



Ρομποτικά Χειρουργικά Συστήματα (da Vinci, Zeiss, Hermes). Προβλήματα και προοπτικές.

Εισηγητής: Σταυρακάκης Αντώνης

Σπουδάστρια: Χισάρογλου Δέσποινα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω:

1. Τον Καθηγητή μου, κο Αντώνη Σταυρακάκη.
2. Τους τεχνικούς στο τμήμα των χειρουργείων στο Πα. Γ.Ν.Η, κο Νίκο Θεοδωράκη, κο Δημήτρη Μαυρογιάννη και κο Στέλιο Σταυρουλάκη.
3. Τον κο Αντώνη Φραγκιουδάκη, φοιτητή στο μαθηματικό τμήμα του Πανεπιστημίου Ηρακλείου.

“Η πτυχιακή μου εργασία, είναι αφιερωμένη στους γονείς και στην αδερφή μου.”

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	Σελ.6.
2. Κεφάλαιο 1 : Σύντομη αναδρομή στην ιστορία των ρομπότ και των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων.....	Σελ.8.
3. Κεφάλαιο 2 : Ρομπότ στην ιατρική.....	Σελ.12.
4. Παράγραφος 2.1 : Εφαρμογές των ρομπότ στην Ιατρική.....	Σελ.13.
5. Κεφάλαιο 3 : Ιατρικά ρομποτικά συστήματα στη Χειρουργική, με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών.....	Σελ.23.
6. Παράγραφος 3.1 : Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα CAD/CAM.....	Σελ.24.
7. Παράγραφος 3.1.1 : Ρομποτικό σύστημα ROBODOC.....	Σελ.25.
8. Παράγραφος 3.1.2 : Ρομποτικό σύστημα πλοήγησης HipNav για αρθροπλαστική ισχίου.....	Σελ.29.
9. Παράγραφος 3.1.2.1 : Περιγραφή λειτουργίας του συστήματος.....	Σελ.30.
10. Κεφάλαιο 4 : Βασικές αρχές ρομποτικών χειρουργικών βοηθών (τύπου Master-Slave).....	Σελ.35.
11. Παράγραφος 4.1 : Ρομποτικά συστήματα Master-Slave («αφέντη δούλου»)..	Σελ.35.
12. Παράγραφος 4.2 : Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική (Minimally invasive surgery or MIS).....	Σελ.37.
13. Παράγραφος 4.3 : Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα MIS.....	Σελ.40.
14. Παράγραφος 4.4 : Βασικές μονάδες ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων. Master-Slave.....	Σελ.41.
15. Παράγραφος 4.4.1 : Ρομποτικοί βραχίονες.....	Σελ.42.
16. Παράγραφος 4.4.1.1 : Καρπός ρομποτικών βραχιόνων.....	Σελ.45.
17. Παράγραφος 4.4.1.2 : Αρπάγη.....	Σελ.46.
18. Παράγραφος 4.4.2 : Επενεργητές.....	Σελ.47.
19. Παράγραφος 4.4.3 : Έλεγχος.....	Σελ.47.
20. Παράγραφος 4.5 : Γενικές σκέψεις για το σχεδιασμό ρομποτικών συστημάτων.....	Σελ.49.
21. Κεφάλαιο 5 : Ρομποτικοί χειρουργικοί βοηθοί.....	Σελ.52.
22. Παράγραφος 5.1 : Απλά χειρουργικά συστήματα.....	Σελ.52.

