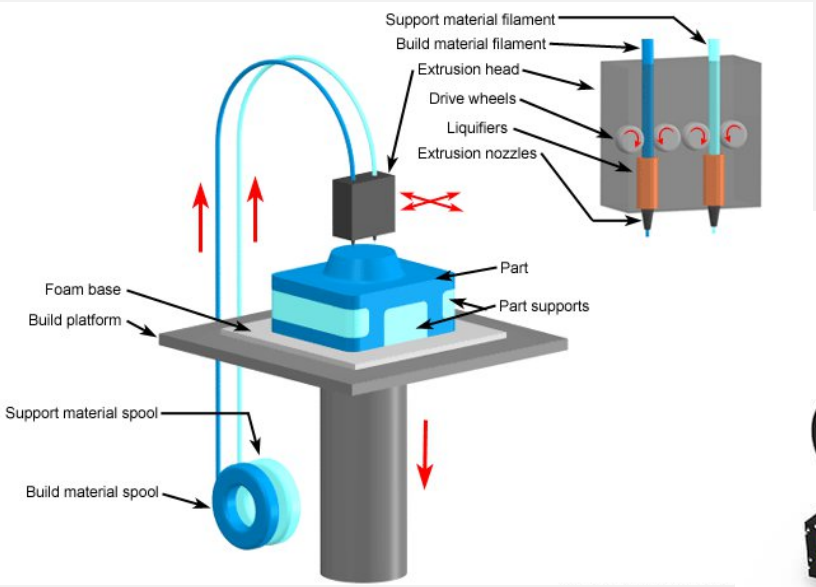
  Εκτυπώνει μοντέλα ανατομίας για προ εγχειρητικό σχεδιασμό, παράγει προσωπικούς ορθοπεδικούς νάρθηκες και χρησιμοποιείται για εκπαίδευση φοιτητών ιατρικής μέσω φυσικών μοντέλων οργάνων.

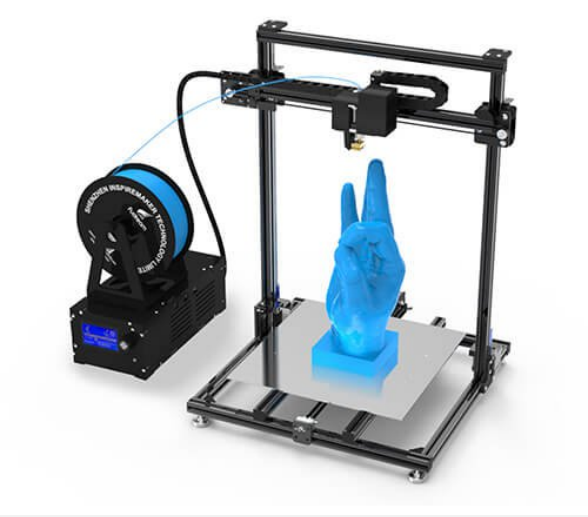
  Πλεονεκτήματα:

  Είναι οικονομικός και προσιτός, γρήγορος για πρωτότυπα και μοντέλα και αρκετά ευέλικτος για καθημερινές εφαρμογές.

  Μειονεκτήματα:

  Έχει χαμηλή ανάλυση και ακρίβεια σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, περιορισμένη αντοχή σε βιοϊατρικές εφαρμογές εμφύτευσης και δεν έχει βιοσυμβατά υλικά σε πολλές περιπτώσεις.





- **Stereolithography (SLA)**

  Λειτουργία:

  Χρησιμοποιεί υγρές φωτοπολυμερείς ρητίνες οι οποίες σκληραίνονται με UV laser στρώση-στρώση.

  Δυνατότητες:

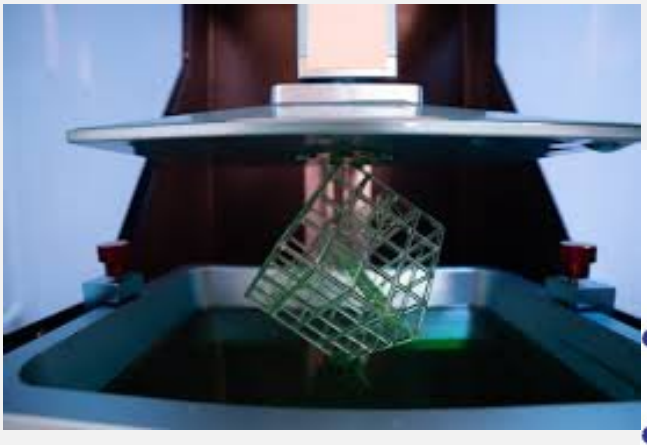
  Εκτυπώνει λεπτομερή μοντέλα οδοντιατρικής και γναθοπροσωπικής χειρουργικής, μπορεί να παράγει οδοντικά εκμαγεία, νάρθηκες, οδηγούς τρυπανιών και δημιουργεί προσθετικές συσκευές με ακρίβεια.

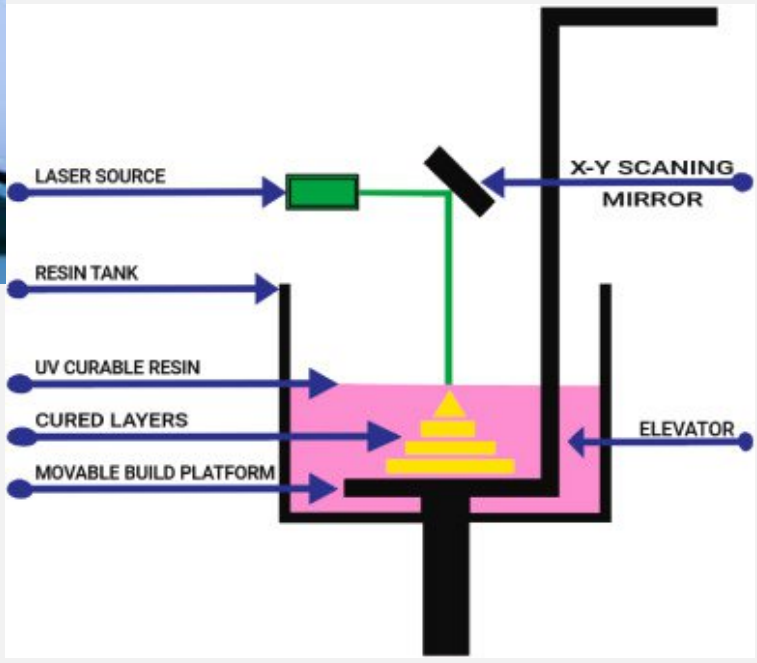
  Πλεονεκτήματα:

  Έχει πολύ υψηλή ανάλυση και λεπτομέρεια, είναι ιδανικό για μικρά, περίπλοκα ιατρικά εξαρτήματα και υπάρχει ποικιλία βιοσυμβατών ρητινών που είναι διαθέσιμα στην αγορά.

  Μειονεκτήματα:

  Είναι ευαίσθητα εξαρτήματα, ελαφρώς ακριβότερη διαδικασία σε σύγκριση με το FDM και οι ρητίνες συχνά δεν είναι κατάλληλες για μακροχρόνια χρήση εντός σώματος.





- **Selective Laser Sintering (SLS)**

  Λειτουργία:

  Χρησιμοποιεί λέιζερ για να λιώσει και να συγκολλήσει σκόνες πολυμερών υλικών, όπως νάιλον, για να σχηματίσει στερεά αντικείμενα.

  Δυνατότητες:

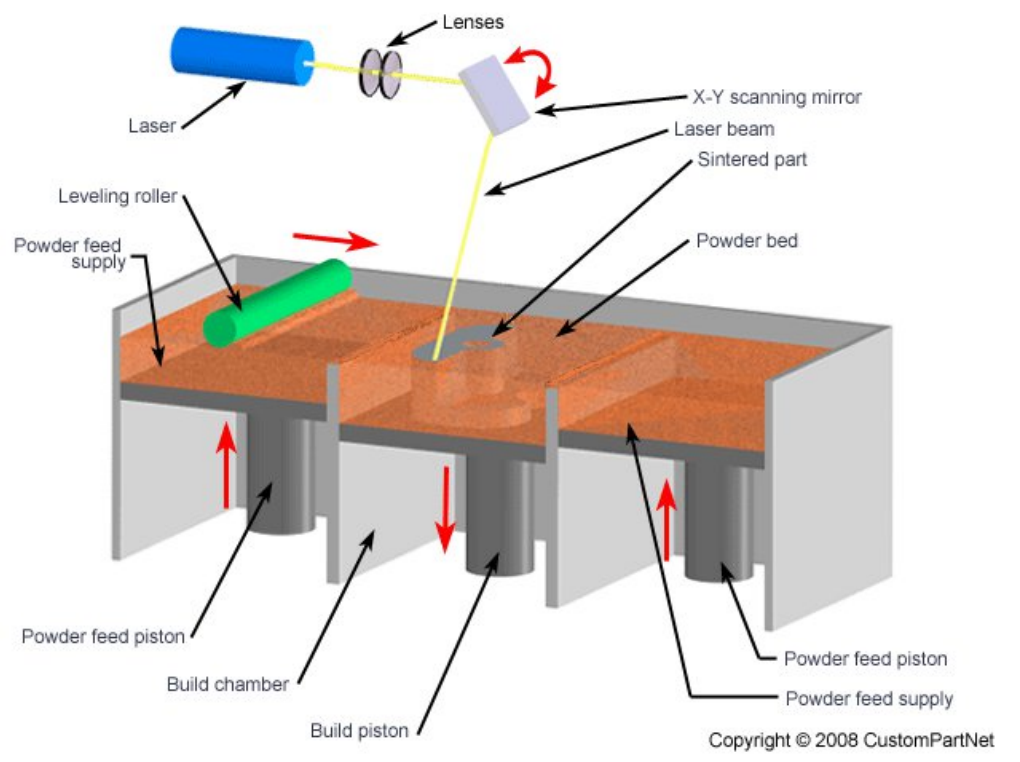
  Παράγει ελαφριά, ανθεκτικά προσθετικά εξαρτήματα, εκτυπώνει ορθοπεδικές συσκευές και υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας προσαρμοσμένων χειρουργικών εργαλείων.

  Πλεονεκτήματα:

  Κατά την εκτύπωση δεν απαιτεί υποστηρίγματα, έχει ανθεκτικά και λειτουργικά εξαρτήματα και είναι κατάλληλο για μαζική παραγωγή ιατρικών συσκευών.

  Μειονεκτήματα:

  Έχει υψηλό κόστος εξοπλισμού, είναι περιορισμένο στην ποικιλία υλικών και έχει πιο περίπλοκη διαδικασία μετά-επεξεργασίας.



- **Selective Laser Melting (SLM)**

  Λειτουργία:

  Χρησιμοποιεί λέιζερ για να λιώσει πλήρως μεταλλικές σκόνες, δημιουργώντας πλήρως μεταλλικά αντικείμενα αντοχής.

