ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

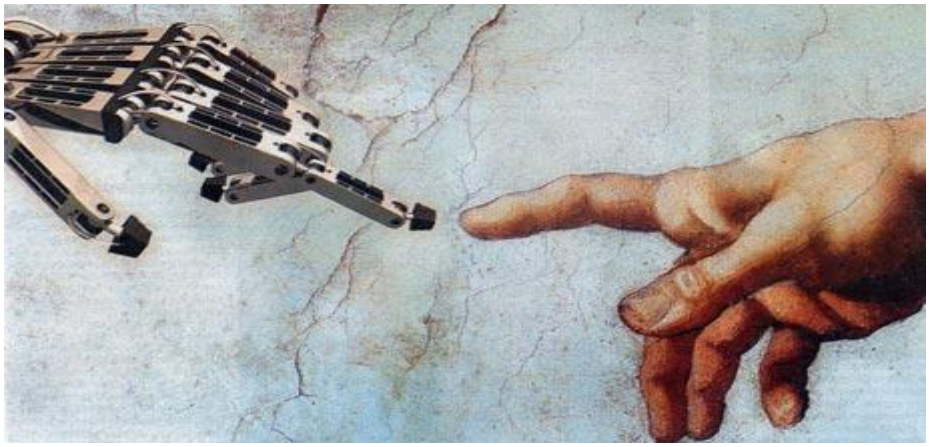
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ-ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ»



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΜΠΟΥΡΑΝΤΑ ΑΝΔΡΙΑΝΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΦΑΚΙΩΤΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

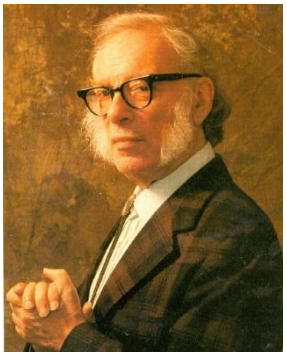
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2019

Οι τρεις νόμοι της ρομποτικής

1)Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ή μέσω της αδράνειάς του να βλάψει ένα ανθρώπινο πλάσμα.

2)Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές που δίνονται από τους ανθρώπους, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.

3)Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ίδια του την ύπαρξη, εκτός κι αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή τον δεύτερο νόμο.



Εικόνα 1: IssakAsimov(1920-1992), διάσημος συγγραφέας του 20^{ου} αιώνα

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 9
ABSTRACT 10
1.1 Ο κλάδος της ρομποτικής 11
1.1.1 Τι είναι η ρομποτική 11
1.1.2 Τι είναι το ρομπότ 11
1.1.3 Από τι αποτελείται ένα ρομπότ 12
1.1.4 Βαθμοί ελευθερίας ενός ρομπότ 14
1.2 Ιστορική και μυθολογική αναδρομή 14
1.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στη σύγχρονη ζωή 17
1.3.1 Εφαρμογές της ρομποτικής στην βιομηχανία 17
1.3.2 Εφαρμογές της ρομποτικής στο Διάστημα 18
1.3.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στην Ιατρική 19
1.3.4 Εφαρμογές της ρομποτικής στην Εκπαίδευση 20
1.3.5 Στρατιωτικές εφαρμογές της ρομποτικής 21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο} 22
ΤΕΧΝΗΤΑ ΜΕΛΗ-ΚΑΤΩ ΆΚΡΟ 22
2.1 Εισαγωγή 22
2.2 Ιστορική αναδρομή 22
2.3 Τεχνητό κάτω άκρο 24
2.3.1 Κινησιολογία 24
2.3.2 Βάδιση και όρθια στάση του σώματος 25
2.3.3 Οι φάσεις της βάδισης 25
2.3.4 Σύγχρονα τεχνητά μέλη 26
2.4 CYBERLEGs Prosthesis 27
2.5 Η ΒΑΔΙΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΘΕΣΗΣ 36
2.6 Το μέλλον των τεχνητών μελών 37
3.1 Εισαγωγή 38
3.2 Δομή ανθρώπινου χεριού 38
3.2.2. Οι βασικές κινήσεις των δακτύλων 39
3.2.3. Τα οστά του χεριού 39
3.2.4 Οι κινήσεις και οι αρθρώσεις των δακτύλων 40
3.3 Αρθρωτό προσθετικό άκρο (MPL) 40
3.3.1 Η πρώτη πειραματική διαδικασία 40

3.3.2 Το προσθετικό μέλος αναλυτικότερα 42
Το προσθετικό αρθρωτό άκρο 44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{ο} 50
ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ 50
4.1 Εισαγωγή στη ρομποτική χειρουργική 50
4.1.1 Η ρομποτική χειρουργική 50
4.1.2 Τι είναι η ρομποτικά υποβοηθούμενη χειρουργική και η ρομποτική χειρουργική 51
4.1.3 Πως εκτελείται μια ρομποτική επέμβαση 51
4.1.4 Είδη ρομπότ στην ιατρική 52
4.1.5 Είδη ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων 53
4.1.6 Ιστορική αναδρομή 54
4.2 Χειρουργικό ρομποτικό σύστημα Da Vinci 55
4.2.1 Τι είναι το σύστημα χειρουργικής Da Vinci 56
4.3 Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα da Vinci Si αναλυτικά 57
4.3.1 Η κονσόλα του χειρουργού 58
4.3.2 Το τροχήλατο των ρομποτικών βραχιόνων (Patient Cart) 63
4.3.3 Ενδοσκοπικός πύργος (Vision Cart) 69
4.4 Οι κινητήρες maxon 73
4.5 Software 74
4.6 Τι συμβαίνει σε περίπτωση βλάβης του da Vinci 76
4.7 Ειδικότητες που πραγματοποιούνται ρομποτικές επεμβάσεις 77
4.7.1 Επεμβάσεις που πραγματοποιούνται σε κάθε τομέα 77
4.7.2 Επεμβάσεις που έχουν γίνει ρομποτικά 78
4.8 Πλεονεκτήματα του ρομποτικού συστήματος da Vinci Si 79
4.8.1 Πλεονεκτήματα χειρουργού 79
4.8.2 Πλεονεκτήματα ασθενή 80
4.9 Μειονεκτήματα του ρομποτικού συστήματος da Vinci Si 81
4.10 Ρομποτική βαριατρική εγχείριση 82
4.11 Ρομποτική ριζική προστατεκτομή 87
4.12 Ρομποτική υστερεκτομή 91
4.13 Από το χειρουργικό σύστημα da Vinci Si στο Xi 96
4.14 Το μέλλον της ρομποτικής χειρουργικής 97
4.15 Βελτίωση των χειρουργικών συστημάτων 99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο} 102
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 104

Εικόνα 1: IssakAsimov(1920-1992), διάσημος συγγραφέας του 20ου αιώνα..... 3
Εικόνα 2: Τάλως: το πρώτο ρομπότ κατά την ελληνική μυθολογία 15
Εικόνα 3: Opportunity: ρομπότ της NASA σταλμένο στον πλανήτη Άρη από το 2004. Σταμάτησε να επικοινωνεί με τη Γη από τον Ιούνιο του 2018. 19
Εικόνα 4: Εκμάθηση ρομποτικής σε παιδιά. 20
Εικόνα 5: Στρατιωτικές εφαρμογές της ρομποτικής 21
Εικόνα 6: Οι δύο φάσεις της βάδισης: α) η φάση της στήριξης (stance) , β) η φάση της αιώρησης (swing). 26
Εικόνα 7: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας CYBERLEGs System για την βάδιση 29
Εικόνα 8: Οι μηχανισμοί WAM και ETM του προσθετικού ποδιού. 31
Εικόνα 9: Η ενεργή μεταβλητή προσαρμογής MACCEPA 32
Εικόνα 10: Το ρομποτικό προσθετικό μέλος του Πανεπιστημίου του John Hopkins 41
Εικόνα 11: Το Αρθρωτό προσθετικό άκρο (MPL) 44
Εικόνα 12: Οι αισθητήρες που υπάρχουν στο κομμάτι του χεριού στο προσθετικό μέλος 45
Εικόνα 13: Το εικονικό προσθετικό άκρο, το οποίο προσομοιώνει την κάθε λειτουργία, που θέλουν οι ερευνητές να προσθέσουν 48
Εικόνα 14: Κάτοψη χειρουργικού πεδίου, κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης με το σύστημα da Vinci Si 57
Εικόνα 15: Η κονσόλα που ελέγχεται από τον χειρουργό κατά τη διάρκεια της επέμβασης.. 58
Εικόνα 16: Αναλυτικά τα μέρη της κονσόλας του χειρουργού 59
Εικόνα 17: Τα ειδικά χειριστήρια του χειρουργού, όπου οι κινήσεις που κάνει πραγματοποιούνται από τα εργαλεία σε πραγματικό χρόνο. 60
Εικόνα 18: Το σύστημα όρασης της κονσόλας και τα ηχεία προκειμένου να δίνει οδηγίες και να ακούει τι συμβαίνει στο χειρουργικό πεδίο ο χειρουργός. 61
Εικόνα 19: κονσόλα αφής για την επιλογή διάφορων λειτουργιών 61
Εικόνα 20: Τα επιπλέον χειριστήρια της κονσόλας για τη θέση, το ξεκίνημα και το σταμάτημα του συστήματος. 62
Εικόνα 21: Τα πετάλια που χρησιμοποιεί ο χειρουργός για να εναλλάσσει τη λειτουργία των εργαλείων 63
Εικόνα 22: Το τροχήλατο με τους ρομποτικούς βραχίονες 63
Εικόνα 23: Τα χειρουργικά ρομποτικά εργαλεία EndoWrist 64
Εικόνα 24: Οι βαθμοί ελευθερίας των εργαλείων EndoWrist 65
Εικόνα 25: Τα εξαρτήματα του τροχήλατου των βραχιόνων 66
Εικόνα 26: Οι σύνδεσμοι της διάταξης των βραχιόνων 66
Εικόνα 27: Ο βραχίονας όπου προσαρτώνται τα χειρουργικά εργαλεία 67
Εικόνα 28: Τα LED, τα οποία δείχνουν την κατάσταση των βραχιόνων 68
Εικόνα 29: Ο βραχίονας της κάμερας 68
Εικόνα 30: Το μηχανοκίνητο σύστημα κίνησης 69
Εικόνα 31: Ο ενδοσκοπικός πύργος του συστήματος 69
Εικόνα 32: Τα εξαρτήματα του ενδοσκοπικού πύργου 70
Εικόνα 33: Η διάταξη φωτισμού 71
Εικόνα 34: 3D ενδοσκόπιο 12mm 72
Εικόνα 35: 3D ενδοσκόπιο 8.5mm 72
Εικόνα 36: Η κάμερα του συστήματος 72
Εικόνα 37: : Οι κινητήρες της maxon 74

Εικόνα 38: Η γενική φιλοσοφία των software των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων . 75
Εικόνα 39: Διάγραμμα σύγκρισης αποτελεσμάτων της καταπολέμησης του καρκίνου από τη ρομποτική και άλλων μεθόδων 81
Εικόνα 40: Πεπτικό σύστημα 83
Εικόνα 41: Το στομάχι πριν και μετά τη βαριατρική επέμβαση 84
Εικόνα 42: Εισαγωγή πλαστικού σωλήνα για το αδρανές αέριο 85
Εικόνα 43: Είσοδος της κάμερας και δημιουργία οπών για την επέμβαση 85
Εικόνα 44: Ειδικά χειριστήρια και οι βραχίονες κατά τη διάρκεια της επέμβασης 86
Εικόνα 45: Διαδικασία γαστρικής παράκαμψης 86
Εικόνα 46: Τελικές εικόνες μετά τη διαδικασία 87
Εικόνα 47: Οι τομές μετά την επέμβαση 87
Εικόνα 48: Καρκίνος στον προστάτη 88
Εικόνα 49: Πλαστικός σωλήνας αδρανούς αερίου-κάμερας και οπές για την επέμβαση 89
Εικόνα 50: Αφαίρεση καρκίνου από τον προστάτη 89
Εικόνα 51: Αφαίρεση λεμφαδένων της περιοχής 90
Εικόνα 52: Σύγκριση τομών ανοιχτής και ρομποτικής επέμβασης 91
Εικόνα 53: Σημείο, όπου εκτελείται η υστερεκτομή 92
Εικόνα 54: Καρκίνος του τραχήλου της μήτρας και καρκίνος στο ινώδες 93
Εικόνα 55: Καρκίνος της μήτρας και των ωοθηκών 93
Εικόνα 56: Οπές κατά την υστερεκτομή 94
Εικόνα 57: Υφολική υστερεκτομή 94
Εικόνα 58: Ολική υστερεκτομή 95
Εικόνα 59: Ολική υστερεκτομή μετά των εξαρτημάτων 95
Εικόνα 60: Σύγκριση τομών ανοιχτής και ρομποτικής επέμβασης 96
Εικόνα 61: Ενδοσκόπιο da Vinci Xi και ενσωματωμένη απεικόνιση φθορισμού FireFly® 97
Εικόνα 62: Versius System 98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύονται σύγχρονες εφαρμογές της ρομποτικής στην ιατρική, πιο συγκεκριμένα τεχνητά μέλη και η ρομποτική στην χειρουργική.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή με τον ορισμό και κάποιες βασικές έννοιες της ρομποτικής, καθώς και μια ιστορική αναδρομή, οι οποίες είναι χρήσιμες για την κατανόηση των υπόλοιπων ενοτήτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή για τα τεχνητά κάτω άκρα, αναλύεται ο κύκλος της βάδισης σε ένα υγιή άτομο και στη συνέχεια αναλύεται το τεχνητό κάτω άκρο CYBERLEG, το οποίο είναι από τα πιο εξελιγμένα από τα προσθετικά μέλη αυτή τη στιγμή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η δομή του ανθρώπινου χεριού, προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι δυσκολίες των ερευνητών για τη δημιουργία ενός προσθετικού, πλήρους λειτουργικού χεριού, το οποίο όπως αναλύεται παρακάτω κατάφεραν οι ερευνητές του πανεπιστημίου του John Hopkins, με το πιο κοντά στον ανθρώπινο χέρι προσθετικό μέλος που υπάρχει αυτή τη στιγμή παγκοσμίως.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της ρομποτικής χειρουργικής και παρουσιάζεται το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci Si, που είναι το μόνο εγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα από το FDA. Στη συνέχεια περιγράφονται τρεις από τις σημαντικότερες επεμβάσεις που εκτελούνται πλέον με αυτό το σύστημα, οι διαφορές του με το επόμενο και πιο εξελιγμένο σύστημα da Vinci Xi και ο επόμενος στόχος για τη βελτίωση της ρομποτικής χειρουργικής.

Τέλος ακολουθούν κάποια συμπεράσματα για τον ρόλο που έχει παίξει τα τελευταία χρόνια η ρομποτική στην ιατρική, τα εντυπωσιακά αποτελέσματά της, καθώς και τα προβλήματα που προκύπτουν τόσο κοινωνικά, όσο και ηθικά με την ανάπτυξη της.

ABSTRACT

The present thesis examines modern applications of robotics in medicine, in particular prosthetic limbs and robotics in surgery.

The first chapter introduces the definition and some basic meanings of robotics, as well as a historical overview, which are useful for understanding the other of the remaining sections.

The second chapter gives a historical overview of the artificial lower limbs, analyzes the gait cycle in a healthy person and then analyzes the CYBERLEG artificial lower limb, which is one of the most sophisticated of prosthetic members at the moment.

The third chapter analyzes the structure of the human hand in order to understand the researchers difficulties in developing a prosthetic, fully functional hand, which is analyzed below and it is made by John Hopkins University researchers. It is the closest human hand prosthetic limb that currently exists worldwide.

Chapter four provides a historical overview of the evolution of robotic surgery and presents the da Vinci Si robotic surgical system, the only FDA-approved robotic system. Following are three of the most important surgeries currently performed with this system, its differences with the next and more advanced da Vinci Xi system, and the next goal of improving robotic surgery.

Finally, there are some conclusions about the role that robotics has played in medicine in recent years, its impressive results, as well as the problems that arise both socially and morally with its development.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο}

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο κλάδος της ρομποτικής

Η ρομποτική είναι ο κλάδος της επιστήμης που μελετά τις μηχανές εκείνες που μπορούν να αντικαταστήσουν τον άνθρωπο στην εκτέλεση μιας εργασίας, η οποία συνδυάζει τη φυσική δραστηριότητα με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στην ουσία εξετάζει συμπεριφορές διαφόρων εξαρτημάτων, που σε συνδυασμό μεταξύ τους, ολοκληρώνουν μια τελειωτική λειτουργία ακριβείας, κάτι το οποίο, μπορεί να λάβει χώρο στην ιατρική, σαν την αντικατάσταση του ανθρώπινου χεριού σε μικροεπεμβάσεις, είναι πάντα προγραμματιζόμενης κίνησης, και οι αποφάσεις είναι προς το παρόν του ανθρώπου. Είναι μια επιστήμη πολλά υποσχόμενη, και το μέλλον θα δείξει, κατά πόσο μπορεί να εξελιχθεί, και τη διαχείρισή της να την έχει ο άνθρωπος.

1.1.1 Τι είναι η ρομποτική

Η ρομποτική είναι ένας σύγχρονος τεχνολογικός κλάδος της αυτοματοποίησης, που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των ρομπότ, καθώς και την έρευνα για την περαιτέρω ανάπτυξή τους.

1.1.2 Τι είναι το ρομπότ

Ρομπότ ονομάζεται οποιαδήποτε μηχανική συσκευή, η οποία μπορεί και υποκαθιστά τον άνθρωπο σε διάφορες εργασίες. Πρόκειται στην ουσία για μία μηχανή, προγραμματισμένη από ηλεκτρονικό υπολογιστή, η οποία μπορεί να εκτελεί διάφορες λειτουργίες με ταχύτητα και ακρίβεια.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Ινστιτούτου Ρομπότ των ΗΠΑ, "ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη πολυλειτουργική χειριστική διάταξη, σχεδιασμένη για τη μετακίνηση υλικών, εξαρτημάτων, εργαλείων και εξειδικευμένων διατάξεων, μέσω μεταβλητών, προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση μιας σειράς εργασιών".

Ένα ρομπότ συγκροτείται από δύο συστήματα, το μηχανικό (στο οποίο περιλαμβάνεται το σύστημα κίνησης) και το ηλεκτρονικό (στο οποίο υπάγεται και η επαναπρογραμματιζόμενη μνήμη του). Υπάρχουν διάφορα κριτήρια διάκρισης και αντίστοιχες κατηγοριοποιήσεις των ρομπότ. Μία από αυτές είναι η διάκρισή τους σε τρεις, επί του παρόντος, "γενιές". Στην πρώτη γενιά κατατάσσονται ρομπότ με περιορισμένη ευελιξία, που διευθύνονται από τον άνθρωπο, όπως, για παράδειγμα, οι απλοί "χειριστές", σχετικά απλά εργαλεία που επιτρέπουν, για παράδειγμα, τη μετακίνηση επικίνδυνων αντικειμένων (π.χ. ραδιενεργών υλικών). Στη δεύτερη γενιά κατατάσσονται τα ρομπότ που είναι εφοδιασμένα με σταθερό πρόγραμμα δράσης και ρομπότ που λαμβάνουν εντολές από κάποιο σύστημα αριθμητικού ελέγχου. Στην τρίτη γενιά κατατάσσονται ρομπότ που είναι εφοδιασμένα:

- με αισθητήριες "πληροφορίες" από το περιβάλλον,
- με διάταξη επεξεργασίας των πληροφοριών και
- με κινητήριο σύστημα εκτέλεσης εργασιών.

1.1.3 Από τι αποτελείται ένα ρομπότ

Κάθε απλό ρομπότ αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία, το μηχανικό μέρος και τον ελεγκτή του. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα αυτά τα δύο στοιχεία, καθώς γίνεται και αναφορά στους βαθμούς ελευθερίας που έχει ένα ρομποτικό σύστημα.

Το μηχανικό μέρος του ρομποτικού συστήματος

Το μηχανικό μέρος ενός ρομποτικού συστήματος αποτελείται από το σύνολο των βραχιόνων του. Ανάλογα με την λειτουργία για την οποία έχει σχεδιαστεί, το ρομποτικό σύστημα μπορεί να διαθέτει έναν ή και παραπάνω βραχίονες, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα εξής μέρη:

- ***Βάση:*** Πρόκειται για το στερεωμένο μέρος του συστήματος στο περιβάλλον εργασίας του, το οποίο είναι συνδεδεμένο με μια αλυσίδα συνδέσμων και αρθρώσεων που καταλήγει στο εργαλείο δράσης.
- ***Συνδέσμους:*** Είναι μεταλλικά συνήθως στερεά σώματα, τα οποία συγκροτούν και στηρίζουν το σκελετό του ρομποτικού συστήματος.

- ***Αρθρώσεις:*** Οι αρθρώσεις του συστήματος διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις πρισματικές και τις στροφικές, οι οποίες επιτρέπουν την σχετική κίνηση μεταξύ των συνδέσμων. Οι στροφικές αρθρώσεις επιτρέπουν την σχετική στροφή μεταξύ δύο συνδέσμων, ενώ οι πρισματικές αρθρώσεις τη σχετική μετατόπιση, σε ευθεία γραμμή, ανάμεσα σε δύο γειτονικούς συνδέσμους.
- ***Κινητήρες:*** Κάθε άρθρωση για να λειτουργήσει χρειάζεται από έναν κινητήρα. Ο κινητήρας αυτός μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικός, είτε υδραυλικός, είτε πνευματικός.
- ***Αισθητήρες:*** Προκειμένου να ελέγχεται η θέση του συστήματος απαιτούνται πληροφορίες για τη θέση και τη ταχύτητά κάθε άρθρωσης ξεχωριστά. Αυτές οι πληροφορίες συλλέγονται από διάφορους τύπος αισθητήρων, όπως απλά ποτενσιόμετρα και ταχύμετρα μέχρι ψηφιακοί οπτικοί κωδικοποιητές θέσης.
- ***Εργαλείο δράσης:*** Το εργαλείο δράσης μπορεί να είναι είτε μια αρπάγη, για τη μεταφορά αντικειμένων, είτε ένας βιομηχανικός συγκολλητής μετάλλων μέχρι και όπως αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο ένα λεπτοχειρουργικό εργαλείο. Σε κάθε περίπτωση ο κάθε βραχίονας ενός συστήματος έχει προσαρμοσμένο στο τελικό του άκρο κάποιο μηχανικό εξάρτημα, το οποίο είναι κατάλληλα σχεδιασμένο για να πραγματοποιεί την λειτουργία για την οποία έχει σχεδιαστεί το σύστημα.

Ο ελεγκτής του ρομποτικού συστήματος

Ο ελεγκτής πρόκειται για την ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος, η οποία δίνει την ικανότητα να προγραμματιστεί το ρομπότ και στη συνέχεια να ελέγχει την κίνησή του κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της εκάστοτε λειτουργίας του. Ο ελεγκτής αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

Ηλεκτρονικά (Hardware): Στη πιο συνηθισμένη τους μορφή περιλαμβάνουν έναν υπολογιστή, στον οποίο αποθηκεύονται το πρόγραμμα ή τα προγράμματα, που πρόκειται να εκτελεστούν, τα ηλεκτρονικά επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή, του μηχανικού μέρους και του εξωτερικού περιβάλλοντος του συστήματος, καθώς και οι

ενισχυτές ισχύος, οι οποίοι όπως είναι και το όνομά τους ενισχύουν τα σήματα ελέγχου που απαιτούνται, έτσι ώστε να κινούνται οι αρθρώσεις από τους κινητήρες.

Λογισμικό (Software): Το λογισμικό χρησιμοποιείται κυρίως για τη δημιουργία των κατάλληλων σημάτων ελέγχου, κατά βάση με κάποιον αλγόριθμο, λαμβάνοντας υπόψη διαφόρων τύπων μεταβλητές όπως η θέση, η ταχύτητα και το φορτίο του συστήματος. Πέρα όμως από το κυρίως πρόγραμμα που θα εκτελεστεί, το λογισμικό διαθέτει και βοηθητικά προγράμματα, όπως αυτά για τον έλεγχο της λειτουργίας του ρομπότ ή την ενημέρωση του χρήστη με διαγνωστικά μηνύματα.

1.1.4 Βαθμοί ελευθερίας ενός ρομπότ

Ως βαθμός ελευθερίας ορίζεται ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων που προσδιορίζουν τη θέση ενός σώματος στο χώρο και αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε ρομποτικού βραχίονα και κατ' επέκταση όλου του ρομποτικού συστήματος. Με τους βαθμούς ελευθερίας δηλώνεται το πόσο ευκίνητο είναι το ρομπότ στο χώρο. Κάθε ανεξάρτητη κινούμενη άρθρωση που προστίθεται σε ένα ρομποτικό σύστημα προσθέτει κι ένα βαθμό ελευθερίας. Για την περιγραφή τη θέσης ενός στερεού σώματος στο χώρο απαιτούνται συνολικά έξι μεταβλητές, τρεις που περιγράφουν τη θέση και τρεις για τον προσανατολισμό του. Επομένως, με βάση αυτές τις πληροφορίες, ένα ρομποτικό σύστημα για να κινηθεί οπουδήποτε μέσα στον χώρο και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση πρέπει αυτό να διαθέτει τουλάχιστον έξι βαθμούς ελευθερίας. Ο ανθρώπινος βραχίονας υπολογίζεται πως έχει επτά βαθμούς ελευθερίας.

1.2 Ιστορική και μυθολογική αναδρομή

Οι Αυτομάτονες ή Αυτόματοι , των οποίων η ονομασία προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη αὐτόματον, δηλαδή ενεργώ ιδία βούληση, ήταν μυθολογικές «ζωντανές» κατασκευές με την μορφή ανθρώπων ή ζώων, δημιουργημένες ως επί το πλείστον από τον θεό Ήφαιστο και ορισμένες από τον Δαίδαλο.

Το πιο γνωστό ρομπότ στην αρχαιότητα, κατά την ελληνική μυθολογία ήταν ο Τάλως. Ο Τάλως για κάποιους ήταν δημιούργημα του θεού Δία και για κάποιους

άλλους δημιούργημα του Ηφαίστου, θεού της φωτιάς και της μεταλλουργίας, κατά παραγγελία του Δία για να φυλάει την Ευρώπη, η οποία βρισκόταν στην Κρήτη. Ο Τάλως εξωτερικά έμοιαζε με έναν θεόρατο άντρα, ο οποίος ήταν φτιαγμένος από χαλκό. Από τον αυχένα του ξεκινούσε μια και μοναδική φλέβα, η οποία έφτανε μέχρι τους αστραγάλους του και ήταν αυτή που του έδινε ζωή, ενώ αντί για αίμα έτρεχε μέσα της ιχώρ, το αιθέριο χρυσό υγρό που είναι το αίμα των θεών. Στους αστραγάλους του υπήρχε σφηνωμένο ένα καρφί, το οποίο εμπόδιζε να χυθεί το υγρό που τον κρατούσε στη ζωή.

Το τέλος του Τάλω ήρθε από έναν από τους αργοναύτες, τον Ποία, ο οποίος αφού ο Ιάσονας αφαίρεσε το καρφί από τον μαγεμένο Τάλω από τα ξόρκια της Μήδειας, τον χτύπησε με ένα βέλος στο ευαίσθητο αυτό σημείο του.

Ο Αρχύτας ο Ταραντίνος (428 - 347 π.Χ.) λέγεται πως κατασκεύασε ένα ξύλινο περιστέρι, το οποίο κινούνταν με ατμό και μπορούσε να διανύσει απόσταση μέχρι και 200μ.

Εικόνα 2: Τάλως: το πρώτο ρομπότ κατά την ελληνική μυθολογία

Η λέξη ρομπότ προέρχεται από το Σλαβικό robota που σημαίνει εργασία. Στις 25 Ιανουαρίου του 1921 ανέβηκε για πρώτη φορά το θεατρικό έργο R.U.R στο Εθνικό Θέατρο της Πράγας, το οποίο σατίριζε την εξάρτηση της κοινωνίας από τους μηχανικούς εργάτες (ρομπότ) της τεχνολογικής εξέλιξης και που τελικά εξοντώνουν τους δημιουργούς τους. Η λέξη «Ρομπότ» ακούστηκε πρώτη φορά στην, τότε, Τσεχοσλοβακία. Το 1923 που το έργο μεταφράστηκε στα Αγγλικά και σε άλλες τριάντα γλώσσες, ο νέος ορισμός επιβλήθηκε διεθνώς.

Ο όρος ρομποτική χρησιμοποιήθηκε τη δεκαετία του ’40 από τον Ρώσο Isaak Asimov, έναν από τους πιο δημοφιλείς συγγραφείς του 20^{ου} αιώνα, ο οποίος

συνέλαβε το ρομπότ ως ένα «αυτόματο» με εμφάνιση ανθρώπου, αλλά απαλλαγμένο από συναισθήματα. Ο όρος ρομποτική είναι αφιερωμένος στη μελέτη των ρομπότ και διέπονται από τους παρακάτω τρεις βασικούς νόμους:

1)Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ή μέσω της αδράνειάς του να βλάψει ένα ανθρώπινο πλάσμα.

2)Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές που δίνονται από τους ανθρώπους, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.

3)Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ίδια του την ύπαρξη, εκτός κι αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή τον δεύτερο νόμο.

Αρκετά χρόνια νωρίτερα, ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι, έχοντας ασχοληθεί με αρχιτεκτονική, ζωγραφική και άλλους κλάδους, δε θα μπορούσε να παραλείψει τη ρομποτική. Στα σημειωματάριά του που συλλέχθηκαν κατά το 1950, βρέθηκαν αναλυτικές σημειώσεις και σχέδια που αφορούσαν έναν μηχανικά κατασκευασμένο ιππότη γνωστό ως «Το ρομπότ του Λεονάρντο». Είχε την ικανότητα να κάθεται, να κινεί τα χέρια, το κεφάλι και το σαγόνι του. Ωστόσο δεν είναι γνωστό εάν τελικά κατάφερε να το ολοκληρώσει.

Υπάρχουν πολλές αναφορές, ανά τις δεκαετίες, όπου έχουν δημιουργηθεί ρομπότ τα οποία ποικίλουν στις εργασίες που εξυπηρετούν σε διαφορετικούς τομείς, όπως:

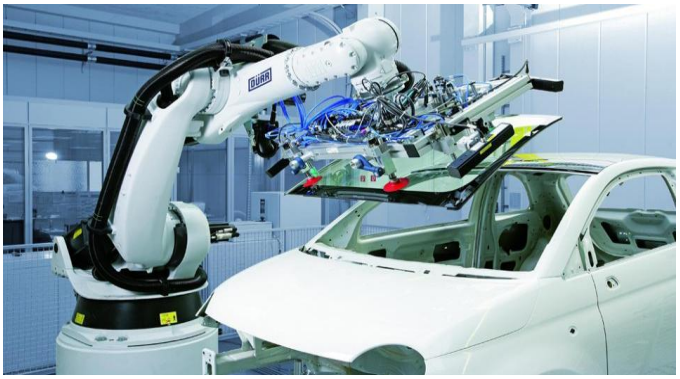
- Το 1898 ο Σέρβος Nikola Tesla παρουσίασε το πρώτο τηλεχειριζόμενο πλοίο.
- Το 1930 η εταιρεία Westinghouse Electric Corporation (Η.Π.Α.) κατασκευάζει το ανθρωποειδές ρομπότ Electro, που μπορούσε να μιλά, να περπατά και να καπνίζει.
- Το 1948 κατασκευάζεται το πρώτο αυτόνομο ρομπότ Elsie στο πανεπιστήμιο του Bristol (Αγγλία), που κινούνταν με βάση ερεθίσματα που λάμβανε από αισθητήρες φωτός.

Η επιρροή της Ρομποτικής και των εφαρμογών της στην καθημερινότητα του ανθρώπου σήμερα είναι αδιαμφισβήτητη. Παρακάτω θα δούμε κάποιες από αυτές τις εφαρμογές.