23. Παράγραφος 5.1.1: AESOP.....	Σελ.52.
24. Παράγραφος 5.2: Πολύπλοκα ρομποτικά συστήματα.....	Σελ.54.
25. Παράγραφος 5.2.1: Ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci.....	Σελ.56.
26. Παράγραφος 5.2.1.1: Κονσόλα ελέγχου ή κονσόλα χειρουργού	Σελ.60.
27. Παράγραφος 5.2.1.2: Τροχήλατο σύστημα ρομποτικών βραχιόνων.....	Σελ.63.
28. Παράγραφος 5.2.1.3: Οπτικό σύστημα.....	Σελ.66.
29. Παράγραφος 5.2.1.4: Χειρουργικά εργαλεία EndoWrist™	Σελ.68.
30. Παράγραφος 5.2.1.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά ρομποτικού συστήματος da Vinci.....	Σελ.72.
31. Παράγραφος 5.2.1.6: Περιγραφή λειτουργίας.....	Σελ.78.
32. Παράγραφος 5.2.2: Ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Zeus.....	Σελ.80.
33. Παράγραφος 5.2.2.1: Κονσόλα ελέγχου.....	Σελ.83.
34. Παράγραφος 5.2.2.2: Ρομποτικοί βραχιόνες.....	Σελ.86.
35. Παράγραφος 5.2.2.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ρομποτικού συστήματος Zeus..Σελ.87.	
36. Παράγραφος 5.3: Ομοιότητες – διαφορές μεταξύ συστημάτων da Vinci και Zeus.....	Σελ.89.
37. Παράγραφος 5.4: Socrates σύστημα τηλεσυνεργασίας (Telecollaborative system).Σελ.....	Σελ.92.
38. Παράγραφος 5.5: Κέντρο ελέγχου Hermes (Hermes Control Center).....	Σελ.94.
39. Παράγραφος 5.6: Πλεονεκτήματα ρομποτικής χειρουργικής.....	Σελ.97.
40. Παράγραφος 5.7: Προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση των ρομποτικών χειρουργικών βοηθών.....	Σελ.101.
41. Κεφάλαιο 6: Ασφάλεια – Εκπαίδευση στους ρομποτικούς χειρουργικούς βοηθούς.....	Σελ.106.
42. Παράγραφος 6.1: Εκπαίδευση.....	Σελ.106.
43. Παράγραφος 6.2: Παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια.....	Σελ.108.
44. Παράγραφος 6.3: Στρατηγικές ασφαλείας.....	Σελ.110.
45. Παράγραφος 6.4: Άλλα θέματα που αφορούν την ασφάλεια.....	Σελ.111.
46. Κεφάλαιο 7: Μελλοντικές κατευθύνσεις.....	Σελ.114.
47. Κεφάλαιο 7.1: Τηλεχειρουργική: Το ιατρικό κύμα του μέλλοντος.....	Σελ.114.
48. Παράγραφος 7.1.1: Ο σκοπός της τηλεχειρουργικής.....	Σελ.115.