  Δυνατότητες:

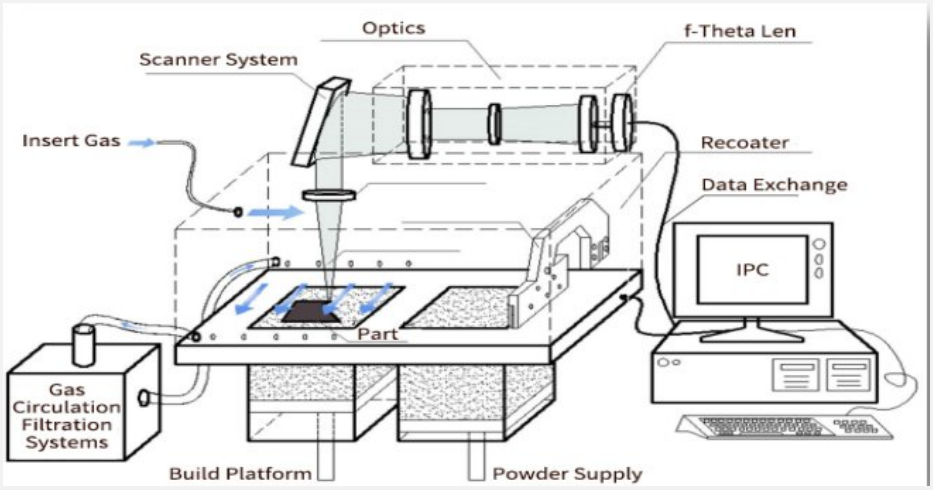
  Εκτυπώνει εμφυτεύματα ορθοπεδικών εξαρτημάτων(π.χ. ισχία, σπονδυλικές κατασκευές), παράγει εμφυτεύματα από τιτάνιο και κοβάλτιο-χρωμίου και υπάρχει η δυνατότητα προσαρμοσμένων κατασκευών για δύσκολες εγχειρήσεις.

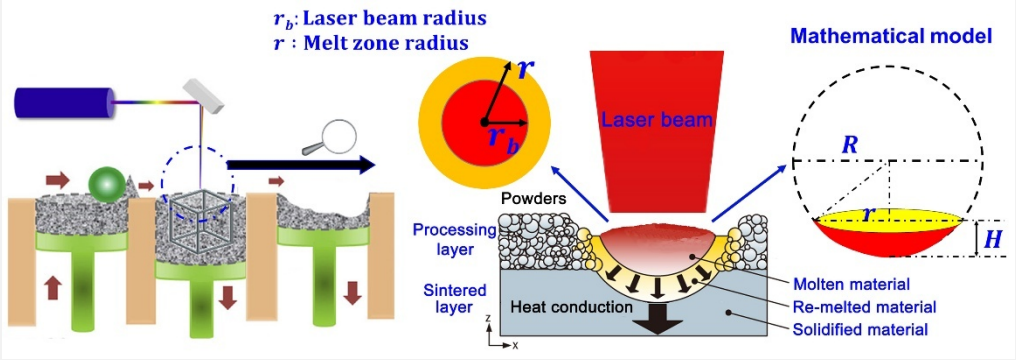
  Πλεονεκτήματα:

  Πολύ υψηλή μηχανική αντοχή, είναι κατάλληλο για μόνιμα εμφυτεύματα και έχει ικανότητα για σύνθετα γεωμετρικά σχήματα.

  Μειονεκτήματα:

  Πολύ ακριβός εξοπλισμός, χρειάζεται πολύ υψηλές θερμοκρασίες και απαιτεί αυστηρό ποιοτικό έλεγχο.





- **Direct Metal Laser Sintering (DMLS)**

  Λειτουργία:

  Παρόμοια με το SLM, αλλά η σκόνη δεν λιώνει πλήρως, απλώς συγκολλάτε με θερμότητα μέσω λέιζερ.

  Δυνατότητες:

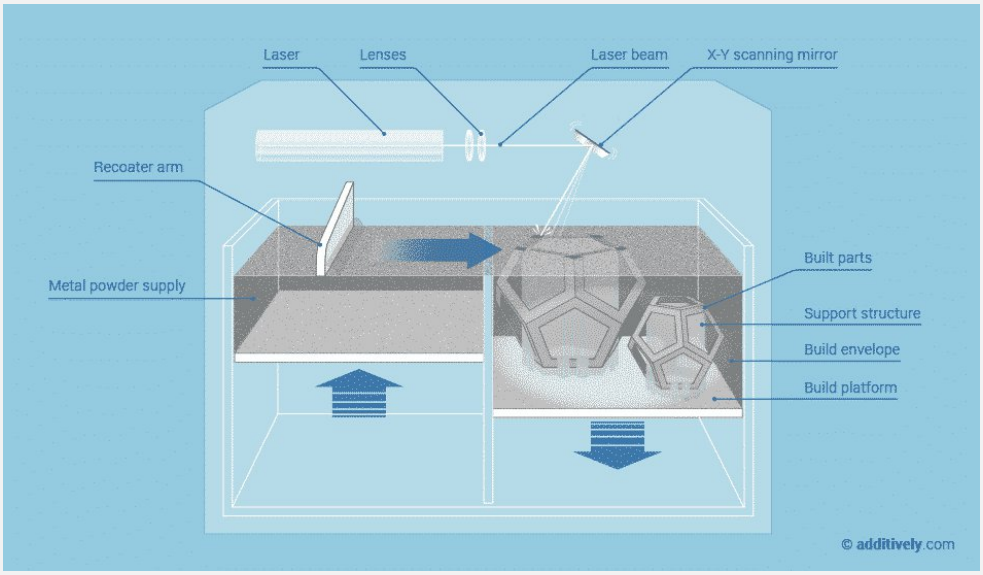
  Κατασκευή μεταλλικών εμφυτευμάτων και εξαρτημάτων με ακρίβεια, είναι ιδανικό για προσωποποιημένα εμφυτεύματα και χρησιμοποιείτε σε καρδιολογικά, ορθοπεδικά και νευροχειρουργικά πεδία.

  Πλεονεκτήματα:

  Εξαιρετική ακρίβεια και δυνατότητα για μικρό-λεπτομέρειες, είναι βιοσυμβατά και υπάρχει η δυνατότητα προσαρμοσμένων εξαρτημάτων σύμφωνα με τα απεικονιστικά δεδομένα του ασθενούς (CT, MRI).

  Μειονεκτήματα:

  Υπάρχει ανάγκη για θερμική επεξεργασία μετά την εκτύπωση, είναι πολύ υψηλό το κόστος και είναι περίπλοκη η διαχείριση της μεταλλικής σκόνης.



- **BioPrinters**

  Λειτουργία:

  Εκτυπώνουν με χρήση “bioinks” – υδρογέλες με ζωντανά κύτταρα ή βιοϋλικά για δημιουργία ζωντανών ιστών ή οργανικών δομών.

  Δυνατότητες:

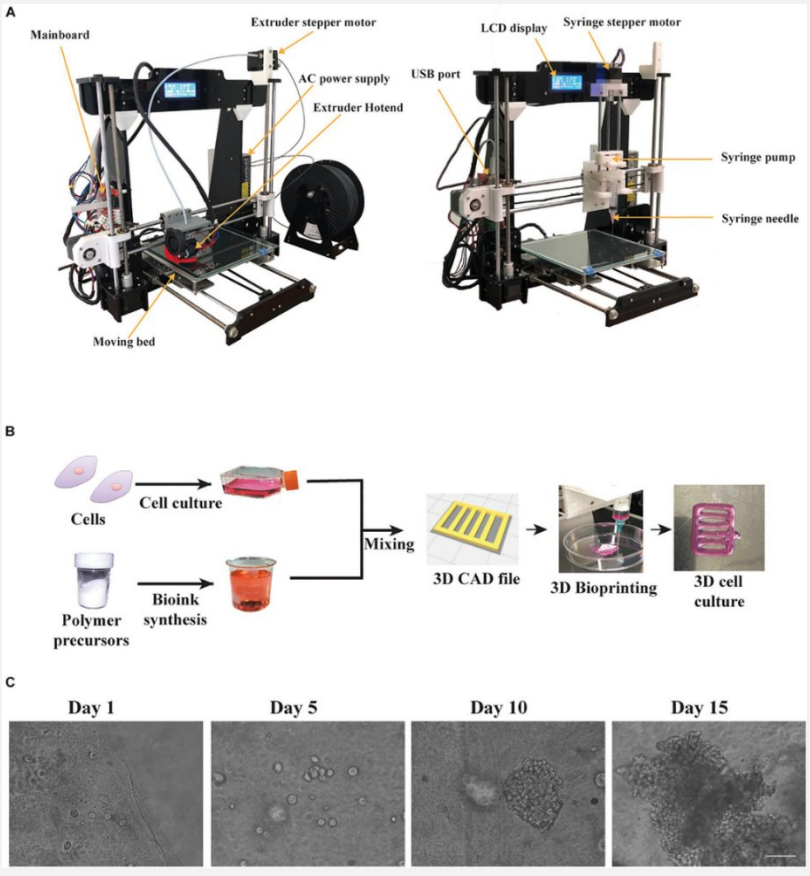
  Εκτύπωση ανθρώπινων ιστών και οργάνων για έρευνα ή μελλοντική μεταμόσχευση, δημιουργία δερματικών μοσχευμάτων για εγκαύματα και παραγωγή οργανικών μοντέλων για φαρμακευτικές δοκιμές.

  Πλεονεκτήματα:

  Επαναστατική δυνατότητα για αναγεννητική ιατρική και μείωση της ανάγκης για ζωικά πειραματικά μοντέλα.

  Μειονεκτήματα:

  Είναι πολύπλοκη και πειραματική τεχνολογία ακόμα, υπάρχει χαμηλή βιωσιμότητα των εκτυπωμένων ιστών μακροπρόθεσμα, είναι υψηλό το κόστος και υπάρχουν αυστηρές βιοηθικές απαιτήσεις.



6. Προσθετικά μέλη

➢ Γενικές κατηγορίες δυναμικών προσθετικών μελών

Ο όρος ¨δυναμικές¨ σε σχέση με τα προσθετικά μέλη μπορεί να αναφέρεται σε διάφορες πτυχές, όπως οι τύποι κίνησης, οι μηχανικές δυνατότητες, ή οι τεχνολογικές κατηγορίες (παθητικές, ενεργές, ρομποτικές, κ.α.). Παρακάτω παρουσιάζω τους τύπους και την δυναμική λειτουργία των προσθετικών μελών.

- **Παθητικά προσθετικά μέλη**

  Δεν έχουν δική τους κινητική δύναμη, η κίνηση τους προέρχεται αποκλειστικά από το υπόλοιπο σώμα και συχνά χρησιμοποιούνται για αισθητικούς λόγους ή σταθερότητα για παράδειγμα απλές προσθετικές παλάμες ή πόδια χωρίς μηχανισμό.