1.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στη σύγχρονη ζωή

1.3.1 Εφαρμογές της ρομποτικής στην βιομηχανία

Η ρομποτική σήμερα έχει εφαρμογές στην πλειονότητα των βιομηχανιών και βιοτεχνιών, όπως στις βιομηχανίες τσιμέντου, τις βιομηχανίες αυτοκινήτων, βιοτεχνίες μεταλλικών κατασκευών, αυτοκινητοβιομηχανία, βιοτεχνίες ενδυμάτων, κλπ. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες εφαρμογές: μεταφορά υλικών, ταξινόμηση αποθηκών, συναρμολόγηση συσκευών και μηχανισμών, συγκόλληση μεταλλικών κατασκευών, συγκόλληση ηλεκτρικών στοιχείων, βαφή, εκσκαφή, υποθαλάσσιες εργασίες, εργασίες σε ραδιενεργό και γενικά επικίνδυνο περιβάλλον, μικροχειρουργική, ιατρική κτλ. Όσον αφορά την σχέση ρομπότ και βιομηχανίας, τα ρομπότ αποτελούν το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα συσκευής αυτοματισμού ευρείας χρήσης. Το κύριο πλεονέκτημα του ρομπότ είναι η ευελιξία του. Μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα προϊόντα στην ίδια γραμμή παραγωγής, όπως απαιτούν οι αλλαγές της αγοράς και να επαναπρογραμματισθεί, έτσι ώστε να είναι κατάλληλο για μικρές ή μεγάλες μεταβολές του παραγόμενου προϊόντος. Έτσι προσφέρει στη βιομηχανία μαζικής παραγωγής ένα τρόπο να αντιμετωπίζει τις μεταβολές της απαιτούμενης ποσότητας ή του τύπου του προϊόντος που παράγεται. Στη βιομηχανία μικρής κλίμακας προσφέρει την ευκαιρία ή τη δυνατότητα ενός μεγάλου άλματος στην παραγωγικότητα, ενώ συνεχίζει να παράγει σε μικρές ποσότητες, έτσι ώστε να μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να ανταγωνιστεί μεγαλύτερες βιομηχανίες .Οι εργαλειομηχανές με CNC (Computer Numerical Control) αποτελούν ειδικές μορφές ρομποτικών συστημάτων. Ο αριθμός των ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε παραγωγικές μονάδες παγκοσμίως αυξάνεται εκθετικά. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτά είναι βιομηχανικά ρομπότ. Ένα μικρότερο αλλά σημαντικό τμήμα καταλαμβάνουν τα ρομπότ για στρατιωτικές εφαρμογές και τα κινητά ή κινούμενα ρομπότ (mobilerobots) τα οποία ολοένα και αυξάνουν τη διείσδυση τους σε κάθε μορφής εργοτάξια.



Εικόνα 3: Ρομπότ στις αυτοκινητοβιομηχανίες

1.3.2 Εφαρμογές της ρομποτικής στο Διάστημα

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της ρομποτικής επιστήμης είναι στον τομέα της εξερεύνησης και μελέτης του διαστήματος. Τα ρομπότκατά γενική ομολογία είναι πιο ανθεκτικά από ότι ο άνθρωπος στις δύσκολες συνθήκες του διαστήματος, και έτσι μπορούν να ταξιδέψουν στα πιο απομακρυσμένα μέρη του γαλαξία μας. Η συμβολή των ρομπότ στην εξερεύνηση του σύμπαντος είναι τεράστια. Ακριβώς επειδή τα ρομπότ δεν είναι ζωντανοί οργανισμοί, αλλά μηχανήματα, οι επιστήμονες μπορούν να τα σχεδιάσουν έτσι, ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν σε αντίξοες συνθήκες, στις οποίες ο άνθρωπος δεν θα επιβίωνε. Για παράδειγμα, μπορούν να κάνουν τις εργασίες για τις οποίες έχουν προγραμματιστεί ακόμα και σε συνθήκες πολύ υψηλών ή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Ένας επιπλέον παράγοντας που οι επιστήμονες του διαστήματος χρησιμοποιούν τα ρομπότ, είναι ότι πολλές από τις αποστολές που οργανώνουν διαρκούν για ολόκληρα χρόνια. Ο άνθρωπος δεν θα μπορούσε να αντέξει για χρόνια μακριά από τη Γη, αλλά και να άντεχε, δεν θα χωρούσαν στο διαστημόπλοιο τα τρόφιμα, που θα χρειαζόταν και αρκετό οξυγόνο, προκειμένου να επιβιώσει. Άλλος ένας από τους κυριότερους παράγοντες είναι ο οικονομικός. Μπορεί θεωρητικά η κατασκευή ενός ρομπότ να κοστίζει αρκετά, αλλά το να στείλεις έναν άνθρωπο στο διάστημα είναι πιο δαπανηρό, λόγω του ότι τα διαστημόπλοια θα πρέπει να είναι πιο ευρύχωρα και να είναι και εξοπλισμένα με τροφοδοσία οξυγόνου και όλων των απαραίτητων αγαθών για την επιβίωση του. Εκτός από αυτά στις επανδρωμένες αποστολές χρειάζονται και συστήματα ασφαλείας, προκειμένου να είναι απόλυτα ασφαλής οι επιβάτες. Αυτά τα συστήματα ασφαλείας έχουν αρκετά μεγάλο κόστος, ενώ υπάρχει πάντα και η πιθανότητα να μη λειτουργήσουν σωστά.

Οπότε ένα μεγάλο μέρος της γνώσης που αποκτήσαμε για το διάστημα οφείλεται στα ρομπότ.

Εικόνα 3: Opportunity: ρομπότ της NASA σταλμένο στον πλανήτη Άρη από το 2004. Σταμάτησε να επικοινωνεί με τη Γη από τον Ιούνιο του 2018.

1.3.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στην Ιατρική

Άλλος ένας κλάδος ο οποίος εξελίσσεται ραγδαία χάριν στην ρομποτική είναι αυτός της Ιατρικής. Κατά κύριο λόγο οι τομείς που επωφελούνται περισσότερο από αυτήν την ανάπτυξη είναι αυτός της Χειρουργικής και της Ορθοπεδικής. Αρκετές επεμβάσεις πλέον γίνονται με κάποιο ρομποτικό σύστημα, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια χρήσης των χειρουργικών εργαλείων και επιτρέποντας στους γιατρούς να έχουν λεπτομερή έλεγχο. Ένα παράδειγμα είναι η χειρουργική επέμβαση στη χοληδόχο κύστη, με τη βοήθεια ενός ενδοσκοπίου που εισάγεται στο σώμα των ασθενών.

Μεγάλη εξέλιξη βλέπουμε και στην κατασκευή τεχνητών μελών για παραπληγικούς ασθενείς, ένα πάρα πολύ σημαντικό κεφάλαιο, καθώς τα ποσοστά των ανθρώπων, που οδηγούνται σε ακρωτηριασμούς λόγω του σακχαρώδη διαβήτη, ατυχημάτων ή άλλων παθήσεων αυξάνεται κατακόρυφα.

Είναι προφανές πλέον πως με την εξέλιξη της τεχνολογίας κατασκευάζονται ολοένα πιο μικρά, πιο ευέλικτα και πιο χρήσιμα σε όλο και πιο δύσκολες λειτουργίες ρομπότ, με στόχο τη θεραπεία των ασθενών, την πρόληψη προβλημάτων υγείας και την βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Εικόνα 4: Προσθετικά κάτω άκρα

Εικόνα 5 Ρομποτικό χειρουργικό

1.3.4 Εφαρμογές της ρομποτικής στην Εκπαίδευση

Οι εφαρμογές των ρομπότ δεν σταματούν εδώ. Τα ρομπότ έχουν αντίκτυπο και στον τομέα της εκπαίδευσης. Πιο συγκεκριμένα, η Ρομποτική θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στις μελλοντικές τεχνολογικά εξαρτώμενες κοινωνίες, οπότε είναι σημαντικό η εκπαίδευση να προετοιμάσει τη σημερινή γενιά των μαθητών προς την παραπάνω κατεύθυνση. Ο Paolo Fiorini, της IEEE Robotics and Automation Society, περιγράφει τη χρήση των ρομπότ για εκπαιδευτικούς σκοπούς ως «ενδιαφέρον μείγμα θεωρητικής και πρακτικής εμπειρίας». Όταν βρίσκουν σωστή εφαρμογή στα σχολεία τα ρομπότ αποτελούν τη βάση μιας διεπιστημονικής δραστηριότητας σπουδών, ένας ιδανικό πόρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διδάξει Μαθηματικά (Χωρικές έννοιες και γεωμετρία), επιστημονικές αρχές (ιδιαίτερα Φυσικής), σχεδιασμό και τεχνολογία. Η Εκπαιδευτική Ρομποτική είναι το πεδίο της ρομποτικής που παρουσιάζει ευρύτερο ενδιαφέρον παιδαγωγικής αξιοποίησης ως αποτέλεσμα της έρευνας στη διδακτική των επιστημών και της τεχνολογίας.

Εικόνα 4: Εκμάθηση ρομποτικής σε παιδιά.

1.3.5 Στρατιωτικές εφαρμογές της ρομποτικής

Άλλη μια χρήση της ρομποτικής, η οποία εξελίσσεται διαρκώς είναι αυτή σε στρατιωτικές εφαρμογές. Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται για τέτοιες εφαρμογές κατά κύριο λόγω ασχολούνται με: αφοπλισμό εκρηκτικών μηχανισμών, αντικατάσταση ανθρώπινου δυναμικού στη μάχη, περίθαλψη στρατιωτών, κατασκοπεία, ανεφοδιασμό των στρατιωτών και τέλος τη φύλαξη συνόρων. Η χρήση των ρομπότ σε πολεμικές επιχειρήσεις, διερευνάται ως πιθανό μελλοντικό μέσο διεξαγωγής πολέμων. Ήδη αρκετοί στρατιώτες ρομπότ έχουν αναπτυχθεί από διάφορους στρατούς. Μερικοί πιστεύουν ότι το μέλλον του σύγχρονου πολέμου θα είναι με αυτοματοποιημένα συστήματα όπλων. Έχουν γίνει κάποιες εξελίξεις προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης αυτόνομων μαχητικών και βομβαρδιστικών αεροπλάνων. Η χρήση τους είναι για την καταστροφή των στόχων του εχθρού. Λόγω της έλλειψης εκπαίδευσης που απαιτείται για τους πιλότους των ρομποτικών αεροπλάνων, τα αυτόνομα αεροπλάνα είναι σε θέση να εκτελέσουν τους ελιγμούς που δεν θα μπορούσαν διαφορετικά με τους ανθρώπινους πιλότους.

Εικόνα 5: Στρατιωτικές εφαρμογές της ρομποτικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο}

ΤΕΧΝΗΤΑ ΜΕΛΗ-ΚΑΤΩ ΆΚΡΟ

2.1 Εισαγωγή

Ο κλάδος της ιατρικής τα τελευταία χρόνια εξελίσσεται με σχετικά γοργούς, αλλά και ασφαλείς ρυθμούς με βάση τη ρομποτική. Οι εφαρμογές της ρομποτικής στην ιατρική είναι πάρα πολλές, πράγμα το οποίο καθιστά δύσκολη την ανάλυσή τους σε μια μόνο πτυχιακή. Παρακάτω θα επικεντρωθούμε και θα μελετήσουμε συγκεκριμένες εφαρμογές, οι οποίες έχουν άνθηση και κατά κύριο λόγο ασχολούνται 0με αρκετά σημαντικά προβλήματα υγείας που αντιμετωπίζουν αρκετοί άνθρωποι.

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και αυξάνεται ο αριθμός των ακρωτηριασμών, με αποτέλεσμα οι επιστήμονες να προσπαθούν να βελτιώσουν, όσο το δυνατόν γίνεται καλύτερα, την κατάσταση των ανθρώπων που υπόκεινται σε μια τέτοια διαδικασία. Οι περισσότεροι ακρωτηριασμοί προκαλούνται ή αποκτώνται συνήθως από κακή αγγειακή κατάσταση, δηλαδή ισχαιμία. Ισχαιμία γενικά ορίζεται ως ο περιορισμός ή η ελάττωση της κυκλοφορίας του αίματος σε κάποια σημεία του σώματος. Σύμφωνα με στατιστικές το 80% των ακρωτηριασμών των κάτω άκρων οφείλεται σε αυτό το φαινόμενο, και κατά κύριο λόγο στον διαβήτη και μόλις το 15% οφείλεται σε ατυχήματα. Το υπόλοιπο 5% έχει να κάνει με τον καρκίνο και άλλες συγγενείς ασθένειες. Είναι μεγάλη πρόκληση για τους επιστήμονες, όπως θα δούμε παρακάτω, να καταφέρουν να βρουν λύση στο συγκεκριμένο ζήτημα, καθώς υπάρχουν πάρα πολλοί παράμετροι που πρέπει να λάβουν υπόψη τους προκειμένου να δώσουν πίσω στον άνθρωπο ξανά ένα μεγάλο μέρος της λειτουργικότητας του άκρου που έχει χαθεί.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Από τα αρχαία χρόνια γίνονται αναφορές σε προσθετικά άκρα κυρίως σε ιστορίες και ποιήματα. Από τις πρώτες όμως ιστορικές αναφορές για τη χρήση προσθετικών άκρων ήταν αυτές στις ελληνικές και τις ρωμαϊκές περιόδους. Για παράδειγμα υπάρχει η ιστορική αναφορά του Ρωμαίου στρατηγού, Μάρκου Σέργιου, ο οποίος έχασε το δεξί του χέρι ενώ πολεμούσε στους Καρχηδόνιους Πολέμους. Είναι γνωστό,

πως είχε αντικαταστήσει το χέρι του με ένα φτιαγμένο από σίδερο με σκοπό να μπορεί να κρατήσει την ασπίδα, ώστε να μπορεί να γυρίσει στην μάχη.

Το 2000, ερευνητές στο Κάιρο της Αιγύπτου, ανακάλυψαν, αυτό που μέχρι σήμερα θεωρείται, το παλαιότερο τεκμήριο τεχνητού άκρου. Ένα προσθετικό δάκτυλο φτιαγμένο από ξύλο και δέρμα.

Το πρόσθετο άκρο αυτό βρέθηκε σε μούμια, η οποία ανήκει σε μια Αιγύπτια καλής οικογένειας, και χρονολογείται περίπου πριν από 3000 χρόνια. Είναι ένα καλό παράδειγμα για το πόσο λίγο έχουν αλλάξει τα προσθετικά μέλη μέχρι σήμερα. Με εξαίρεση τις τελευταίες δεκαετίες, τα προσθετικά άκρα κατά κύριο λόγο κατασκευάζονταν από βασικά υλικά, όπως ξύλο και μέταλλο, τα οποία τα συγκρατούν στο ανθρώπινο σώμα δερμάτινα εξαρτήματα.

Αυτή η πολύ μικρή εξέλιξη των προσθετικών άκρων μπορεί να αποδειχτεί ιστορικά, αν κάποιος σκεφτεί ότι περίπου 2000 χρόνια αργότερα, στον Μεσαίωνα, οι ιππότες της εποχής είχαν συνήθως σιδερένια προσθετικά άκρα, τα οποία φτιάχνονταν συνήθως από τον ίδιο σιδηρουργό, που κατασκεύαζε και την πανοπλία τους. Αυτά τα πολύ βαριά άκρα δεν ήταν ιδιαίτερα λειτουργικά και ο κύριος σκοπός τους ήταν απλά να καλύψουν το χαμένο άκρο, καθώς τότε θεωρούταν μια πολύ δυσάρεστη παραμόρφωση.

Άλλη μια ιστορική αναφορά είναι αυτή των πειρατών, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν γάντζους και ξύλινα πόδια με πετράδια, τα οποία καθαριζόντουσαν στο πλοίο και κατά κύριο λόγο οι ακρωτηριασμοί εκτελούνταν από τον μάγειρα του πλοίου χωρίς μεγάλα ποσοστά επιτυχίας.

Στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, ο Γάλλος στρατιωτικός γιατρός, Ambroise Pare, γνωστός για τις τεχνικές του πάνω στους ακρωτηριασμού, συνέβαλε σε μερικές από τις πρώτες τεχνικές εξέλιξης για τα προσθετικά άκρα. Ο Pare εφηύρε ένα αρθρωτό μηχανικό χέρι, όπως και πόδια, τα οποία κλείδωναν στα γόνατα και είχαν ειδικούς ιμάντες πρόσδεσης.

Περίπου το 1690, ένας Ολλανδός χειρουργός, ο Pieter Verduyn, ανέπτυξε πρόσθεση κάτω άκρων με εξειδικευμένους μεντεσέδες και δερμάτινη μανσέτα για καλύτερη

πρόσδεση στο σώμα. Πολλές από αυτές τις τεχνικές των δύο αυτών γιατρών χρησιμοποιούνται ακόμα και στη σύγχρονες εφαρμογές των προσθετικών άκρων.

Καθώς τα τεχνητά άκρα έγιναν πιο συνηθισμένα, οι εξελίξεις σε τομείς, όπως η κοινή τεχνολογία και οι μέθοδοι πρόσδεσης με βάση την αναρρόφηση συνέχισαν να προάγουν το πεδίο της προσθετικής. Συγκεκριμένα, το 1812 αναπτύχθηκε ένας προσθετικός βραχίονας που θα μπορούσε να ελεγχθεί από τον αντίθετο ώμο με συνδετικούς ιμάντες - κάπως παρόμοιο με το πώς ελέγχονται τα φρένα σε ένα ποδήλατο.

Στη συνέχεια η Εθνική Ακαδημία Επιστημών, ξεκίνησε το 1945 το Πρόγραμμα πρόσθετων άκρων. Το πρόγραμμα αυτό δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα του μεγάλου ποσοστού ακρωτηριάσεων μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Από τη δημιουργία αυτού του προγράμματος και μετά άρχισε η ανάπτυξη της τεχνολογίας των τεχνητών άκρων, όσον αφορά τα υλικά, τις μεθόδους σχεδιασμού στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και τις χειρουργικές τεχνικές καθιστώντας τα πιο ζωντανά και πιο λειτουργικά.

2.3 Τεχνητό κάτω άκρο

Ο ρομποτικός έλεγχος πρόσθεσης πρόκειται για μια μέθοδο που αφορά την αποκατάσταση της ικανότητας της βάδισης σε άτομα με απώλεια των άκρων με μια ρομποτικά ελεγχόμενη πρόσθεση. Είναι ένας κλάδος που δίνει έμφαση στην αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων και ρομποτικής.

2.3.1 Κινησιολογία

Ως κινησιολογία ορίζεται η μελέτη της ανθρώπινης κίνησης. Οι βασικοί κανόνες που θεμελιώνουν τη μελέτη της κίνησης προέρχονται από γνώσεις που αντλούνται από τους τομείς της φυσικής, της ανατομίας και της φυσιολογίας. Με την πάροδο των χρόνων όμως και την εξέλιξη της επιστήμης, άρχιζαν να εφαρμόζονται αυτοί οι κανόνες στην αντιμετώπιση πολλών μυοσκελετικών προβλημάτων και στην καλύτερη ανάλυση της στάσης του σώματος και της βάδισης.

2.3.2 Βάδιση και όρθια στάση του σώματος

Βάδιση ονομάζεται η σειρά των σύνθετων ρυθμικών κινήσεων του κορμού και των άκρων του ανθρώπινου σώματος, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την πρόσθια μετατόπιση του κέντρου βάρους. Μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, όπως η ηλικία, το ύψος, το φύλλο και το βάρος του ανθρώπου. Κατά τη βάδιση το σώμα μετατοπίζεται στο χώρο με έναν συντονισμένο τρόπο. Όλες οι κινήσεις των άκρων γίνεται με ρυθμικό τρόπο. Η αλλαγή θέσης και η κίνηση γίνονται με το σώμα να ισορροπεί στην όρθια θέση στα κάτω άκρα. Όλη αυτή η κίνηση όμως πρέπει να γίνεται με τη μικρότερη δαπάνη ενέργειας για τον οργανισμό και εκεί είναι που πρέπει ο μηχανισμός της βάδισης να εκμεταλλεύεται με τον καταλληλότερο τρόπο τη δύναμη της βαρύτητας, την κάθετη αντίδραση από το έδαφος στο σώμα και την αντίρροπη κίνηση των άκρων.

2.3.3 Οι φάσεις της βάδισης

Κάθε βήμα που πραγματοποιούμε αποτελείται από δύο φάσεις. Η πρώτη είναι η φάση της στήριξης (stance), η οποία ξεκινάει μόλις η φτέρνα του ποδιού έρθει σε επαφή με το έδαφος, συνεχίζεται με τη μεταφορά του βάρους του σώματος στο πέλμα, το οποίο εφάπτεται ολόκληρο στο έδαφος και ολοκληρώνεται στο σημείο, όπου τα δάχτυλα του ίδιου ποδιού αφήνει το έδαφος. Η διαδικασία της στήριξης αποτελεί το 60% ενός βήματος. Το υπόλοιπο 40% του βήματος αποτελεί η φάση της αιώρησης (swing), η οποία ξεκινάει όταν το πόδι αφήσει το έδαφος και ολοκληρώνεται όταν η πτέρνα αγγίξει ξανά το έδαφος. Κατά τη διάρκεια της βάδισης υπάρχει κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία και τα δύο πόδια εφάπτονται στο έδαφος. Αυτό συμβαίνει όταν αρχίζει η φάση της στήριξης και όταν τελειώνει η φάση της στήριξης. Στην εικόνα 2.1 φαίνεται ο κύκλος της βάδισης.

Εικόνα 6: Οι δύο φάσεις της βάδισης: α) η φάση της στήριξης (stance) , β) η φάση της αιώρησης (swing).

2.3.4 Σύγχρονα τεχνητά μέλη

Με το πέρασμα των χρόνων τα προσθετικά μέλη εξελίχθηκαν ως ένα βαθμό και κατά κύριο λόγο αυτή η εξέλιξη οφείλεται στην παρουσία νέων υλικών, όπως προηγμένα πλαστικά και σύνθετα υλικά από ανθρακονήματα, δηλαδή ίνες άνθρακα. Αυτά τα υλικά μπόρεσαν να κάνουν τα τεχνητά μέλη ελαφρύτερα, δυνατότερα και πιο ρεαλιστικά. Οι σύγχρονες τεχνολογίες καθιστούν τα σημερινά τεχνητά μέλη πιο διαχειρίσιμα, δηλαδή πιο εύκολα στον έλεγχό τους, και πιο ευέλικτα, καθώς μπορούν και προσαρμόζονται αυτόματα σε διάφορες εργασίες, όπως το περπάτημα ή η λαβή. Παρ' όλες τις νέες εξελίξεις όμως, οι οποίες αφορούν τα υλικά και την τεχνολογία, ο πυρήνας των προσθετικών μελών μένει ο ίδιος. Παρακάτω παρατίθενται τα κύρια μέρη των προσθετικών μελών:

Ο ***πυλώνας***: είναι ο σκελετός του προσθετικού άκρου. Παρέχει δομική υποστήριξη και συνήθως είναι φτιαγμένος από μεταλλικές ράβδους. Στα σύγχρονα προσθετικά μέλη χρησιμοποιούνται ανθρακονήματα, δηλαδή ίνες άνθρακα, οι οποίες είναι πολύ ελαφρύτερες, αρκετά στιβαρές και με υψηλή αντοχή σε θραύση, καθώς και με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Τις περισσότερες φορές οι πυλώνες καλύπτονται από ένα κάλυμμα, το οποίο είναι συνήθως ένα αφρώδες υλικό(foam-like material). Το κάλυμμα αυτό μπορεί να πάρει τη μορφή και το χρώμα του δέρματος

του εκάστοτε ασθενή, φτάνοντας στο σημείο να δίνεται στο προσθετικό άκρο μια πιο ζωντανή εμφάνιση.

Η ***υποδοχή*****:** είναι το τμήμα της προσθετικής συσκευής που συνδέεται με το άκρο ή το υπολειπόμενο άκρο ασθενούς. Πρέπει να τοποθετηθεί σχολαστικά στο μέλος του σώματος, που έχει απομείνει, έτσι ώστε να μην προσκληθεί κάποιος ερεθισμός ή κάποια βλάβη στο δέρμα ή στους υποκείμενους ιστούς.

Το ***σύστημα ανάρτησης*****:** είναι αυτό που κρατάει το προσθετικό άκρο συνδεδεμένο με το σώμα. Ο μηχανισμός ανάρτησης μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα καλωδίωσης, χρησιμοποιούνται ιμάντες, ζώνες και μανίκια για την προσάρτηση του μέλους. Σε κάποιες περιπτώσεις ακρωτηριάσεων, το προσθετικό άκρο είναι ικανό απλά να παραμείνει συνδεδεμένο με το υπόλοιπο σώμα απλά με τοποθέτηση. Ένας από τους πιο συνηθισμένους τύπους μηχανισμών ανάρτησης βασίζεται στην αναρρόφηση. Αυτή η περίπτωση έχει ως προϋπόθεση το προσθετικό άκρο να ταιριάζει απόλυτα με το υπολειπόμενο άκρο στο σώμα, έτσι ώστε απλά μια αεροστεγής σφραγίδα να το κρατά στη θέση του.

Τα περισσότερα προσθετικά άκρα έχουν αυτά τα βασικά μέρη που αναφέρθηκαν παραπάνω σε κάποια μορφή, αξίζει όμως να σημειωθεί πως κάθε περίπτωση είναι διαφορετική και μοναδική και κάθε μέλος σχεδιάζεται για συγκεκριμένο τύπο και επίπεδο ακρωτηριασμού. Για παράδειγμα, αν ο ακρωτηριασμός είναι πάνω ή κάτω από μεγάλες αρθρώσεις, όπως ο αγκώνας ή το γόνατο, απαιτεί και διαφορετικού είδους προσθετικό άκρο, καθώς και διαφορετική προσέγγιση. Ένας ακρωτηριασμός πάνω από το γόνατο απαιτεί προσθετική συσκευή με τεχνητό γόνατο, ενώ ένας ακρωτηριασμός κάτω από το γόνατο δίνει τη δυνατότητα της διατήρησης της χρήσης του ίδιου του γονάτου.

2.4 CYBERLEGs Prosthesis

Όπως είδαμε και παραπάνω η βάδιση του ανθρώπου είναι ένας κύκλος και χαρακτηρίζεται με διαφορετικές φάσεις, κατά τις οποίες τόσο το γόνατο όσο και ο αστράγαλος, που είναι οι κύριες αρθρώσεις παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη συμπεριφορά. Αυτός είναι και ο λόγος, για τον οποίο, οι περισσότεροι αλγόριθμοι

ελέγχου που χρησιμοποιούνται σε προσθετικά και ορθωτικά χρησιμοποιούν μηχανήματα πεπερασμένων καταστάσεων. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ των διαφόρων αλγορίθμων ελέγχου είναι ο τρόπος με τον οποίο ανιχνεύονται οι μεταβάσεις από μια φάση της βάδισης σε μια άλλη. Έχουν επιδιωχθεί διαφορετικές προσεγγίσεις για την ανάπτυξη μιας αξιόπιστης διασύνδεσης μεταξύ του ακρωτηριασμένου άκρου και της τροφοδοτούμενης συσκευής του. Οι πρώτες ιδέες επιδιώκουν τον έλεγχο επαναφοράς, όπου το προσθετικό μέλος μιμείται την κινηματική επαναφορά του άκρου.

Ορισμένες μελέτες βασίστηκαν στην περιοδική συμπεριφορά της ανθρώπινης βάδισης, όπου τα συστήματα ελέγχου που αναπτύχθηκαν για συσκευές ενεργών αστραγάλων χρησιμοποιούσαν γεννήτριες μοτίβων βάδισης (GPGs) για να μιμούνται συνέχεια τη συμπεριφορά των αρθρώσεων. Τα μοτίβο προσαρμόστηκαν ως συνάρτηση του χρόνου βημάτων και των πληροφοριών για την τρέχουσα κινηματική/κινητική κατάσταση.

Άλλοι διερεύνησαν την ανεξάρτητη βάδιση από το χρήστη χρησιμοποιώντας μηχανικά σήματα, όπως μετρήσεις μέσης επιτάχυνσης ή αλληλεπίδρασης και μέτρηση ροπής μεταξύ των τμημάτων της πρόθεσης. Αυτές οι μελέτες ήταν αρκετά επιτυχείς στην ανεξάρτητη ταξινόμηση των χρηστών, αλλά χρειάζονται πολλές περιπτώσεις για τη δημιουργία μιας γενικής ταξινόμησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν σήματα σύνθετης επιφανειακής ηλεκτρομυογραφίας (EMG) για την καθοδήγηση της κίνησης των μεμονωμένων αρθρώσεων τεχνητών προσθέσεων. Η αναγνώριση των μοτίβων χρησιμοποιήθηκε για τη διάκριση μεταξύ των προβλεπόμενων κινήσεων.

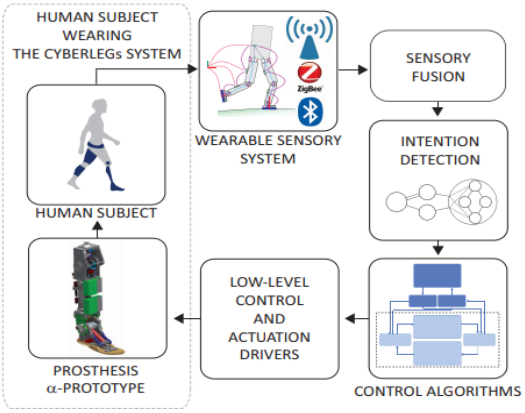
Πρόσφατα, η Hargrove et al. δημοσίευσε μια μελέτη, όπου χρησιμοποίησαν μεταφερόμενα νεύρα και επαναπροσδιορισμό στοχευμένων μυών (TMR) σε συνδυασμό με την αποκωδικοποίηση EMG για να παρέχουν έλεγχο με απρόσκοπτες μεταβάσεις, μεταξύ των προβλεπόμενων κινήσεων του ανθρώπου. Ωστόσο, οι μεταφορές νεύρων πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μια εξαιρετικά επεμβατική χειρουργική διαδικασία κατά τη στιγμή του ακρωτηριασμού, κάτι που δυστυχώς δεν είναι δυνατό στις περισσότερες περιπτώσεις των ακρωτηριασμένων ασθενών.

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται το σύστημα CYBELEGs, το οποίο περιλαμβάνει μια πρόθεση, από το μηριαίο οστό, με 2 βαθμούς ελευθερίας (DOF), ένα λειτουργικό αστράγαλο, μαζί με ασύρματα αισθητήρια όργανα, που λειτουργούν ως διεπαφή σύνδεσης της συσκευής με τον άνθρωπο.

Η συσκευή πρόθεσης αυτή, ελέγχθηκε κατά τη διάρκεια του βηματισμού του ασθενή στο επίπεδο του εδάφους και παρατηρήθηκε η κίνηση του, καθώς και η ασύρματη κινητική του σε πραγματικό χρόνο. Παρακάτω αναλύονται τα κομμάτια των φορητών αισθητήριων συσκευών, της πρόθεσης και ο έλεγχος του σώματος. Η παρατήρηση της κίνησης πραγματοποιήθηκε για την κατάσταση της ηρεμίας, κατά την έναρξη του βηματισμού, τις φάσεις της βάδισης και τον τερματισμό του κύκλου της.

Σχεδιασμός συστήματος

Το πρόγραμμα FP7-ICT-CYBERLEGs της ΕΕ σχεδιάστηκε με απώτερο σκοπό τη μείωση της ενεργειακής και νοητικής προσπάθειας των ασθενών που έχουν υποστεί ακρωτηριασμό του κάτω άκρου, σε καθήκοντα που σχετίζονται με τη μετακίνηση μέσω μιας νέας κινητής πρόθεσης. Η πρόθεση ακολουθείται από μια αισθητήρια συσκευή, με σκοπό να αποκωδικοποιεί την επιθυμητή κίνηση του χρήστη.