49. Παράγραφος 7.1.2: Τηλεχειρουργική με ρομπότ.....	Σελ.116.
50. Παράγραφος 7.1.3: Περιορισμοί τηλεχειρουργικής με ρομπότ.....	Σελ.119.
51. Παράγραφος 7.2: Τεχνολογίες ανατροφοδότησης αφής και δύναμης (Haptics and Force Feedback).....	Σελ.119.
52. Παράγραφος 7.3: Προοπτικές στο μέλλον.....	Σελ.122.
53. Παράγραφος 7.4: Χειρουργική με ρομπότ στην Ελλάδα.....	Σελ.126.
54. Παράγραφος 7.5: Συμπεράσματα.....	Σελ.130.
55. Πηγές στο διαδίκτυο:	Σελ.133.
A. Διευθύνσεις ιστοσελίδων.	Σελ.133-134.
B. Μελέτες – Εργασίες σε μορφή PDF.	Σελ.135.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή και σύγκριση των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων με έμφαση στα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα da Vinci, Zeus και Hermes, καθώς και τα προβλήματα και οι προοπτικές που συνεπάγονται.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην εξέλιξη των ρομπότ και των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των ρομπότ που συναντώνται στην Ιατρική, καθώς και οι κλινικές εφαρμογές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο διευκρινίζεται, τα χειρουργικά ρομπότ είναι ουσιαστικά, συστήματα που ελέγχονται με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στο ίδιο κεφάλαιο τα χειρουργικά ρομπότ ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το γενικότερο πλαίσιο του ρόλου τους στην χειρουργική υποβοηθούμενη από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, σε χειρουργικά συστήματα CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) και σε χειρουργικούς βοηθούς (surgical assistants). Επίσης γίνεται μια σύντομη περιγραφή λειτουργίας, σε δύο ρομποτικά συστήματα που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, στο αυτόνομο ρομποτικό σύστημα ROBODOC και στο ρομποτικό σύστημα πλοήγησης HipNav που έχουν εφαρμογή στην ορθοπεδική.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αρχές των ρομποτικών χειρουργικών βοηθών. Γίνεται λόγος για την ελάχιστη επεμβατική χειρουργική και τις εφαρμογές τις στην ιατρική και τα πλεονεκτήματα της σε σχέση με την κλασική χειρουργική. Επίσης αναλύονται οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελούνται τα ρομπότ χειρουργικοί βοηθοί, ο τρόπος ελέγχου τους και μερικές γενικές σκέψεις που αφορούν το σχεδιασμό τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο οι ρομποτικοί χειρουργικοί βοηθοί ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες. Στα απλά χειρουργικά συστήματα στα οποία ανήκει το ρομπότ AESOP (αυτοματοποιημένο ενδοσκοπικό σύστημα βέλτιστης τοποθέτησης και συγκράτησης). Και στα πολύπλοκα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα da Vinci και Zeus. Ενώ περιγράφονται αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελούνται, ο τρόπος λειτουργίας τους, κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, οι ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ τους. Ακόμα, γίνεται λόγος για το σύστημα τηλεσυνεργασίας Socrates, το κέντρο

ελέγχου Hermes. Ενώ το κεφάλαιο τελειώνει με τα πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής και τα προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση των ρομποτικών χειρουργικών βοηθών.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την εκπαίδευση των χειρουργών στα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα, για την ασφάλεια που πρέπει να προσφέρουν τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα, για τους παράγοντες στους οποίους οφείλονται τα προβλήματα που σχετίζονται με αυτήν, για διάφορες στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ασφάλειας ενός ιατρικού ρομπότ και για άλλα θέματα που αφορούν την ασφάλεια.

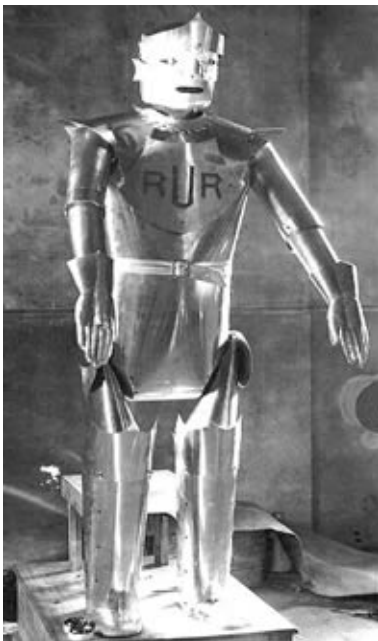
Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται η χρήση των ρομποτικών χειρουργικών βοηθών στην τηλεχειρουργική και ο σκοπός της, καθώς και τα προβλήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή των ρομπότ στην τηλεχειρουργική. Ακόμα περιγράφονται νέες τεχνολογίες που διάφορα Πανεπιστήμια και Ινστιτούτα ερευνών προσπαθούν να τις ενσωματώσουν στους ρομποτικούς χειρουργικούς βοηθούς. Τέτοιες τεχνολογίες είναι οι haptic και force feedback. Επίσης παρουσιάζονται τα ρομποτικά συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί σε χειρουργικές επεμβάσεις στην Ελλάδα. Το κεφάλαιο τελειώνει με τα συμπεράσματα για τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα που συνάγονται από την έρευνα που έγινε.