- **Μηχανοκίνητα προσθετικά μέλη**

  Περιλαμβάνουν κινητήρες και ηλεκτρικά κυκλώματα και ο χειρισμός τους γίνεται μέσω διακοπτών, αισθητήρων ή μέσω σημάτων EMG. Χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες: τα ηλεκτρομυϊκά ελεγχόμενα (myoelectric), τα οποία χρησιμοποιούν τα σήματα από τους μυς του υπόλοιπου άκρου και έτσι παρέχουν μία πιο φυσική και λεπτομερή κίνηση για παράδειγμα το κράτημα και η περιστροφή, και αυτά που έχουν μικτούς ή υβριδικούς μηχανισμούς, που ουσιαστικά είναι ο συνδυασμός ηλεκτρικής κίνησης και μηχανικής υποβοήθησης για παράδειγμα τα γόνατα με μικροεπεξεργαστή και υδραυλικά στοιχεία.

- **Ρομποτικά/Βιονικά προσθετικά**

  Είναι προηγμένα προσθετικά μέρη που μιμούνται τη φυσική κίνηση. Περιλαμβάνουν αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές, τεχνητή νοημοσύνη και κάποιες εκδόσεις παρέχουν ανάδραση αφής (haptic feedback). Για παράδειγμα βιονικά χέρια και προσθετικά γόνατα με στιγμιαία ρύθμιση ισορροπίας.

- **Μηχανικά προσθετικά με καλώδια (Body-Powered)**

  Λειτουργούν με μηχανικό καλώδιο που τραβάται από τις κινήσεις του σώματος, όπως η ώμος. Είναι πολύ ανθεκτικά και οικονομικά και γι’ αυτό τα κάνει κατάλληλα για σκληρές συνθήκες χρήσης.

➢ Δυναμικές κινήσεις ανά τύπο πρόσθετου μέλους

Κινηματικές και Δυναμικές Κινήσεις – Προσθετικά Κάτω Άκρα

1.1 **Foot-Powered Προσθετικά**





SACH (Solid Ankle Cushion Heel): Σταθερός άξονας με ελαστικό τακούνι. Δεν παρέχει ενεργητική αποθήκευση ενέργειας, αλλά βοηθά μερικώς στην απορρόφηση κραδασμών.

Flex-Foot Cheetah: Αποθηκεύει την δυναμική ενέργεια κατά το πάτημα και την απελευθερώνει στην ώθηση γι' αυτό είναι ιδανικό για τρέξιμο.

1.2 **Αποθήκευση Ενέργειας & Δυναμική Απόκριση**

Πολυαξονικοί αρθρωτές ή μη, με κλίση που λειτουργεί σαν ελατήριο, προσφέροντας αποθήκευση και απόδοση ενέργειας. Επιτρέπουν και αντιστροφή/επιστροφή για ευέλικτη κίνηση.

1.3 **Ρομποτικά πόδια**

Πλήρως τροφοδοτούμενα πόδια: Ενεργοί κινητήρες κινούν τις αρθρώσεις για πιο φυσικό βάδισμα.
Ημι-ενεργά πόδια: Μικρό-ενεργοποίηση για αλλαγή μηχανικών ιδιοτήτων χωρίς εισαγωγή επιπλέον ενέργειας στον κύκλο βάδισης.

1.4 **Συντονισμένη βάδιση & μηχανική απόσβεση**

Χρησιμοποιούν αισθητήρες ώστε να προσαρμόζεται το προσθετικό μέλος αυτόματα σε κλίση ή ταχύτητα για παράδειγμα ανίχνευση ανόδου, μείωση αντίστασης κ.α. Επιπλέον κάποια μοντέλα περιλαμβάνουν υδραυλικές αποσβέσεις και δυναμική προσομοίωση για ακριβή τονισμό γωνιών και ροπών.

Κινηματικές και Δυναμικές Κινήσεις – Προσθετικά Άνω Άκρα

2.1 **Παθητικά προσθετικά μέλη**

Δεν έχουν κίνηση από μόνα τους, αλλά προσφέρουν λειτουργικότητα μέσω θέσης για παράδειγμα locking joints για σταθερή λαβή.

2.2 **Body-powered προσθετικά**

Λειτουργούν μέσω μηχανικών καλωδίων που ενεργοποιούνται μέσω της κίνησης του σώματος.

2.3 **Ηλεκτρομυϊκά προσθετικά**

Οι αισθητήρες EMG ανιχνεύουν μυϊκά σήματα για έλεγχο της κίνησης. Επιτρέπουν ποικιλία λαβών με ακρίβεια. Για παράδειγμα η i-LIMB HAND χρησιμοποιεί προγραμματιζόμενες εντολές όπως

double/triple impulse, που αναφέρεται στον χρόνο και την αλληλουχία των μυϊκών ενεργοποιήσεων, το co-contraction που περιγράφει την ταυτόχρονη ενεργοποίηση αντίθετων μυϊκών ομάδων και τον περιστρεφόμενο αντίχειρα ή ακτίνα μέσω Bluetooth.

2.4 **Υβριδικά & Βιονικά Συστήματα**

Συνδυάζουν body-powered και myoelectric ή έχουν ενσωματωμένους μικροεπεξεργαστές.
Επικεντρώνονται σε φυσικότερο χειρισμό και πολλαπλές λειτουργίες.

2.5 **Νεύρο-ελεγχόμενα & προηγμένα συστήματα ανατροφοδότησης**

Νευρική σύνδεση, για παράδειγμα BCI (Brain-Computer Interface) ή νευρικά εμφυτεύματα, για λεπτομερή κίνηση και υψηλή ένταση ελέγχου. Μέσω αναρρόφησης προσφέρουν κιναισθητική αναρρόφηση, αίσθημα θέσης και κίνησης, βελτιώνοντας έτσι τον έλεγχο και την αίσθηση του μέλους.

➢ Υλικά

Ορθοπαιδική

- Τιτάνιο (Ti-6Al-4V): Είναι ένα κράμα τιτανίου που χαρακτηρίζεται από την υψηλή αντοχή, το χαμηλό βάρος και την αντίσταση στη διάβρωση.

Χρησιμοποιείται για εμφυτεύματα ισχίου, γόνατος, σπονδύλων.

- Πολυκαπρολακτόνη (PCL): Είναι ένα βιοδιασπώμενο, βιοσυμβατό συνθετικό πολυμερές που είναι γνωστό για την ικανότητά του να διεγείρει την παραγωγή κολλαγόνου και να προσφέρει φυσικά αποτελέσματα στην αποκατάσταση του όγκου και της ελαστικότητας του δέρματος. Χρησιμοποιείται για ικριώματα (μεμβράνες) οστικής αναγέννησης.
- Κεραμικά (Υδροξυαπατίτης, TCP): Ο υδροξυαπατίτης είναι ένα βιοκεραμικό υλικό με χημική σύσταση παρόμοια με αυτή του οστού. Είναι βιοσυμβατό και βιοδραστικό, προάγοντας την ανάπτυξη και ενσωμάτωση των οστών. Τα κεραμικά TCP (τρι-ασβέστιο φωσφορικό) είναι ένα βιοσυμβατό και βιοαπορροφήσιμο κεραμικό υλικό που χρησιμοποιείται για την ανάπλαση οστικών ελλειμμάτων.
- Ανθρακονήματα (Carbon Fiber): Είναι υλικό το οποίο αποτελείται από ίνες κυρίως άνθρακα. Οι ίνες αποτελούνται από άτομα άνθρακα των οποίων οι δεσμοί είναι περίπου παράλληλοι με τον άξονα της ίνας, γεγονός που προσδίδει στο ανθρακόνημα υψηλή στιβαρότητα και αντοχή σε θραύση και χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Χρησιμοποιείται κυρίως για νάρθηκες και εξαρτήματα που τοποθετούνται εξωτερικά στο σώμα.
- PLA / Nylon / ABS: Το PLA ή πολυγαλακτικό οξύ είναι ένας βιοδιασπάσιμος και βιοδραστικός θερμοπλαστικός αλειφατικός πολυεστέρας που

προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως το άμυλο καλαμποκιού, οι ρίζες ταπιόκα σε φλούδες, το άμυλο, ή το ζαχαροκάλαμο. Το nylon είναι ένα ισχυρό και ανθεκτικό συνθετικό πολυμερές και το ABS ή αλλιώς Ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο είναι ένα κοινό θερμοπλαστικό πολυμερές. Επειδή και τα τρία είναι θερμοπλαστικά χρησιμοποιούνται κυρίως για προσωρινά μοντέλα και για οδηγούς εγχειρήσεων.

Οδοντιατρική

- Ρητίνες (Dental resins): Είναι σκληρό, ανθεκτικό και με υψηλή αντοχή υλικό που χρησιμοποιείται για στεφάνες, γέφυρες και προσωρινά εμφυτεύματα.
- Κράματα κοβάλτιου-χρωμίου (Co-Cr): Είναι μεταλλικά κράματα που λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων τους όπως η αντοχή στη διάβρωση και η βιοσυμβατότητα χρησιμοποιούνται για μόνιμα οδοντιατρικά εμφυτεύματα.
- Ζιρκονία & Κεραμικά: Είναι ένα προηγμένο κεραμικό υλικό που λόγω της μηχανικής και βιοσυμβατότητας του χρησιμοποιείται για αισθητικές αποκαταστάσεις.
- PLA/ABS: χρησιμοποιούνται για εκπαίδευση και προκατασκευαστικά μοντέλα.

Νευροχειρουργική & Κρανιοπροσωπική χειρουργική

- Τιτάνιο: για κρανιακές πλάκες.

- PEEK (Polyether Ether Ketone): είναι ένα θερμοπλαστικό ημικρυσταλλικό πολυμερές υλικό υψηλής απόδοσης, γνωστό για την εξαιρετική του αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και τη χημική του αντοχή. Χρησιμοποιείται για εμφυτεύματα.
- PLA/PCL: Το μείγμα αυτό συνδυάζει τις ιδιότητες και των δύο υλικών, υψηλή ακαμψία και μηχανική αντοχή από την μία και ευελιξία και ελαστικότητα από την άλλη, προσφέροντας ιδιαίτερα στα καθοδηγητικά καλούπια.
- Ρητίνες: Είναι για ακριβή ανατομικά μοντέλα.

Βιοεκτύπωση (BioPrinting)

- Υδρογέλες (αλγινικό, κολλαγόνο, ινώδες): Είναι υλικά που αποτελούνται από ένα δίκτυο πολυμερών που είναι διασυνδεδεμένα και περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού. Είναι υδρόφιλα, δηλαδή έλκονται από το νερό, και χρησιμοποιούνται ως βάση για κύτταρα λόγω της ικανότητάς τους να απορροφούν και να συγκρατούν νερό.
- Bioinks με κύτταρα: Αυτά τα μελάνια είναι για εκτύπωση ιστών και αποτελούνται κυρίως από κύτταρα που χρησιμοποιούνται, αλλά συχνά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πρόσθετα υλικά που περιβάλλουν τα κύτταρα. Πρέπει να πληρούν ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως ρεολογικές, μηχανικές, βιολειτουργικές και βιοσυμβατές ιδιότητες, μεταξύ άλλων.
- PCL/PLA: Χρησιμοποιούνται ως υποστηρίγματα γύρο από τον ιστό.