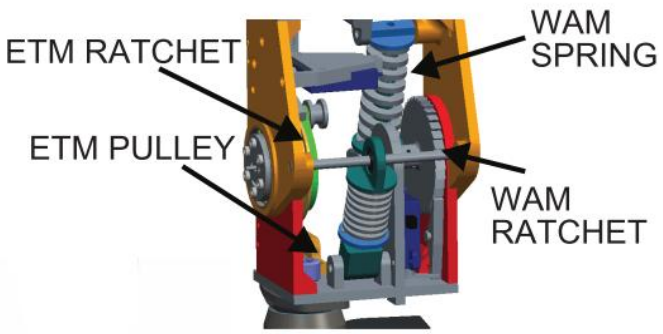


Εικόνα 7: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας CYBERLEGs System για την βάδιση

Η πρόθεση κάτω άκρου

Η πρόθεση CYBERLEGs είναι μια ενεργειακά αποδοτική ρομποτική συσκευή που ενσωματώνει έναν ενεργό αστράγαλο και έναν παθητικό μηχανισμό γόνατος. Το

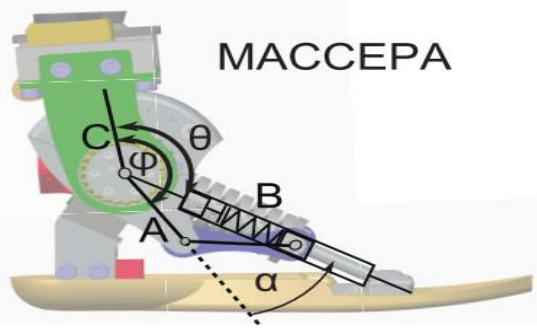
γόνατο έχει σχεδιαστεί, έτσι ώστε να αναπαράγει τα χαρακτηριστικά της γωνίας της ροπής κατά το βάδισμα Το γόνατο περιλαμβάνει δύο μηχανισμούς, οι οποίοι ρυθμίζουν τη δυσκαμψία του (σχήμα 2). Ο ένας μηχανισμός παρέχει υψηλή ακαμψία της άρθρωσης του γονάτου κατά τη διάρκεια που το πόδι δέχεται το βάρος του σώματος (Weight Acceptance locking Mechanism-WAM) και ο δεύτερος χρησιμοποιείται για την ενεργητική σύζευξη μεταξύ αστραγάλου και γόνατος (Energy Transfer Mechanism-ETM). Τα χαρακτηριστικά του γονάτου μπορούν να χωριστούν σε τρεις ζώνες με διαφορετικά προφίλ δυσκαμψίας: τη ζώνη πλήρης αποδοχής του βάρους, το λύγισμά του γονάτου πριν και κατά τη διάρκεια που το πόδι αφήνει το έδαφος, δηλαδή της εκκίνησης του και της φάσης της αιώρησης. Κατά τη διάρκεια της ζώνης της αποδοχής του βάρους, ξεκινώντας με το άγγιγμα της πτέρνας στο έδαφος, ένα άκαμπτο ελατήριο κλειδώνει ανάμεσα στο στέλεχος και το εξάρτημα της υποδοχής πάνω από το γόνατο μέσω του WAM. Παρέχει την απαραίτητη υψηλή ακαμψία του γόνατος. Στο τέλος της στάσης αυτής ενεργοποιείται αυτόματα το ETM, όταν πλέον ξεκλειδώνει τοWAM. Κινηματικά συνδέει το γόνατο με τον αστράγαλο πριν ξεκλειδώσει το WAM. Επομένως, η κάμψη του γονάτου ασκεί μια δύναμη στο καλώδιο του ET, το οποίο είναι συνδεδεμένο στην πτέρνα. Η ίδια δύναμη τραβάει τη πτέρνα προς τα πάνω δημιουργώντας μια στιγμιαία πελματική κάμψη, που δίνει την ώθηση. Οι αρθρώσεις του γονάτου και του αστραγάλου παραμένουν συνδεδεμένες μόνο κατά τη φάση της απομάκρυνσης του ποδιού από το έδαφος. Τα αποτελέσματα αυτού του μηχανισμού είναι δύο. Πρώτον παρέχει την απαραίτητη ακαμψία στο γόνατο, ώστε να εμποδίσει τον ασθενή να καταρρεύσει και δεύτερον μεταφέρει την αποθηκευμένη ενέργεια από το γόνατο στην άρθρωση του αστραγάλου για την απομάκρυνση, καθιστώντας το ενεργειακά αποδοτικό. Μόλις το βάρος μετατοπιστεί τελείως στο υγιή άκρο, η ακαμψία του προσθετικού γονάτου μειώνεται, διότι το WAM ξεκλειδώνεται και το πόδι δεν δρα πια μέσω του ETM. Το συμπιεσμένο ελατήριο προκαλεί την κάμψη του γονάτου, εξασφαλίζοντας την απόσταση από το έδαφος για την αιώρηση. Ο ETM ξεκλειδώνει αυτόματα όταν το γόνατο έρθει σε μία προκαθορισμένη γωνία κάμψης. Κατά τη διάρκεια της αιώρησης, η άρθρωση του γονάτου αποθηκεύει την αρνητική εργασία από το ελατήριο μετά από το τέλος της φάσης αιώρησης. Ο WAM ασφαλίζει εκ νέου το συμπιεσμένο ελατήριο, το οποίο παρέχει την απαραίτητη ακαμψία του γονάτου για την αποδοχή του βάρους.



Εικόνα 8: Οι μηχανισμοί WAM και ETM του προσθετικού ποδιού.

Ο αστράγαλος διαθέτει μια νέα ενεργή μεταβλητή προσαρμογής MACCEPA (the Mechanically Adjustable Compliance and Controllable Equilibrium Position Actuator). Είναι συμπαγής με μια μεταβλητή ακαμψία και χρησιμοποιεί ένα συμπιεσμένο ελατήριο, έτσι ώστε να επιτύχει το επιθυμητό χαρακτηριστικό ενίσχυσης. Η λειτουργία του ελατηρίου διατηρήθηκε σωστή κατά τη διάρκεια των δοκιμών, αλλά μπορεί να μεταβληθεί με τη χρήση ενός κινητήρα, τοποθετημένου στη πτέρνα. Μόλις ρυθμιστεί δεν απαιτείται ισχύς κινητήρα. Όταν η άρθρωση είναι στη θέση ηρεμίας, αλλάζοντας τη βλέψη του ελατηρίου δεν επηρεάζεται η ροπή του αστραγάλου. Στην εικόνα φαίνεται το σχέδιο του MACCEPA, απλά παραλείπεται ο κινητήρας, καθώς δεν χρησιμοποιείται κατά τις δοκιμές. Η θέση ισορροπίας της άρθρωσης του αστραγάλου καθορίζεται από τη στιγμιαία θέση του βραχίονα του MACCEPA, μετατοπισμένο κατά μία γωνία φ από το στέλεχος. Η γωνία θ ορίζει τη γωνία του ποδιού σε σχέση με τον κορμό και α είναι η διαφορά μεταξύ της γωνίας φ και θ, η οποία αυξάνεται με τη σχετική μετατόπιση του ποδιού. Η ροπή μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση του α, είτε αλλάζοντας το φ, μέσω της ενεργοποίησης του κινητήρα, είτε το θ, αλλάζοντας τη θέση του ποδιού μέσω της εφαρμογής κάποιας εξωτερικής δύναμης. Καθώς αυξάνεται το α, το ελατήριο MACEPPA συμπιέζεται, επιτρέποντας στον ενεργοποιητή να αποθηκεύει ενέργεια. Η γωνία του αστραγάλου θεωρείται 0◦, όταν η θέση ξεκούρασης του ποδιού είναι κάθετη προς τον κορμό του. Ο κινητήρας του αστραγάλου (κινητήρας Maxon RE30 60 W DC με πλανητικό σύστημα οδοντωτών τροχών 14:1 GP 32 HP και γρανάζι Gracessner D90 10:1) και η προσαρμοστικότητα σχεδιάστηκαν σύμφωνα με κριτήρια αναφοράς άτομα 80 kg, τα οποία περπατούν με μέση ταχύτητα 1 διασκελισμό ανά δευτερόλεπτο. Όσον αφορά τη μάζα και την αδράνεια, η πρόθεση αντιστοιχεί περίπου σε εκείνη ενός κανονικού

ποδιού και το προσθετικό πόδι παράγει παρόμοια πίεση ως προς τη σόλα, με αυτή του ανθρώπινου άκρου. Η παροχή ρεύματος , η αισθητήρια ανάδραση και τα σήματα ελέγχου μεταφέρονται από και προς τον ελεγκτή με καλώδια.



Εικόνα 9: Η ενεργή μεταβλητή προσαρμογής MACCEPA

Ασύρματες αισθητήριες συσκευές

Το αισθητήριο σύστημα CYBERLEG χρησιμοποιεί εξαρτήματα κατασκευασμένα κατά παραγγελία και ενσωματώνει ασύρματα πέλματα, τα οποία είναι ευαίσθητα στην πίεση και ένα αδρανειακό και μαγνητικό σύστημα μέτρησης, αποτελούμενο από εφτά αυτόνομες μικρο ηλεκτρομηχανικές αδρανειακές και μαγνητικές μονάδες μέτρησης (IMUs). Οι IMU μετράνε πολλαπλές τρισδιάστατες επιταχύνσεις (εύρος ± 2 g), γωνιακές ταχύτητες (εύρος: ± 500 ° / s) και μαγνητικό πεδίο (εύρος: ± 1,3 Gs). Κάθε IMU αποτελείται από ένα 8-bit μικροεπεξεργαστή, μεμονωμένους αισθητήρες και μια ασύρματη μονάδα επικοινωνίας πρωτοκόλλου 802.15.4. Οι IMU είναι μικρές, με μπαταρίες και ελαφρές συσκευές, που έχουν μέγεθος (30 × 20 × 5) mm χωρίς τη μπαταρία. Τα γυροσκόπια και τα επιταχυνσιόμετρα βαθμονομούνται για την κακή ευθυγράμμιση του άξονα αμέσως μετά τη συναρμολόγηση, ενώ ο προσδιορισμός της απόκλισης, της μη ορθής ευθυγράμμισης και του κέρδους για το μαγνητόμετρο πραγματοποιείται πριν από πειραματικές δοκιμές. Τα ευαίσθητα στην πίεση πέλματα, που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη δείχνουν υψηλή ευαισθησία στα κατακόρυφα φορτία και χαμηλή ευαισθησία στα εφαπτόμενα φορτία. Τα πέλματα αυτά μετράνε την κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης εδάφους (fGR, v) και το κέντρο πίεσης (COP) κάτω από τη σόλα. Είναι φτιαγμένα για παπούτσια μεγέθους 41-43 και δεν μεταβάλλουν το βάδισμα ή να προκαλούν κάποια δυσφορία στον χρήστη. Οι μετρήσεις αυτές μεταδίδονται μέσω σύνδεσης Bluetooth. Η κύρια αίσθηση των

χρησιμοποιούμενων ευαίσθητων στην πίεση πελμάτων έχει περιορισμούς, οι οποίοι επιβάλουν συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση της δύναμης κάθε στοιχείου αίσθησης.

Εκτός από την κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης του εδάφους και το κέντρο της πίεσης εκτιμάται από τα πέλματα, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο Kalman, για τη σύντηξη των δεδομένων IMU και την εκτίμηση του προσανατολισμού του σώματος σε σχέση με το αδρανειακό πλαίσιο της Γης. Οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα στον αλγόριθμο σύντηξης με ρυθμό 100Hz. Οι γωνίες των οσφυϊκών αρθρώσεων προσδιορίζονται από την εκτιμώμενη στάση ολόκληρου του σώματος ως τις διαφορές στις κατευθύνσεις μεταξύ των γύρω τμημάτων του σώματος. Σε σύγκριση με ένα οπτοηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής κίνησης, η διαφορά στην ακρίβεια του συστήματος είναι εντός 3^{o} . Κατά την όρθια ήρεμη στάση, οι γωνίες των αρθρώσεων ρυθμίζονται σε αναλογία γωνίας άρθρωσης 0◦.

Έλεγχος ολόκληρου του σώματος

Ο έλεγχος ολόκληρου του σώματος οδηγεί το προσθετικό γόνατο και τον αστράγαλο μέσω ενός ιεραρχικού συστήματος ελέγχου δύο επιπέδων. Ο έλεγχος χαμηλού επιπέδου δοκιμάζεται με την ανάγνωση των ενεργοποιημένων κωδικοποιητών και τον έλεγχο των κινητήρων του μηχανισμού σύνδεσης και του μηχανισμού ασφάλισης σε κλειστό κύκλωμα.

Για την άρθρωση του γονάτου, η είσοδος στο έλεγχο χαμηλής στάθμης είναι μία μόνο ψηφιακή τιμή SW A, η οποία καθορίζει την κατάσταση του κινητήρα WAM. Για την άρθρωση του αστραγάλου, ο ελεγκτής χαμηλού επιπέδου PID, συντονισμένος για την ταχύτερη απόκριση, παρακολουθεί την επιθυμητή θέση ισορροπίας της λειτουργίας του αστραγάλου σε σχέση με την αρχική μετατόπιση φ 0 MA, όπου η θέση ηρεμίας του ποδιού είναι κάθετη στο στέλεχος (φ DES MA = φ 0 MA - φ). Ο έλεγχος υψηλού επιπέδου θέτει τις επιθυμητές εντολές κινητήρα για τις αρθρώσεις του αστραγάλου και του γόνατος, σύμφωνα με την αναγνωρισμένη δραστηριότητα, δηλαδή την έναρξη του βηματισμού, τις φάσεις του βηματισμού, τις φάσεις βηματισμού σε σταθερή κατάσταση και τον τερματισμό της πορείας. Η αναγνώριση της φάσης της βάδισης του ατόμου σε πραγματικό χρόνο επιτυγχάνεται

χρησιμοποιώντας μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων με ευρετικούς μεταβατικούς κανόνες. Οι μεμονωμένοι κανόνες αφορούν την ανοιχτή αισθητηριακή έξοδο από όλους τους αισθητήρες, τις εκτιμήσεις σύντηξης και τα αποτελέσματα των λειτουργιών των παρακάτω δύο. Ο έλεγχος ολόκληρου του σώματος υλοποιείται με τρόπο που συνδυάζει την ανίχνευση της πρόθεσης και τον έλεγχο πεπερασμένης ικανότητας σε μια μηχανή μιας κατάστασης με ενιαίες καταστάσεις κι μεταβάσεις.

Ανίχνευση πρόθεσης και έλεγχος πεπερασμένης κατάστασης

Η ανίχνευση και ο έλεγχος πρόθεσης υψηλού επιπέδου υλοποιείται χρησιμοποιώντας το LabView Statechart Toolbox. Οι καταστάσεις και οι μεταβάσεις της μηχανής καταγραφής αναγνώρισης και ελέγχου (RCSM), ρυθμίζονται. Έτσι ώστε να ταιριάζουν με τις καταστάσεις που απαιτούνται για τον έλεγχο πρόσθεσης πεπερασμένων καταστάσεων. Σο σχήμα φαίνεται και το μπλοκ διάγραμμα των μεταβάσεων και των καταστάσεων του RCSM. Κατά την ενεργοποίηση του συστήματος, η πρόθεση διατηρείται άκαμπτη με τη θέση ισορροπίας του αστραγάλου να είναι 0 (φ DES DES = 0◦), το γόνατο εκτείνεται και το WAM είναι κλειδωμένο. Σε αυτή τη φάση πρέπει ο έλεγχος της πρόθεσης να γίνεται χειροκίνητα, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλειά της. Μόλις ενεργοποιηθούν οι καταστάσεις μετάβασης ακολουθούν κανόνες που έχουν προκύψει ύστερα από μελέτες σε υγιή άκρα. Οι τιμές κατωφλίου του κανόνα υπόκεινται σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα. Μόνο οι κανόνες που αφορούν τα σήματα fGR,v και COP απαιτούν ελάχιστο συντονισμό με το άτομο λόγω φυσικών διαφορών μεταξύ τους (σωματικό βάρος, ανατομία ποδιού).

Το RCSM διακρίνει μεταξύ της ομαλής στάσης, της έναρξης βηματισμού, των τεσσάρων φάσεων σταθερής κατάστασης του ποδιού, της απλής στάσης του υγιούς μέλους, της διπλή στάση του υγιούς μέλους, της διπλής στάσης με την πρόθεση και τον τερματισμό της βάδισης.

Έλεγχος καταστάσεων και μεταβάσεων

Οι μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων βασίζονται στα κινηματικά πρότυπα των γωνιών άρθρωσης του ισχίου και του γόνατος (υπολογιζόμενα με 5 IMUs), στις γωνιακές ταχύτητες των ποδιών (μετρήθηκαν με 2 IMUs) και στο πρότυπο των φορτίων των ποδιών (μετριούνται από τα πέλματα). Τα κατώτατα όρια μετάβασης, ανεξάρτητα από τη λειτουργία, βασίζονται είτε σε πρώτες αισθητηριακές μετρήσεις,

είτε στον προσανατολισμό του τμήματος και τις γωνίες των αρθρώσεων. Οι περιγραφικοί κανόνες μετάβασης δίδονται στον πίνακα 2.1, μαζί με τον έλεγχο των δραστηριοτήτων των καταστάσεων με τον έλεγχο της πρόθεσης.

Πίνακας 1: Περιγράφεται ο έλεγχος δραστηριότητας των καταστάσεων με τον έλεγχο της πρόθεσης

State / Transition	Transition allowed when detected:	Ankle Control	Knee Control
A (QS → GI with prosthetic limb)	hip flexion of prosthetic limb lateral weight transfer to the sound limb	$\phi_{MA}^{DES} = 0°$	WAM unlocked
B (QS → GI with the sound limb)	flexion of sound limb lateral weight transfer to the prosthetic limb	$\phi_{MA}^{DES} = 0°$	WAM locked
Gait initiation (GI)		$\phi_{MA}^{DES} = 0°$	No action
L		No action	
C	only sound foot is loaded flexion in the joints of prosthetic leg	No action	
Sound stance (SS-S)		after 300 ms $\phi_{MA}^{DES} \rightarrow 0°$	WAM unlocked for 300 ms
D	only prosthetic foot is loaded flexion in the joints of sound leg	No action	
Prosthesis stance (SS-P)		$\phi_{MA}^{DES} \rightarrow -15°$ with a slope of $-25\,°/s^1$	WAM locked
G	sound foot loading under the heel prosthetic foot loading under the toes hip flexion over threshold	No action	
Double Support - Prosthesis To Swing (DS-PTS)		$\phi_{MA}^{DES} \rightarrow 10°{}^1$	WAM unlocked
N	only sound foot is loaded flexion in the joints of prosthetic leg	No action	
E	only sound foot is loaded flexion in the joints of prosthetic leg	No action	
H	prosthetic foot loading under the heel sound foot loading under the toes hip flexion over threshold	No action	
Double Support - Sound Limb To Swing (DS-STS)		$\phi_{MA}^{DES} = 0°$	WAM locked
M	only prosthetic foot is loaded flexion in the joints of sound leg	No action	
F	only prosthetic foot is loaded flexion in the joints of sound leg	No action	
J	both feet in contact with the ground slow foot movement upright body posture feet loading starts to distribute symmetrically	No action	
I	refer to transition J	No action	
K	stand still in double support upright body posture symmetric feet loading	No action	
Gait termination (GT)		$\phi_{MA}^{DES} \rightarrow 0°$	WAM locked

Ο έλεγχος μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί μόνο κατά την ηρεμία, όταν το WAM είναι κλειδωμένο και παρέχει την απαραίτητη υψηλή ακαμψία του γόνατος για τη στήριξη του ασθενή. Όταν απενεργοποιηθεί, οι μονάδες ενεργοποίησης απενεργοποιούνται, το WAM παραμένει κλειδωμένο και η επιθυμητή θέση ισορροπίας του αστραγάλου ορίζεται στο 0◦. Για λόγους ασφαλείας, όταν μεταβάλλονται οι μεταβολές M ή N, ο έλεγχος πρόσθεσης τίθεται σε παύση μέχρι η κίνησή του να φτάσει στη φάση του βηματισμού που αντιστοιχεί στην τελευταία ενεργή κατάσταση ελέγχου. Ο έλεγχος συνεχίζεται αν η επόμενη μετάβαση είναι επιτρεπτή. Σε κανονικές λειτουργικές μεταβάσεις δεν συμβαίνουν μεταβολές M και N.

2.5 Η ΒΑΔΙΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΘΕΣΗΣ

Μετά από αρκετές μελέτες που έχουν διεξαχθεί σχετικά με την κινησιολογία των ατόμων με προσθετικό κάτω άκρο έχουν προκύψει αρκετά αποτελέσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά της βάδισής τους. Σίγουρα μία πρόθεση, η οποία μιμείται σε αρκετά μεγάλο βαθμό την ανατομία και την βάδιση ενός πραγματικού ποδιού, βοηθάει στην μετακίνηση ενός ατόμου που έχει ακρωτηριαστεί, αυτό όμως δεν σημαίνει πως δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό και η κίνηση του ατόμου, δηλαδή δεν συνεπάγεται ένας ομαλός και φυσιολογικός τύπος βάδισης.

Αρχικά, τα άτομα ,τα οποία περπατάνε με προσθετικό μέλος, έχουν μια ταχύτητα περίπου κατά 29% μικρότερη από άτομα που έχουν υγιή μέλη. Κατά κύριο λόγο τα άτομα αυτά αυξάνουν το μήκος του βαδίσματός τους για την επίτευξη μεγαλύτερης ταχύτητας της βάδισης κι όχι τον ρυθμό τους. Σε ένα άτομο με υγιές μέλος η φάση της στήριξης αποτελεί περίπου το 63% του συνολικού κύκλου βαδίσματος, ενώ σε άτομο με προσθετικό μέλος αποτελεί το 53% του συνολικού κύκλου, και αυτό συμβαίνει, διότι, εφόσον το άτομο με προσθετικό μέλος αυξάνει το μήκος του βαδίσματός τους, εμφανίζεται μία ασυμμετρία, η οποία μπορεί να μειωθεί με την αύξηση της ταχύτητας της βάδισης. Αυτό σημαίνει πως και η φάση της αιώρησης κρατάει περισσότερο στο άτομο με προσθετικό μέλος από ότι σε ένα υγιές.

Άλλο ένα συμπέρασμα, το οποίο προέκυψε από τις μελέτες είναι πως τα άτομα, που φοράνε κάποια πρόθεση, παρουσιάζουν μια κλίση του κορμού τους προς το προσθετικό μέλος, ενώ βρίσκονται στη φάση στήριξης του πάσχοντος άκρου. Δυστυχώς ακόμα δεν έχει βρεθεί η σύνδεση μεταξύ του μήκους βήματος και της κλίσης αυτής που παρουσιάζει το άτομο προς το προσθετικό μέλος.

Όσον αφορά τις κινήσεις των επιμέρους τμημάτων ενός ακρωτηριασμένου μέλους, σημειώθηκε ότι στην πλειοψηφία των ατόμων με πρόθεση, το ισχίο εκτείνεται περισσότερο στο τέλος της φάσης στήριξης, δηλαδή στη φάση κατά την οποία ανυψώνεται η πτέρνα, από ότι στα άτομα με υγιή μέλη. Επίσης είναι συχνό φαινόμενο κατά το τέλος της φάσης της αιώρησης τα άτομα να επεκτείνουν περισσότερο το προσθετικό μέλος από τα υγιή άτομα. Με αυτόν τον τρόπο πιθανώς

αυξάνεται το μήκος βήματος και εξασφαλίζεται νωρίτερα η επέκταση της άρθρωσης του γονάτου, κατά τη διάρκεια της επαφής της πτέρνας με το έδαφος.

2.6 Το μέλλον των τεχνητών μελών

Πολλοί ειδικοί είναι αισιόδοξοι για το μέλλον των προσθετικών άκρων. Οι περισσότεροι συμφωνούν ότι υπάρχει τεράστιο περιθώριο βελτίωσης. Ένα προσθετικό άκρο είναι μια εξελιγμένη συσκευή, ωστόσο είναι κατά προτίμηση απλή στο σχεδιασμό. Η ιδανική προσθετική συσκευή θα πρέπει να είναι εύκολη για τον ασθενή στο να μάθει πώς να τη χρησιμοποιεί, να απαιτεί μικρές επισκευές ή αντικατάσταση, να είναι άνετη και εύκολη στην τοποθέτηση κα την αφαίρεσή της, να είναι δυνατή, αλλά ελαφριά, να ρυθμίζεται εύκολα, να φαίνεται φυσική και να καθαρίζεται εύκολα . Η έρευνα, η οποία πραγματοποιείται γενικά στοχεύει σε αυτή την προσδοκώμενα ουτοπική προσθετική συσκευή και έχουν γίνει πολλά βήματα τα τελευταία χρόνια.

Στους πυλώνες πλέον χρησιμοποιείται ένα πολύ ελαφρύ και δυνατό υλικό τώρα ως βάση και αυτό είναι οι ίνες άνθρακα. Κατά το παρελθόν οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση των εξωσκελετικών προθέσεων, αλλά αναμένεται να αντικαταστήσει τα μέταλλα στους πυλώνες.

Γενικά αναμένονται πολλές βελτιώσεις στον χώρο των προσθετικών μελών, καθώς όσο περνάει ο καιρός, οι ερευνητές είναι σε θέση να αναλύσουν όλο και περισσότερο τη βάδιση και όλο το σύστημα της ανθρώπινης κίνησης, έτσι ώστε να βρεθούν και τα κατάλληλα υλικά και οι σωστές συσκευές για να γίνει εφικτό ένα τεχνητό κάτω άκρο πολύ κοντά στο πραγματικό ανθρώπινο πόδι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο}

ΤΕΧΝΗΤΑ ΜΕΛΗ-ΆΝΩ ΆΚΡΟ

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, αρχικά αναλύεται η δομή του ανθρώπινου χεριού και το πόσο σημαντικό είναι για το άνθρωπο και για την καθημερινή ζωή του, δηλαδή για την επικοινωνία του με τον υπόλοιπο κόσμο, καθώς και για τις εργασίες που καλείται να πραγματοποιήσει.

3.2 Δομή ανθρώπινου χεριού

Το χέρι αποτελείται από πέντε δάκτυλα. Παρατηρώντας το δεξί μας χέρι από την εσωτερική μεριά της παλάμης, η ονομασίας τους ξεκινώντας από τη δεξιά μεριά είναι η εξής: ο αντίχειρας, ο δείκτης, το μεσαίο ή μεγάλο δάκτυλο, ο παράμεσος και το μικρό δάκτυλο. Παρακάτω αναλύονται βασικοί όροι για την δομή του ανθρώπινου χεριού, έτσι ώστε να δοθεί ένα δείγμα για την πολυπλοκότητά του και να γίνουν καλύτερα αντιληπτές οι δυσκολίες , που καλούνται να επιλύσουν οι ερευνητές, προκειμένου να δημιουργήσουν ένα πλήρως λειτουργικό άκρο.

Ως άνω (distal) τμήμα του δακτύλου αναφέρεται η άκρη του, ενώ ως εγγύς (proximal) τμήμα, αναφέρεται η βάση του, σε σχέση με ένα κεντρικό σημείο. Η ραχιαία επιφάνεια αναφέρεται στην πίσω μεριά του χεριού, ενώ η παλάμη αναφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του χεριού. Το επίπεδο που είναι παράλληλο προς τη παλάμη του χεριού, όταν τα δάκτυλα βρίσκονται σε έκταση, ονομάζεται μετωπιαίο (frontal), ενώ το επίπεδο που βρίσκεται κάθετα προς την παλάμη του χεριού, δηλαδή κάθετα στο μετωπικό επίπεδο ονομάζεται οβελιαίο ή μεσαίο (sagittal).

Το μετωπιαίο επίπεδο χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για την κάμψη και την επέκταση του χεριού. Ως κάμψη ορίζεται το λύγισμα μιας άρθρωσης, ώστε να απομακρύνεται το δάκτυλο από το μετωπιαίο επίπεδο και να κλείνει το χέρι, ενώ έκταση είναι η κίνηση κατά την οποία τα δάκτυλα κινούνται προς τη μεριά του μετωπικού επιπέδου. Η προσαγωγή είναι η κίνηση που φέρνει το ανατομικό στοιχείο

πιο κοντά στο οβελιαίο επίπεδο, ενώ απαγωγή η κίνηση που απομακρύνει το στοιχείο από αυτό.

Το ωλένιο (ulnar) αναφέρεται στο μακρύ οστό του κοκάλου του αντιβραχίου, δηλαδή το κόκαλο στην αντίθετη μεριά του αντίχειρα. Ως δάκτυλα ονομάζονται μόνο τα τέσσερα ψηφία του χεριού και όχι ο αντίχειρας, για αυτό η σωστή περιγραφή είναι πως το χέρι διαθέτει τέσσερα δάκτυλα και έναν αντίχειρα. Στα οστά των δακτύλων αναφέρεται και η φάλαγγα.

3.2.2. Οι βασικές κινήσεις των δακτύλων

Οι σύνδεσμοι μεταξύ των φαλάγγων των δακτύλων συνδέονται με μυς, συνδέσμους και τένοντες. Οι αρθρώσεις περιβάλλονται από μια κάψουλα, για την αντιμετώπιση συμπιεστικών δυνάμεων που βλάπτουν τις αρθρώσεις κατά την κίνηση των χεριών. Αυτή η κάψουλα της άρθρωσης, αλλά και του αρθρικού χόνδρου περιέχει αρθρικό υγρό, λιπαίνοντας έτσι και κρατώντας την τριβή μεταξύ των οστών όσο το δυνατόν πιο ελάχιστη. Η σταθερότητα στις αρθρώσεις επιτυγχάνεται με τις ινώδεις-χόνδρο πλάκες, οι οποίες γλιστράνε κατά μήκος των βάσεων και τον κεφαλών. Έτσι η κίνηση των αρθρώσεων είναι αποτέλεσμα όλων των παραπάνω ανατομικών χαρακτηριστικών.

3.2.3. Τα οστά του χεριού

Ο σκελετός του ανθρώπινου χεριού αποτελείται από 27 οστά και αυτά ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- Καρπικά: πρόκειται για τα οστά του καρπού και αποτελούνται από δύο σειρές, οι οποίες περιλαμβάνουν από τέσσερα και τρία οστά αντίστοιχα.
- Μετακάρπια: είναι τα οστά μετά τα καρπικά και αποτελούν την παλάμη του χεριού. Έχουν στρογγυλά άκρα, τετραγωνικές βάσεις και το σχήμα τους είναι σωληνοειδές. Το ανθρώπινο χέρι έχει πέντε μετακάρπια.
- Οι φάλαγγες των δακτύλων: αποτελούν τμήματα των κοκάλων. Κάθε δάκτυλο έχει τρία τμήματα κοκάλων: α)την εγγύς φάλαγγα, β)την μέση φάλαγγα και γ) την άπω φάλαγγα.

Τα τέσσερα δάκτυλα αποτελούνται από αυτά τα τρία μέρη των φαλάγγων, εκτός από τον αντίχειρα, ο οποίος δεν διαθέτει την μεσαία φάλαγγα.

3.2.4 Οι κινήσεις και οι αρθρώσεις των δακτύλων

Ο αντίχειρας αποτελεί τον κύριο μοχλό για την κίνηση των υπόλοιπων δακτύλων και γενικά την συνολική κίνηση του χεριού, καθώς οι κινησιολογικές ικανότητες του επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το υπόλοιπο χέρι. Ο αντίχειρας έχει τρεις αρθρώσεις:

- Καρπομετακάρπια άρθρωση: συνδέεται με τα κόκαλα του καρπού
- Μετακαρποφαλαγγική άρθρωση: η άρθρωση που είναι πιο κοντά στην παλάμη
- Άπω μεσοφαλαγγική άρθρωση: η τελευταία άρθρωση του αντίχειρα.

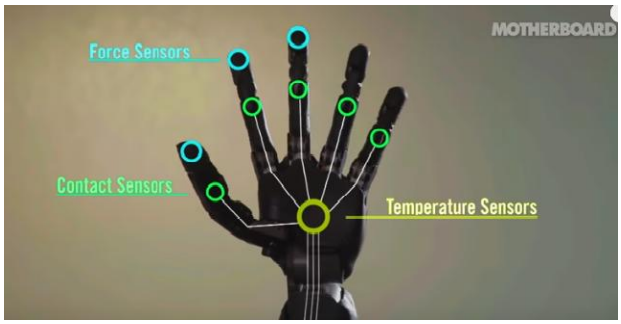
3.3 Αρθρωτό προσθετικό άκρο (MPL)

Το 2005 το τμήμα εφαρμοσμένης φυσικής, του πανεπιστημίου John Hopkins στη Βαλτιμόρη, κατάφερε, χάρη το πρόγραμμα DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency), να αναπτύξει ένα αρθρωτό προσθετικό άκρο, το οποίο να ελέγχεται χρησιμοποιώντας της σκέψη. Πρόκειται αυτή τη στιγμή για το πιο εξελιγμένο και πιο περίπλοκο ρομποτικό άκρο που υπάρχει. Πρόκειται για μια νέα τεχνολογία, η οποία γεννά πολλά κοινωνικά και ηθικά ερωτηματικά. Παρακάτω αναλύεται η συγκεκριμένη τεχνολογία.

3.3.1 Η πρώτη πειραματική διαδικασία

Το 2016 έγινε η πρώτη επιτυχής πειραματική διαδικασία σε άτομο που υποβλήθηκε σε ακρωτηριασμό άνω άκρου και συγκεκριμένα από τον αγκώνα και κάτω. Πρόκειται για τη Melissa Loomis, από το Οχάιο, η οποία είναι η πρώτη γυναίκα που χρησιμοποιεί ένα προσθετικό μέλος ελέγχοντάς το με το μυαλό της. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ασθενής ήταν τυχερή, διότι υποβλήθηκε σε μια πρωτοποριακή επέμβαση, που ονομάζεται αισθητηριακή επαναδημιουργία, στην οποία επανασχεδιάσανε τα νεύρα, τα οποία είναι υπεύθυνα για την αφή, ώστε να μπορεί να της χαρίσει το προσθετικό μέλος και αυτή τη δυνατότητα. Αυτό το αρθρωτό προσθετικό άκρο μεταφράζει και μετατρέπει τα νευρικά σήματα του σώματός μας σε κίνηση. Όταν το άκρο αυτό έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο,

πάνω από 100 αισθητήρες στέλνουν πληροφορίες στον εγκέφαλο, δημιουργώντας την αίσθηση της αφής. Είναι ένα πάρα πολύ ακριβό προσθετικό άκρο, καθώς κοστίζει εκατοντάδες χιλιάδες δολάρια.