1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΚΑΙ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα έκαναν την εμφάνιση τους στα χειρουργικά δωμάτια ως επιδέξιοι χειρουργικοί βοηθοί και ως απάντηση στην απαίτηση των χειρουργών να βρεθούν τρόποι να αντιπαρέλθουν τους περιορισμούς της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής τεχνικής (MIS) για την οποία θα γίνει λόγος σε παρακάτω κεφάλαιο. Η πρόοδος της τεχνολογίας της πληροφορίας, της ρομποτικής και της χειρουργικής, βοήθησαν σημαντικά το τμήμα της έρευνάς που αφορά την κατασκευή χειρουργών-ρομπότ ή αλλιώς ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων.

Η πρώτη γενιάς χειρουργικών ρομπότ έχει ήδη εισαχθεί σε αρκετά χειρουργικά δωμάτια ανά τον κόσμο. Για να φτάσουμε όμως να μιλάμε για χειρουργικά ρομπότ προηγήθηκαν σημαντικά γεγονότα.

Πρώτη φορά η λέξη ρομπότ χρησιμοποιήθηκε το 1920 από ένα Τσεχοσλοβάκο θεατρικό συγγραφέα των Karel Capek στο έργο του «Rossum's Universal Robots» (εικ. 1). Η λέξη ρομπότ προέρχεται από την τσέχικη λέξη *robota*, που σημαίνει «κουραστική δουλειά».



Εικόνα 1. Το πρώτο ρομπότ που παρουσιάστηκε στο κόσμο στο θεατρικό έργο «Rossum's Universal Robots».

Το 1938 σχεδιάζεται από τους Αμερικανούς Willard Pollard και Harold Roselund ο πρώτος προγραμματιζόμενος μηχανισμός βαφής τοίχων με σπρέι. Τέσσερα χρόνια αργότερα το 1941 ο Isaac Asimov ένας συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας χρησιμοποιεί τη λέξη «ρομποτικά» (robotics) για να περιγράψει την τεχνολογία των ρομπότ και προβλέπει την πρόοδο μιας ισχυρής βιομηχανίας ρομπότ. Ένα χρόνο μετά στο έργο του “Runaround” ορίζει τους τρεις νόμους της ρομποτικής. Το 1951 στη Γαλλία ο Raymond Goertz σχεδίασε το πρώτο τηλεχειριζόμενο αρθρωτό βραχίονα για την Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας. Το σχέδιο βασιζόταν σε ένα μηχανισμό που αποτελούταν από ατσάλινα χονδρά καλώδια και τροχαλίες. Αυτό γενικά θεωρήθηκε ως ορόσημο στη τεχνολογία ανάδρασης δύναμης. Το πρώτο προγραμματιζόμενο ρομπότ σχεδιάστηκε το 1954 από τον George Devol ενώ καθόρισε τον όρο «πλήρης αυτοματοποίηση» (Universal Automation) τον οποίο έδωσε αργότερα ως όνομα για την εταιρεία του- Unimation-την πρώτη εταιρεία για ρομπότ που σύστησε το 1956 με τον Joseph Engelberger. Ενώ το 1959 παρουσιάστηκε η πρώτη σέρβο-μηχανική κατασκευή υποβοηθούμενη από κομπιούτερ στο M.I.T. Το 1960 η εταιρεία Unimation εμπορεύεται το πρώτο ρομπότ κινούμενο με κυλίνδρους το οποίο ονομάζεται Versatran. Το 1962 η εταιρεία General Motors αγοράζει το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ από την εταιρεία Unimation και το τοποθετεί στη γραμμή παραγωγής. Ερευνητικά εργαστήρια τεχνητής νοημοσύνης άνοιξαν το 1964 στο M.I.T., στο Ινστιτούτο Ερευνών του Στάνφορντ (SRI) και στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Το 1968 το SRI κατασκευάζει τον ρομπότ Shakey, ένα κινούμενο ρομπότ ελεγχόμενο από τεχνητή νοημοσύνη, με «ικανότητα όρασης», ελεγχόμενο από ένα υπολογιστή στο μέγεθος ενός δωματίου. Δύο χρόνια αργότερα (1970) ο καθηγητής Victor Scheinman του Πανεπιστήμιου Στάνφορντ σχεδιάζει τον Πρότυπο ρομποτικό Βραχίονα που ελέγχονταν από υπολογιστή και ήταν ο πρώτος ηλεκτρικά κινούμενος βραχίονας. Σήμερα η κινηματική του διαμόρφωση παραμένει γνωστή ως Πρότυπος Βραχίονας. Ο T3 ήταν το 1973 ο πρώτος εμπορικά διαθέσιμος μικροελεγκτής βιομηχανικού ρομπότ σχεδιασμένος από τον Richard Hohn. Ένα χρόνο αργότερα (1974), ο καθηγητής Victor Scheinman, ο σχεδιαστής του πρότυπου βραχίονα ή βραχίονα Stanford, σχεδιάζει τον Vicarm βραχίονα για βιομηχανικές εφαρμογές ο οποίος ελέγχεται από μικροελεγκτή. Τον ίδιο χρόνο σχεδιάστηκε ένας ρομποτικός βραχίονας, ο Silver arm ο οποίος ήταν κατάλληλος για τη συναρμολόγηση