Οφθαλμολογία

- Σιλικόνη: Είναι ένα συνθετικό πολυμερές που αποτελείται από άτομα πυριτίου και οξυγόνου, με οργανικές ομάδες συνδεδεμένες στα άτομα πυριτίου. Χρησιμοποιούνται για τεχνικούς φακούς ή ενθέματα.
- PCL/PLA: Χρησιμοποιούνται για υποδοχείς εμφυτευμάτων.
- Υδρογέλες: Χρησιμοποιούνται για μελέτες κερατοειδούς.

Καρδιολογία & Αγγειοχειρουργική

- Ρητίνες: Χρησιμοποιούνται για εκτύπωση αγγείων και καρδιάς για προσομοίωση.
- Υδρογέλες: Χρησιμοποιείται για ελαστικά μοντέλα ιστών.
- TPU: Χρησιμοποιείται για εκτυπωμένα αγγεία και καρδιακούς σωλήνες.

Ρομποτικά προσθετικά & αποκατάσταση

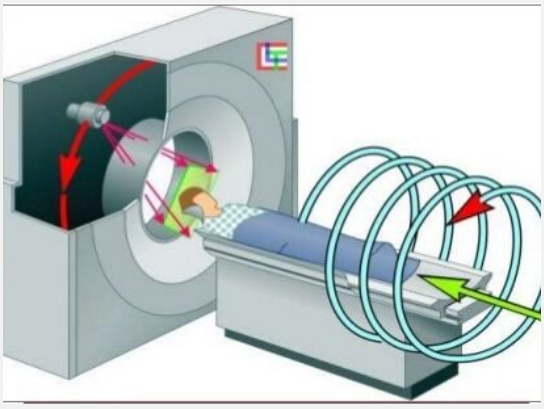
- Ανθρακονήματα (Carbon Fiber): Χρησιμοποιούνται ως σκελετοί προσθετικών μελών
- TPU: ή θερμοπλαστική πολυουρεθάνη, είναι ένα πλαστικό υλικό που χαρακτηρίζεται από την ευελιξία, την αντοχή και την απαλότητά του και γι’ αυτό χρησιμοποιείται για ελαστικά εξαρτήματα.
- Τιτάνιο/Αλουμίνιο: Χρησιμοποιούνται για μηχανικά εξαρτήματα και αρθρώσεις.

- ❖ Σιλικόνη: Χρησιμοποιείται για φυσικοί υφή στο κάλυμμα (π.χ. δάχτυλα).
- ❖ Αγωγοί (χαλκός, αγώγιμα πολυμερή): Χρησιμοποιούνται για τα ηλεκτρονικά μέρη.

➢ Τεχνικές απόκτησης 3D δεδομένων

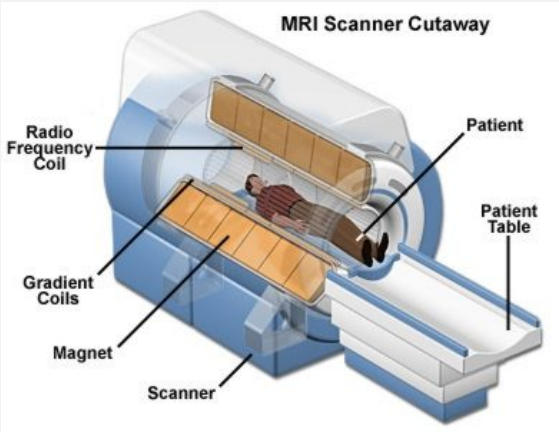
Στην ιατρική, οι τεχνικές απόκτησης 3D δεδομένων είναι κρίσιμες για διαγνώσεις, επεμβάσεις, προσομοιώσεις και σχεδιασμό προσθέσεων. Παρακάτω παρουσιάζω κάποιες εξειδικευμένες τεχνικές απόκτησης 3D δεδομένων με βάση τη λειτουργία και τις εφαρμογές τους:

- **Υπολογιστική Τομογραφία (CT – Computed Tomography)**



Χρησιμοποιεί ακτίνες Χ για τη λήψη πολλών διατομών, οι οποίες ανασυντίθενται σε 3D μοντέλο. Εμφανίζει πολύ λεπτομερείς απεικονίσεις οστών, ιστών και οργάνων. Εφαρμόζεται για την απεικόνιση του οστικού συστήματος, τον σχεδιασμό προσθετικών και εμφυτευμάτων και για προ-επεμβατικό σχεδιασμό.

- **Μαγνητική Τομογραφία (MRI – Magnetic Resonance Imaging)**



Στέλνει ραδιοκύματα σε μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύουν την απόκριση υδρογόνου σε ιστούς. Έχει εξαιρετική απεικόνιση σε μαλακούς ιστούς όπως ο εγκέφαλος, ο μυς, η καρδιά κ.τ.λ. και γι' αυτό εφαρμόζεται κυρίως σε νευροχειρουργικούς σχεδιασμούς, 3D εγκεφαλικούς χάρτες και σε καρδιολογική απεικόνιση.

- **Τρισδιάστατη Υπερηχοτομογραφία (3D Ultrasound / 4D Ultrasound)**



Κάνει καταγραφή υπερηχητικών εικόνων σε πολλαπλά επίπεδα και ανακατασκευή 3D. Δεν χρειάζονται επεμβάσεις και είναι χωρίς ακτινοβολία. Εφαρμόζεται στον προγεννητικό έλεγχο (εμβρυϊκή απεικόνιση), για καρδιολογικά μοντέλα (καρδιακές βαλβίδες) και για ογκολογική παρακολούθηση.

- **Ενδοστοματικοί και Οδοντιατρικοί 3D σαρωτές (Intraoral Scanners)**

Είναι οπτικοί σαρωτές που καταγράφουν την επιφάνεια των δοντιών και των ούλων. Έχουν υψηλή ακρίβεια και άνεση για τον ασθενή. Χρησιμοποιούνται για ορθοδοντικούς σχεδιασμούς, για ψηφιακά αποτυπώματα για εμφυτεύματα και για CAD/CAM προσθετικές.



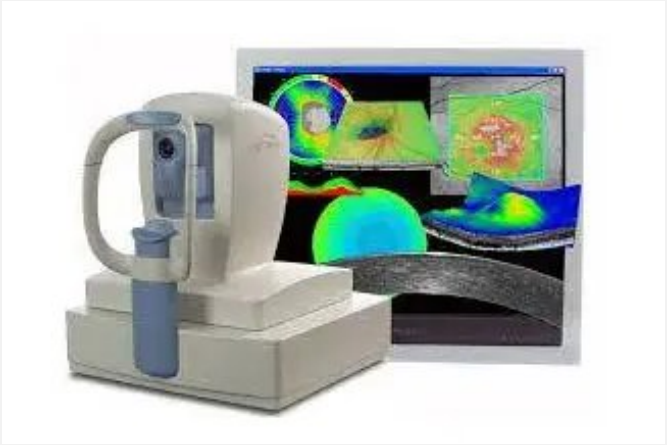
- **Επιφανειακή Σάρωση Σώματος (3D Body Surface Scanning)**

Χρησιμοποιεί ειδικές κάμερες για να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο του ανθρώπινου σώματος. Αυτό το ψηφιακό μοντέλο επιτρέπει την ακριβή καταγραφή μετρήσεων και περιγραμμάτων του σώματος από διάφορες γωνίες, παρέχοντας μια λεπτομερή απεικόνιση της σωματικής δομής και σύστασης. Χρησιμοποιείται στην πλαστική χειρουργική, για ορθοπεδικό εξοπλισμό (νάρθηκες, ορθώσεις) και για παρακολούθηση αλλαγών στο σχήμα του σώματος.



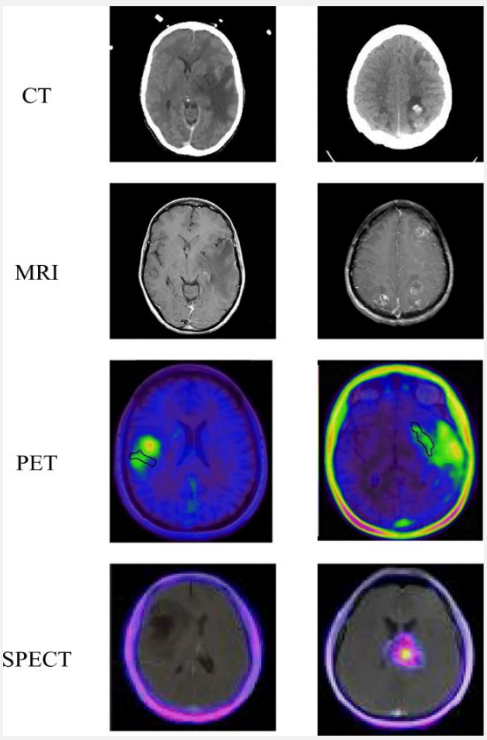
- **Οπτική τομογραφία συνοχής (OCT – Optical Coherence Tomography)**

Χρησιμοποιεί υπέρυθρο φως για να δημιουργήσει διατομές του αμφιβληστροειδούς, δίνοντας έτσι εικόνες υψηλής ανάλυσης των δομών του. Είναι σαν μια υπερηχογραφία, αλλά αντί για ήχο χρησιμοποιεί φως, επιτρέποντας μεγαλύτερη ακρίβεια στην απεικόνιση των στρωμάτων του ματιού. Εφαρμόζεται στην οφθαλμολογία (αμφιβληστροειδής), καρδιολογία (ενδοαγγειακή απεικόνιση) και στην ογκολογία (ανάγνωση επιφανειακών όγκων).



- **Συγχώνευση Πολλαπλών Μεθόδων (Image Fusion – MRI + CT, PET + CT, κ.α.)**

Συνδυάζει πολλαπλές μεθόδους για πληρέστερη 3D απεικόνιση. Επίσης συνδυάζει ανατομική (CT) με λειτουργική πληροφορία (PET(τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων)). Εφαρμόζεται για νευροχειρουργικούς σχεδιασμούς, ογκολογικό εντοπισμό και χαρτογράφηση και για ακτινοθεραπεία στον σχεδιασμό του πεδίου ακτινοβόλησης.



7. Ρομποτική

➢ Τι είναι τα ρομποτικά προσθετικά μέλη;

Τα ρομποτικά προσθετικά μέλη είναι τεχνητά μέλη που ενσωματώνουν ρομποτικά συστήματα για να μιμούνται τις φυσικές κινήσεις του ανθρώπινου σώματος. Συνδυάζουν μηχανική, ηλεκτρονικά, αισθητήρες και τεχνητή νοημοσύνη για να προσφέρουν λειτουργικότητα, ακρίβεια και αυτονομία.



➢ Τεχνική δομή ρομποτικών προσθετικών μελών

- **Αισθητήρες (Sensors)**

  ~EMG: Ανιχνεύουν μυϊκή δραστηριότητα για έλεγχο κινήσεων.

  ~Αδρανειακοί(IMUs): Καταγράφουν κλίση, επιτάχυνση και θέση.

~Αισθητήρες πίεσης/επαφής: Εντοπίζουν δύναμη επαφής με αντικείμενα.

~Αισθητήρες τάσης: Μετρούν την καταπόνηση ή σύσπαση τεχνητών "μυών".