Εικόνα 10: Το ρομποτικό προσθετικό μέλος του Πανεπιστημίου του John Hopkins

Αναλυτικότερα, η Melissa Loomis, αφού υποβλήθηκε σε 13 χειρουργικές επεμβάσεις προκειμένου να της ακρωτηριάσουν το χέρι, υποβλήθηκε και σε μια άλλη, η οποία ονομάζεται στοχευόμενη μυϊκή επανασύνδεση. Είναι ένας τύπος χειρουργικής επέμβασης, που επιτρέπει σε κάθε άτομο που έχει υποστεί έναν ακρωτηριασμό να χρησιμοποιεί τον εγκέφαλό του για να χειριστεί το βιονικό ή προσθετικό του χέρι. Εάν για παράδειγμα θέλει να ανοίξει το χέρι του, απλά σκέφτεται να ανοίξει το χέρι του. Ο χειρουργός που πραγματοποίησε αυτή την επέμβαση στην ουσία βρήκε το νεύρο, που δίνει την αίσθηση και βασικά το συνέδεσε με το δέρμα της στο εναπομένοντα μέλος της. Έτσι ο εγκέφαλός, ουσιαστικά ξεγελιέται και έχει την αίσθηση πως τα δάκτυλα βρίσκονται στο τέλος του εναπομένοντα άκρου. Λόγω αυτής της επέμβασης, η ποιότητα των σημάτων είναι πολύ καλύτερη από τις προηγούμενες προσπάθειες. Μετά την εγχείριση και την ανάρρωση, έβαλαν αισθητήρες γύρω από το χέρι της, οι οποίοι μπορούσαν να διαβάζουν την μυϊκή δραστηριότητα και να μεταφράζονται αυτές οι κινήσεις στο βραχίονα. Επιπλέον τοποθετήθηκαν και αισθητήρες στα σημεία, όπου επανατοποθετήθηκαν τα νεύρα για την αίσθηση της αφής των δακτύλων. Κάθε δάχτυλο είχε το δικό του σημείο. Έτσι μόλις δονούταν αυτό το σημείο, υπήρχε αντίληψη ως προς το ποιο δάχτυλο έπρεπε να κουνηθεί.

3.3.2 Το προσθετικό μέλος αναλυτικότερα

Το πρόγραμμα Revolutionizing Prosthetics είναι μια τεράστια επιστημονική έρευνα και προάγει μεγάλη ανάπτυξη, πράγμα που οδηγεί και στην ανάπτυξη πολλών συναρπαστικών τεχνολογιών. Τα τρία κύρια στοιχεία αυτού του προγράμματος είναι το αρθρωτό προσθετικό άκρο (Modular Prosthetic Limb), η νευρική διεπαφή (Neural Interface), συμπεριλαμβανομένων των συσκευών και των αλγορίθμων επεξεργασίας/ελέγχου σημάτων και το περιβάλλον εικονικής ενσωμάτωσης (Virtual Integration Environment), τα οποία συμβάλλουνν στις εφαρμογές αυτής της σύγχρονης τεχνολογίας. Παρακάτω αναφέρονται αυτά τα στοιχεία ξεχωριστά:

Αρθρωτό προσθετικό άκρο (MPL)

Το αρθρωτό προσθετικό άκρο, με τις πολλές προηγμένες ικανότητές του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, όπως ως προσθετικό άκρο, ως μια βοηθητική συσκευή για τον άνθρωπο ή γενικά ως μια ρομποτική συσκευή. Από αυτό το κομμάτι του προγράμματος, οι επιστήμονες έχουν οδηγηθεί σε άλλες τεχνολογικές προόδους στους ακόλουθους τομείς:

- Προσθετική: Η επαναστατική αυτή προσθετική οδήγησε σε ένα αρθρωτό και επεκτάσιμο άκρο με πρωτοφανής βαθμούς ελευθερίας και ελεγχόμενη επιδεξιότητα που χαρακτηρίζεται από:
  - Open system architecture bus structure
  - Open system principles for electronics and hardware components
  - Έναν ώμο με τρεις βαθμούς ελευθερίας
  - Ενσωματωμένος ισχυρός αγκώνας με ενεργή επέκταση
  - Έναν καρπό με τρεις βαθμούς ελευθερίας
  - Ένα αρθρωτό χέρι με 10 ενεργούς συνδέσμους

- Προηγμένοι Επενηργητές: Οι εναλλακτικές μελέτες των επενηργητών συνέβαλαν στην ανάπτυξη:
  - Πολύ μικρής κλίμακας, ισχυροί και αποδοτικοί ενσωματωμένοι κινητήρες και κιβώτια ταχυτήτων.
  - Mesofluidics: Δηλαδή η εφαρμογή υδραυλικού εξοπλισμού μεγέθους χιλιοστόμετρου σε εκατοστόμετρο σε προβλήματα που απαιτούν

σημαντική ποσότητα ισχύος, έτσι ώστε να παραχθεί και να εφαρμοστεί σε περιορισμένο χώρο. Αυτό οδήγησε σε πλήρης και επιδέξιες για τη ρομποτική.

- Μονο-προωθητικά: Τα μονοπροπυλένια, που χρησιμοποιούνται εδώ, είναι προωηθτικά που αποτελούνται από χημικές ουσίες, που απελευθερώνουν ενέργεια μέσω εξώθερμης χημικής αποσύνθεσης. Και αυτά είναι εφαρμόσιμα στη ρομποτική, ιδιαίτερα σε ακραία και αυστηρά περιβάλλοντα.
- COBOT: Μια τεχνολογία, η οποία έχει αποδειχθεί πως μπορεί να οδηγήσει σε πολλές προηγμένες εφαρμογές (άπειτη μεταβλητή μετάδοση με πολλαπλές ανεξάρτητες εξόδους).

- Αισθητήρες: Υπάρχει ένα κύμα ανάπτυξης στην πολύ μικρή κλίμακα για ολοκληρωμένους αισθητήρες, με πιθανή εφαρμογή στη ρομποτική, την τηλεχειρουργική και άλλους τομείς.
- Τεχνολογία υποδοχέων: Υπάρχουν πολλά υποσχόμενες εφαρμογές για τεχνολογίες, που ενισχύουν την ασφαλή πρόσδεση στο σώμα, τη διανομή του συνολικού βάρους, τη διανομή και τη σταθερότητα των δυναμικών δυνάμεων και τη διάχυση της θερμότητας.
- Εμφάνιση: Υπάρχουν προηγμένα υλικά, τα οποία προσαρμόζονται σε ένα τεχνητό μέλος και έτσι μιμείται εξωτερικά το δέρμα του ανθρώπου.

Περιβάλλον εικονικής ενσωμάτωσης (Virtual Integrated Environment-VIE)

Το περιβάλλον εικονικής ενσωμάτωσης είναι μια απλοποιημένη, ανεξάρτητη από πλατοφόρμα, διεπαφή επικοινωνίας με το αρθρωτό προσθετικό άκρο. Έφερε την επανάσταση στους τομείς των νευροεπιστημών και της προσθετικής, αναπτύσσοντας ένα κοινό πεδίο δράσης, όπου ερευνητές και προγραμματιστές από όλο τον κόσμο μπορούν να χρησιμοποιήσουν και να προσομοιώσουν καινούργιες ιδέες. Το VIE χρησιμοποιείται για την απεικόνιση και την παρακολούθηση της απόδοσης των διαφόρων προσεγγίσεων σχεδιασμού, τους δοκιμαστικούς αλγορίθμους ανάλυσης νευρωνικών σημάτων, προσομοίωση μηχατρονικών στοιχείων, έλεγχος και απεικόνιση νευροπροθετικών συσκευών και διαμόρφωση και προσαρμογή κλινικών ή συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σπίτι.

Νευρωνική διεπαφή (Neural Interface)

Η νευρωνική διεπαφή καλύπτει τις σημαντικότερες τεχνικές προκλήσεις του προγράμματος όπως για την άμεση διασύνδεση του νευρικού συστήματος με το σώμα για τον έλεγχο των άκρων και την αισθητηριακή ανάδραση. Το πρόγραμμα αυτό εξερεύνησε μια ποικιλία συσκευών ικανών να αποκτήσουν ηλεκτρικά σήματα στις θέσεις πηγής τους: νεύρα και νευρωνικά κύτταρα.

Το προσθετικό αρθρωτό άκρο

Το προσθετικό άκρο αυτό αποτελεί την πιο εξελιγμένη πρόθεση άνω άκρου που υπάρχει αυτή την στιγμή στον κόσμο. Είναι ικανή να πραγματοποιήσει σχεδόν όλες τις κινήσεις του ανθρώπινου χεριού με περισσότερους από 100 αισθητήρες, τους οποίους διαθέτει. Επί του παρόντος υπάρχουν έξι τέτοια άκρα που χρησιμοποιούνται για έρευνα νευροαποκατάστασης στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και τέσσερις ακόμα σε εξέλιξη.

Χαρακτηριστικά προσθετικού αρθρωτού άκρου

Τα χαρακτηριστικά του MPL είναι τα παρακάτω:

- Είναι ανθρωπομορφικά και στην κίνηση και στην εμφάνιση
- Ανθρώπινη δύναμη και επιδεξιότητα
- Υψηλή ανάλυση της αφής και ανίχνευση θέσης
- Νευρωνική διεπαφή για διαισθητικό και φυσικό έλεγχο κλειστού βρόχου

Εικόνα 11: Το Αρθρωτό προσθετικό άκρο (MPL)

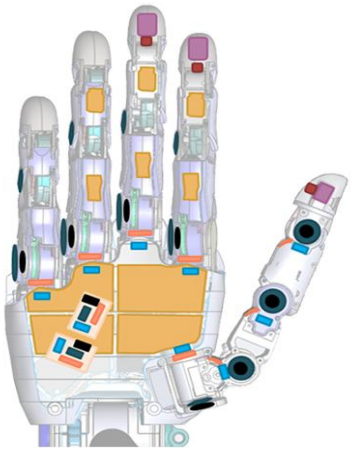
Αισθητήρες

Ο βραχίονας που απεικονίζονται στις εικόνες , αντίστοιχα, έχουν περισσότερους από 100 αισθητήρες. Πολλές τεχνολογίες αισθητήρων ήταν αρκετά πρωτότυπες και

αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας τις σε κλινικές δοκιμές και διάφορες διαδικασίες. Σαν κριτήρια πέρα από της επίδοσης των αισθητήρων, έπαιξαν ρόλο και οι περιορισμοί στην σχεδίαση, όπως η ενσωμάτωση, η αξιοπιστία και η κατασκευαστική δυνατότητα. Σε κάθε μεμονωμένη άρθρωση, οι αισθητήρες μετρούν την γωνία, την ταχύτητα και τη ροπή. Επιπρόσθετοι αισθητήρες στα δάκτυλα μετρούν την δύναμη, τις δονήσεις, την επαφή λεπτού σημείου, τη θερμοκρασία και τη ροή θερμότητας.

Όπως φαίνεται και παρακάτω μόνο στο χέρι υπάρχουν 103 αισθητήρες, οι οποίοι είναι:

- 21 αισθητήρες θέσης
- 10 αισθητήρες επαφής
- 17 αισθητήρες που ανιχνεύουν τη θερμοκρασία στις αρθρώσεις του χεριού
- 14 αισθητήρες ροπής
- 41 επιπρόσθετοι αισθητήρες από τους οποίους, 17 είναι αισθητήρες αυξητικού τύπου, 17 είναι για την τάση οδήγησης και 7 για το ρεύμα κίνησης του βραχίονα.



Key	Sensor	Number
	Absolute Position Sensor	21
	Contact Sensor	10
	Torque Sensor	14
	Joint Temperature Sensor	17
	3-Axis Acclerometer	3
	3-Axis Force Sensor	3
	Additional Sensors • Incremental rotor position (x17) • Drive voltage (x17) • Upperarm drive current (x7)	41

Εικόνα 12: Οι αισθητήρες που υπάρχουν στο κομμάτι του χεριού στο προσθετικό μέλος

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 2 με πληροφορίες για τα βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής:

Parameter	Value	Units
Degrees of Freedom	26	DOF
Motors (Degree of Control)	17	DOC
Onboard Motor Controllers	Custom Embedded	
Onboard Sensor Conditioning and Digitization	Custom Embedded	
Mass of Hand and Wrist	2.9	lbs
Mass of Upper Arm with Battery	7.6	lbs
Payload Capacity (Wrist Active)	15	lbs
Payload Capacity (Wrist Static and Upper Arm Active)	35	lbs
Cylindrical Grasp Force	70	lbf
Two-Jaw Pinch Force	15	lbf
Three-Jaw Chuck Pinch Force	25	lbf
Lateral Key-Pinch Force	25	lbf
Upper Arm Joint Speed	120*	degs/s
Wrist Joint Speed	120*	degs/s
Hand Open or Close Time	300	ms
Voltage	24	volts
Communications	CAN	

Πίνακας 2: Βασικά χαρακτηριστικά του αρθρωτού προσθετικού άκρου

Προσάρτηση στο σώμα

Η ανάπτυξη ενός άνετου, αλλά ανθεκτικού τρόπου σύνδεσης του σώματος με την πρόθεση, αλλά και τη δυνατότητα για ευρύς κινήσεις και την τοποθέτηση του προσθετικού μέλους, επιτεύχθηκε μέσω της διερεύνησης μεθόδων με διαφορετικούς όγκους και αλλάζοντας τη μορφή και το σχήμα των αρθρώσεων. Αυτές περιλαμβάνουν πνευματικές ή κύστες γεμάτες αέρα, υδραυλικές ή κύστες γεμάτες με κάποιο ρευστό, μεθόδους σύνδεσης υπό κενό, ηλεκτρο-ενεργά πολυμερή και αλλαγές δομής του σχήματος. Βελτιώνοντας τα ηλεκτρομυογραφικά ηλεκτρόδια επιφάνειας, βελτιώνεται η άνεση του ασθενούς και η δυναμική και στατική κατανομή του φορτίου και μπορούν να χωρέσουν και οι επενδύσεις, οι αντισταθμίσεις, δυναμικά προσαρμοσμένα στοιχεία και ενεργά κενά. Επιπρόσθετες ανάγκες σχεδίασης των υποδοχέων για την προσάρτηση της πρόθεσης δημιουργήθηκαν από την απαίτηση

χώρου για την τοποθέτηση των ελεγκτών, συσκευών περιφερειακού ελέγχου και άλλων συσκευών.

Εξωτερική εμφάνιση

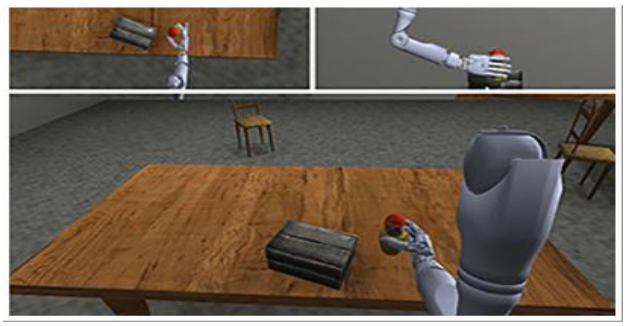
Οι βασικές απαιτήσεις του προγράμματος ήταν πως αυτό το προσθετικό άκρο θα έπρεπε να φαίνεται όσο το δυνατόν πιο φυσικό, να είναι αρκετά ανθεκτικό, να μπορεί να κατασκευαστεί, να έχει το ελάχιστο βάρος, να απαιτεί τις μηχανικές απαιτήσεις, όπως να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και να παρατείνεται ο χρόνος της μπαταρίας, να υποστηρίζει τις λειτουργίες του αισθητήρα και να μπορεί να επισκευαστεί. Επιπλέον απαιτήσεις ήταν οι μετρήσεις από τους αισθητήρες για τη δύναμη, τις δονήσεις και τη θερμοκρασία της πρόθεσης παρά του εξωτερικούς περιβαλλοντολογικούς παράγοντες. Συνολικά ως προς την εμφάνιση του άκρου αναπτύχθηκαν δύο παραλλαγές. Η πρώτη που πρόκειται για ένα γάντι εργασίας, το οποίο είναι λιγότερο ακριβό, αλλά αρκετά ανθεκτικό και η δεύτερη, που είναι το συνηθισμένο γάντι, το οποίο είναι μια αρκετά ρεαλιστική κάλυψη, καθώς περιλαμβάνει καλλιτεχνικές λεπτομέρειες, που παραπέμπουν σε ένα φυσικό άκρο.

Περιβάλλον Εικονικής Ενσωμάτωσης

Λόγω του μικρού αριθμού MPL, που υπάρχουν, η APL ανέπτυξε ένα MPL εικονικής πραγματικότητας που λειτουργεί στοVIE. Αυτό το εικονικό περιβάλλον αναπτύχθηκε με να κάνει το προσθετικό άκρο τη μετάβαση από το εικονικό περιβάλλον στον φυσικό κόσμο, με όσος το δυνατόν λιγότερα εμπόδια, διευκολύνοντας έτσι και την εκπαίδευση των ασθενών γιατον βέλτιστο έλεγχο του άκρου. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι πως το VIE δημιουργήθηκε ως μια ανεξάρτητη διεπαφή επικοινωνίας με το MPL και του προσφέρει ένα βελτιωμένο τρισδιάστατο περιβάλλον προσομοίωσης. Είναι μια πλατφόρμα, η οποία βοηθάει στην ταχύτερη δημιουργία πρωτοτύπων, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση αλγορίθμων επεξεργασίας νευρικών σημάτων:

- Βασισμένο στο MATLAB xPC Target. λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο.
- Αποδέχεται εισόδους από την Cerebus, Plexon, Vikon, κλπ.

- Καθορίζει τις τυποποιημένες διεπαφές εισόδου / εξόδου για τους αλγόριθμους ανάλυσης των νευρωνικών.
- Μπορεί να προσομοιώνει ένα ηλεκτρομηχανολογικό σύστημα με ή χωρίς hardware.
- Παρέχει τρισδιάστατη απεικόνιση και διαμορφωμένο διαδραστικό κόσμο μέσω της Unity / PhysX.



Εικόνα 13: Το εικονικό προσθετικό άκρο, το οποίο προσομοιώνει την κάθε λειτουργία, που θέλουν οι ερευνητές να προσθέσουν

Νευρωνική διεπαφή

Το πρόγραμμα Revolutionizing αναπτύσσει μια ισχυρή προσέγγιση υβριδικών νευρωνικών διεπαφών, που αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα των μεμονωμένων πηγών σημάτων και παρέχει ευέλικτες λύσεις για ένα ευρύ φάσμα τραυματισμών. Η ανάδραση των αισθητήρων είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική απόδοση των καθημερινών δραστηριοτήτων, έτσι ώστε το πλήρες σύστημα αισθητήρων των άκρων, να υποστηρίζει επιλογές που συνάδουν με το φυσικό βιολογικό μοντέλο, που αποτελείται με την υβριδική στρατηγική για έλεγχο κλειστού βρόχου.

Διάφοροι τύποι συσκευών καταγραφής χρησιμοποιούνται για την καταγραφή διαφόρων βιολογικών σημάτων από τους μυς, τα περιφερικά νεύρα και τον φλοιό με σκοπό την αποκωδικοποίηση του κινητήρα. Εμφυτεύσιμα ενδομυϊκά ηλεκτρόδια και ηλεκτρόδια επιφανειακού ηλεκτρομυογραφήματος χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της μυϊκής δραστηριότητας. εμφυτεύσιμα σήματα εντοπισμού ηλεκτροδίων περιφερειακού νεύρου, πολλαπλασιαζόμενα κατά μήκος των περιφερειακών νεύρων. και εμφυτεύσιμη ακίδα σύλληψης ηλεκτροδίων του φλοιού και τοπικά δυναμικά πεδία, κοντά στην προέλευσή τους στον πρωτεύοντα κινητήρα, τον προ-κινητήρα και τους οπίσθιους βρεγματικούς φλοιούς. Η συλλογή όλων αυτών των μεθόδων σήματος παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες καθώς και ένα

ορισμένο επίπεδο πλεονασμού που διατηρεί μακροπρόθεσμα υψηλά επίπεδα πιστότητας και παρέχει αρθρωτή μορφή. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό επειδή απευθυνόμαστε σε τετραπληγικούς ασθενείς και σε ολόκληρο το φάσμα των ακρωτηριασμών άνω άκρου - για να συμπεριλάβουμε τον ώμο, τον βραχίονα, ακτινική αρτηρία και καρπό, πέραν των κανονικών παραλλαγών των ασθενών. Υπάρχει μια ισχυρή στρατηγική νευρικής διεπαφής με ισχυρή εστίαση στον φλοιό και υποστήριξη για μη επεμβατικές ή ελάχιστα επεμβατικές μεθόδους ενσωμάτωσης.

Το πρόγραμμα αυτό επίσης συνεχίζει να αναπτύσσει αλγόριθμους νευρικής αποκωδικοποίησης που μεταφράζουν ηλεκτρικά σήματα που λαμβάνονται από το σώμα σε εντολές για τα συστήματα άκρων ή άλλες συσκευές. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι όλοι εποπτικοί, απαιτώντας ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο δεδομένων των επιθυμητών εντολών για να "εκπαιδεύσουν" τους αλγορίθμους. Τα σήματα που χρησιμοποιούνται για την αποκωδικοποίηση (π.χ. ηλεκτρομυογραφικά δυναμικά δράσης κ.λπ.) έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα δεδομένα εκπαίδευσης και επομένως επηρεάζουν την επιλογή για τον καλύτερο τύπο αλγορίθμου. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα της επιθυμητής κίνησης μπορεί να οδηγήσει στην πολυπλοκότητα και το μέγεθος των δεδομένων εκπαίδευσης και έτσι στην πολυπλοκότητα του ίδιου του αλγορίθμου. Τέλος, οι αλγόριθμοι σχεδιάζονται με υπολογιστικούς περιορισμούς και περιορισμούς μνήμης, χρησιμοποιώντας που συχνά γραμμικούς αλγόριθμους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{ο}

ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

4.1 Εισαγωγή στη ρομποτική χειρουργική

Γενικά οι χειρουργικές επεμβάσεις έχουν συνδεθεί με τον πόνο, τις μεγάλες και εμφανείς τομές στο σώμα, τον σοβαρό κίνδυνο επιπλοκών, τόσο κατά τη διάρκεια, όσο και μετά την επέμβαση, τη μακρά νοσηλεία και τη δύσκολη ανάρρωση που ακολουθεί μια τέτοια διαδικασία.

Όμως με τη σύγχρονη χειρουργική, η οποία εξελίσσεται με αρκετά γρήγορους και σίγουρους ρυθμούς, χάριν στη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και της κλινικής μελέτης, αυτή η εικόνα για τις χειρουργικές επεμβάσεις αρχίζει να αλλάζει. Πλέον αρκετές επεμβάσεις είναι ελάχιστα επεμβατικές (Minimally Invasive Surgery), δηλαδή με τη λιγότερη δυνατή επέμβαση στον ασθενή, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με τις τεχνικές της Λαπαροσκόπησης, της Ρομποτικής, της Ενδοσκόπησης και της Επεμβατικής Ακτινολογίας. Αυτές οι τεχνικές ελαχιστοποιούν το χειρουργικό τραύμα και τις βλάβες στους υγιείς ιστούς, με αποτέλεσμα το μικρότερο χρόνο αποκατάστασης, τη βελτίωση των προγνώσεων των ασθενών και την εξοικονόμηση κόστους.

Ενώ πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία ακόμα, αρκετά νοσοκομεία ανά τον κόσμο έχουν προβεί στην αγορά συστημάτων ρομποτικής χειρουργικής, παρότι είναι αρκετά ακριβά.

4.1.1 Η ρομποτική χειρουργική

Με την πάροδο των ετών και την εξέλιξη της τεχνολογίας οδηγηθήκαμε στην ψηφιακή ανάλυση, η οποία έδωσε τη δυνατότητα να μεταφέρονται οι πληροφορίες σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι δημιουργήθηκε και η τηλε-χειρουργική και μαζί με την εξέλιξη της ρομποτικής τεχνολογίας, κατάφεραν να γίνει πραγματικότητα η ρομποτική χειρουργική. Μέχρι που δημιουργήθηκαν όλες αυτές οι προϋποθέσεις ήταν αδιανόητο να πραγματοποιηθεί μια χειρουργική επέμβαση χωρίς να είναι στον ίδιο

χώρο ο ασθενής και ο χειρουργός. Αυτή ήταν μια ανάγκη που δημιουργήθηκε, διότι έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος ώστε να χειρουργούνται οι αστροναύτες από χειρουργούς που βρίσκονται στη Γη και οι στρατιώτες, οι οποίοι χρειάζονταν επειγόντως χειρουργείο. Επίσης μετά την αποδοχή της χειρουργικής κοινότητας για τη λαπαροσκοπική χειρουργική, ένας άλλος λόγος για τον οποίο ήταν ανάγκη η δημιουργία και η εξέλιξη της ρομποτικής χειρουργικής ήταν η απόκτηση πιο εύκαμπτων εργαλείων με μεγαλύτερους βαθμούς ελευθερίας στην κίνηση, τρισδιάστατη και μια πιο ακριβής εικόνα του χειρουργικού πεδίου και μια πιο εργονομική θέση της χειρουργικής ομάδας.

4.1.2 Τι είναι η ρομποτικά υποβοηθούμενη χειρουργική και η ρομποτική χειρουργική

Με τον όρο «**ρομποτικά υποβοηθούμενη χειρουργική**» αναφερόμαστε στη χρήση ρομποτικών συστημάτων κατά τη χειρουργική επέμβαση με σκοπό την διευκόλυνση και τελειοποίηση της χειρουργικής επέμβασης προς όφελος του χειρουργού και του ασθενούς. Η «**ρομποτική χειρουργική**», όπως και πιο απλά ονομάζεται, αποτελεί εξέλιξη της λαπαροσκοπικής και ενδοσκοπικής χειρουργικής. Κατά βάση είναι μία λαπαροσκοπική ή ενδοσκοπική επέμβαση που εκτελείται με την βοήθεια του ρομπότ. Πρόκειται δηλαδή για μια ελάχιστα τραυματική και επεμβατική χειρουργική μέθοδο, κατά την οποία οι χειρουργικοί χειρισμοί εκτελούνται με εξαιρετική ακρίβεια με την βοήθεια πολύ λεπτών και εύκαμπτων εργαλείων, τα οποία εισέρχονται στο εσωτερικό του σώματος του ασθενούς μέσα από μικροσκοπικές οπές στο δέρμα, αποφεύγοντας έτσι τις μεγάλες και επώδυνες τομές.

4.1.3 Πως εκτελείται μια ρομποτική επέμβαση

Με τα σημερινά δεδομένα μια ρομποτική επέμβαση πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο. Ο χειρουργός κάθεται μπροστά σε μια χειρουργική-ρομποτική κονσόλα ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και εκεί βλέπει σε μια οθόνη το χειρουργικό πεδίο τρισδιάστατο και μεγεθυμένο και πραγματοποιεί την επέμβαση κινώντας δύο ειδικά χειριστήρια, που μοιάζουν με τα joysticks των videogames. Οι κινήσεις που κάνει ο χειρουργός κατά τη διάρκεια της επέμβασης με αυτά τα χειριστήρια, μεταφέρονται

ψηφιακά σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, επεξεργάζονται ανάλογα και μεταφράζονται με πρωτόγνωρη ακρίβεια σε αντίστοιχες κινήσεις μέσα στο χειρουργικό πεδίο, οι οποίες εκτελούνται από τους αρθρωτούς χειρουργικούς βραχίονες του ρομπότ. Αυτές οι κινήσεις των ρομποτικών βραχιόνων ελέγχονται σε τέτοιο βαθμό από τον χειρουργό, έτσι ώστε ακόμα και σε περίπτωση ενός στιγμιαίου τραβήγματος του κεφαλιού του χειρουργού από την κονσόλα, να ακινητοποιούνται πλήρως. Αυτός είναι και ο λόγος που ο χειρουργός που εκτελεί επεμβάσεις με ένα τέτοιο ρομπότ πρέπει να είναι ειδικά εκπαιδευμένος, καθώς το ρομπότ δεν μπορεί να κινηθεί από μόνο του, ούτε να προγραμματιστεί, αλλά απλά να υπακούει στις κινήσεις του χειρουργού.

4.1.4 Είδη ρομπότ στην ιατρική

Χειρουργικά ρομποτ: Πρόκειται για συστήματα που είτε επιτρέπουν την πραγματοποίηση χειρουργικών επεμβάσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι το ανθρώπινο χέρι, είτε δίνουν τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί μια χειρουργική επέμβαση από απόσταση δηλαδή ακόμα κι αν δεν βρίσκεται ο χειρουργός στο χώρο.

***Ρομπότ αποκατάστασης*:** Απαρτίζονται από ρομπότ τα οποία είτε διευκολύνουν τις ζωές των ασθενών, είτε τους παρέχουν μηχανική υποστήριξη σε περιπτώσεις που κάποια σημεία του σώματος ή κάποια όργανα δυσλειτουργούν. Χρησιμοποιούνται επίσης για αποκαταστάσεις και σχετικές διαδικασίες,όπως η εκπαίδευση και η θεραπεία.

Βιορομποτ: Είναι μια ομάδα ρομπότ , η οποία έχει σχεδιαστεί προκειμένου να μιμείται τη γνωστική λειτουργία των ανθρώπων και των ζώων.

Τηλεπικοινωνιακά ρομπότ: Επιτρέπουν σε γιατρούς και σε ιατρικό προσωπικό γενικότερα να κινηθούν, να κοιτάξουν, να επικοινωνήσουν και να συμμετάσχουν σε περιστατικά που είναι σε κάποιο άλλο μέρος, είτε αυτό είναι ένα διαφορετικό σημείο στην ίδια πόλη , είτε αν βρίσκονται ακόμα και σε διαφορετικά σημεία του πλανήτη.

***Αυτοματοποίησηφαρμακευτικών συνταγών*:** Ρομποτικά συστήματα τα οποία διανέμουν στερεά και υγρά φαρμακευτικά σκευάσματα ή να ετοιμάζουν

Απολυμαντικό ρομπότ: έχει τη δυνατότητα να απολυμαίνει ένα ολόκληρο δωμάτιο μέσα σε λίγα λεπτά, συνήθως χρησιμοποιώντας παλλόμενο υπεριώδες φως. Χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση του ιού Ebola.

4.1.5 Είδη ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων

Υπάρχουν πολλών ειδών ρομποτικά χειρουργικά συστήματα. Ο κύριος όμως διαχωρισμός τους γίνεται σε τρεις κατηγορίες.

Συστήματα ελεγχόμενα από επόπτη (Supervisory-controlled systems)

Αυτά τα συστήματα είναι συνήθως αυτοματοποιημένα. Ο χειρουργός θέτει από την αρχή το πλαίσιο των λειτουργιών που πρέπει να πραγματοποιηθούν πριν ξεκινήσει η χειρουργική επέμβαση. Τα δεδομένα που εισάγονται στο ρομπότ θα πραγματοποιήσουν μια σειρά ελεγχόμενων κινήσεων, οι οποίες βοηθούν τον χειρουργό να διεκπεραιώσει την απαιτούμενη επέμβαση. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η ακρίβεια, δηλαδή αυτό σημαίνει μικρότερες τομές και λιγότερη αιμορραγία για τον ασθενή, άρα και μικρότερο χρόνο αποκατάστασής του. Το μειονέκτημά τους είναι πως διαθέτουν ένα ελάχιστο περιθώριο για σφάλματα. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο και έτσι ένα μικρό λάθος μπορεί να αποβεί μοιραίο.

Πριν από κάθε χειρουργική επέμβαση το σύστημα ρυθμίζεται με βάση το σώμα του ασθενούς, καθώς κάθε περίπτωση είναι εντελώς διαφορετική και πρέπει το σύστημα να διαμορφωθεί κατάλληλα, ώστε να εξασφαλιστεί μια επιτυχημένη χειρουργική επέμβαση. Η διαμόρφωση επιτυγχάνεται μέσω μιας διαδικασίας τριών βημάτων. Του προγραμματισμού, της εγγραφής και της πλοήγησης.

- *Προγραμματισμός:* πρόκειται για τη λήψη εικόνων από το σώμα του ασθενή με χρήση αξονικής τομογραφίας (CT), μαγνητική τομογραφία (MRI) και άλλων μέσων.
- *Εγγραφή:* Εδώ γίνεται η αντιστοίχιση των σημείων στο σώμα του ασθενή με το αποτέλεσμα των εικόνων κατά το στάδιο του σχεδιασμού της επέμβασης.