μικρών κομματιών χρησιμοποιώντας ανάδραση δύναμης με τη βοήθεια ενός αισθητήρα επαφής και πίεσης. Το 1976 ρομποτικοί βραχίονες χρησιμοποιήθηκαν στα μη επανδρωμένα διαστημικά οχήματα Viking 1 και 2 ενώ στο βραχίονα Vicarm ενσωματώνεται ένας μικροελεγκτής. Το 1978 η εταιρεία Unimation χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του Vicarm αναπτύσσει την πρώτη πλήρως προγραμματιζόμενη μηχανή συναρμολόγησης PUMA (Programmable Universal Machine For Assembly) η οποία μπορεί να βρεθεί σε πολλά εργαστήρια ερευνών ακόμα και σήμερα (εικ.2).



Εικόνα 2. Puma προγραμματιζόμενη μηχανή συναρμολόγησης.

Παράλληλα η πρόοδος στη χειρουργική είχε επικεντρωθεί στην τεχνική της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (minimally invasive surgery ή MIS). Είδη από το 1970 οι γυναικολόγοι είχαν αγκαλιάσει την τεχνική της λαπαροσκόπησης. Η πρώτη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή έγινε από τον Erich Muhe στη Γερμανία το 1985. Το 1987 έγινε η πρώτη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή σε λιοντάρια στη Γαλλία χρησιμοποιώντας τεχνική video από τον Phillippe Mouret. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορίας και της ρομποτικής υπόσχονταν να διευκολύνουν τις πολύπλοκες λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Έτσι το 1993 το πρώτο ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε στην ενδοσκοπική χειρουργική, ο AESOP της εταιρείας Computer Motion που αναγνώριζε φωνητικές εντολές ήταν πια εμπορικά διαθέσιμο. Το 1998 παρουσιάστηκε από την εταιρεία Computer Motion το ρομποτικό σύστημα Zeus. Ήταν το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της πρώτης πλήρους ενδοσκοπικής ρομποτικής επέμβασης και της πρώτης επέμβασης ανοικτής καρδιάς, αορτοστεφανιαίας