- **Ενεργοποιητές (Actuators)**

~Σερβοκινητήρες: Μικροκινητήρες που δίνουν ακρίβεια στις κινήσεις.
~Ηλεκτρικοί κινητήρες (DC motors): Κοινή επιλογή για ρομποτικά χέρια και γόνατα.
~Υδραυλικά συστήματα: Για πιο δυναμικές κινήσεις, αλλά λιγότερο συνηθισμένα λόγω μεγέθους/βάρους.

- **Ελεγκτές / Μικροεπεξεργαστές**

~Οι « μύες » του ρομποτικού μέλους. Παράγουν κίνηση.
~Συνήθως ηλεκτρικοί κινητήρες ή μικροϋδραυλικά συστήματα.

- **Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης**

~Το ρομποτικό μέλος « μαθαίνει » τις προτιμήσεις και το στυλ κίνησης του χρήστη.
~ Μπορεί να προσαρμόζεται με την πάροδο του χρόνου.

- **Κεντρική Μονάδα Ελέγχου**

~ Μικροεπεξεργαστής (π.χ. Arduino, STM32, Raspberry Pi).
~ Επεξεργασία σήματος σε πραγματικό χρόνο για EMG/IMU.
~ Αλγόριθμοι πρόβλεψης κίνησης με χρήση machine learning.

- **Πηγή Ενέργειας**

~Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου.
~Χρήση BMS (Battery Management Systems) για ασφάλεια και διάρκεια.

➢ Hardware – Παραδείγματα

- **Μηχανική Δομή**

  ~Σκελετός & αρθρώσεις: Κατασκευασμένα από ελαφριά και ανθεκτικά υλικά (αλουμίνιο αεροπορικού τύπου, τιτάνιο, ανθρακονήματα, ή βιοσυμβατά πολυμερή).

  ~Αρθρώσεις: Μπορεί να είναι παθητικές (μόνο για κίνηση μέσω χρήστη) ή ενεργές (με κινητήρες/σερβομοτέρ).

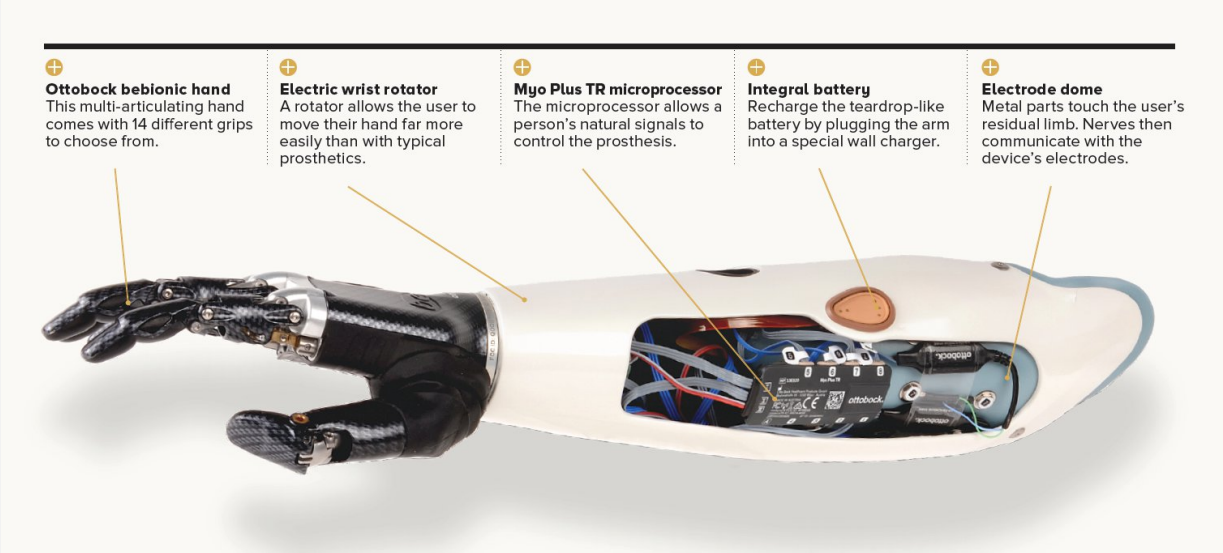
  ~Συνδέσεις με το σώμα: Υποδοχές (socket) με εξατομικευμένο καλούπι ώστε να εφαρμόζουν ανατομικά.

- **Παραδείγματα**

  ~ **Össur Proprio Foot** – χρησιμοποιεί ελαφρύ τιτάνιο και ανθρακονήματα



  ~ **Ottobock bebionic hand** – σκελετός από αλουμίνιο αεροπορικού τύπου με καλύμματα σιλικόνης.



- **Κινητήρια Συστήματα**

  ~Ηλεκτρικοί κινητήρες (DC, brushless): Χρησιμοποιούνται για κίνηση των δακτύλων, καρπού ή αγκώνα.

  ~Σερβομοτέρ: Για ακριβή γωνιακό έλεγχο.

  ~Actuators βασισμένοι σε μυϊκές ίνες ή υδραυλικά συστήματα (σε πιο βαριά εφαρμογή).

- **Παραδείγματα**

  ~ **Maxon DC Motors** – μικροί, υψηλής ακρίβειας κινητήρες που κινούν τα δάκτυλα.



  ~ **Faulhaber brushless motors** – για ομαλή και αθόρυβη κίνηση.



- **Αισθητήρες**

  ~Ηλεκτρομυογραφικοί (EMG) αισθητήρες: Ανιχνεύουν ηλεκτρικά σήματα από τους μύες του υπολείμματος του άκρου.

  ~Αισθητήρες θέσης: Ενσωματωμένοι ποτενσιόμετρα ή οπτικοί κωδικοποιητές (encoders) για να γνωρίζει το σύστημα σε ποια θέση είναι η άρθρωση.

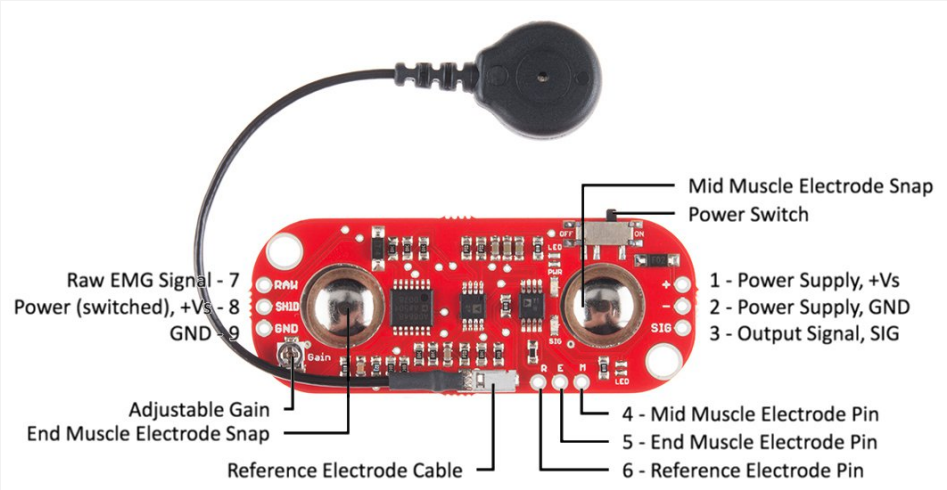
  ~Αισθητήρες δύναμης & πίεσης: Για μέτρηση του πόσο σφίγγει ένα αντικείμενο.

  ~Αισθητήρες επαφής/αφής: Με τεχνολογίες piezoelectric ή capacitive για να προσομοιώνουν την αίσθηση αφής.

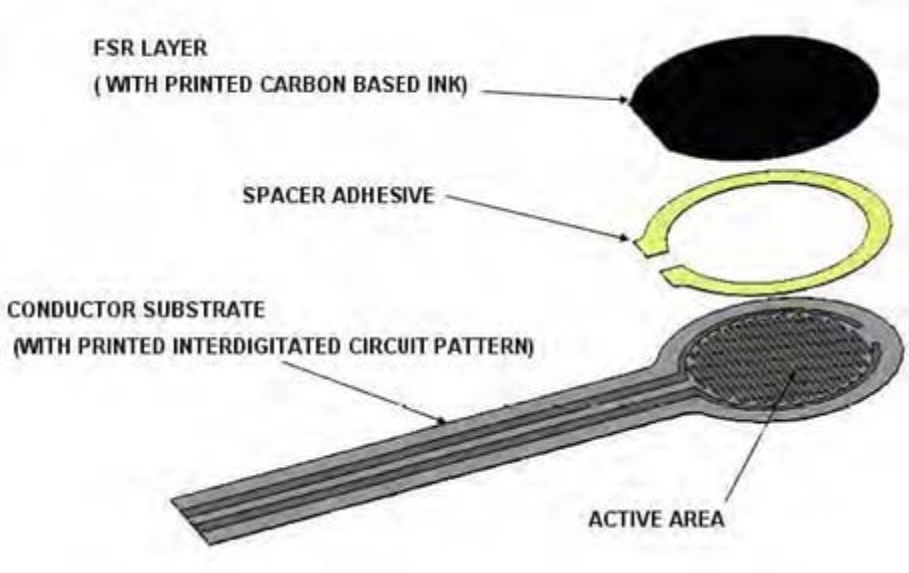
  ~IMU (Inertial Measurement Unit): Μετρά επιτάχυνση και γωνιακή ταχύτητα για έλεγχο κίνησης.

- **Παραδείγματα**

  ~ **MyoWare EMG Sensor** – καταγράφει ηλεκτρικά σήματα από τους μύες.



~ **Honeywell FSR (Force Sensing Resistor)** – μετρά την πίεση στα δάχτυλα.



~ **AMS magnetic encoders** – για ακριβή ανίχνευση θέσης άρθρωσης.



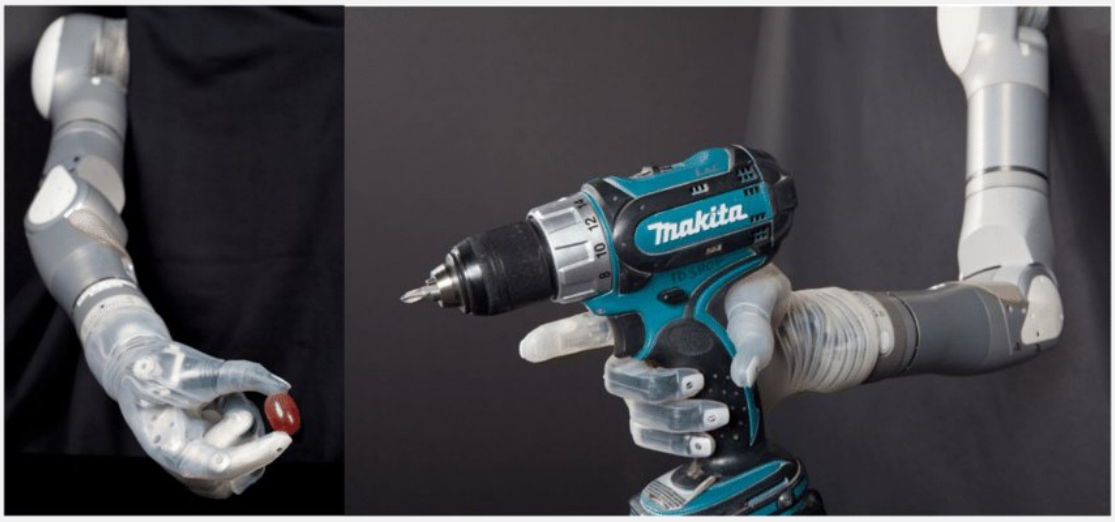
- **Προηγμένη Ανάδραση (Haptic Feedback)**

~Αφή στον χρήστη μέσω δονήσεων, πίεσης ή νευρικής διέγερσης.