- *Πλοήγηση:* Ο χειρουργός πλέον τοποθετεί το ρομπότ σύμφωνα με αυτά τα σημεία.

Συστήματα κοινού ελέγχου(shared-control systems)

Τα ρομποτικά συστήματα κοινού ελέγχου βοηθούν τον χειρουργό κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης. Είναι ένας τύπος ρομποτικής χειρουργικής στην οποία το ρομπότ εκτελεί ολόκληρη τη διαδικασία χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα που έχει δημιουργηθεί από τον χειρουργό. Η αυτοσυγκράτηση (active constraint) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τέσσερις τρόπους όσον αφορά τις περιοχές στο σώμα του ασθενούς: ότι είναι ασφαλές, ότι είναι κοντά, ότι είναι στο όριο και ότι απαγορεύεται. Ο χειρουργός θέτει αυτές τις λειτουργίες από την αρχή ανάλογα με τους στόχους του. Εάν για παράδειγμα ο στόχος του χειρουργού είναι να απαγορεύεται να αγγίξει μια συγκεκριμένη ζώνη του σώματος του ασθενή, τότε το σύστημα θα τον εμποδίσει να ακουμπήσει αυτή την περιοχή. Συνήθως αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται στην νευροχειρουργική κι στην ορθοπεδική χειρουργική.

Τηλεχειρουργικά συστήματα (Telesurgical Systems)

Η τηλεχειρουργική είναι γνωστή αλλιώς ως απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση, στην οποία ο χειρουργός χειρίζεται το ρομποτικό σύστημα κατά τη διάρκεια της επέμβασης, αντί να επιτρέπει στο ρομπότ να λειτουργεί μόνο του υπό ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα. Ουσιαστικά το ρομπότ εκτελεί τις χειρουργικές εργασίες απευθείας, καθώς ελέγχεται από τον χειρουργό από μια απομακρυσμένη θέση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και το ρομποτικό σύστημα da Vinci που θα αναλύσουμε παρακάτω.

4.1.6 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη ολοκληρωμένη χειρουργική επέμβαση με τη βοήθεια ρομπότ, έγινε το 1985, όταν χρησιμοποίησαν τον ρομποτικό χειρουργικό βραχίονα PUMA 560, σε μια λεπτή νευροχειρουργική βιοψία, μια μη λαπαροσκοπική χειρουργική επέμβαση. Το ρομποτικό σύστημα επέτρεψε μια επιτυχημένη ρομποτική χειρουργική επέμβαση και τη δυνατότητα μεγαλύτερης ακρίβειας. Η ρομποτική χειρουργική επέμβαση του 1985 οδήγησε στην πρώτη λαπαροσκοπική διαδικασία που περιελάμβανε ένα ρομποτικό σύστημα, μια χολοκυστοεκτομή, το 1987. ΤΟ 1988 το Imperial College ανέπτυξε το PROBOT, ένα σύστημα που χρησιμοποιήθηκε σε ουρολογικές επέμβάσεις, όπως

αυτή του προστάτη. Το 1990 το σύστημα AESOP που παράγεται από την ComputerMotion έγινε το πρώτο σύστημα που εγκρίθηκε από την Food and Drug Administration (FDA) για την ενδοσκοπική χειρουργική επέμβαση. Μετά από δύο χρόνια, το 1992 η Integrated Surgical Systems έθεσε σε λειτουργία το ROBODOC, ένα σύστημα το οποίο σμιλεύει με ακρίβεια την επιφάνεια του ισχίου κατά τη διαδικασία της αρθροπλαστικής και της αντικατάστασής του. Το μεγάλο άλμα στα συστήματα ρομποτικής χειρουργικής πραγματοποίησε η Intuitive Surgical με τον σχεδιασμό του συστήματος da Vinci και από τη Computer Motion με τα συστήματα AESOP και ZEUS. Το1994 όμως η Intuitive Surgical αγόρασε τη Computer Motion και διέκοψε την ανάπτυξη του ZEUS. Το σύστημα daVinci είναι το μόνο σύστημα που έχει πάρει έγκριση από το FDA για ένα πολύ μεγάλο εύρος χειρουργικών επεμβάσεων, που περιλαμβάνουν για παράδειγμα την υστερεκτομή, τη ριζική προστατεκτομή και την αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας. Χρησιμοποιείται σε περισσότερα από 800 νοσοκομεία σε Ευρώπη και Αμερική. Το 1998 πραγματοποιήθηκε στο Leipzig Heart Center της Γερμανίας η πρώτη ρομποτικά υποβοηθούμενη αορτοστεφανιαία παράκαμψη από τον Dr. Friedrich-Wilhelm Mohr, χρησιμοποιώντας το σύστημα da Vinci. Το 2001 στο Στρασβούργο πραγματοποιήθηκε μια χολοκυστεκτομή σε μια ασθενή, ενώ ο χειρουργός J. Marescaux βρισκόταν στη Νέα Υόρκη. Στην χώρα μας η πρώτη ρομποτική επέμβαση πραγματοποιήθηκε από τον Κ. Κωνσταντινίδη τον Σεπτέμβριο του 2006 στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών και τον Φεβρουάριο του 2007 έγινε η ανακοίνωση ρομποτικών επεμβάσεων στην Ελλάδα στο 2^{ο} Συνέδριο Ρομποτικής Χειρουργικής στη Νέα Υόρκη. Μέχρι σήμερα υπάρχουν έξι ρομποτικά χειρουργικά συστήματα στην Αθήνα.

4.2 Χειρουργικό ρομποτικό σύστημα Da Vinci

Το ρομποτικό σύστημα Da Vinci ξεκίνησε σαν ιδέα το 1995 από την Intuitive Surgical και το 2000 κυκλοφόρησε στην αγορά, επιτυγχάνοντας σταδιακά μέχρι το 2012 να έχουν βγει στην αγορά πάνω από 2500 συστήματα παγκοσμίως, πραγματοποιώντας πάνω 1.300.000 επεμβάσεις από το 1999 έως το 2011 με αποκορύφωμα τις πάνω από 450.000 επεμβάσεις μέσα στο 2012 και να απασχολούνται πάνω από 2000 εργαζόμενοι. Συνολικά μέχρι το 2019 έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες από 6.000.000 επεμβάσεις με το σύστημα da Vinci,

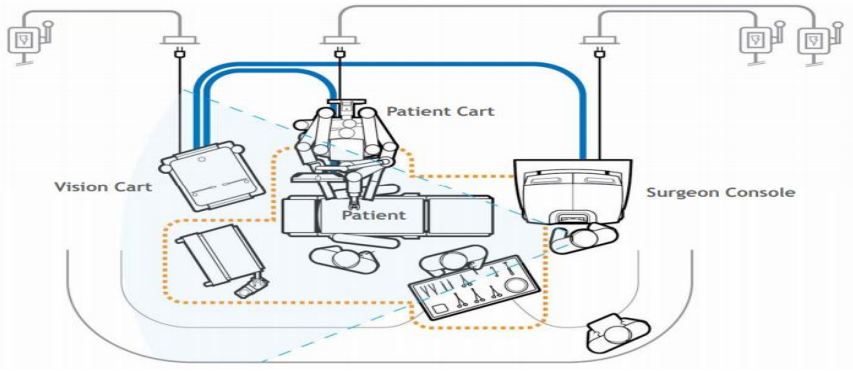
υπάρχουν παγκοσμίως 4.986 συστήματα σε 66 χώρες και εκτιμάται πως αυτή την στιγμή περίπου 39.000 χειρουργοί είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν μια ρομποτική χειρουργικοί επέμβαση με πάνω από 5,527 άτομα να μπορούν να βοηθήσουν σε μια τέτοια διαδικασία ως χειρουργική ομάδα.

4.2.1 Τι είναι το σύστημα χειρουργικής Da Vinci

Το σύστημα χειρουργικής Da Vinci είναι ουσιαστικά ένα ρομποτικό σύστημα το οποίο λειτουργεί υπό τον απόλυτο έλεγχο του χειρουργού βοηθώντας τον να εκτελέσει πολύπλοκα χειρουργεία με την πρόκληση ελάχιστου τραύματος στον ασθενή. Το συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα ήταν το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής το οποίο εγκρίθηκε από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών (FDA) για την πραγματοποίηση των επεμβάσεων.

Ο σχεδιασμός του DaVinci ξεκίνησε το 1995 και από το 2000 μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται σε περισσότερα από 350 νοσοκομεία παγκοσμίως. Για πολλούς χειρουργούς ακόμα θεωρείτε ένα ακριβό μηχάνημα, όμως τα τελευταία χρόνια εξαπλώνεται με γοργούς ρυθμούς, χάρη στα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρέχει σε πολλά είδη χειρουργείων.

Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από μια κονσόλα, η οποία βρίσκεται μακριά από το χειρουργικό πεδίο, όπου εκεί κάθεται ο χειρουργός και έχοντας μπροστά του μια τρισδιάστατη και μεγεθυμένη εικόνα του χειρουργικού πεδίου κινεί 3-4 ρομποτικούς βραχίονες, οι οποίοι έχουν εργαλεία προσαρμοσμένα στα άκρα τους, ένας περιέχει και μια κάμερα υψηλής ευκρίνειας και εκτελούν κάθε κίνηση που πραγματοποιεί ο αντίχειρας και ο δείκτης του χεριού του χειρουργού στο αντίστοιχο χειριστήριο. Αυτή η μονάδα των ρομποτικών βραχιόνων τοποθετείται δίπλα από τον ασθενή, σε μικρή απόσταση από την κονσόλα του χειρουργού και παρακολουθείται από την ομάδα του γιατρού, η οποία είναι δίπλα στον ασθενή τόσο για βοήθεια στην τοποθέτηση των βραχιόνων , όσο και στην περίπτωση κάποιου προβλήματος.



Εικόνα 14: Κάτοψη χειρουργικού πεδίου, κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης με το σύστημα da Vinci Si

4.3 Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα da Vinci Si αναλυτικά

Το σύστημα da Vinci Si προστέθηκε την γραμμή προϊόντων της σειρά daVinci τον Απρίλιο του 2009. Αυτή η έκδοση του συστήματος διατηρεί την αρχική γραμμή και τη βασική τεχνολογία των προηγούμενων εκδόσεων, χρησιμοποιώντας νέα βελτιωμένα χαρακτηριστικά, όπως αυτά που αναφέρονται παρακάτω:

- Η κονσόλα του χειρουργού αναβαθμίστηκε σε τέτοιο σημείο , ώστε να του επιτρέπει να ρυθμίζει, όπως εκείνος επιθυμεί τέσσερις διαφορετικές παραμέτρους για περισσότερη άνεση κατά τη διάρκεια πολύωρων χειρουργικών επεμβάσεων.
- Πλέον υπάρχει η δυνατότητα, εφόσον καθίσταται αναγκαία, να προσαρτείται και δεύτερη χειρουργική κονσόλα, έτσι ώστε να μπορούν να συνεργάζονται και να επικοινωνούν δύο χειρουργοί κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης, καθώς και να ανταλλάσουν μεταξύ τους τον έλεγχο των ρομποτικών εργαλείων.
- Δίνεται η δυνατότητα στον χειρουργό να ελέγχει τις ρυθμίσεις του ήχου, του βίντεο και του συστήματος, μέσω μιας ολοκληρωμένης κονσόλας αφής (touchpad).
- Χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστά οπτικά κανάλια υψηλής ευκρίνειας, από το σύστημα της τρισδιάστατης απεικόνισης, τα οποία συγχωνεύονται μεταξύ τους, προκειμένου να αποδώσουν την αντίληψη του βάθους με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια.

- Όπως και σε όλα τα συστήματα γίνεται προσπάθεια για εξοικονόμηση χώρου, έτσι και εδώ, ενσωματώθηκε στο σύστημα όρασης η δυνατότητα ανάρτησης στο ταβάνι, για περισσότερο χώρο μέσα στην αίθουσα του χειρουργείου.
- Όλη αυτή η αναβάθμιση της αρχιτεκτονικής του συστήματος διασφαλίζει την ικανότητα του να συμβαδίζει με τις τεχνολογικές εφαρμογές που υπάρχουν την εκάστοτε χρονική περίοδο.

4.3.1 Η κονσόλα του χειρουργού

Η κονσόλα, όπου κάθεται ο χειρουργός, είναι το κέντρο ελέγχου του ρομποτικού συστήματος da Vinci Si. Ο χειρουργός κάθεται στη κονσόλα μακριά από το χειρουργικό πεδίο και χρησιμοποιώντας τα μάτια, τα χέρια και τα πόδια του ελέγχει ένα τρισδιάστατο ενδοσκόπιο και πολλά χειρουργικά εργαλεία, με δύο κύρια χειριστήρια και δύο πετάλια.

Εικόνα 15: Η κονσόλα που ελέγχεται από τον χειρουργό κατά τη διάρκεια της επέμβασης

Η κονσόλα διαθέτει δύο ειδικές χειρολαβές στο πάνω τμήμα, μέσω των οποίων ο χειρουργός τοποθετώντας τα δάκτυλά του κινεί τους ειδικούς μοχλούς, οι οποίοι με τη σειρά τους δίνουν εντολές στους χειρουργικούς ρομποτικούς βραχίονες. Διαθέτει επίσης και στο κάτω μέρος πετάλια, τα οποία επιτρέπουν στον χειρουργό να ελέγχει τη θέση του ενδοσκοπίου, να επανατοποθετεί τα εργαλεία και να ρυθμίζει την εστίαση της κάμερας

Όπως φαίνεται στο stereo viewer, τα χειρουργικά εργαλεία φαίνεται να ευθυγραμμίζονται με τα χέρια του χειρουργού στην κεντρική κονσόλα. Αυτό το σχέδιο του συστήματος έχει σκοπό να προσομοιώσει τη φυσική ευθυγράμμιση του ματιού, του χεριού και των εργαλείων την ανοιχτής χειρουργικής επέμβασης. Αυτή η ευθυγράμμιση, με τη σειρά της, βοηθά στη βελτιστοποίηση του συντονισμού ματιών-χεριών. Αυτό κατά συνέπεια έχει ως αποτέλεσμα να μπορούμε να έχουμε ένα σύστημα, το οποίο διατηρεί τις επιδεξιότητες που χρειάζεται μια ανοιχτή χειρουργική επέμβαση και να μπορεί να τις χρησιμοποιεί σε μια ελάχιστα επεμβατική διαδικασία. Προκειμένου να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση της επίδρασης του φυσικού τρόμου ή της ακούσιας κίνησης του ανθρώπινου χεριού, η εικόνα που έχει ο χειρουργός είναι τρισδιάστατη, μεγεθυμένη και με ειδικά φίλτρα, τα όποια εξαλείφουν τους δύο παραπάνω παράγοντες, αυξάνοντας εντυπωσιακά την ακρίβεια των χειρισμών του χειρουργού . Ο χειρουργός που ελέγχει τη κονσόλα έχει επίσης την ικανότητα να αλλάζει την λειτουργία της οθόνης και από την προβολή πλήρους οθόνης να έχει μπροστά του πολλαπλές εικόνες, οι οποίες δείχνουν τρισδιάστατες σκηνές από το χειρουργικό πεδίο. Η τρισδιάστατη οθόνη που έχει μπροστά του είναι η εικόνα του χειρουργικού πεδίου έως και 15 φορές μεγεθυμένη. Η κονσόλα έχει πολλές ρυθμίσεις, οι οποίες βοηθούν να μπορεί το σύστημα να χρησιμοποιηθεί σε πολλά διαφορετικά σώματα και να παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατή άνεση κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης.

<u>Το τμήμα της κονσόλας του χειρουργού πιο αναλυτικά</u>

Εικόνα 16: Αναλυτικά τα μέρη της κονσόλας του χειρουργού

Ειδικά χειριστήρια (Joysticks)

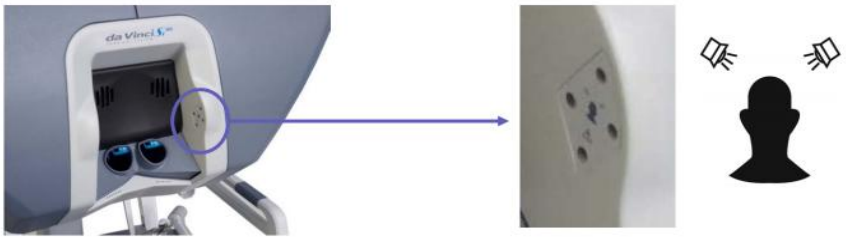
Στη χειρουργική κονσόλα υπάρχουν ειδικά χειριστήρια, τα οποία επιτρέπουν στον χειρουργό να ελέγχει τα εργαλεία και το ενδοσκόπιο μέσα στον ασθενή. Έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα προκειμένου να επιτρέπουν τη φυσική κίνηση, να δίνουν τη δυνατότητα της διαισθητικής κίνησης (intuitive motion) και να παρέχουν ένα εργονομικό έργο, ακόμα και σε διαδικασίες εκτεταμένης διάρκειας,. Για να λειτουργήσουν τα χειριστήρια ο χειριστής περνάει τον αντίχειρά του και τον δείκτη (ή κάποιες φορές και το μεσαίο δάκτυλο) μέσα από τα δακτυλίδια, όπως φαίνονται στην εικόνα, έτσι ενεργοποιούνται και οι βραχίονες, ελέγχοντας τις κινήσεις του ενδοσκοπίου και των εργαλείων μέσα στον ασθενή, δίνοντάς του ταυτόχρονα σχεδόν και την πραγματική αίσθηση της αφής στα χέρια του. Στην ουσία είναι σαν να επεκτείνονται τα χέρια του χειρουργού μέσα στο χειρουργικό πεδίο. Οι κινήσεις που κάνει ο χειρουργός μεταφράζονται κατευθείαν και πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο από τους βραχίονες.

Εικόνα 17: Τα ειδικά χειριστήρια του χειρουργού, όπου οι κινήσεις που κάνει πραγματοποιούνται από τα εργαλεία σε πραγματικό χρόνο.

Stereo Viewer

Το Stereo viewer παρέχει στον χειριστή της κονσόλας την εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Η εργονομικά σχεδιασμένη θέση προβολής παρέχει υποστήριξη για το κεφάλι

και τον λαιμό του χειρουργού, ώστε να υπάρχει μια μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια πολύωρων επεμβάσεων. Το σύστημα da Vinci Si περιλαμβάνει το σύστημα όρασης InSite, το οποίο διαθέτει δύο ανεξάρτητα κανάλια όρασης, το ένα δεξιά και το άλλο αριστερά, τα οποία συγχωνεύονται όταν το ενδοσκόπιο είναι ενεργοποιημένο παρέχουν ένα συνεχόμενο τρισδιάστατο βίντεο, επεκτείνοντας έτσι την όραση του χειρουργού στο πεδίο του ασθενή σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από αυτό που επιτρέπει η ανθρώπινη όραση. Επίσης κατά τη διάρκεια της επέμβασης εμφανίζονται στην οθόνη μηνύματα, τα οποία δείχνουν ή προειδοποιούν τον χειριστή για την κατάσταση του ρομποτικού συστήματος.



Εικόνα 18: Το σύστημα όρασης της κονσόλας και τα ηχεία προκειμένου να δίνει οδηγίες και να ακούει τι συμβαίνει στο χειρουργικό πεδίο ο χειρουργός.

Κονσόλα Αφής (Touchpad)

Το touchpad βρίσκεται στη μέση του μπράτσου της κονσόλας, όπου βρίσκεται ο χειρουργός και του παρέχει την ικανότητα της επιλογής των διάφορων λειτουργιών του συστήματος.

Εικόνα 19: κονσόλα αφής για την επιλογή διάφορων λειτουργιών

Επιπλέον Χειριστήρια ελέγχου

Αυτά τα χειριστήρια ελέγχου βρίσκονται δεξιά και αριστερά του μπράτσου της κονσόλας. Το αριστερό μέρος παρέχει εργονομικά χειριστήρια, ενώ στο δεξιό μέρος είναι το κουμπί τροφοδοσίας και ο διακόπτης έκτακτης ανάγκης.. Τα χειριστήρια ελέγχου της δεξιάς πλευράς επικοινωνούν με τα κύρια σφάλματα του συστήματος και ενεργοποιούν και απενεργοποιούν το σύστημα, ενώ τα χειριστήρια ελέγχου της αριστερής πλευράς χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση παραμέτρων του συστήματος και για την αντιμετώπιση προβλημάτων συστήματος. Στην εξωτερική άκρη των χειριστηρίων της αριστερής πλευράς υπάρχουν κουμπιά ρύθμισης για την ανύψωση και τη μείωση του ύψους της κονσόλας χειρουργού, καθώς θα πρέπει ο ίδιος να ρυθμίζει την θέση της κονσόλας, ώστε να είναι αναπαυτικά κατά τη διάρκεια των πολύωρων χειρουργικών επεμβάσεων.

Εικόνα 20: Τα επιπλέον χειριστήρια της κονσόλας για τη θέση, το ξεκίνημα και το σταμάτημα του συστήματος.

Ποδοδιακόπτες (Footswitch Panel)

Ο διακόπτης βρίσκεται στο πάτωμα ακριβώς κάτω από τον χειριστή της κονσόλας και παρέχει τη διεπαφή για διάφορες χειρουργικές δραστηριότητες. Αποτελείται από δύο επίπεδα πεντάλ. Υπάρχουν πεντάλ συμπλέκτη και κάμερας στην αριστερή πλευρά ,ενώ στη δεξιά πλευρά υπάρχουν τα πεντάλ, με τα οποία ο χειρουργός ελέγχει τα εργαλεία.

Εικόνα 21: Τα πετάλια που χρησιμοποιεί ο χειρουργός για να εναλλάσσει τη λειτουργία των εργαλείων

4.3.2 Το τροχήλατο των ρομποτικών βραχιόνων (Patient Cart)

Το τροχήλατο των ρομποτικών βραχιόνων είναι το λειτουργικό κομμάτι του συστήματος και η κύρια λειτουργία του είναι να κρατάνε οι βραχίονές του τα χειρουργικά εργαλεία και την κάμερα που εισέρχονται στον ασθενή. Αποτελείται από τρεις ή τέσσερις βραχίονες. Έναν για το ενδοσκόπιο, δηλαδή την κάμερα και δύο ή τρεις για τα ενδοσκοπικά εργαλεία. Τοποθετείται δίπλα από τον ασθενή, λίγα μέτρα μακριά από την κονσόλα του χειρουργού

Εικόνα 22: Το τροχήλατο με τους ρομποτικούς βραχίονες

Το ρομποτικό σύστημα χρησιμοποιεί τεχνολογία απόμακρου κέντρου. Το απόμακρο κέντρο είναι ένα συγκεκριμένο σημείο στο χώρο γύρω από το οποίο κινούνται οι βραχίονες. Η τεχνολογία απόμακρου κέντρου επιτρέπει στο σύστημα να

χειρίζεται τα χειρουργικά εργαλεία και τα ενδοσκόπια στο χειρουργικό πεδίο, ενώ παράλληλα ασκεί την ελάχιστη δύναμη στα τοιχώματα του ανθρώπινου σώματος. Ο χειριστής του συστήματος, δραστηριοποιείται στον αποστειρωμένο χώρο του χειρουργικού πεδίου, δηλαδή δίπλα από τον ασθενή και βοηθάει τον χειρουργό που βρίσκεται στην κονσόλα, αλλάζοντας τα εργαλεία και τα ενδοσκόπια και εκτελώντας οποιαδήποτε εργασία απαιτείται από την πλευρά του ασθενή. Προκειμένου να εξασφαλίζεται επιπροσθέτως η ασφάλεια του ασθενούς, οι δραστηριότητες του χειριστή του τροχήλατου υπερισχύουν από αυτές του χειρουργού στην κονσόλα.

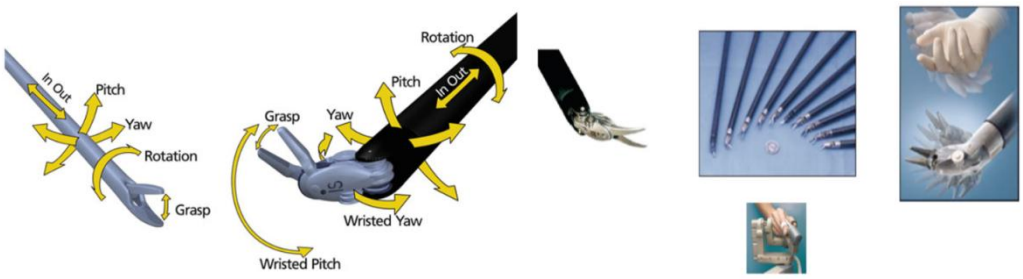
Εργαλεία τύπου EndoWrist

Η Intuitive Surgical σχεδίασε τα χειρουργικά εργαλεία EndoWrist, ώστε να δώσουν στον χειρουργό μεγαλύτερη δεξιοτεχνία από το φυσικό εύρος κινήσεων του ανθρώπινου χεριού. Αυτός είναι ο λόγος και του ονόματός τους, δηλαδή EndoWrist (Ένδο-Καρπός), καθώς μιμούνται την ευκινησία του ανθρώπινου χεριού και καρπού Αυτό επιτρέπει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε ένα ελάχιστα επεμβατικό περιβάλλον. Τα εργαλεία EndoWrist, όταν χρησιμοποιούνται στο σύστημα da Vinci, είναι έτσι σχεδιασμένα, ώστε να υποστηρίζουν την ταχύτερη και πιο ακριβή διαδικασία τομής, ραψίματος και χειρισμό των ιστών, σε οποιαδήποτε χειρουργική πλατφόρμα. Ένας νέος κύριος ελεγκτής εισάγεται και χρησιμοποιείται για τον έλεγχό τους. Το γεωμετρικό μοντέλο του κύριου μηχανισμού και η σχεδίαση της γεωμετρίας ενός εργαλείου EndoWrist αλληλοσυμπληρώνονται. Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει πως ο ανεπτυγμένος αλγόριθμος σχεδιασμού του εργαλείου, έτσι ώστε να ανοιγοκλείνουν τα εργαλεία, είναι ακριβής με μέσο όρο σφάλματος την τετραγωνική ρίζα του 0,7463.

Εικόνα 23: Τα χειρουργικά ρομποτικά εργαλεία EndoWrist

Τα χειρουργικά εργαλεία τύπου EndoWrist είναι εργαλεία πολλαπλών χρήσεων και οι διαστάσεις τους μπορεί να έχουν 12mm, 8mm και 5mm διάμετρο. Κάθε ένα από αυτά τα εργαλεία έχει τη δική του ξεχωριστή λειτουργία μέσα στο σύστημα, όπως αυτή του να κρατάει, να χειρίζεται, να κόβει και να ράβει τους ιστούς, πράγμα που καθιστά το χειρουργό ικανό να διαθέτει μια μεγάλη ποικιλία ρομποτικών εργαλείων, έτσι ώστε να διεκπεραιώσει όσο το δυνατόν καλύτερα την κάθε επέμβαση. Σε αυτή την διαδικασία βοηθάει και η δυνατότητα γρήγορης εναλλαγής των εργαλείων κατά τη διάρκεια της επέμβασης, για την καλύτερη αντιμετώπιση έκτακτων γεγονότων.

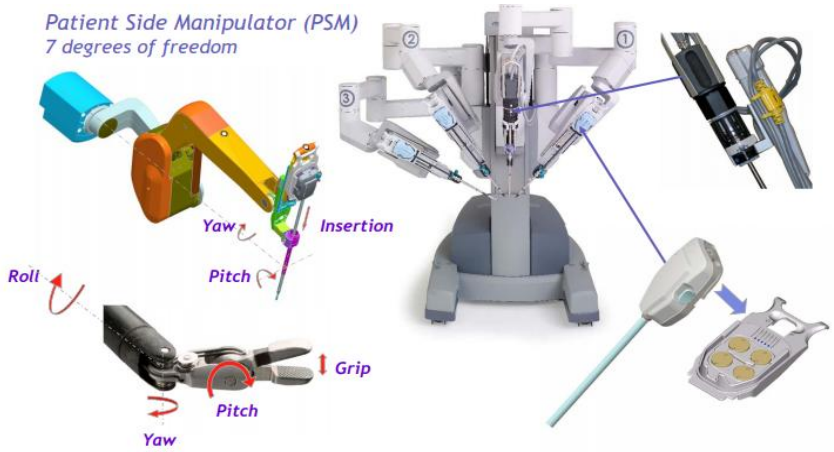
Τα συγκεκριμένα εργαλεία διαθέτουν 7 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως τα χειρουργικά εργαλεία πραγματοποιούν τις παρακάτω κινήσεις, όπως φαίνεται και στην φωτογραφία.



Εικόνα 24: Οι βαθμοί ελευθερίας των εργαλείων EndoWrist

Οι έξι βαθμοί ελευθερίας είναι οι ίδιοι με τις κινήσεις που πραγματοποιεί ο ανθρώπινος καρπός. Τρεις βαθμοί για την τοποθέτηση του άκρου στο χώρο και τρεις για να προσδιορίσουμε τον προσανατολισμό του άκρου ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων. Όπως φαίνεται και στη φωτγραφία οι 7 βαθμοί ελευθερίας περιλαμβάνουν τις τέσσερις κινήσεις που υπάρχουν στην παραδοσιακή λαπαροσκόπηση (τα μεγάλα κίτρινα βέλη), δύο ενδοσωματικές κινήσεις από τα εργαλεία EndoWrist (τα μικρά κίτρινα βέλη) και επιπροσθέτως ο έβδομος βαθμός δίνεται από την κίνηση του γραπώματος (μικρό κίτρινο βέλος).

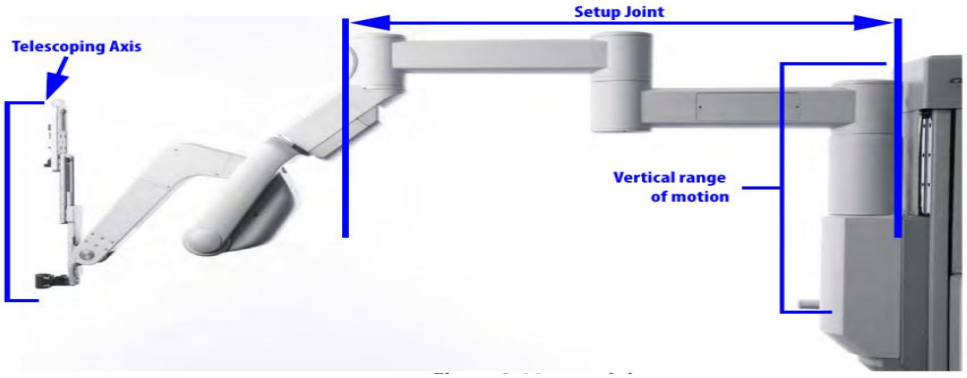
<u>Το τροχήλατο των ρομποτικών βραχιόνων πιο αναλυτικά</u>



Εικόνα 25: Τα εξαρτήματα του τροχήλατου των βραχιόνων

Σύνδεσμοι της διάταξης

Οι σύνδεσμοι της διάταξης χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση των βραχιόνων του συστήματος προκειμένου να δημιουργηθεί το remote center στο χειρουργικό πεδίο. Οι σύνδεσμοι αυτοί έχουν σχεδιαστεί με αρκετά περιορισμένη ελευθερία κινήσεων, έτσι ώστε να διευκολύνεται η δημιουργία των τομών.

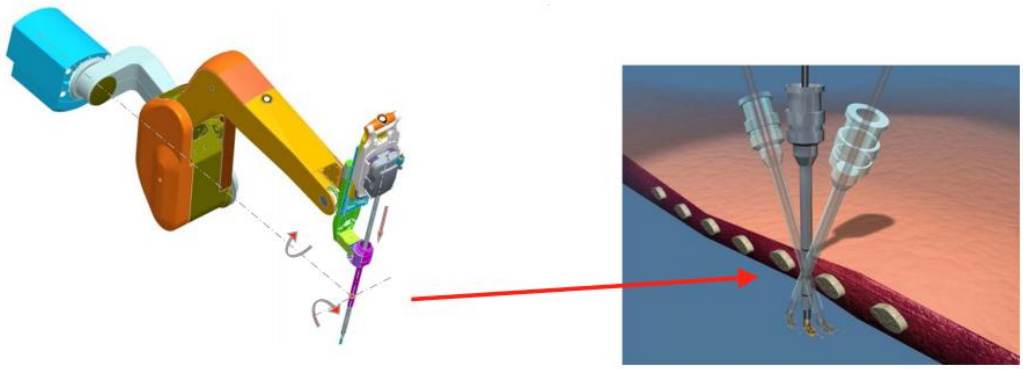


Εικόνα 26: Οι σύνδεσμοι της διάταξης των βραχιόνων

Ο βραχίονας των χειρουργικών εργαλείων

Ο βραχίονας αυτός είναι το τμήμα του ρομποτικού συστήματος στο οποίο τοποθετούνται τα χειρουργικά εργαλεία. Μόλις προστεθούν και τα αποστειρωμένα νάιλον, παρέχει την διεπαφή, η οποία είναι και αυτή αποστειρωμένη για την τοποθέτηση των εργαλείων EndoWrist πριν ξεκινήσει η διαδικασία. Ο χειριστής της

κονσόλας κινεί τον βραχίονα μέσω τον ειδικών χειριστηρίων που αναφέρθηκαν πρωτύτερα στην κονσόλα του χειρουργού.