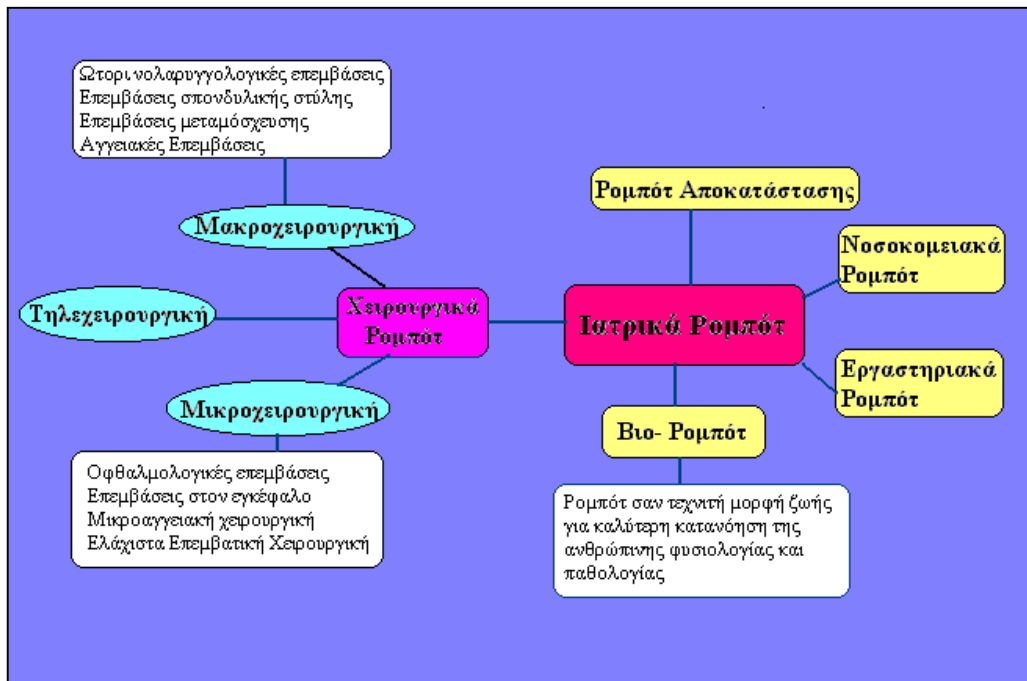
παράκαμψης (bypass). Το 1999 τα ολοκληρωμένα χειρουργικά συστήματα που είχαν αναπτυχθεί ήταν ημιαυτόνομα κατάλληλα για νευρολογικές και ορθοπεδικές επεμβάσεις ένα από αυτά ήταν και το NeuroMate. Η πρώτη επέμβαση αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας καρδιάς κλειστού θώρακα πραγματοποιήθηκε με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα daVinci (της εταιρείας Intuitive Surgical) τον Οκτώβριο του 1999 στη Γερμανία από τον γιατρό Schueler. Ενώ στις 11 Ιουλίου του 2000 ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α (FDA) επιτρέπει τη διάθεση του και στην Αμερικάνικη αγορά για γενικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις (το Νοέμβριο του 2002 εγκρίθηκε πάλι από το FDA, για επεμβάσεις αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας καρδιάς). Στις 13 Μαρτίου του 2000 ο γιατρός Francois Labore διευθυντής της καρδιολογικής χειρουργικής σπινθηροσκοπικού Mutualiste Montsouris στο Παρίσι, χρησιμοποιώντας το ρομποτικό σύστημα Zeus, πραγματοποίησε επτά πλήρως ενδοσκοπικές παιδιατρικές επεμβάσεις (ductus arteriosus) με ρομποτικό σύστημα. Τον επόμενο χρόνο το Σεπτέμβριο του 2001, το ρομποτικό σύστημα SOCRATES πραγματοποίησε την πρώτη υπερατλαντική τηλεχειρουργική επέμβαση που θεωρήθηκε τεράστιο βήμα στην ιστορία της ιατρικής. Τον Οκτώβριο του 2002 εγκρίθηκε από τον FDA, το ρομποτικό σύστημα Zeus από την εταιρεία Computer Motion που ήταν κατάλληλο για λαπαροσκοπικές και θωρακοσκοπικές επεμβάσεις. Οι εταιρείες Computer Motion και Intuitive Surgical στις 7 Μαρτίου του 2003 ανακοίνωσαν την συγχώνευση τους μετά από μια δικαστική διαμάχη που είχε ξεκινήσει το Μάιο του 2000 και που διήρκησε τρία χρόνια με αλλεπάλληλες μηνύσεις μεταξύ τους.

2. ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ

Η λέξη ρομπότ φέρνει στο νου πολλές διαφορετικές σκέψεις και εικόνες ίσως και αντικρουόμενες. Κάποιοι μπορούν να σκεφτούν ένα μεταλλικό ανθρωποειδές, άλλοι ένα βιομηχανικό βραχίονα και άλλοι μία χαμένη θέση εργασίας.

Ένας απλός ορισμός που θα μπορούσε να δοθεί για αυτή τη λέξη είναι και ο κάτωθι:

Ρομπότ είναι ένα μηχάνημα που μπορεί να προγραμματιστεί για να πραγματοποιήσει διάφορες εργασίες, οι οποίες συνήθως αφορούν συνήθως μετακίνηση ή χειρισμό αντικειμένων. Τα ρομπότ μπορεί να είναι απλά μηχανήματα έως και ιδιαίτερος πολύπλοκα ελεγχόμενα από ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 3. Ταξινόμηση των ιατρικών ρομπότ

Τα περισσότερα ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν ένα « χέρι βοήθειας ». Βοηθούν τους ανθρώπους να φέρουν εις πέρας δύσκολες, επικίνδυνες ή ακόμα και βαρετές δουλειές. Τα περισσότερα ρομπότ σήμερα είναι ρομποτικοί βραχίονες έχουν κατασκευαστεί όμως και ρομπότ ανθρωποειδή.

Στο πεδίο της ρομποτικής ιατρικής, η λέξη ρομπότ είναι ασαφώς καθορισμένη, έχουν πολλές διαφορετικές εφαρμογές και ποικίλουν από υπέρ-απλουστευμένα εργαστηριακά ρομπότ, έως και άκρως περίπλοκα χειρουργικά ρομπότ που μπορούν είτε να βοηθήσουν το χειρουργό είτε να εκτελέσουν επεμβάσεις από μόνα τους.

Οι λόγοι που κρύβονται πίσω από το ενδιαφέρον για την υιοθέτηση των ιατρικών ρομπότ είναι πολλοί. Υπάρχει μεγάλη ομοιότητα σχετικά με την αυτοματοποίηση που αφορά την κατασκευαστική βιομηχανία και την ρομποτική ιατρική. Δεν μπορεί να ειπωθεί ότι οι εφαρμογές των ιατρικών ρομπότ είναι οι ίδιες αλλά ότι τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν είναι παρόμοια. Τα ρομπότ «εφοδιάζουν» την βιομηχανία όντας πολυτιμότερα ακόμα και από τον πιο αφοσιωμένο και σκληρά εργαζόμενο υπάλληλο, εκτελώντας δουλειές, με μεγάλη ταχύτητα, επαναληψιμότητα, αξιοπιστία και με χαμηλό κόστος.

Ένα ρομπότ βοηθός για παράδειγμα που συγκρατεί ένα εργαλείο παρατήρησης για το χειρουργό δεν θα κουραστεί για όσο χρόνο και αν διαρκέσει. Θα τοποθετήσει με ακρίβεια το εργαλείο, χωρίς τρέμουλο και θα είναι ικανό να πραγματοποιήσει την ίδια εργασία που έκανε για εκατοστή φορά, το ίδιο καλά με την πρώτη φορά.

Η χρήση των ρομπότ δεν περιορίζεται στο χώρο των χειρουργείων του νοσοκομείου, αλλά έχουν δείξει την χρησιμότητα τους σε μεγάλο αριθμό ιατρικών εφαρμογών (εικ. 3).