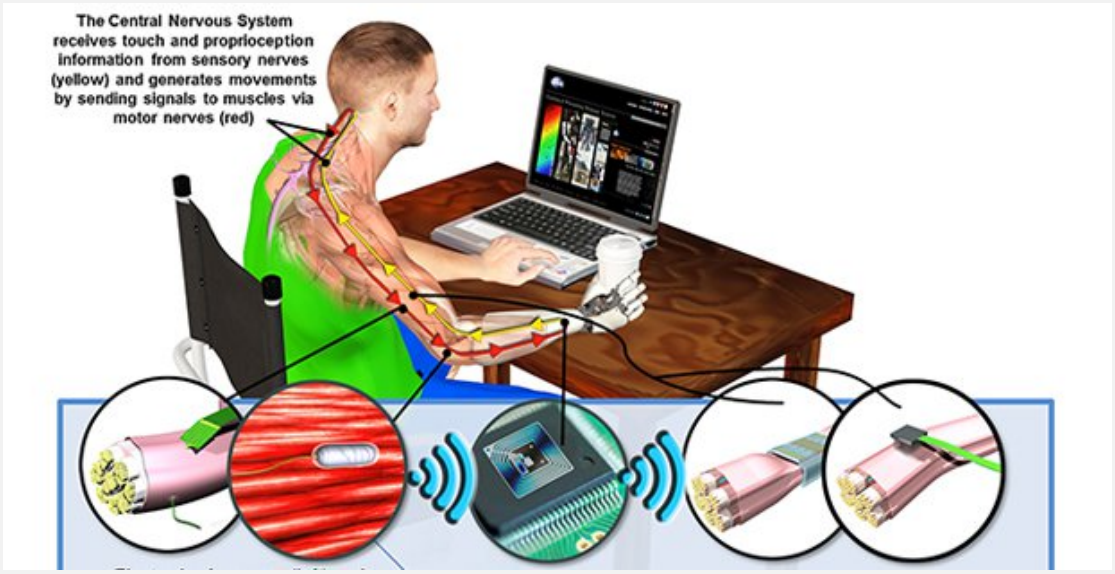
~Επιτρέπει στο χρήστη να «αισθάνεται» τι αγγίζει ή πόση δύναμη ασκεί.

- **Παραδείγματα**

~ **LUKE Arm (DEKA Research)** – επιτρέπει στο χρήστη να προσαρμόζει τη δύναμη σύλληψης χωρίς να κοιτάζει το αντικείμενο.



~**DARPA HAPTIX Project** – ο χρήστης μπορεί να «νιώσει» σχήμα, υφή και ακόμα και θερμοκρασία αντικειμένων.



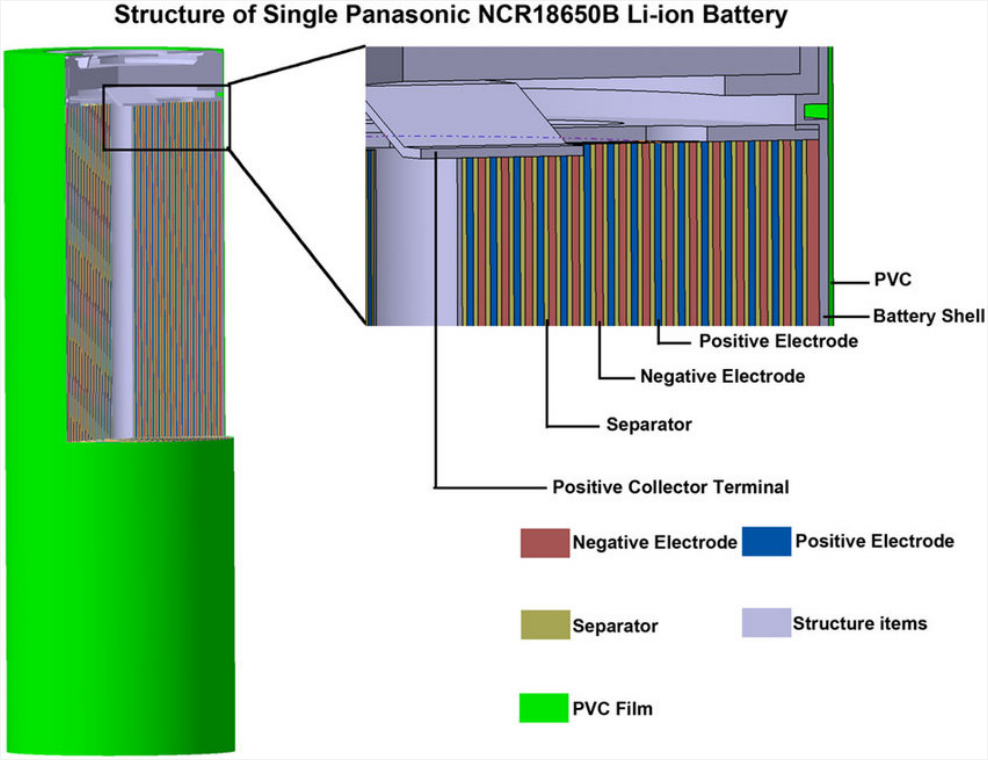
- **Μονάδα Ενέργειας**

~ Μπαταρίες Li-ion ή Li-Po: Υψηλής ενεργειακής πυκνότητας για μακρά χρήση.

~ Συστήματα φόρτισης: Ασύρματη φόρτιση (Qi) ή ενσύρματη.

- **Παραδείγματα**

  ~ **Panasonic Li-ion 18650 cells** – χρησιμοποιούνται για υψηλή ενεργειακή πυκνότητα.



➢ Software – Παραδείγματα

- **Λειτουργικό Λογισμικό & Μικροελεγκτές**

  ~ Ενσωματωμένοι μικροελεγκτές (π.χ. ARM Cortex-M, STM32, Arduino-based, ή custom FPGA) που επεξεργάζονται τα δεδομένα από τους αισθητήρες και στέλνουν εντολές στους κινητήρες.

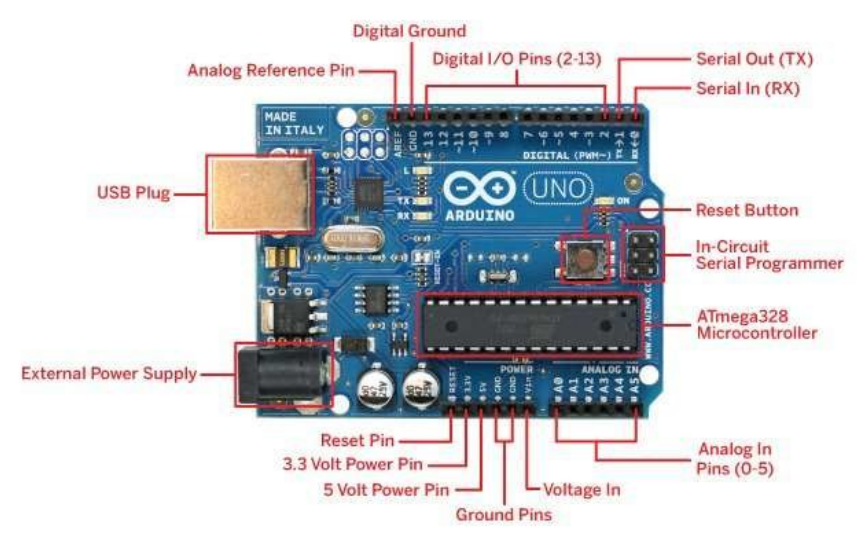
  ~ RTOS (Real-Time Operating System) για άμεση απόκριση χωρίς καθυστερήσεις.

- **Παραδείγματα**

~ **STM32 ARM Cortex-M4** – δημοφιλής μικροελεγκτής για real-time επεξεργασία σημάτων.



~ **Arduino-based controllers** – για πρωτότυπα και custom συστήματα.



~ **FreeRTOS** – λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου για σταθερή απόκριση.

- **Επεξεργασία Σημάτων (Signal Processing)**

  ~ Φιλτράρισμα EMG σήματος: Αφαίρεση θορύβου και ενίσχυση του καθαρού μυϊκού σήματος.

  ~ Μετασχηματισμοί (Fourier, Wavelet) για αναγνώριση μοτίβων κίνησης.

  ~ Αλγόριθμοι αναγνώρισης προθέσεων: Εντοπίζουν αν ο χρήστης θέλει να κλείσει το χέρι, να περιστρέψει τον καρπό κ.λπ.

- **Τεχνητή Νοημοσύνη & Μάθηση**

  ~ Machine Learning μοντέλα (π.χ. νευρωνικά δίκτυα) που μαθαίνουν το προσωπικό μοτίβο EMG σημάτων του χρήστη.

  ~ Προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο για βελτίωση της ακρίβειας και της φυσικότητας κίνησης.

- **Παραδείγματα**

  ~ **MATLAB / Simulink** – για σχεδίαση και δοκιμή αλγορίθμων επεξεργασίας EMG.

  ~ **TensorFlow Lite** – ενσωμάτωση μοντέλων machine learning σε μικροελεγκτές.

  ~ **BioPatRec** – open-source πλατφόρμα αναγνώρισης μυϊκών σημάτων.

- **Έλεγχος & Ανάδραση**

  ~ Closed-loop control: Το μέλος προσαρμόζει αυτόματα τη δύναμη και τη θέση με βάση αισθητήρες.

~ Απτική ανατροφοδότηση: Δόνηση ή ηλεκτρική διέγερση στο δέρμα του χρήστη για να «αισθάνεται» πίεση ή αφή.

- **Διεπαφές & Επικοινωνία**

  ~ Bluetooth/Wi-Fi για σύνδεση με εφαρμογές κινητού ή υπολογιστή.

  ~ Εφαρμογές για: Ρύθμιση παραμέτρων (π.χ. ταχύτητα κίνησης, δύναμη σύσφιξης), καταγραφή δεδομένων χρήσης και ενημέρωση λογισμικού (firmware updates).

- **Παραδείγματα**

  ~**Mobile App (Bluetooth)** – για το i-limb Quantum της Touch Bionics, επιτρέπει αλλαγή λειτουργιών και χειρονομιών.

  ~**PC calibration Software** – για αρχική προσαρμογή και εκπαίδευση συστήματος.

➢ Ανοιχτές Βιβλιοθήκες

- Open Bionics

  Πλατφόρμα με έτοιμα σχέδια και κώδικα για ρομποτικά προσθετικά (ιδίως άνω άκρα). Χρησιμοποιεί 3D printing και φθηνούς μικροελεγκτές. Σχέδια συμβατά με Arduino.