Εικόνα 27: Ο βραχίονας όπου προσαρτώνται τα χειρουργικά εργαλεία

Ένας τηλεσκοπικός άξονας εισαγωγής έχει σχεδιαστεί προκειμένου να ελαχιστοποιεί το τραύμα των οπών που πραγματοποιούνται στο σώμα του ασθενούς και να επιτρέπει στον χειριστή του τροχήλατου να επανατοποθετεί τα χειρουργικά εργαλεία, όταν και όπως του ζητηθεί. Οι βραχίονες του da Vinci Si έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχουν ένα αρκετά ευρύ φάσμα κινήσεων. Αυτό είναι χρήσιμο ως προς τη ρύθμιση του μέρους όπου θα γίνουν οι τομές και παρέχουν μεγαλύτερη εμβέλεια, όσον αφορά την κίνηση μέσα στο σώμα του ασθενούς, καθώς σε κάθε περίπτωση μιλάμε για διαφορετική ανατομία του σώματος.

Το απομακρυσμένο κέντρο υποδεικνύεται από μια παχιά, κεντρική μαύρη λωρίδα πάνω στον μικρό σωλήνα του οργάνου. Όταν το σύστημα είναι συνδεδεμένο με έναν σωληνίσκο, ο οποίος εισάγεται στον ασθενή, το remote center πρέπει να βρίσκεται στο τοιχώματα του σώματος του ασθενή. Αυτή η θέση του remote center ελαχιστοποιεί και το τραύμα της οπής, αλλά και την πίεση που δέχονται τα ρομποτικά εργαλεία κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο χειρουργός δεν μπορεί σαν χειριστής της κονσόλας να μετακινήσει τον βραχίονα από το remote center. Παρόλα αυτά ο χειριστής του τροχήλατου μπορεί να επαναπροσδιορίσει το remote center πατώντας ένα κουμπί. Εξάλλου στην κορυφή των βραχιόνων υπάρχουν ενδείξεις LED, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση του κάθε βραχίονα.

Εικόνα 28: Τα LED, τα οποία δείχνουν την κατάσταση των βραχιόνων

Ο βραχίονας με την κάμερα

Ο βραχίονας της κάμερας παρέχει τη διεπαφή για το 3D ενδοσκόπιο. Αρχικά ο χειρουργός από τη κονσόλα, ο οποίος μετακινεί τον βραχίονα με τα χειριστήρια, τον τοποθετεί σε ένα ουδέτερο μέρος πριν αρχίσει η διαδικασία. Το remote center του βραχίονα βρίσκεται κοντά στην κορυφή του σωλήνα της κάμερας και στην κορυφή του βραχίονα βρίσκεται μια λυχνία LED, η οποία και αυτή μας δίνει ενδείξεις για την κατάσταση του.

0

Εικόνα 29: Ο βραχίονας της κάμερας

Motor Drive

Το ρομποτικό σύστημα da Vinci έχει σχεδιαστεί για να παρέχει την ταχύτερη και ευκολότερη σύνδεση και επαναδιαμόρφωση, διαθέτοντας ένα μηχανοκίνητο σύστημα κίνησης. Η διεπαφή κίνησης του κινητήρα περιλαμβάνει μια στήλη τιμονιού, ένα γκάζι, μια πεταλούδα γκαζιού και ένα διακόπτη ένα διακόπτη αλλαγής ταχυτήτων.

Εικόνα 30: Το μηχανοκίνητο σύστημα κίνησης

4.3.3 Ενδοσκοπικός πύργος (Vision Cart)

Αυτό το μέρος του συστήματος αποτελείται από μια οθόνη αφής 24΄΄ υψηλής ευκρίνειας, η οποία περιλαμβάνει και ένα σύστημα αυτόματης ρύθμισης της εικόνας, δύο βιντεοκάμερες, συσκευή ψυχρού φωτισμού, συσκευή διαθερμίας και ένα σύστημα φωνητικής επικοινωνίας, όπου ο χειρουργός επικοινωνεί και δίνει τις κατάλληλες οδηγίες στο βοηθητικό προσωπικό που βρίσκεται δίπλα από τον ασθενή.

Εικόνα 31: Ο ενδοσκοπικός πύργος του συστήματος

<u>Ο ενδοσκοπικός πύργος (Vision Cart) πιο αναλυτικά</u>

Το ρομποτικό σύστημα da Vinci Si συνοδεύεται πάντα με ένα σύστημα όρασης υψηλής ευκρίνειας. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται κατά κύριο λόγο αναλύονται παρακάτω.

Εικόνα 32: Τα εξαρτήματα του ενδοσκοπικού πύργου

- ***Ο πυρήνας:*** Πρόκειται για το κεντρικό σημείο σύνδεσης του συστήματος, όπου δρομολογείτε όλο το σύστημα, ο βοηθητικός εξοπλισμός και οι συνδέσεις AV*.
- ***Τα ράφια:*** Το σύστημα όρασης έχει τρία ράφια, ώστε να τοποθετείται εκεί ο βοηθητικός εξοπλισμός. Κάθε ράφι μπορεί να κρατήσει εξοπλισμό μέχρι 18,2 kg (40 lbs), με προϋπόθεση πως το συνολικό βάρος που συγκρατούν τα και τα τρία ράφια δεν υπερβαίνει τα 27,2 kg (60 lbs).
- ***Κουτί ελέγχου εργαλείων (ICB):*** Το ICB (Instrument Control Box) είναι μια αναβάθμιση (hardware upgrade), που εγκαθίσταται από έναν μηχανικό της Intuitive Surgical στο χαμηλότερο ράφι του συστήματος όρασης.

Ενεργοποιεί λειτουργίες των αναβαθμισμένων εργαλείων EndoWrist, τέτοιες όπως Vessel Sealer. Η Intuitive παρέχει οδηγίες για την χρήση του ICB ως μέρος των οδηγιών της χρήσης των κατάλληλων οργάνων.

- ***Διάταξη φωτισμού:*** Ο φωτισμός για το χειρουργικό πεδίο δίνεται από μια διάταξη φωτός. Το φως μεταδίδεται από τη διάταξη στο ενδοσκόπιο μέσω ενός καλωδίου οπτικής ίνας και προβάλλεται στο πεδίο του χειρουργού μέσω του ενδοσκοπίου. Η διάταξη του φωτός διαθέτει έναν πίνακα ελέγχου τόσο για την αυξομείωση της έντασης του φωτισμού, όσο και την ενεργοποίηση και απενεργοποίησή του.

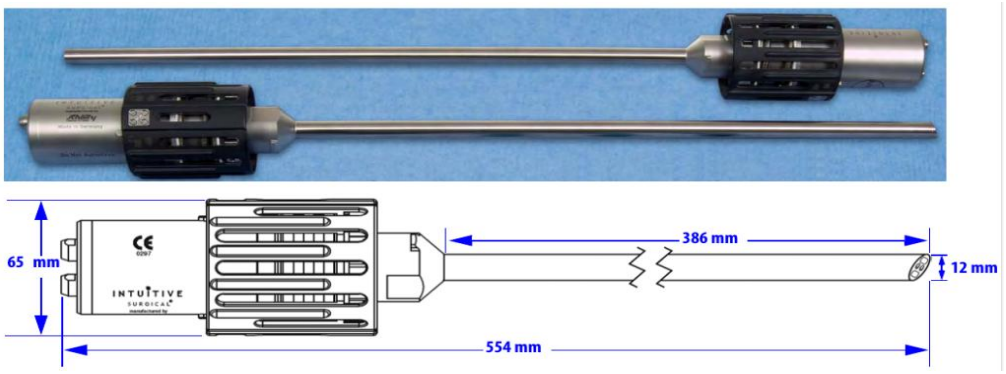
Εικόνα 33: Η διάταξη φωτισμού

Το σύστημα όρασης του da Vinci Si χρησιμοποιεί ένα 3D ενδοσκόπιο με μήκος 12mm ή 8mm, το οποίο διαθέτει είτε ευθεία (0ο), είτε γωνιακή (30^o) άκρη. Το φως από τη διάταξη αποστέλλεται κάτω από τον άξονα του ενδοσκοπίου μέσω οπτικών ινών και προβάλλεται πάνω στο χειρουργικό πεδίο.

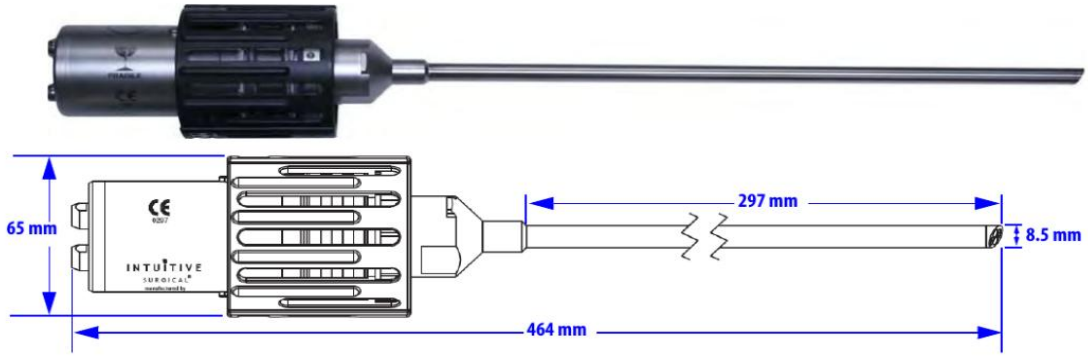
***** Η σύνδεση AV(Audio/Visual) είναι μια υποδοχή λήψης οπτικοακουστικών σημάτων από ηλεκτρονικό εξοπλισμό, ο οποίος παράγει σήματα AV.

Ένα από τα θετικά στοιχεία των οπτικών ινών στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πως η θερμότητα που εκπέμπουν συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του θολώματος του φακού του ενδοσκοπίου. Η εικόνα του βίντεο από το χειρουργικό πεδίο αιχμαλωτίζεται από το ενδοσκόπιο και στέλνεται από αυτό πίσω στην κεφαλή της κάμερας, μέσω του αριστερού και δεξιού

καναλιού. Η κεφαλή της κάμερας συνδέεται με τη μονάδα ελέγχου της κάμερας (CCU), καθώς αι με τη διάταξη φωτός.



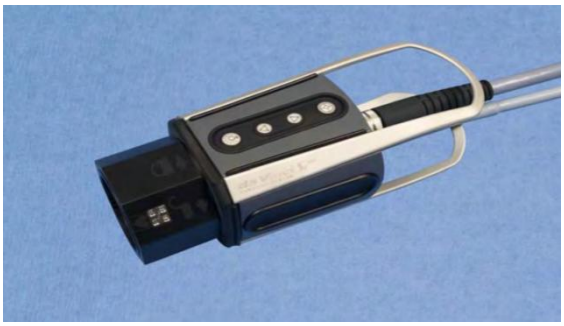
Εικόνα 34: 3D ενδοσκόπιο 12mm



Εικόνα 35: 3D ενδοσκόπιο 8.5mm

- ***Stereo Head Camera***

  Είναι σχεδιασμένη με ένα πεδίο όρασης 60^{o} και μόλις συνδυαστεί με το ενδοσκόπιο της Intuitive Surgical το σύστημα όρασης παρέχει από 6 έως 10 φορές περισσότερο ζουμ κατά τη διάρκεια της επέμβασης.



Εικόνα 36: Η κάμερα του συστήματος

4.4 Οι κινητήρες maxon

Στην «καρδιά» του κάθε βραχίονα βρίσκονται σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC), σχεδιασμένοι και κατασκευασμένοι από την εταιρεία maxon. Οι μηχανικοί έχουν σχεδιάσει πάνω από 30 είδη κινητήρων, συμπεριλαμβανομένων κινητήρων διαμέτρου 25 χιλιοστών (σειρά RE 25), με ή χωρίς κωδικοποιητή ανάδρασης (feedback encoder), κινητήρων διαμέτρου 13 χιλιοστών (σειρά RE 13) που είναι εφοδιασμένοι με γραναζωτούς μειωτήρες διαμέτρου 13 χιλιοστών (σειρά GE 13) και μαγνητικούς κωδικοποιητές διαμέτρου 13 χιλιοστών και κινητήρες διαμέτρου 35 χιλιοστών (σειρά RE 35) με κωδικοποιητές άλλου κατασκευαστή.

Οι κινητήρες της maxon είναι σχεδιασμένοι να έχουν στον στάτορα, αραιής πυκνότητας μαγνήτες και μη σιδηρούχους ρότορες , για να απαλείφεται το φαινόμενο cogging, ειδικά όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες. Αυτό δίνει σε αυτούς τους κινητήρες σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τους κινητήρες συμβατικής σχεδίασης. Οι κινητήρες αυτοί παρέχουν πολύ καλή πυκνότητα ισχύος και ομαλή περιστροφή που είναι πολύ σημαντικό για αυτές τις εφαρμογές. Σύμφωνα με τον Mike Prindiville, διευθυντή του κατασκευαστικού τμήματος, οι κινητήρες της maxon πληρούν συνεχώς τις απαιτήσεις του συστήματος σε απόδοση και σε ποιότητα. Οι κινητήρες της maxon παρέχουν τις απαραίτητες εισόδους και εξόδους για το σύστημα Da Vinci. Με μια σειρά από ελεγκτές ανάδρασης (feedback controllers), οι κινητήρες και οι κωδικοποιητές, λαμβάνουν εισόδους (κινήσεις) από τον χειρουργό, τις επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο μέσω της κονσόλας των ηλεκτρονικών και παρέχουν, σαν έξοδο, σήματα (εντολές κίνησης) στους κινητήρες που κινούν τους βραχίονες. Οι κινητήρες που βρίσκονται στην πλευρά του χειρουργού, ονομάζονται κύριοι (masters) για να διακρίνεται ο διπλός ρόλος τους. Οι δευτερεύοντες κινητήρες ή κινητήρες βραχίονα, απαιτείται να είναι της ίδιας ακρίβειας και επίσης πρέπει να έχουν την δυνατότητα να επανατοποθετούνται, σε περίπτωση που κάποιος βοηθός χειρουργός μετακινεί τα άκρα του συστήματος. Επίσης οι κινητήρες επιδεικνύουν χαμηλή υστέρηση στα άκρα. Το σύστημα Da Vinci, είναι η μόνο εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία, που μπορεί να παρέχει δυνατότητα ανοιχτού χειρουργείου με εξαιρετικό έλεγχο, μεγάλη ελευθερία κινήσεων, μεγάλη ακρίβεια χειρισμών και τρισδιάστατη απεικόνιση, αλλά ταυτόχρονα δίνοντας την δυνατότητα στον χειρουργό να χειρουργεί μέσω πολύ

μικρών σημείων εισόδου, σε πολύ λεπτές επεμβάσεις. Η διαθεσιμότητα των κινητήρων και των λοιπών εξαρτημάτων τα οποία έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας την τελευταία «λέξη» της τεχνολογίας, επιτρέπει σε τέτοια συστήματα, όπως το Da Vinci, να κυκλοφορούν στην αγορά. Οι κινητήρες της maxon επιδεικνύουν υψηλή αξιοπιστία, χαμηλές τριβές και μεγάλο χρόνο ζωής. Κάθε σύστημα Da Vinci, ελέγχεται για κρίσιμα χαρακτηριστικά απόδοσης, όπως τριβές, διάκενα, συμμόρφωση πρωτοκόλλων και η επιτήρηση μεγάλου αριθμού αισθητήρων.

Εικόνα 37: : Οι κινητήρες της maxon

4.5 Software

Δημιουργώντας και εισάγοντας τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα στην αγορά, είναι δυνατόν πλέον να διεξάγονται επεμβάσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια. Επιπλέον, η συνεργασία αυτών των συστημάτων με άλλες προηγμένες ιατρικές συσκευές συντελούν σε μια πολύ ισχυρή πρόοδο σε αυτόν τον τομέα. Το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα da Vinci είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο χειρουργικό master-slave ρομπότ, ωστόσο ακόμα και σήμερα όσο αφορά το software αποτελεί ένα «μαύρο κουτί», καθώς υπάρχει περιορισμένη ροή δεδομένων από το API(Application Programming Interface). Επομένως, η δημιουργία ενός λογισμικού ελέγχου συνδεσιμότητας των χειρουργικών ρομπότ, το οποίο θα αναπτύσσεται με τρόπο ανοιχτού κώδικα θα είναι σε μεγάλο βαθμό επωφελές σε αυτόν τον τομέα. Για αυτό το λόγο μπορούμε να δούμε γενικά τη δομή που έχει το λογισμικό ενός χειρουργικού ρομποτικού συστήματος, καθώς όλα ακολουθούν μια κοινή λογική.

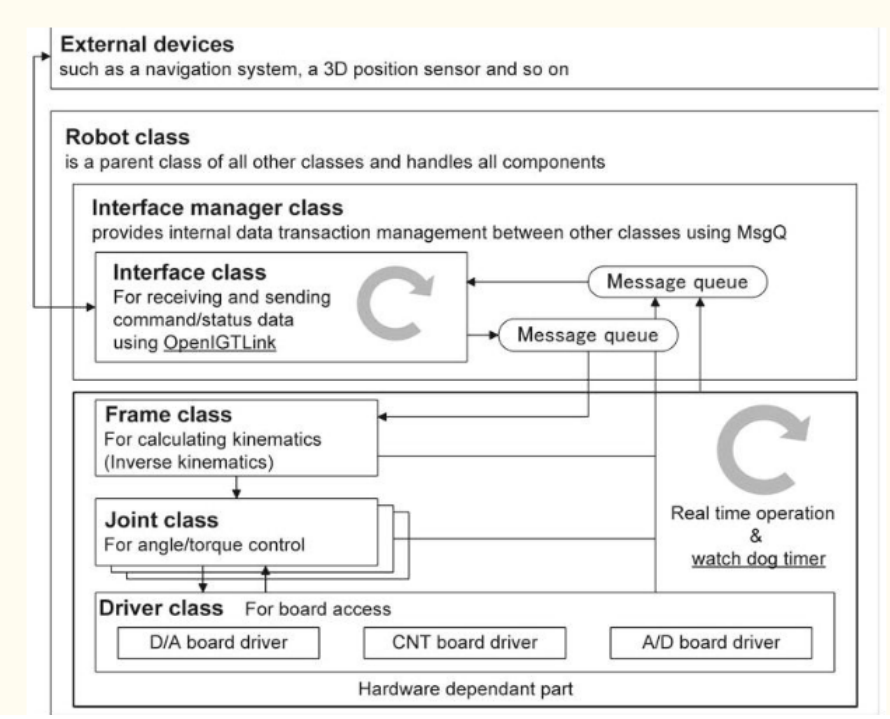
Το λογισμικό ακολουθεί τις παρακάτω λειτουργίες :

- Ανοιχτή πηγή

- Υψηλή συνδεσιμότητα δικτύου
- Ευστάθεια
- Επαναχρησιμοποίηση σε διαφορετικούς τύπους χειρουργικών ρομπότ
- Σχεδιασμός ασφάλειας ως λογισμικό δικτύου σε πραγματικό χρόνο

Αρχιτεκτονική software

Τα λογισμικά, τα οποία είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των ρομποτικών συστημάτων αλληλοεξαρτώνται από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, ο οποίος βασίζεται σε ενεργοποιητές, αισθητήρες και διάφορα είδη εσωτερικών συσκευών. Η δομή ενός λογισμικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικούς τύπους χειρουργικών ρομπότ, ανάλογα με τα εξαρτήματα που διαθέτει. Το λογισμικό που περιγράφεται παρακάτω αποτελείται από μια ιεραρχική δομή που περιλαμβάνει ένα κινηματικό μοντέλο, ένα σύστημα ελέγχου θέσης/δύναμης και επεκτάσεις δικτύου.



Εικόνα 38: Η γενική φιλοσοφία των software των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων

Στην αρχιτεκτονική του λογισμικού ορίζεται μια κλάση ρομπότ. Αυτή η κλάση αποτελείται από μια κατηγορία διαχειριστή διεπαφών (interface manager class), μια

κλάση πλαισίου(frame class), μια ή και περισσότερες κλάσεις αρθρώσεων (joint class) και μια κλάση με πρόγραμμα καθοδήγησης(driver class). Η κλάση του διαχειριστή διεπαφών ασχολείται με όλες τις ανταλλαγές δεδομένων του δικτύου σε σχέση με τις εξωτερικές συσκευές. Εκεί μπορούν να δηλωθούν και να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές κλάσεις ανάλογα με τον αριθμό των εξωτερικών συσκευών, με τις οποίες πρέπει να επικοινωνήσει το σύστημα. Αυτό πρόκειται και για το κύριο κομμάτι του λογισμικού, το οποίο μπορεί και χρησιμοποιείται σε διάφορους τύπους ρομπότ, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κλάσεις, οι οποίες διαφοροποιούνται με βάση τη δομή του ρομπότ. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο είναι η C++.

4.6 Τι συμβαίνει σε περίπτωση βλάβης του da Vinci

Όπως συμβαίνει σε κάθε σύστημα, έτσι και στο da Vinci, πρωταρχική σημασία έχει το θέμα της πρόβλεψης, όσον αφορά την περίπτωση κάποιας βλάβης και γενικά το θέμα της ασφάλειας. Το da Vinci σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να κάνει καμία κίνηση από μόνο του, καθώς οποιαδήποτε κίνηση, την οποία εκτελεί, είναι αποτέλεσμα της αντίστοιχης κίνησης που προέρχεται από την κίνηση του χεριού του χειρουργού. Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το σύστημα μπορεί να είναι τόσο ασφαλές, όσο και ο χειρουργός που πραγματοποιεί την εγχείριση. Για αυτό το λόγο οι χειρουργοί περνάνε μια πολύ αυστηρή διαδικασία, προκειμένου να είναι πλήρως ικανοί να χειριστούν ένα τέτοιο σύστημα.

Σε περίπτωση όμως κάποιας βλάβης, ακολουθείτε ένα πρωτόκολλο, όπως αυτά που υπάρχουν και στα αεροσκάφη. Στην περίπτωση που το χειρουργικό ρομποτικό σύστημα σταματήσει να λειτουργεί, απομακρύνεται από το χειρουργικό πεδίο από την ομάδα που βρίσκεται δίπλα στον ασθενή και η επέμβαση συνεχίζεται είτε κανονικά λαπαροσκοπικά, είτε με κανονική ανοιχτή εγχείριση, ανάλογα με την περίπτωση του ασθενούς, με μια ολιγόλεπτη καθυστέρηση. Αυτή η περίπτωση βέβαια είναι εξαιρετικά σπάνια με τα μέχρι τώρα δεδομένα.

4.7 Ειδικότητες που πραγματοποιούνται ρομποτικές επεμβάσεις

- Γενική Χειρουργική
- Γυναικολογία
- Ουρολογία
- Καρδιοχειρουργική - Θωρακοχειρουργική
- Χειρουργική ενδοκρινών αδένων
- Ωτορινολαρυγγολογία

4.7.1 Επεμβάσεις που πραγματοποιούνται σε κάθε τομέα

Στη Γενική Χειρουργική πραγματοποιούνται ρομποτικά οι εξής επεμβάσεις:

- Διαφραγματοκήλη
- Γαστροοισοφαγική Παλινδρόμηση
- Αποκατάσταση Αχαλασίας Οισοφάγου
- Αφαίρεση Χολής
- Επέμβαση για κήλη
- Εκτομές κύστεων, ήπατος, παγκρέατος,σπλήνας
- Αφαίρεση κύστεων ή ογκιδίων στο ήπαρ
- Αποκατάσταση βουβωνοκήλης
- Κολεκτομή
- Σπληνεκτομή
- Παγκρεατεκτομή
- Γαστρεκτομή
- Επέμβαση σκωληκοειδίτιδας
- Επέμβαση για κήλη-βουβωνοκήλη
- Κιρσοκήλη
- Επεμβάσεις νοσογόνου παχυσαρκίας.

Στον τομέα της γυναικολογικής χειρουργικής πραγματοποιούνται ρομποτικά οι εξής επεμβάσεις:

- Αφαίρεση κύστεων ωοθηκών

- Αφαίρεση Ινομυωμάτων
- Αφαίρεση σαλπίγγων
- Αφαίρεση εξωμητρίου κύστεως
- Λεμφαδενικός καθαρισμός
- Υστερεκτομή

Στον τομέα της ουρολογίας πραγματοποιούνται ρομποτικά οι εξής επεμβάσεις:

- Ριζική προστατεκτομή
- Αφαίρεση κύστεων νεφρού
- Μερική νεφρεκτομή
- Ριζική νεφρεκτομή
- Λεμφαδενεκτομή
- Πυελοπλαστική
- Ριζική κυστεκτομή
- Αποκατάσταση κιρσοκήλης

Στον τομέα της Καρδιοχειρουργικής-Θωρακοχειρουργικής πραγματοποιούνται ρομποτικά οι εξής επεμβάσεις:

- Ολική ενδοσκοπική εγχείριση μοσχεύματος by-passστεφανιαίας αρτηρίας
- Αποκατάσταση μεσοκολπικής επικοινωνίας
- Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας
- Αφαίρεση καρδιακών όγκων

Στον τομέα της Αγγειοχειρουργικής πραγματοποιούνται ρομποτικά οι εξής επεμβάσεις:

- Αγγειοχειρουργική Αποκατάσταση ανευρύσματος κοιλιακής αορτής

4.7.2 Επεμβάσεις που έχουν γίνει ρομποτικά

- Παράκαμψη στεφανιαίας αρτηρίας
- Κοπή καρκινικού ιστού από ευαίσθητα μέρη του σώματος, όπως αιμοφόρα αγγεία, νεύρα ή σημαντικά όργανα.

- Αφαίρεση της χοληδόχου κύστης.
- Αντικατάσταση ισχίου
- Υστερεκτομή
- Αφαίρεση νεφρών
- Μεταμόσχευση νεφρών
- Επισκευή μητρικών βαλβίδων

4.8 Πλεονεκτήματα του ρομποτικού συστήματος da Vinci Si

Με τον σχεδιασμό του χειρουργικού ρομποτικού συστήματος da Vinci, η χειρουργική αναβαθμίστηκε σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Αυτό το σύστημα έδωσε πάρα πολλά πλεονεκτήματα τόσο στον χειρουργό κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων, όσο και στον ασθενή κατά την αντιμετώπιση της ασθένειας και της μετέπειτα νοσηλείας του. Παρακάτω αναφέρονται αυτά τα πλεονεκτήματα του συστήματος da Vinci:

4.8.1 Πλεονεκτήματα χειρουργού

Ο χειρουργός έχει τα εξής πλεονεκτήματα με το σύστημα, σε σχέση με άλλες χειρουργικές μεθόδους:

- Μεγαλύτερη χειρουργική ακρίβεια: Δίνεται η δυνατότητα ενός πολύ μεγαλύτερου εύρους κινήσεων από αυτό του ανθρώπινου καρπού. Φιλτράρεται κάθε τρέμουλο του χεριού άμεσα και οι κινήσεις γίνονται πιο πλαστικές και πιο κλιμακωτές δίνοντας έτσι περισσότερη βαρύτητα στην ακρίβεια και της φυσική ροή των κινήσεων των ρομποτικών εργαλείων.
- Τρισδιάστατη απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου: Υψηλή ευκρίνεια και μεγέθυνση της εικόνας του χειρουργικού πεδίου κατά 10 με 15 φορές, επιτρέπουν στον χειρουργό να έχει ένα τέτοιο επίπεδο μεγέθυνσης και λεπτομέρειας πολύ ανώτερο από αυτό που προσφέρει η ανοιχτή χειρουργική επέμβαση.
- Εύκολος και άνετος χειρισμός των χειρουργικών εργαλείων, καθώς και απόσβεση του τρέμουλου των χεριών: Δίνει τη δυνατότητα της διαισθητικής κίνησης, εξασφαλίζοντας τον έλεγχο των κινήσεων των ρομποτικών εργαλείων επιτρέποντας στον χειρουργό να χρησιμοποιεί τις φυσικές κινήσεις,

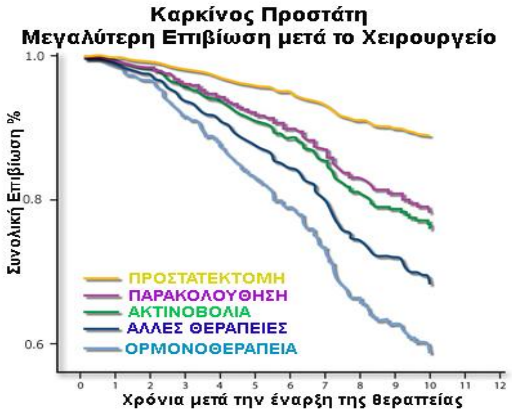
όπως στην παραδοσιακή χειρουργική. Η διαισθητική αυτή ικανότητα χαρίζει μια προσαυξημένη ακρίβεια, στην ήδη επιδεξιότητα και δεξιοτεχνία που κατέχει ο χειρουργός. Αυτή η τεχνολογική δυνατότητα διατηρεί την αντίστοιχη ικανότητα ευθυγράμμισης του ανθρώπινου ματιού, χεριού και του οργάνου. Επιπροσθέτως, με τη χρήση των χειριστηρίων αυτών οι κινήσεις μεταφράζονται σε πραγματικό χρόνο στους βραχίονες, σε αντίθεση με τη λαπαροσκοπική διαδικασία, όπου ο χειρουργός πρέπει να κινεί τα όργανα στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που θέλει να κινηθούν.

4.8.2 Πλεονεκτήματα ασθενή

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που χαίρουν οι χειρουργοί στη διαδικασία μιας επέμβασης, τα περισσότερα πλεονεκτήματα αφορούν τους ασθενής και αναφέρονται παρακάτω:

- Μικρότερες τομές: Από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα είναι πως σχηματίζονται πλέον περίπου 4 ή 5 τομές, ανάλογα την επέμβαση, του 1cm, και όχι οι μεγάλες τομές, που έκαναν ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα να επουλωθούν και ήταν ένα δυσάρεστο αισθητικό αποτέλεσμα.
- Μικρότερη απώλεια αίματος και λιγότερες ανάγκες μετάγγισης: Οι μικρότερες τομές οδήγησαν και σε λιγότερη απώλεια αίματος κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων, πράγμα που αποτελεί επίσης μεγάλο όφελος για τον οργανισμό του ασθενή.
- Μειωμένος κίνδυνος μολύνσεων κατά τη διάρκεια της επέμβασης: Με τις μικρότερες τομές μειώθηκε και ο κίνδυνος των μολύνσεων, που μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια μιας ρομποτικής χειρουργικής επέμβασης, σε σχέση με την ανοιχτή εγχείριση.
- Ο μετεγχειρητικός πόνος ελαττώνεται: Με τη δημιουργία μικρότερων τομών, δηλαδή και μικρότερες πληγές, έχει μειωθεί ο μετεγχειρητικός πόνος.
- Συντομότερο χρονικό διάστημα ανάρρωσης: Ο ασθενής είναι έτοιμος να φύγει από το νοσοκομείο από το πρώτο κιόλας 24ωρο, ανάλογα βέβαια και την επέμβαση στην οποία έχει υποβληθεί.

Από τα σημαντικότερα όμως πλεονεκτήματα, που μπορεί κάποιος να διακρίνει, όσον αφορά τη ρομποτική χειρουργική με το σύστημα daVinci, είναι η αποτελεσματικότητα που έχει σε σύγκριση με άλλες μεθόδους καταπολέμησης διαφόρων προβλημάτων υγείας, και κατά κύριο, αυτό του καρκίνου. Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζεται η επί της εκατό επιβίωση των ασθενών με καρκίνο στον προστάτη με το πέρασμα των ετών.