- e-NABLE

  Παγκόσμια κοινότητα εθελοντών που δημιουργεί δωρεάν προσθετικά χέρια για παιδιά. Διαθέτει βιβλιοθήκη από δωρεάν αρχεία 3D εκτύπωσης, οδηγίες συναρμολόγησης και templates.



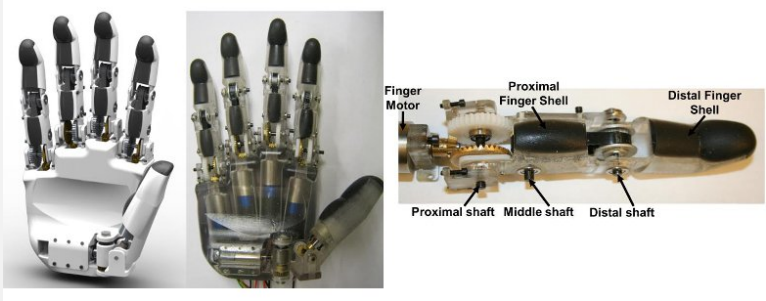
- Limbitless Solutions

  Μη κερδοσκοπικός οργανισμός με εξειδίκευση σε παιδικά ρομποτικά προσθετικά. Παρέχουν και custom designs, που ελέγχονται μέσω EMG.



- Open Source Prosthetics Project

  Ανοικτός κώδικας με στόχο την προσβασιμότητα και καινοτομία. Υποστηρίζει modding υπαρχόντων σχεδίων, και υποδομές ελέγχου με Raspberry Pi ή Arduino.



- InMoov
  Αν και αφορά ρομπότ, παρέχει αρθρωτά χέρια, παλάμες και δάκτυλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προσθετικά με κάποιες προσαρμογές. Συμβατό με MyRobotLab για νευρο-ρομποτικό έλεγχο.

Προγραμματιστικές βιβλιοθήκες για έλεγχο προσθετικών

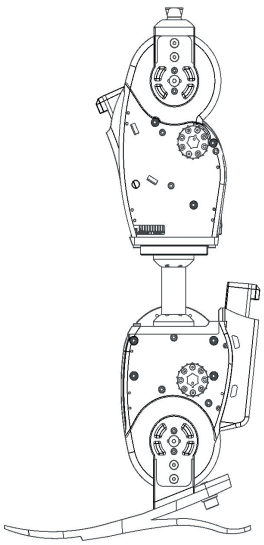
MyOpenBCI	Python, C++	Λογισμικό ανάγνωσης εγκεφαλικών/μυϊκών σημάτων
EMGduino	Arduino	Εύκολος χειρισμός EMG για προσθετικά χέρια
BioPatRec	MATLAB	Επεξεργασία βιοσημάτων & πρόβλεψη κίνησης
MyoDuino	Arduino, C	Διασύνδεση με τον Myo armband (για EMG έλεγχο)
ROS(Robot Operating System)	Python/C++	Επαγγελματική υποδομή για πλήρη έλεγχο ρομποτικών μελών

8. Παράδειγμα Σχεδίασης Ποδιού Μέσω OSL

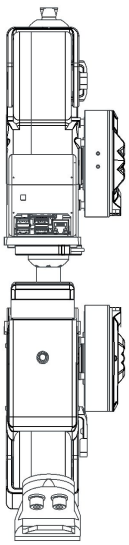
https://cad.onshape.com/documents/509c25bf00b2bd88b7e55c61/w/5f9f37267313603abfe54331/e/ad40a7673d06ea2271d93ad5

Το τεχνητό πόδι που σας παρουσιάζω είναι μέρος ενός open-source project, δηλαδή μιας προσπάθειας που βασίζεται σε ανοιχτά σχέδια ώστε οποιοσδήποτε να μπορεί να το κατασκευάσει, να το βελτιώσει ή να το προσαρμόσει. Ο στόχος του είναι να δώσει μια λειτουργική, οικονομική και ελαφριά λύση σε ανθρώπους που χρειάζονται πρόσθετο μέλος. Η σχεδίαση του βασίζεται σε τρεις αρχές: την απλότητα επειδή κάθε εξάρτημα πρέπει να είναι εύκολο να εκτυπωθεί ή να κατασκευαστεί, την αντοχή μιας και τα κρίσιμα μέρη φτιάχνονται από υλικά που αντέχουν φορτία και τριβές και την επισκευασιμότητα διότι το πόδι πρέπει να μπορεί να αποσυναρμολογηθεί εύκολα, ώστε να αντικαθίστανται φθαρμένα κομμάτια.

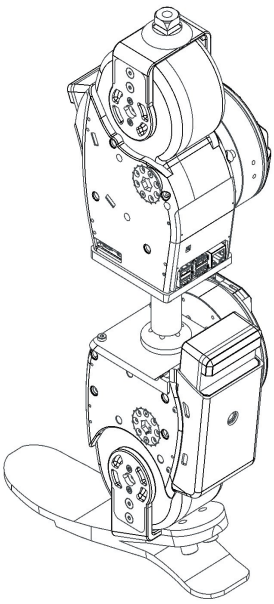




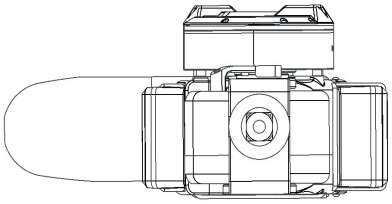
Front



Right



Isometric



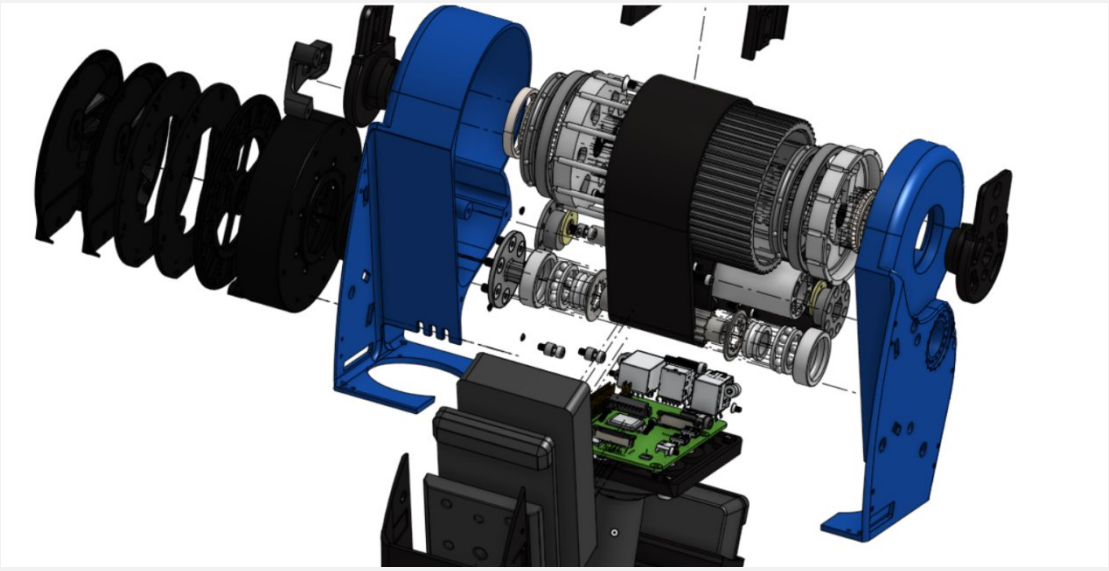
Top

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN INCHES .XX = ±.0- .XXX = ±.00- .XXXX = ±.000- ANGULAR = ± ° FRACTIONAL = ± SURFACE FINISH		NAME	DATE
	DRAWN	GEORGIA POURNARA	09/02/2025
	CHECKED		
	APPROVED		
DO NOT SCALE DRAWING			
BREAK ALL SHARP EDGES AND REMOVE BURRS			
THIRD ANGLE PROJECTION	MATERIAL	FINISH	

TITLE		
SIZE A	DWG NO.	REV.
SCALE 1:12	WEIGHT	SHEET 1 of 1

Απαρτίζεται από:

Γόνατο



Ο ρόλος του είναι να παρέχει την άρθρωση που μιμείται την κίνηση του ανθρώπινου γονάτου. Αποτελείται από έναν κεντρικό άξονα που γυρίζει μέσα σε ρουλεμάν, έναν ηλεκτροκινητήρα, ένα σύστημα μετάδοσης και άλλους μικρομηχανισμούς που ελέγχουν την κίνηση. Από ηλεκτρονικά εξαρτήματα περιέχει ένα αισθητήρα θέσης, μία έξυπνη μονάδα ενεργοποίησης(actuation pack) που μέσα της έχει ένα μοτέρ, ελεγκτή και έναν driver για τον έλεγχο ρεύματος στο μοτέρ και μία μπαταρία χιλίων mAh με πάνω από 240 μέρες αυτονομίας. Η κίνηση ελέγχεται από μηχανισμό με μοτέρ. Έχει σχεδιαστή έτσι διότι η άρθρωση πρέπει να είναι στιβαρή αλλά και ομαλή ώστε το περπάτημα να μοιάζει φυσικό.

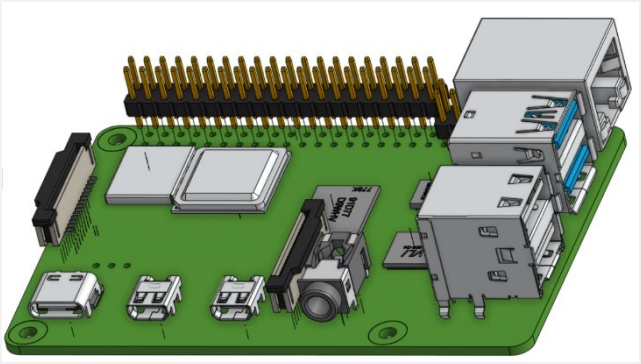
Κνήμη



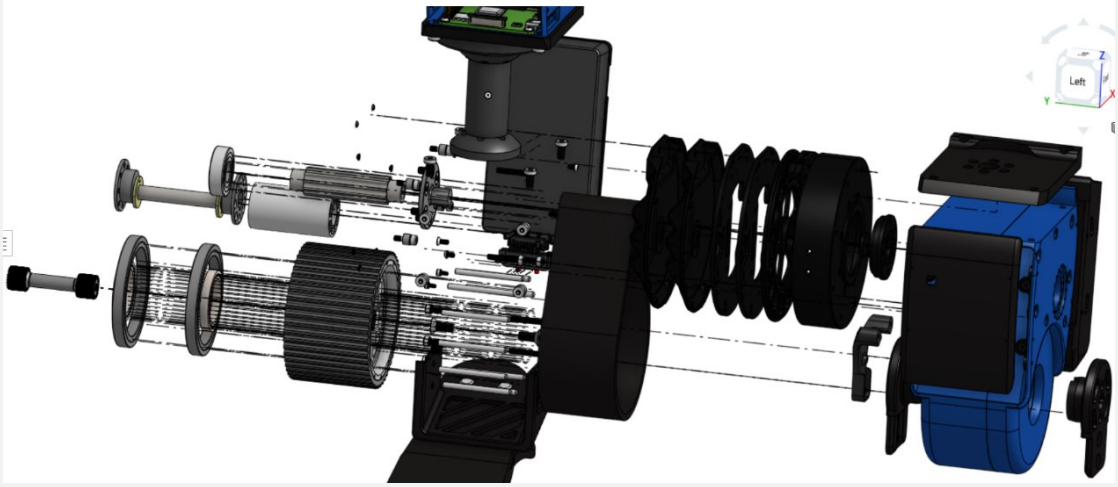
Ο ρόλος της είναι να συνδέει το γόνατο με τον αστράγαλο μεταφέροντας την ενέργεια της κίνησης. Αποτελείται από έναν σωλήνα και ένα πλαίσιο που κουμπώνει στο κάτω μέρος του γόνατου. Η κνήμη πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτη για να μην λυγίζει, αλλά και αρκετά ελαφριά.

Πλακέτα

Περιέχει μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας CPU που επεξεργάζεται τα σήματα για να ελέγχει το πόδι, δύο μνήμες RAM που αποθηκεύουν προσωρινά τα δεδομένα, δύο θύρες USB 2.0 και άλλες δύο USB 3.0 για σύνδεση αισθητήρων, προγραμματισμού ή επικοινωνία, μία SDRAM για μεταφορά δεδομένων μεταξύ της CPU και της μνήμης του υπολογιστή, έναν μεταροπέα ethernet, ένα microphone plug για να μετατρέπει τα ηχητικά κύματα σε ηλεκτρικά σήματα, δύο θύρες HDMI για σύνδεση με την οθόνη για debugging, δύο GPIO pins ένα 2x20 και ένα 2x2 για σύνδεση με αισθητήρες, actuators και άλλες πλακέτες, ένα ethernet port για δικτυακή επικοινωνία και μία τροφοδοσία (USB-C) για να δίνει ρεύμα στην πλακέτα.



Αστράγαλο



Δίνει στο πόδι τη δυνατότητα να κάνει μικρές κινήσεις πάνω–κάτω ώστε το πόδι να μπορεί να πατήσει φυσικά στο έδαφος, να απορροφά τους κραδασμούς, να είναι λιγότερο κουραστικό και για να μπορεί να προσαρμόζεται σε ανώμαλο έδαφος. Αποτελείται από έναν άξονα άρθρωσης που συνδέει την κνήμη με το πέλμα, μία έξυπνη μονάδα ενεργοποίησης και μικρομηχανισμούς που ελέγχουν την κίνηση. Από ηλεκτρονικά εξαρτήματα περιέχει ένα αισθητήρα θέσης, έναν αισθητήρα δύναμης και μία μπαταρία.

Πέλμα

Ο ρόλος του είναι να απορροφά τους κραδασμούς και να σταθεροποιεί το περπάτημα. Αποτελείται από την βάση του πέλματος που δίνει ελαστικότητα στο βήμα όπου το μπροστινό της τμήμα αποθηκεύει ενέργεια και την απελευθερώνει στην απογείωση του ποδιού, την φτέρνα που απορροφά τους κραδασμούς και μία βάση πλάκας που είναι σημείο σύνδεσης με τον αστράγαλο.



9. Επίλογος

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αναδειχθεί ως μία τεχνολογία με τεράστιο αντίκτυπο στην ιατρική επιστήμη και ειδικότερα στον τομέα των προσθετικών μελών. Η δυνατότητά της να προσφέρει εξατομικευμένες λύσεις, να μειώνει το κόστος παραγωγής και να διευκολύνει την ταχεία ανάπτυξη νέων πρωτοτύπων την καθιστά αναπόσπαστο εργαλείο για την αποκατάσταση ατόμων με κινητικές αναπηρίες. Η ενσωμάτωση προηγμένων υλικών, η συνεργασία με τεχνικές απεικόνισης υψηλής ακρίβειας και η χρήση ρομποτικών καινοτομιών δημιουργούν νέες δυνατότητες για βιονικά μέλη που πλησιάζουν ολοένα και περισσότερο τη φυσική λειτουργία του ανθρώπινου σώματος. Παρά τις προόδους, παραμένουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη βιοσυμβατότητα των υλικών, το υψηλό κόστος εξοπλισμού και τα ηθικά ζητήματα που προκύπτουν από την ανάπτυξη βιοεκτυπωμένων ιστών και οργάνων. Ωστόσο, η πορεία δείχνει ξεκάθαρα ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αποτελέσει βασικό πυλώνα της ιατρικής αποκατάστασης στο μέλλον, προσφέροντας λύσεις που συνδυάζουν επιστημονική καινοτομία με κοινωνική προσφορά. Η εργασία αυτή φιλοδοξεί να αναδείξει τη σημασία και τις προοπτικές αυτής της τεχνολογίας, υπογραμμίζοντας ότι η συνέργεια μεταξύ μηχανικής, βιοϊατρικής και πληροφορικής ανοίγει νέους δρόμους για την αντιμετώπιση ενός από τα σημαντικότερα προβλήματα υγείας και ποιότητας ζωής στη σύγχρονη κοινωνία.

10. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τον καθοριστικό ρόλο της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην εξέλιξη των προσθετικών μελών, παρουσιάζοντας τις τεχνολογίες, τα υλικά και τις εφαρμογές που έχουν τη δύναμη να βελτιώσουν δραστικά την ποιότητα ζωής ατόμων με κινητικές αναπηρίες. Η μελέτη έδειξε ότι η 3D εκτύπωση επιτρέπει την εξατομίκευση των προσθετικών μελών με υψηλή ακρίβεια, μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη ευκολία παραγωγής σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Η ενσωμάτωση ρομποτικών συστημάτων και τεχνητής νοημοσύνης προσδίδει νέα διάσταση στη λειτουργικότητα των προσθετικών, καθιστώντας δυνατή την ανάπτυξη βιονικών μελών που μιμούνται ή και ξεπερνούν τη φυσική κίνηση. Παράλληλα, η αξιοποίηση ανοιχτών βιβλιοθηκών και open-source πλατφορμών ενισχύει τη διάδοση της γνώσης και τη δυνατότητα δημιουργίας προσιτών λύσεων, ιδίως για άτομα και κοινωνίες με περιορισμένους πόρους. Ωστόσο, διαπιστώθηκαν και προκλήσεις, όπως η βιοσυμβατότητα των υλικών, η πολυπλοκότητα της βιοεκτύπωσης, οι υψηλές απαιτήσεις εξοπλισμού, αλλά και τα βιοηθικά διλήμματα που προκύπτουν από την ανάπτυξη ζωντανών ιστών και οργάνων. Παρά τις δυσκολίες αυτές, η κατεύθυνση της έρευνας και της τεχνολογικής εξέλιξης καταδεικνύει ότι η 3D εκτύπωση θα συνεχίσει να αποτελεί βασικό εργαλείο της ιατρικής αποκατάστασης στο μέλλον.

11. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό της τρισδιάστατης εκτύπωσης στα προσθετικά μέλη, προτείνονται οι εξής κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας:

1. **Χρήση προηγμένων αισθητήρων νευρικής διεπαφής**

Μελλοντικές έρευνες μπορούν να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη

μικροαισθητήρων που συνδέονται άμεσα με το νευρικό σύστημα, ώστε τα προσθετικά να αποκτούν αμεσότερη και φυσικότερη απόκριση στις νευρικές εντολές του χρήστη.

2. **Συνδυασμός 3D εκτύπωσης με νανοτεχνολογία**
Η ενσωμάτωση νανοϋλικών (π.χ. νανοσωλήνων άνθρακα, γραφενίου) θα μπορούσε να βελτιώσει τη μηχανική αντοχή, την αγωγιμότητα και τη βιοσυμβατότητα των προσθετικών.

3. **Διασύνδεση προσθετικών με συστήματα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (VR/AR)**
Η χρήση VR/AR για εκπαίδευση του ασθενούς και προσομοίωση κινήσεων μπορεί να συμβάλει στη γρηγορότερη και πιο αποτελεσματική αποκατάσταση.

4. **Ανάπτυξη «έξυπνων» προσθετικών μελών με αυτοδιάγνωση**
Προσθετικά που ενσωματώνουν τεχνολογίες IoT και μπορούν να καταγράφουν δεδομένα φθοράς, φόρτισης ή μηχανικής καταπόνησης, ειδοποιώντας τον χρήστη ή τον ιατρό για συντήρηση ή πιθανή αστοχία.

5. **Μελέτη ψυχοκοινωνικών επιπτώσεων της χρήσης προηγμένων προσθετικών**
Η έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στο πώς η χρήση εξελιγμένων, βιονικών ή αισθητικά βελτιωμένων προσθετικών επηρεάζει την κοινωνική ένταξη, την αυτοπεποίθηση και τη γενικότερη ψυχολογία του ασθενούς.

6. **Ενεργειακή αυτονομία προσθετικών μέσω βιοενέργειας**
Εξερεύνηση λύσεων όπου τα προσθετικά θα τροφοδοτούνται με ενέργεια που παράγει το ίδιο το σώμα (π.χ. μέσω μυϊκής κίνησης, θερμότητας ή βιοηλεκτρικών σημάτων), μειώνοντας την ανάγκη για συχνή φόρτιση μπαταριών.

7. **Διερεύνηση εξατομικευμένων αλγορίθμων αποκατάστασης**
Με χρήση τεχνητής νοημοσύνης, μπορούν να αναπτυχθούν αλγόριθμοι

που θα «μαθαίνουν» από το προφίλ του κάθε χρήστη, ώστε να προσαρμόζουν το προσθετικό στις καθημερινές του ανάγκες και στον ρυθμό αποκατάστασης.

12. Αναφορές

- https://en.wikipedia.org/wiki/Prosthesis
- https://www.makeshaper.com/types-of-3d-printing
- https://formlabs.com/eu/blog/3d-printing-medical-devices/?srsltid=AfmBOoq1WKC-AcWPnTQnjRGkvVzQNslFXFhh02eSXIbvbzRTas0aMf9l
- https://www.ntop.com/resources/blog/3d-printing-in-prosthetics-a-design-guide/
- https://www.armdynamics.com/research-and-technology/prosthetic-technology
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X14003096
- https://www.robobionics.in/blog/exploring-high-performance-prosthetics-for-sports-and-athletics/
- https://www.intechopen.com/chapters/1186384
- https://news.mit.edu/2024/prosthesis-helps-people-with-amputation-walk-naturally-0701
- https://openbionics.com/
- https://enablingthefuture.org/
- https://limbitless-solutions.org/
- https://hackaday.io/event/26377-indy-home-viewing

- https://bionico.org/
- https://inmoov.fr/
- https://www.researchgate.net/publication/382281405_Development_In_Limb_Prosthetics_Using_Machine_Learning_Algorithms/fulltext/669672ae8dca9f441b82c766/Development-In-Limb-Prosthetics-Using-Machine-Learning-Algorithms.pdf
- https://news.mit.edu/2024/prosthesis-helps-people-with-amputation-walk-naturally-0701
- https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#sla