Εικόνα 39: Διάγραμμα σύγκρισης αποτελεσμάτων της καταπολέμησης του καρκίνου από τη ρομποτική και άλλων μεθόδων

Όπως είναι γνωστό, παγκοσμίως, οι επιστήμονες προσπαθούν να αναπτύξουν άλλες μεθόδους για την κατανίκηση του καρκίνου, καθώς οι χημειοθεραπείες και οι ακτινοβολίες, καταπολεμούν την ασθένεια, δημιουργώντας όμως περαιτέρω προβλήματα στον οργανισμό του ασθενούς. Μέχρι στιγμής η ρομποτική χειρουργική είναι η θεραπεία με το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης μετά την εξάλειψη του καρκίνου.

4.9 Μειονεκτήματα του ρομποτικού συστήματος da Vinci Si

Όπως σε κάθε περίπτωση, έτσι και στη ρομποτική χειρουργική επέμβαση με το σύστημα da Vinci, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα στη μέθοδο. Τρία είναι τα βασικότερα προβλήματα, που αντιμετωπίζει μέχρι στιγμής η μέθοδος αυτή:

- Κόστος: Το μεγαλύτερο μειονέκτημα μιας ρομποτικής εγχείρισης είναι το κόστος. Το ρομποτικό σύστημα da Vinci κοστίζει περίπου 1,3 εκατομμύρια ευρώ, ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησής του αγγίζει τα 300.000 ευρώ,

ανεξαρτήτως της χρήσης του. Επιπλέον τα εργαλεία που χρησιμοποιεί το σύστημα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκεκριμένο αριθμό επεμβάσεων και μετά απαιτείται η αγορά καινούργιων. Γενικά το κόστος της κάθε επέμβασης είναι αρκετά μεγάλο.

- Εκπαίδευση χειρουργών: Η εμπειρία που έχουν οι περισσότεροι χειρουργοί πάνω στις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις, δεν είναι αρκετή, ώστε να μπορέσουν να εκτελέσουν μια ρομποτική επέμβαση. Χρειάζεται μια πολύ εξειδικευμένη εκπαίδευση, η οποία επίσης κοστίζει αρκετά και απαιτεί αρκετό χρόνο.
- Απώλεια της αίσθησης της αφής: Ένα μεγάλο μείον για τους χειρουργούς είναι πως δεν έχουν πλήρως την αίσθηση της αφής κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων. Αυτό είναι ένα πρόβλημα που αναμένεται να επιλυθεί μέσα στα επόμενα χρόνια.

4.10 Ρομποτική βαριατρική εγχείριση

Στον σύγχρονο δυτικό κόσμο ολοένα και αυξάνεται το ποσοστό των παχύσαρκων ανθρώπων. Τα τελευταία 35 χρόνια μάλιστα το ποσοστό των παχύσαρκων ανθρώπων έχει διπλασιαστεί σε παραπάνω από 70 χώρες. Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες περίπου 2,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι θεωρούνται υπέρβαροι ή παχύσαρκοι. Ουσιαστικά πρόκειται για σχεδόν το 30% του παγκόσμιου πληθυσμού. Σε αυτόν τον αριθμό περιλαμβάνονται περίπου 108 εκατομμύρια παιδιά και πάνω από 600 εκατομμύρια ενήλικες.

Πολλές περιπτώσεις παχύσαρκων ανθρώπων χρίζουν μιας τέτοιας εγχείρισης προκειμένου να αποφευχθούν περισσότερα προβλήματα υγείας και να καταπολεμηθούν τα ήδη υπάρχοντα.

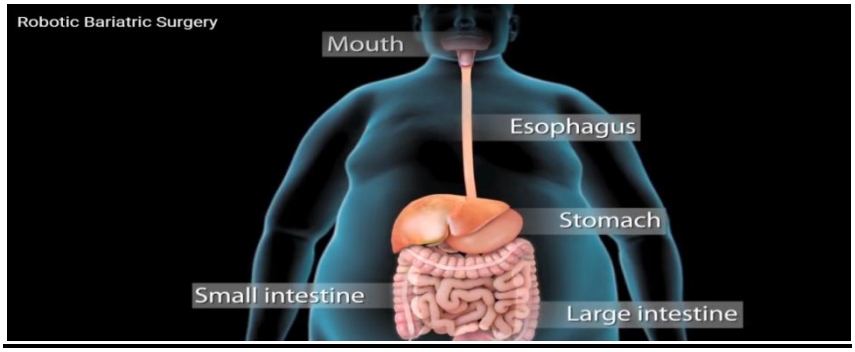
Προκειμένου ένας ασθενής να χαρακτηριστεί ως κατάλληλος για τη συγκεκριμένη εγχείριση, πρέπει να πληροί κάποιο από τα παρακάτω κριτήρια:

- Δεν μπορεί να χάσει βάρος και να το διατηρήσει
- Ο Δείκτης Μάζας Σώματός (BMI) του είναι μεγαλύτερος από 40
- Ο Δείκτης Μάζας Σώματός (BMI) του είναι μεγαλύτερος από 35, σε περιπτώσεις που απειλείται σοβαρά η υγεία, όπως καρδιακά προβλήματα ή διαβήτης

- Το βάρος του είναι 45 κιλά παραπάνω από το ιδανικό του βάρος (IBW)

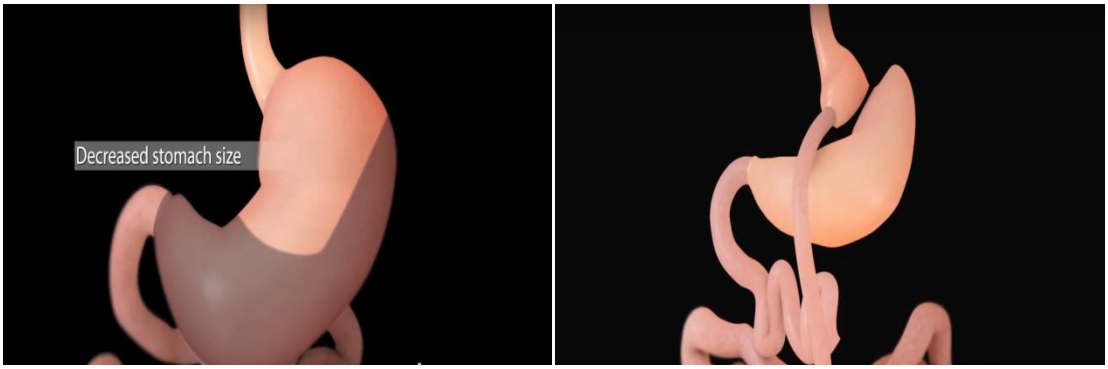
Η συγκεκριμένη εγχείρηση αφορά τα όργανα που παίρνουν μέρος στη διαδικασία της πέψης. Το πεπτικό σύστημα αφορά τα παρακάτω σημεία του σώματος, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες:

- Σιελογόνοι αδένες, οι οποίοι βρίσκονται στο στόμα
- Οισοφάγος
- Στομάχι
- Ήπαρ
- Πάγκρεας
- Λεπτό έντερο
- Παχύ έντερο



Εικόνα 40: Πεπτικό σύστημα

Η εγχείριση αυτή έχει ως στόχο να χάσει ο ασθενής βάρος μειώνοντας το μέγεθος του στομαχιού, έτσι ώστε να χωράει λιγότερη ποσότητα φαγητού και να δίνει την αίσθηση στον άνθρωπο ότι έχει χορτάσει πιο γρήγορα.



Εικόνα 41: Το στομάχι πριν και μετά τη βαριατρική επέμβαση

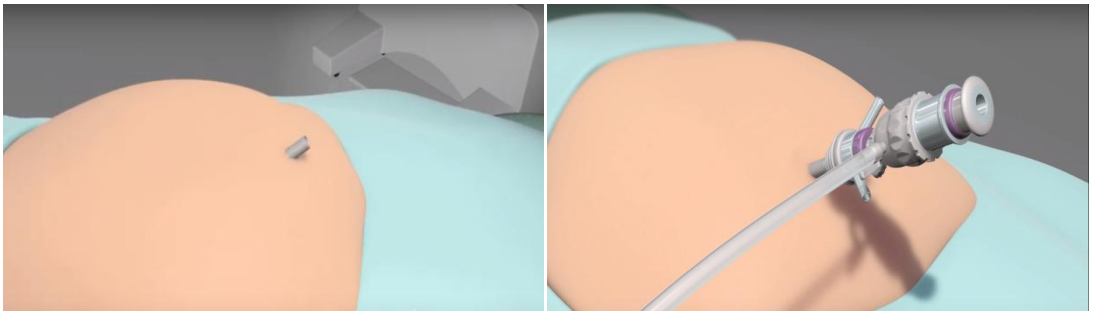
Η διαδικασία της βαριατρικής εγχείρισης μπορεί να περιλαμβάνει το bypass στο λεπτό έντερο, δηλαδή να αφαιρεθεί ένα μέρος του λεπτού εντέρου για να μειωθεί η διαδρομή του φαγητού, μέσω του πεπτικού συστήματος , όπως και ο αριθμός των θερμίδων από το φαγητό που απορροφώνται.

Η μέθοδος αυτή οδηγεί σε απώλεια από 65-85% του παραπάνω βάρους και στην υποχώρηση παθήσεων που έχουν σχέση με την παχυσαρκία, όπως υπέρταση, διαβήτης τύπου ΙΙ και το σύνδρομο άπνοιας στον ύπνο.

Η διαδικασία της ρομποτικής βαριατρικής εγχείρησης

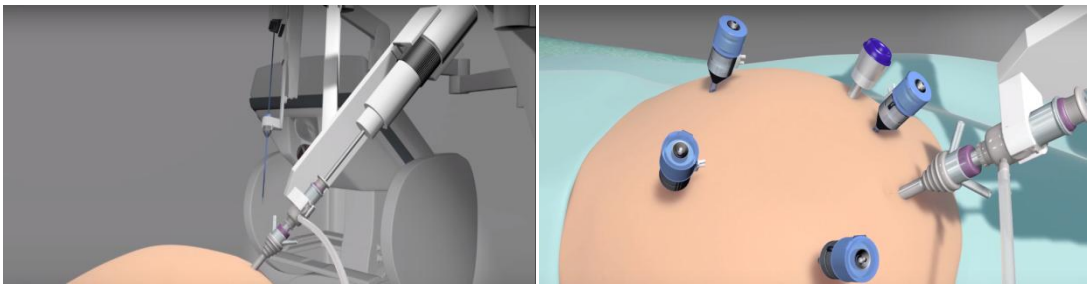
Ο ασθενής όπως και σε όλες τις εγχειρίσεις, κατά βάση, βρίσκεται υπό ολική αναισθησία. Ο μέσος εγχειρητικός χρόνος κυμαίνεται σε δύο με τέσσερις ώρες και ο μέσος χρόνος νοσηλείας έχει πλέον μειωθεί στις μια με δύο μέρες.

Αρχικά ο χειρουργός κάνει μια μικρή τομή κοντά στον αφαλό και εισέρχεται ένας πλαστικός σωλήνας, ο οποίος διοχετεύει διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο είναι ένα αδρανές αέριο, στην κοιλιά, δημιουργώντας έτσι τον κατάλληλο χώρο στον χειρουργό να βλέπει και να κινεί τα χειρουργικά εργαλεία.



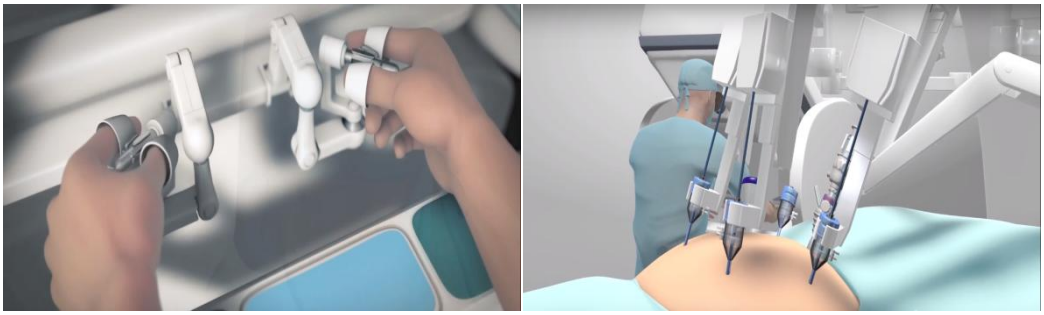
Εικόνα 42: Εισαγωγή πλαστικού σωλήνα για το αδρανές αέριο

Στη συνέχεια μιας υψηλής ευκρίνειας κάμερα εισέρχεται στην είσοδο αυτού του σωλήνα. Ο χειρουργός θα κάνει επιπρόσθετες τομές, σε απόσταση 8cm η καθεμία, για τα υπόλοιπα ρομποτικά εργαλεία που θα χρειαστεί κατά τη διάρκεια της επέμβασης, τα οποία εισέρχονται στο σώμα του ασθενούς με τη βοήθεια του προσωπικού που υπάρχει όλη την ώρα δίπλα από το χειρουργικό τραπέζι και χειρίζεται το τροχήλατο με τους βραχίονες. Σε αντίθεση με τα λαπαροσκοπικά εργαλεία, αυτά τα ρομποτικά εργαλεία γυρίζουν 360^{O} και έχουν περισσότερη ευκινησία από τον ανθρώπινο καρπό.



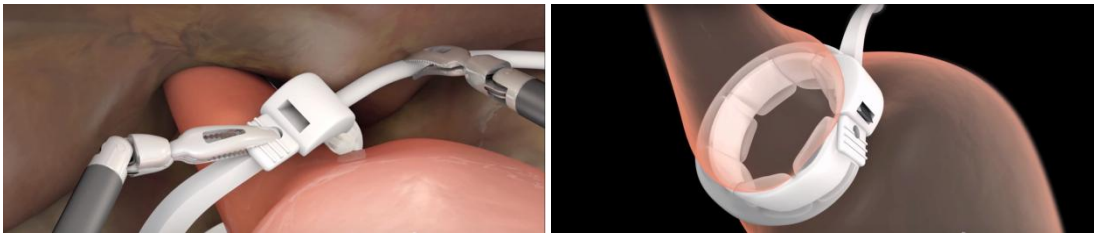
Εικόνα 43: Είσοδος της κάμερας και δημιουργία οπών για την επέμβαση

Ο χειρουργός καθισμένος σε μια κονσόλα καθοδηγεί τους ρομποτικούς βραχίονες με τα ειδικά χειριστήρια και με τους ποδοδιακόπτες, ενώ ένας υπολογιστής μεταφράζει τις ακριβής κινήσεις στα χειρουργικά εργαλεία. Την ίδια στιγμή ένα υψηλής ευκρίνειας σύστημα όρασης του παρέχει μια μεγεθυμένη τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου.



Εικόνα 44: Ειδικά χειριστήρια και οι βραχίονες κατά τη διάρκεια της επέμβασης

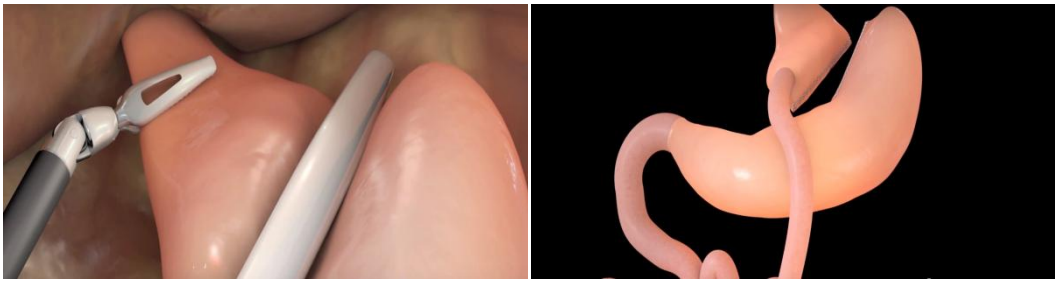
Στις βαριατρικές του χειρουργού είναι να τοποθετήσει μια περιοριστική ζώνη γύρω από το στομάχι, έτσι ώστε να περιορίζεται η ποσότητα του φαγητού, που μπορεί να χωρέσει το στομάχι. Κάτω από την κοιλιά ακριβώς, ένας σωλήνας θα συνδέσει την ζώνη αυτή με την οπή. Στη συνέχεια ο χειρουργός θα εγχύσει αλατούχο διάλυμα μέσα σε αυτόν τον σωλήνα για να προσαρμόσει την ταινία κατάλληλα με την περίπτωση του ασθενούς, έτσι ώστε να επιταχύνει την απώλεια του βάρους και να μειώσει άλλες παρενέργειες.



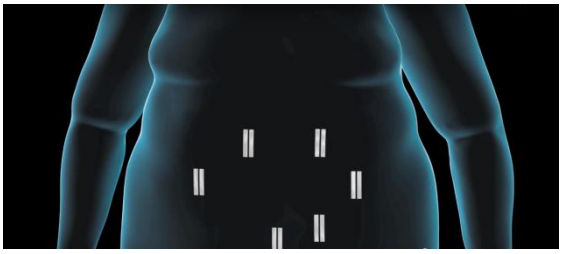
Εικόνα 45: Διαδικασία γαστρικής παράκαμψης

Στη διαδικασία της γαστρικής παράκαμψης, ο χειρουργός δημιουργεί μια μικρή σακούλα στο στομάχι του ασθενή και στη συνέχεια το διαχωρίζει από το υπόλοιπο, όπως διαχωρίζει και το πάνω τμήμα του λεπτού εντέρου από το υπόλοιπο. Στη συνέχεια συνδέει το κάτω τμήμα του λεπτού εντέρου με τη μικρή σακούλα που δημιούργησε με το διαχωρισμό του στομαχιού και το πάνω τμήμα του λεπτού εντέρου θα συνδεθεί σε ένα άλλο τμήμα του κάτω λεπτού εντέρου. Αυτή η σύνδεση θα επιτρέψει στα χωνευτικά υγρά του πεπτικού συστήματος, του ήπατος και της χοληδόχου κύστης να βοηθάει τον ασθενή να χωνεύει κανονικά την τροφή του. Κατά το τέλος της διαδικασίας, οι τομές κλείνονται με συρραπτικά και χειρουργικές κόλλες

και χορηγούνται στον ασθενή η απαραίτητη φαρμακευτική αγωγή για τον πόνο που θα ακολουθήσει τη χειρουργική επέμβαση.



Εικόνα 46: Τελικές εικόνες μετά τη διαδικασία



Εικόνα 47: Οι τομές μετά την επέμβαση

4.11 Ρομποτική ριζική προστατεκτομή

Ο πρώτος σε συχνότητα καρκίνος στους άνδρες είναι αυτός του προστάτη. Ένας στους δέκα άνδρες ηλικίας από 45 έως 89 εμφανίζει αυτή την κακοήθεια, η διάγνωση της οποίας συνήθως αιφνιδιάζει, καθώς εμφανίζεται σε άνδρες χωρίς συμπτώματα και προβλήματα υγείας , οι οποίοι είναι πλήρως λειτουργικοί.

Ο εντοπισμένος καρκίνος προστάτη θεραπεύεται ολοκληρωτικά και ο ασθενής ακολουθώντας τις ιατρικές οδηγίες μπορεί να ζήσει μια φυσιολογική ζωή όπως και πριν την διάγνωση της κακοήθειας. Η συχνότερη θεραπεία για αυτό του είδους τον καρκίνο είναι η ριζική προστατεκτομή, δηλαδή η ολική αφαίρεση του προστάτη αδένα και κατ’ επέκταση η αφαίρεση του κακοήθους όγκου.

Τα τελευταία χρόνια είναι πραγματικά αξιοσημείωτη η ευρεία εξάπλωση της συγκεκριμένης μεθόδου (πάνω από 5000 παγκοσμίως), πράγμα το οποίο οφείλεται κυρίως στη διαφύλαξη της στυτικής λειτουργίας και στην αποφυγή της ακράτειας μετεγχειρητικά.

Εικόνα 48: Καρκίνος στον προστάτη

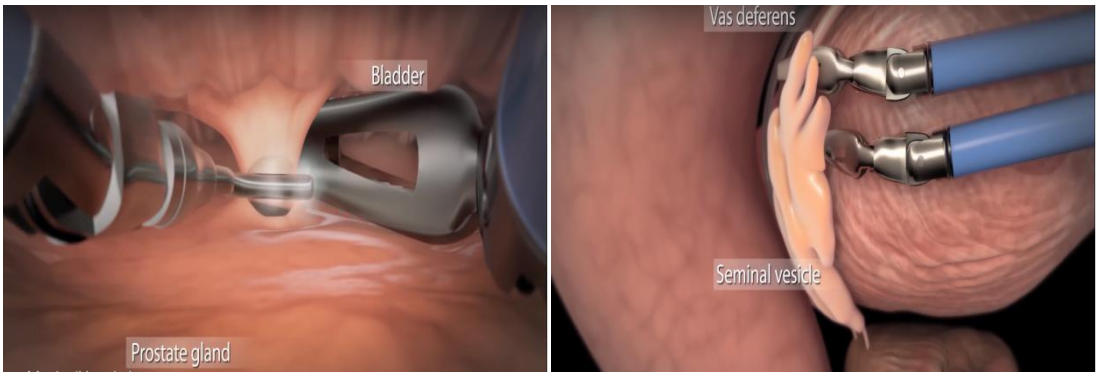
Η διαδικασία της ρομποτικής ριζικής προστατεκτομής

Όπως συμβαίνει και με όλες τις χειρουργικές επεμβάσεις, έτσι και η ρομποτική ριζική προστατεκτομή πραγματοποιείται υπό ολική αναισθησία. Ανάλογα με την περίπτωση του ασθενή ο χρόνος διάρκειας της επέμβασης διαφέρει, όμως με βάση το μέσο όρο η διάρκεια κυμαίνεται από μιάμιση έως τρεις ώρες.

Στην αρχή της εγχείρισης δημιουργούνται πέντε μικρές οπές, μικρότερες του ενός εκατοστού, στο κάτω μέρος της κοιλιάς, όπου εκεί περνούν οι ειδικοί σωληνίσκοι ή αλλιώς οι λεγόμενοι τροκάρ. Αυτές οι οπές επιτρέπουν την γρήγορη και σχετικά εύκολη είσοδο και έξοδο των λαπαροσκοπικών και ρομποτικών εργαλείων στο εσωτερικό της κοιλιάς του ασθενούς. Στη συνέχεια γεμίζεται η κοιλιά του ασθενούς με διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο είναι αδρανές αέριο, δημιουργώντας έτσι ένα πιο ευρύχωρο πεδίο μέσα στο σώμα του ασθενούς στον χειρουργό, προκειμένου να μπορεί να βλέπει μέσα στον χώρο καλύτερα, αλλά και τα χειρουργικά εργαλεία να μπορούν να κινηθούν πιο άνετα χωρίς τον φόβο μήπως τραυματιστεί κάποιο άλλο όργανο. Αυτό το αδρανές αέριο με το τέλος του χειρουργείου εκκενώνεται από την κοιλιά.

Εικόνα 49: Πλαστικός σωλήνας αδρανούς αερίου-κάμερας και οπές για την επέμβαση

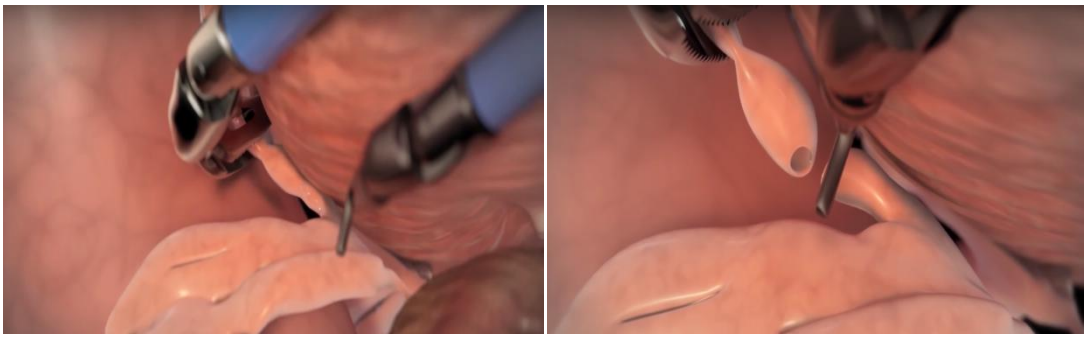
Πρόκειται για μια πολύ λεπτή εγχείριση κατά την οποία ο χειρουργός χειρίζεται τους τρεις βραχίονες για να καταφέρει να εκτελέσει με ακρίβεια, λεπτότητα και σταθερότητα τον διαχωρισμό των ιστών, της αιμόστασης, της κοπής και της συρραφής, με την ίδια δεξιότητα που μπορεί να το κάνει το ανθρώπινο χέρι. Αρχικά απελευθερώνεται ο προστάτης από την ουροδόχο κύστη και την ουρήθρα. Εδώ θα κριθεί, ανάλογα με την έκταση του καρκίνου και την κρίση του χειρουργού, η διατήρηση των λεπτών στυτικών νεύρων, με σκοπό μετά το χειρουργείο να επανέλθουν όλες οι λειτουργίες φυσιολογικά.



Εικόνα 50: Αφαίρεση καρκίνου από τον προστάτη

Στην περίπτωση που χρειάζεται να γίνει μια καλύτερη εκτίμηση της εξάπλωσης του όγκου, αφαιρούνται και οι πυελικοί λεμφαδένες, οι οποίοι μπορεί να υπάρχει περίπτωση να έχουν προσβληθεί και αυτοί από καρκίνο και στη συνέχεια συρράπτεται η ουροδόχος κύστη με την ουρήθρα για την αποκατάσταση της συνέχειας της αποχέτευσης των ούρων. Κατά τη διάρκεια της εκτομής του προστάτη, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη στα λεπτεπίλεπτα στυτικά νεύρα και

στους μυς, που ελέγχουν τη στυτική λειτουργία και την εγκράτεια των ούρων, μειώνεται η θερμική ενέργεια στο ελάχιστο.



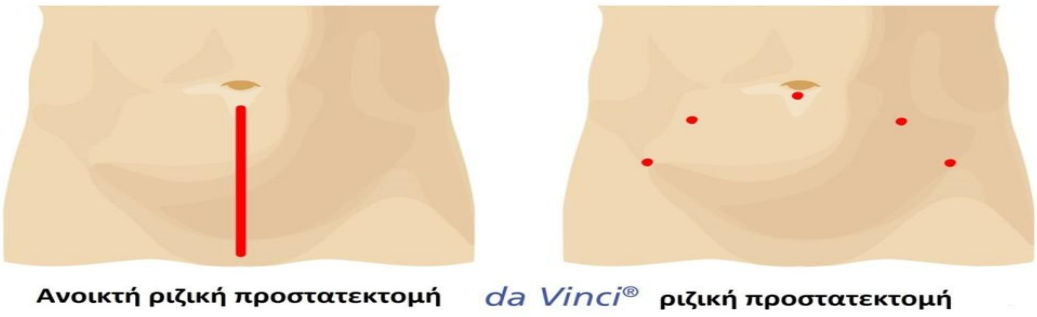
Εικόνα 51: Αφαίρεση λεμφαδένων της περιοχής

Όταν ο προστάτης και οι λεμφαδένες, που έχουν προσβληθεί από καρκίνο απελευθερωθούν από τους τριγύρω ιστούς, εσωκλείονται αμέσως σε έναν πλαστικό σάκο, ο οποίος αφαιρείται κατά το τέλος της χειρουργικής επέμβασης. Κάποια από τις οπές, που ήδη έχουν δημιουργηθεί, επεκτείνεται ανάλογα, προκειμένου να χωρέσει να περάσει ο σάκος ανέπαφος, έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να κομματιαστεί ο προστάτης και φυσικά να μην διασκορπίζονται καρκινικά κύτταρα. Μία λεπτή παροχέτευση εξέρχεται δια μέσου μια από τις οπές των βραχιόνων και τοποθετείται στην περιοχή της επέμβασης, έτσι ώστε τα υγρά της επέμβασης να εκκενωθούν. Εκτός από την παροχέτευση τοποθετείται κι ένας καθετήρας από την ουρήθρα έως την ουροδόχο κύστη για την γρήγορη επούλωση της αναστόμωσης, δηλαδή τη συρραφή ανάμεσα στην κύστη και την ουρήθρα. Στο τέλος οι οπές, που έχουν δημιουργηθεί, μαζί και η τομή από την οποία περνάει ο σάκος με τον προστάτη και τους λεμφαδένες, συρράπτονται με τεχνικές πλαστικής χειρουργικής για την ύπαρξη πιο μικρών ουλών. Οι πληγές από την επέμβαση επουλώνονται πάρα πολύ γρήγορα και ένα μήνα περίπου μετά την επέμβαση φαίνονται ελάχιστα.

Πλεονεκτήματα ρομποτικής ριζικής προστατεκτομής σε σύγκριση με την ανοιχτή χειρουργική διαδικασία

Η ρομποτική ριζική προστατεκτομή παρέχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ανοιχτή χειρουργική, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Περισσότερες πιθανότητες αφαίρεσης του όγκου με μεγάλη ακρίβεια.
- Ταχύτερη επιστροφή της εγκράτειας των ούρων
- Ταχύτερη επιστροφή της στυτικής λειτουργίας
- Μείωση του χρόνο νοσηλείας
- Μειωμένη απώλεια αίματος και λιγότερος πόνος
- Μικρότερος κίνδυνος μόλυνσης
- Μικρότερες τομές, οπότε υπάρχει κι ένα πιο καλό αισθητικά αποτέλεσμα σε σύγκριση με τις μεγάλες τομές.



Εικόνα 52: Σύγκριση τομών ανοιχτής και ρομποτικής επέμβασης

4.12 Ρομποτική υστερεκτομή

Η υστερεκτομή είναι η χειρουργική επέμβαση κατά την οποία ο χειρουργός αφαιρεί τμήμα ή ολόκληρη τη μήτρα. Πρόκειται για τη δεύτερη πιο συχνή επέμβαση που πραγματοποιείται στις γυναίκες μετά την καισαρική. Η υστερεκτομή μπορεί να είναι είτε ολική, κατά την οποία αφαιρείται ο τράχηλος, είτε υφολική, κατά την οποία δεν αφαιρείται. Πρόκειται για μια πολύ σοβαρή επέμβαση για αυτό και αν μια γυναίκα βρίσκεται στα αρχικά στάδια του καρκίνου, προτείνονται αρχικά εναλλακτικές μέθοδοι.

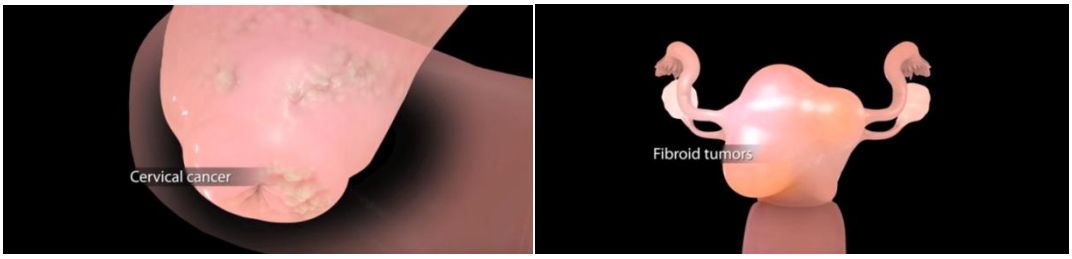
Εικόνα 53: Σημείο, όπου εκτελείται η υστερεκτομή

Όπως φαίνεται και στις εικόνες, οι μορφές του καρκίνου που μπορεί να εμφανίσει μια γυναίκα έτσι ώστε να χρειαστεί να υποβληθεί, ανάλογα φυσικά και με το στάδιο το οποίο βρίσκεται, σε ρομποτική υστερεκτομή είναι οι εξής:

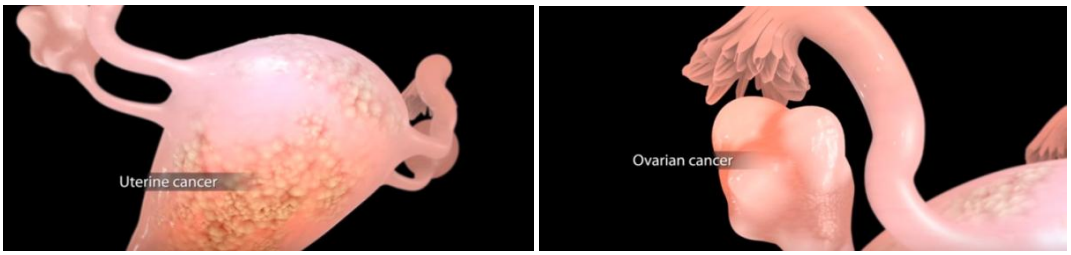
- Καρκίνος του τραχήλου της μήτρας: Μετά τον καρκίνο της ωοθήκης, ο καρκίνος του τραχήλου της μήτρας είναι ο δεύτερος συχνότερος καρκίνος των γενετικών οργάνων της γυναίκας. Αυτής της μορφής ο καρκίνος συνήθως παρουσιάζεται στις γυναίκες, με το μέσο όρο ηλικίας να είναι γύρω στα 52 χρόνια. Ο τράχηλος της μήτρας είναι το σημείο που βρίσκεται στο κάτω μέρος της μήτρας και ενώνει τον κόλπο με αυτή. Ο καρκίνος αυτός εκδηλώνεται, όταν τα κύτταρα, που απαρτίζουν τον τράχηλο αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται άναρχα και δημιουργείται ένας νέος ιστός, ο όγκος δηλαδή της περιοχής, είτε είναι καλοήθης, είτε κακοήθης. Οι συχνότερες μορφές του καρκίνου είναι ο επιθηλιακός καρκίνος, που βρίσκεται στο εξωτερικό μέρος του τραχήλου και αποτελεί το 90% των περιπτώσεων και το αδενοκαρκίνωμα, το οποίο σχηματίζεται στο εσωτερικό μέρος και αποτελεί το 10% των περιπτώσεων.
- Καρκίνος της μήτρας: Πρόκειται για τον τέταρτο κατά σειρά συνήθη καρκίνο, που αντιμετωπίζουν οι γυναίκες. Περίπου το 80% των καρκίνων της μήτρας προέρχονται από το ενδομήτριο ή το τοίχωμα της μήτρας. Ο καρκίνος αυτός αναπτύσσεται στον ιστό που επενδύει τη μήτρα, δηλαδή στο μικρό και κοίλο όργανο στη λεκάνη της γυναίκας, όπου αναπτύσσεται και το έμβρυο. Οι περισσότερες μορφές του καρκίνου της μήτρας είναι αδενοκαρκινώματα, δηλαδή καρκίνοι που δημιουργούνται στα κύτταρα, που δημιουργούν τη βλέννα και άλλες ουσίες.
- Καρκίνος των ωοθηκών: Είναι ο έβδομος πιο συχνός καρκίνος, τον οποίο αντιμετωπίζουν οι γυναίκες, παρουσιάζει όμως το μεγαλύτερο ποσοστό

θνησιμότητας σε σύγκριση με τους υπόλοιπους. Εκτιμάται πως παγκοσμίως κάθε χρόνο διαγιγνώσκονται 240.000 νέα περιστατικά. Στην Ελλάδα ο αριθμός αγγίζει τα 900 περιστατικά το χρόνο. Ο καρκίνος των ωοθηκών, πρόκειται για ένας κακοήθη όγκο, ο ποίος προσβάλλει είτε τη μία, είτε και τις δύο ωοθήκες. Χωρίζεται σε δύο τύπους, τον επιθηλιακό, ο οποίος είναι ο πιο συχνός, και οφείλεται στη μη φυσιολογική ανάπτυξη κυττάρων που βρίσκονται στην επιφάνεια της ωοθήκης και στον μη επιθηλιακό, που δημιουργείται από τα γεννητικά αναπαραγωγικά κύτταρα ή τα στρωματικά κύτταρα του συνδετικού ιστού γύρω από την ωοθήκη.

- Ίνωμα μήτρας: Είναι ο ινοειδής όγκος στη μήτρα της γυναίκας. Πρόκειται για τον πιο συνηθισμένο όγκο στις γυναίκες με το ποσοστό να ξεπερνάει το 50% των διαγνώσεων. Αυτοί οι καλοήθεις ινώδης όγκοι, αναπτύσσονται όταν εκτίθενται στην οιστρογόνο ορμόνη και δημιουργούν πολλά προβλήματα στις γυναίκες, όπως στειρότητα ή αποβολές, σφοδρό πόνο και άλλα συμπτώματα.



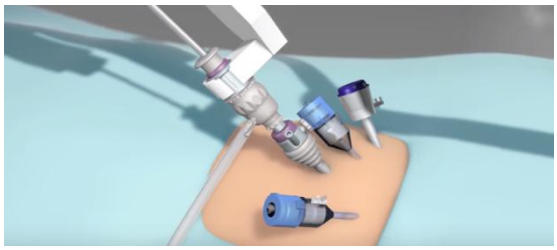
Εικόνα 54: Καρκίνος του τραχήλου της μήτρας και καρκίνος στο ινώδες



Εικόνα 55: Καρκίνος της μήτρας και των ωοθηκών

Κατά την αρχή της ρομποτικής υστερεκτομής, η διαδικασία παραμένει η ίδια, όπως και στις υπόλοιπες επεμβάσεις που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Αρχικά ο χειρουργός κάνει μια μικρή τομή κοντά στο ομφαλό, μέσα από την οποία περνάει ο

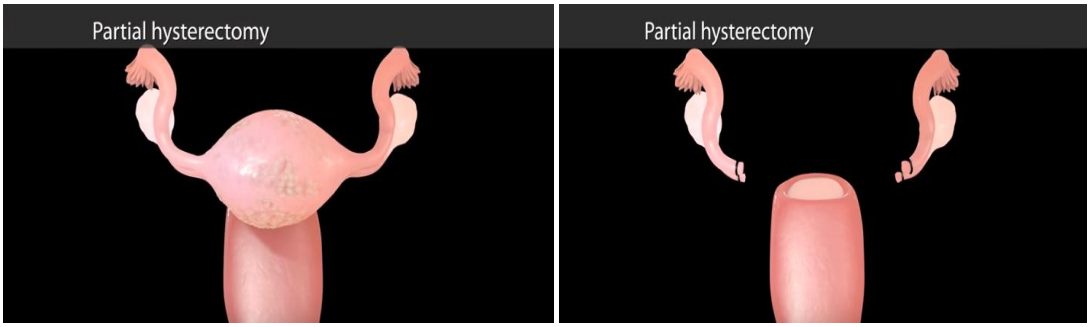
πλαστικός σωλήνας και η κοιλιά του ασθενή διαρρέεται από διοξείδιο του άνθρακα, πράγμα που δίνει τη δυνατότητα στον χειρουργό να έχει ένα πιο ευρύ πεδίο, ώστε να μπορέσει να εργαστεί καλύτερα. Ύστερα πραγματοποιούνται άλλες τρεις ή τέσσερις επιπλέον τομές, ανάλογα την επέμβαση, και από εκεί εισέρχονται τα κατάλληλα εργαλεία για την πραγματοποίηση της επέμβασης.



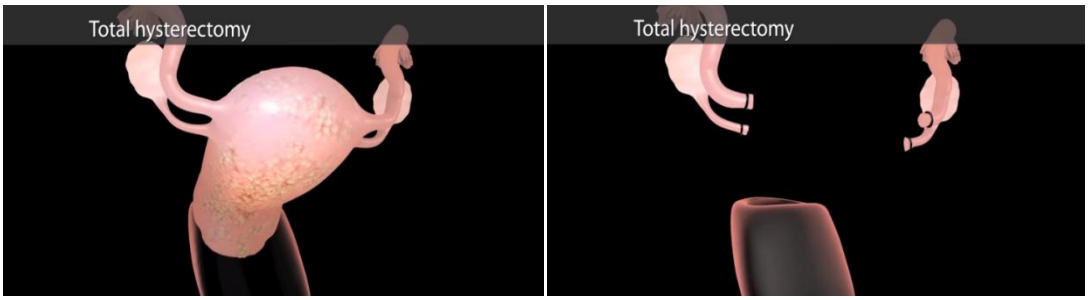
Εικόνα 56: Οπές κατά την υστερεκτομή

Ανάλογα με τη θεραπεία που έχει κριθεί από τον χειρουργό, πως πρέπει να πραγματοποιηθεί, με βάση την περίπτωση της ασθενούς, οι διαδικασίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε μια ρομποτική υστερεκτομή είναι οι εξής:

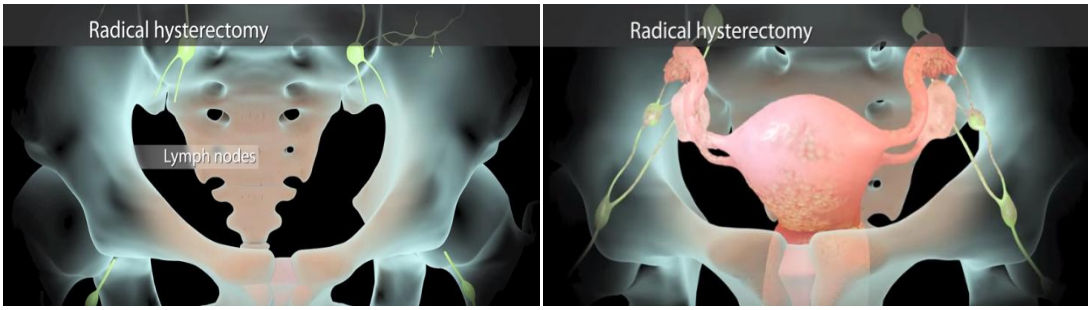
- Ολική υστερεκτομή: Εδώ αφαιρείται εκτός από τη μήτρα και το κατώτερο τμήμα της, ο τράχηλος.
- Υφολική υστερεκτομή: Αφαιρείται μόνο η μήτρα και ο τράχηλος παραμένει άθικτος.
- Υστερεκτομή μετά των εξαρτημάτων: Πρόκειται και για την αφαίρεση των σαλπίγγων και των ωοθηκών μαζί με τα υπόλοιπα μέρη.
- Υστερεκτομή άνευ των εξαρτημάτων: Οι σάλπιγγες και οι ωοθήκες παραμένουν ανέπαφα.



Εικόνα 57: Υφολική υστερεκτομή

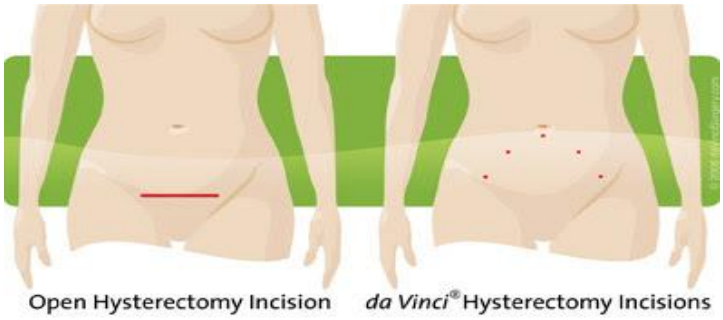


Εικόνα 58: Ολική υστερεκτομή



Εικόνα 59: Ολική υστερεκτομή μετά των εξαρτημάτων

Στο τέλος της επέμβασης, όταν πλέον αποκολληθεί και η μήτρα από τους γύρω ιστούς, εξέρχεται διαμέσου του κόλπου, όπως συμβαίνει η διαδικασία και σε έναν φυσιολογικό τοκετό. Στη συνέχεια ο χειρουργός ράβει τον κόλπο, ελέγχει για τυχών μικρές αιμορραγίες, απομακρύνει τα ρομποτικά εργαλεία και κλείνει τις τομές με ράμματα, χειρουργικά συρραπτικά ή χειρουργικές κόλλες και ταινίες. Οι τομές, όπως φαίνεται και στην εικόνα, είναι πολύ μικρές, σε σύγκριση με την ανοιχτή επέμβαση, και η ασθενής μπορεί να περπατήσει λίγες ώρες αργότερα. Ανάλογα βέβαια και με την περίπτωση το συνηθέστερο χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί η ασθενής να φύγει από το νοσοκομείο είναι οι 24 ώρες.



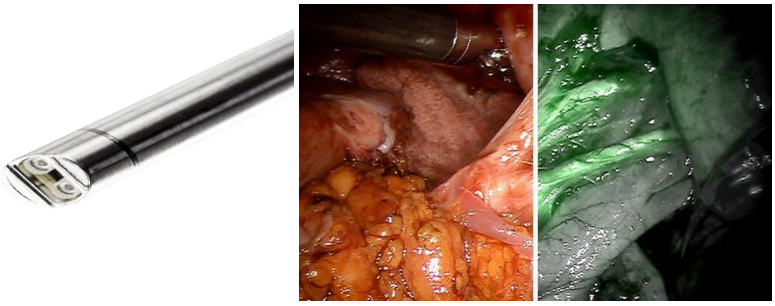
Εικόνα 60: Σύγκριση τομών ανοιχτής και ρομποτικής επέμβασης

4.13 Από το χειρουργικό σύστημα da Vinci Si στο Xi

Όπως είναι φυσικό, η τεχνολογία δεν σταματάει να εξελίσσεται. Οι άνθρωποι έχουν γενικότερα την τάση να προσπαθούν να βελτιώσουν τόσο τη καθημερινότητά τους, όσο και τα μηχανήματα που βοηθούν σε αυτό το κομμάτι. Δεν θα αποτελούσε εξαίρεση και αυτό το είδος υπηρεσιών, όπως ένα ρομποτικό χειρουργικό σύστημα. Για αυτό και η intuitive έβγαλε στην αγορά πρόσφατα το επόμενο da Vinci, το da Vinci Xi, το οποίο είναι μια πιο βελτιωμένη έκδοση από το da Vinci Si, όπου αναλύθηκε παραπάνω και ακολουθούν οι παρακάτω βελτιώσεις του:

Βελτιωμένη όραση: Το ενδοσκόπιο da Vinci Xi,το οποίο είναι 8 mm παρέχει στον χειρουργό μια πιο καθαρή άποψη του χειρουργικού πεδίου. Η απεικόνιση φθορισμού FireFly® είναι ενσωματωμένη για να επισημάνει συγκεκριμένους ιστούς όπως τα αγγεία και τους χοληφόρους αγωγούς. Αυτό δίνει τα εξής επιπλέον πλεονεκτήματα:

- Πιο φωτεινή εικόνα
- Υψηλότερη ανάλυση
- Μεγαλύτερο ενδοσκόπιο
- Ενσωματωμένη απεικόνιση φθορισμού FireFly®



Εικόνα 61: Ενδοσκόπιο da Vinci Xi και ενσωματωμένη απεικόνιση φθορισμού FireFly

Εύκολη ρύθμιση: Το σύστημα προσάρτησης μονού πτερυγίου καθιστά ευκολότερη και ταχύτερη τη σύνδεση. Συγκεκριμένα οι λειτουργίες που πραγματοποιούνται πλέον μόνο στην μια πλευρά βελτιώνει και τις ικανότητες της ομάδας που βρίσκεται μέσα στο χειρουργείο, οπότε οδηγούμαστε στα εξής πλεονεκτήματα:

- Ευκολότερη σύνδεση των εξαρτημάτων
- Βελτίωση των κινήσεων της ομάδας του χειρουργείο
- Πιο ακριβείς και πιο εύκολες οδηγίες χρήσεως.

Καλύτερη πρόσβαση στον ασθενή: Οι βραχίονες του ρομποτικού συστήματος είναι έτσι σχεδιασμένοι, ώστε να παρέχουν στον χειρουργό πρόσβαση στον ασθενή από οποιαδήποτε γωνία. Οι νέοι επανασχεδιασμένοι βραχίονες, παρέχουν ακόμα πιο βελτιωμένη κίνηση και μεγαλύτερη εμβέλεια μέσα στο σώμα του ασθενή. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν είναι:

- Έχει είσοδο και έξοδο από οποιαδήποτε γωνία
- Αυξημένο εύρος κίνησης
- Περισσότερος χώρος κίνησης για την ομάδα βοήθειας δίπλα από τον ασθενή

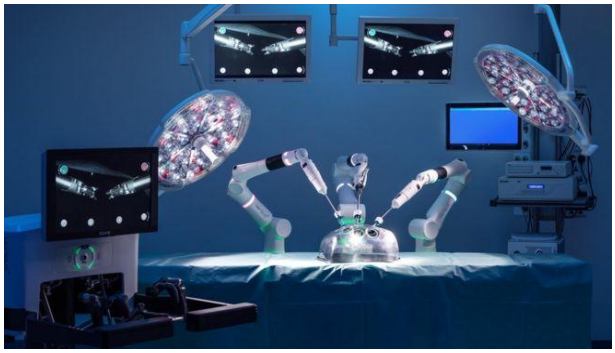
4.14 Το μέλλον της ρομποτικής χειρουργικής

Το μόνο σίγουρο είναι ότι η ρομποτική χειρουργική θα γνωρίσει μεγάλη εξάπλωση τα επόμενα χρόνια, καθώς συνεχώς νέες εταιρείες διεισδύουν στο πεδίο αυτό. Όσο τα ρομπότ γίνονται ακόμη μικρότερα και οι προγραμματιστές προσπαθούν να τα εξοπλίσουν με τεχνητή νοημοσύνη, η ιατρική κοινότητα θα διευρύνει συνεχώς τους τρόπους με τους οποίους χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία, με στόχο τη θεραπεία των ασθενών, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την πρόληψη των προβλημάτων υγείας. Η γενική τάση είναι να δημιουργηθούν μικρότερα συστήματα, πιο επιδέξια

και πιο οικονομικά, τα οποία δεν θα είναι ανάγκη να εγκατασταθούν μόνο σε μεγάλα νοσοκομεία. Κάποια παρατίθενται παρακάτω.

Versius

Μελλοντικά το Versius, ένα νέο ρομποτικό σύστημα χειρουργικής βρετανικής εταιρείας, θα αποτελέσει τον ανταγωνιστή του DaVinci. ToVersius είναι μικρότερο, πιο ευέλικτο και πιο εύχρηστο σε σχέση με το daVinci, σύμφωνα με την CMR Surgical που το σχεδίασε και το κατασκεύασε. Το νέο σύστημα, σύμφωνα με το BBC, θα πιάσει δουλειά στα χειρουργεία των νοσοκομείων του Εθνικού Συστήματος Υγείας της Βρετανίας από τις αρχές του 2019, πραγματοποιώντας μια ευρύτερη γκάμα χειρουργικών λαπαροσκοπικών επεμβάσεων από ό,τι τα υπάρχοντα συστήματα. Οι ρομποτικοί βραχίονες του νέου συστήματος έχουν εύκαμπτες αρθρώσεις όπως ένα ανθρώπινο χέρι και ελέγχονται από τον χειρουργό, ο οποίος κάθεται σε μια κονσόλα, χρησιμοποιώντας δύο χειριστήρια (τύπου joystick) και μια τρισδιάστατη οθόνη. Η εκπαίδευση του γιατρού για τη χρήση του Versius μπορεί να γίνει μέσα σε μισή μόνο ώρα.



Εικόνα 62: Versius System

Googleκαι Jihnson&Johnson

Η Google συνεργάζεται με τη Johnson&Johnson και την κατασκευάστρια εταιρεία ιατρικού εξοπλισμού VerbSurgical για να παρουσιάσει ένα δικό της σύστημα έως το 2020. Μάλιστα οι ρομποτικοί χειρουργοί της θα μπορούν να μαθαίνουν ο ένας από την εμπειρία του άλλου, «συνομιλώντας» μέσω διαδικτύου.

Medtronic

Η Medtronic, η μεγαλύτερη στον κόσμο εταιρεία παραγωγής ιατρικών συσκευών, θα παρουσιάσει ένα δικό της ρομπότ-χειρουργό εντός του 2019.

4.15 Βελτίωση των χειρουργικών συστημάτων

Τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα πλέον θεωρούνται απαραίτητα στο χειρουργικό πεδίο, καθώς συμβάλλουν στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική. Πρόκειται όμως για μια ακόμα σχετικά νέα τεχνολογία, που πρέπει να διανύσει ακόμα αρκετό δρόμο μέχρι να μπορεί να προσφέρει όλα τα οφέλη που μπορεί, αλλά και να γίνει αποδεκτή πλήρως από όλους. Υπάρχει ένα καίριο ζήτημα, το οποίο προσπαθούν να επιλύσουν οι ειδικοί και αναλύεται παρακάτω.

Απτική Ανάδραση

Η μεγαλύτερη πρόκληση που έχουν να αντιμετωπίσουν τώρα οι επιστήμονες είναι να παρέχεται στον χειρουργό η δυνατότητα να έχει την αίσθηση της αφής. Είναι πολύ σημαντικό, κατά τη διαδικασία μιας επέμβασης, να μπορούν οι χειρουργοί να νιώθουν τι κάνουν, αν δηλαδή ένας ιστός είναι πιο τεντωμένος ή πόση δύναμη χρειάζεται για να κάνουν ένα ράμμα. Επί του παρόντος, τα συστήματα αυτά στηρίζονται, κατά κύριο λόγο, σε οπτικές ενδείξεις, όπως σε τρισδιάστατες εικόνες, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει μια εκτίμηση από την πλευρά του χειρουργού για τη δύναμη που θα εφαρμόσει το ρομπότ για παράδειγμα σε έναν ιστό. Το μόνο που μπορεί να αισθανθεί ο χειρουργός είναι η αντίσταση που παρουσιάζουν τα όργανα, στην περίπτωση που χτυπήσουν κάποιο ακίνητο τμήμα του σώματος, όπως είναι το κόκκαλο, ή αν τραβούν σκληρά κάποιον ιστό ή αν κάποιο ράμμα δεν κινείται φυσικά.

Πάνω σε αυτό το κομμάτι εργάζονται οι ερευνητές του John Hopkins, προκειμένου να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός, χρησιμοποιώντας την απτική ανάδραση με βάση τον υπολογιστή. Στόχος τους είναι να προσπαθήσουν να κατανοήσουν τις δυνάμεις του ρομπότ, οι οποίες αλληλεπιδρούν με τον ασθενή και να χρησιμοποιήσουν κινητήρες πάνω στην κονσόλα που ελέγχεται από τον χειρουργό, προκειμένου να δημιουργήσουν δυνάμεις ίσες με εκείνες που εφαρμόζονται στον ασθενή. Έτσι ο χειρουργός θα αισθάνεται σαν να χειρουργεί απευθείας στον ασθενή παρά να νιώθει

πως έχει ένα ρομπότ να μεσολαβεί, δηλαδή ουσιαστικά να φτάσει στο σημείο να νιώθει πως το ρομπότ δεν είναι καν εκεί.

Οι ερευνητές του John Hopkins συνεργάζονται με την Intuitive Surgical, η οποία έχει δημιουργήσει το da Vinci, προκειμένου να εφαρμοστούν αυτές οι δοκιμές, καθώς αυτό το ρομποτικό σύστημα είναι το μόνο που έχει εγκριθεί από το FDA. Προσπαθούν να πετύχουν την απτική ανάδραση με διαφορετικές τεχνικές. Η κύρια είναι με έναν αισθητήρα φυσικής δύναμης στα ρομποτικά εργαλεία, ο οποίος καθορίζει πόση δύναμη εφαρμόζεται, ενώ ένα μαθηματικό μοντέλο στον υπολογιστή υπολογίζει τις δυνάμεις μεταξύ του ρομπότ και του ασθενή. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται στον χειριστή ως ροπή, που εφαρμόζεται στο χειριστήριο της κονσόλας. Οι ερευνητές συνεχίζουν να διερευνούν τις τεχνικές που μπορούν να ακολουθήσουν, έτσι ώστε να καταλήξουν στο ποια είναι πιο αξιόπιστη και ακριβής, για να καταφέρει ο χειριστής να νιώσει την πίεση στον ιστό κ.ά.

Το ιδανικότερο σενάριο θα ήταν να καταφέρουν να φτάσουν σε σημείο, όπου θα καταλαβαίνουν τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης χωρίς τη χρήση κάποιου αισθητηρίου, καθώς οι αισθητήρες πρέπει να είναι αποστειρωμένοι και βιοσυμβατοί. Επιπροσθέτως, πρέπει αυτοί οι αισθητήρες να είναι πολύ μικροί, αλλά και αρκετά φθηνοί για ιατρικές εφαρμογές.

Εκτός από το John Hopkins, και ερευνητές του Κέντρου Προηγμένης Χειρουργικής και Επεμβατικής Τεχνολογίας (Center for Advanced Surgical and Interventional Technology- CASIT) αναπτύσσουν ένα απτικό σύστημα ανάδρασης για χειρουργικές επεμβάσεις, οι οποίες υποστηρίζονται από ρομπότ. Το σύστημά τους λειτουργεί τοποθετώντας συστοιχίες πνευματικών μπαλονιών στο κύριο ρομπότ και συνδέοντας τους αισθητήρες δύναμης στα ρομποτικά εργαλεία του συστήματος που είναι στον ασθενή. Ο αισθητήρας μετρά τη δύναμη που ασκείται στον ιστό και την μεταφράζει σε πίεση στον ενεργοποιητή, που είναι συνδεδεμένος στο χειριστήριο και αγγίζει το χέρι του χειρουργού.

Ωστόσο αυτές οι τεχνολογίες είναι ακόμα σε πολύ αρχικό στάδιο και χρειάζονται χρόνια έρευνας πριν να είναι έτοιμες για εμπορικά συστήματα.

Στο John Hopkins έχουν αναπτύξει ένα σύστημα που χρησιμοποιεί οπτική απτική και την ονομάζουν αισθητική υποκατάσταση. Καθώς ο χειρουργός συνδέει ένα

ράμμα, οι κουκίδες στα χειρουργικά εργαλεία αλλάζουν χρώμα σε σχέση με την εφαρμοζόμενη δύναμη. Αυτή είναι η μόνη μέθοδος μέχρι τώρα που είναι σχετικά πιο εύκολη στην εφαρμογή και υπάρχουν πιθανότητες να εισέλθει πιο γρήγορα στο χειρουργείο από τις συσκευές που στέλνουν απτική ανάδραση στο χέρι του χειρουργού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο}

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας αυτές τις εφαρμογές της ρομποτικής στην ιατρική δεν μπορεί κάποιος παρά να παρατηρήσει το πόσο πολλά υποσχόμενες είναι για το μέλλον. Τόσο τα τεχνητά μέλη, τα οποία αναπτύσσονται με πιο αργούς ρυθμούς, αλλά στο σημείο που έχουν φτάσει, βοηθούν πάρα πολύ κόσμο, ώστε να επιστρέψει στις καθημερινές του ασχολίες, όσο και η χειρουργική ρομποτική, η οποία παρουσιάζει μια ραγδαία ανάπτυξη, υπόσχονται ένα μέλλον πολύ καλύτερο.

Όπως πολλές νέες τεχνολογίες, έτσι και η ρομποτική χειρουργική υπόσχεται καινοτομία και βελτίωση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Θα μπορούσε να είναι μια τεχνολογία μετασχηματισμού που θα φέρει την επανάσταση στη χειρουργική επέμβαση, αλλά μόνο ο χρόνος θα το δείξει αυτό. Ωστόσο, το μέλλον της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα αποτελέσματα των ασθενών, και από τις αντιλήψεις αυτών, για το πόσο καλή είναι η τεχνολογία αυτή. Εάν η τεχνολογία πρόκειται να επιτύχει μακροπρόθεσμα, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι ασθενείς θα λαμβάνουν δίκαιη και λογική μεταχείριση, που σέβεται τα ανθρώπινα δικαιώματα και την αξιοπρέπειά τους. Το δύσκολο κομμάτι είναι να γίνει η κατάλληλη διαμόρφωση των νόμων, έτσι ώστε να μην υπάρξουν τόσες δυσκολίες κυρίως στα ηθικά ζητήματα που εμπλέκονται με αυτήν την επαναστατική τεχνολογία, όσο είναι στα αρχικά της στάδια. Η πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η επίτευξη μίας λογικής ισορροπίας μεταξύ της υπερβολικής ρύθμισης, κλείνοντας έτσι τον δρόμο στην ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας και στο άλλο άκρο, δηλαδή πιο γενικών κανονισμών, δημιουργώντας επιβλαβείς και επικίνδυνες μεθόδους.

Όσον αφορά τα τεχνητά μέλη, άνω και κάτω άκρου, υπάρχουν ακόμα πολλά προβλήματα και οι ερευνητές και οι μηχανικοί έχουν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις ακόμα για να μπορέσουν να μιμηθούν την ανθρώπινη κίνηση. Το σώμα του ανθρώπου ακόμα κρατάει κρυμμένες πληροφορίες και η τεχνολογία δεν έχει φτάσει ακόμα στο σημείο, ώστε να μπορέσει να τις κατακτήσει πλήρως. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε αρκετά γρήγορα και παρουσιάζει συνεχόμενες βελτιώσεις. Προκύπτουν όμως αρκετά προβλήματα για το μέλλον αυτών των τεχνολογιών. Εάν οι ασθενείς παίρνουν όλο και περισσότερα ανταλλακτικά υπό τη

μορφή μηχανικής ιστών, αναγέννησης ή ευφυών προθέσεων, θα συνεχίσουν να είναι "ανθρώπινα"; Τι γίνεται αν ένα άτομο είναι πάνω από 95% συνθετικά μέρη και δεν διαθέτει πλέον το βιολογικό σώμα με το οποίο γεννήθηκε; Είναι αυτό το άτομο ακόμα "ανθρώπινο"; Με τεχνητά τσιπ εγκεφάλου, θα μπορεί κάποιος να συνδεθεί απευθείας στο Διαδίκτυο ή να κατεβάσει πληροφορίες; Θα ζήσει ένα άτομο για πάντα εάν κατεβάσει τις αναμνήσεις τους κ.λπ. σε έναν υπολογιστή; Το θεμελιώδες ερώτημα είναι, όπως ζήτησε ο Francis Fukyama στο βιβλίο του "Το μετα-ανθρώπινο μέλλον", κινούμαστε προς ένα νέο "είδος" ανθρώπων πέρα από τα homo sapiens, ίσως ένα συνδυασμό ανθρώπινων και συνθετικών τμημάτων ή μια μηχανή ανθρώπου;

Όλα αυτά φαντάζουν αρκετά μακρινά, όμως μέσα στις επόμενες τρεις δεκαετίες θα κληθούμε να απαντήσουμε πολλά ερωτήματα και να βρούμε λύση σε πολλά προβλήματα, είτε τεχνολογικά, είτε ηθικά, που θα προκύψουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2925237/

https://www.poulakis-urology.com/index.php/sigkrisi-therapeion

https://www.researchgate.net/figure/Range-of-Motion-of-da-Vinci-endowrist-6_fig5_327561755

https://www.jhuapl.edu/prosthetics/scientists/default.asp

https://www.jhuapl.edu/Prosthetics/scientists/mpl.asp

https://www.poulakis-urology.com/da-vinci-ourologikes-epembaseis/da-vinci-riziki-prostatektomi#faqnoanchor

https://www.euroclinic.gr/article/robotikh-riziki-prostatektomi/

https://www.euroclinic.gr/article/susthma-xeirourgikis-da-vinci/

https://www.newsbeast.gr/health/arthro/3951035/vretaniki-etaireia-paroysiase-ton-antagonisti-toy-rompotikoy-systimatos-da-vinci

https://cmrsurgical.com/versius/

https://www.wired.co.uk/article/surgical-robot-uk-versius

https://www.roboticoncology.com/history-of-robotic-surgery/

https://med.nyu.edu/robotic-surgery/physicians/what-robotic-surgery/how-da-vinci-si-works

https://www.poulakis-urology.com/what-it-is

https://www.wired.com/2015/01/3-d-printed-prosthetics-look-fit-sci-fi-warrior/

https://www.iatronet.gr/ygeia/xeiroyrgiki/article/15656/rompotiki-xeiroyrgiki-to-mellon-einai-edw.html

https://www.iatronet.gr/eidiseis-nea/epistimi-zwi/news/45791/rompotiki-xeiroyrgiki-epityxeis-spanies-oyrologikes-epemvaseis-sti-xwra-mas.html

https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.03731.pdf

https://sites.google.com/site/badisegait/physiologike-badise/kyries-phaseis-tou-kyklou-tes-badises

https://www.armdynamics.com/our-care/prosthetic-options

https://www.intuitive.com/-/media/Project/Intuitive-surgical/files/pdf/1025290ra-isi-brochure-single-site-digital-low-res-394110.pdf?la=en&hash=4F529E666FA2BECE0097F76336C7383AEC712874

https://fccid.io/2AAZF-CHB01/User-Manual/User-Manual-Part-1-2607924

https://www.esmo.org/content/download/36781/728488/file/ESMO-ACF-Greek-endometrial-cancer-guide-patients.pdf

https://www.roche.gr/el/health/healthoncology/ovariancancer.html

http://www.troukis.gr/laparoskopese

https://www.youtube.com/watch?v=TLJOT1uETTc

https://www.youtube.com/watch?v=2XKnkB7p_l8

https://sites.google.com/site/roboticsurgery654/telesurgical-systems

https://www.researchgate.net/publication/336024744_Control_of_a_da_Vinci_EndoWrist_Surgical_Instrument_Using_a_Novel_Master_Controller

https://www.maxongroup.us/maxon/view/application/Surgical-Robots-for-Minimally-Invasive-Procedures

https://www.youtube.com/watch?v=TLJOT1uETTc

https://www.youtube.com/watch?v=U9wYlMLh1AI

https://attikiourologia.gr/robotic-surgery/robotic-radical-prostatectomy/

https://www.youtube.com/watch?v=LxcfvxIQGSs