2.1 Εφαρμογές των ρομπότ στην Ιατρική

Εργαστηριακά ρομπότ: Τα εργαστηριακά ρομπότ εκτελούν εκατοντάδες τεστ (π.χ. εξετάσεις αίματος για τον ιό HIV) παράλληλα, εξοικονομώντας χρόνο και επιτρέποντας στο ανθρώπινο δυναμικό να απασχοληθεί για άλλους σκοπούς. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την ικανότητα τους να πραγματοποιούν επαναληπτικές εργασίες, σε υψηλές ταχύτητες, είναι αξιόπιστα και δεν «κουράζονται».



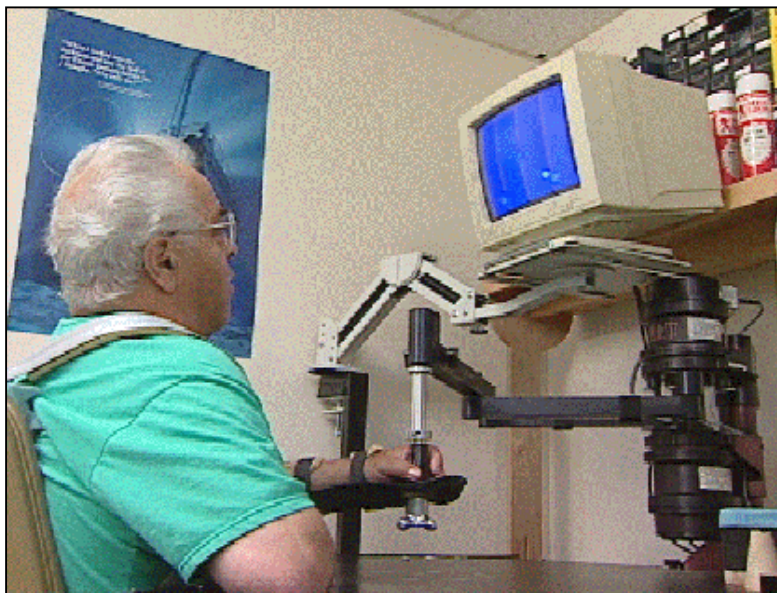
Εικόνα 4. Ρομπότ σε νοσοκομείο ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ηλεκτροφόρο καλώδιο.

Νοσοκομειακά Ρομπότ: Δεδομένου ότι το προσωπικό του νοσοκομείου δεν επαρκεί, κινητά ρομπότ μπορούν να βοηθήσουν μεταφέροντας ή διανέμοντας φάρμακα στα νοσοκομεία ή ακόμη και να βοηθήσουν με το να σηκώσουν ή να μεταφέρουν ασθενείς. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας αναγκών, το ρομπότ χρησιμοποιούνται για να σηκώσουν από βαριά φορτία καθαρού ή ακάθαρτου ρουχισμού μέχρι ελαφρά σετ φαρμάκων ή αποστειρωμένων εργαλείων. Η χρήση κινούμενων ρομπότ αντιμετωπίζει **δυσκολίες πλοήγησης** όπως το που βρίσκεται το ρομπότ και πως θα κινηθεί προς τον προορισμό του. Μία λύση είναι το ρομπότ να κινείται σε σταθερές ράγες κάτι τέτοιο έχει δύο μειονεκτήματα αφενός μεν θα ήταν επικίνδυνο για την ασφάλεια τόσο των ασθενών όσο και του προσωπικού μια και θα είναι πιθανό να προκληθούν ατυχήματα αφετέρου δε το ρομπότ θα έχει μικρή ευελιξία. Άλλη λύση είναι το ρομπότ να ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ηλεκτροφόρο σύρμα χωμένο στο πάτωμα (εικ. 4) όμως και αυτή η λύση έχει ως μειονέκτημα τη μικρή ευελιξία (τουλάχιστον όμως δεν θα εμποδίζει). Και οι δύο αυτές λύσεις θεωρούνται ξεπερασμένες. Τώρα πια χρησιμοποιούνται αισθητήρες

(υπερήχων, υπερύθρων, laser) ή τεχνητής όρασης για τον προσδιορισμό της θέσης στο χώρο και «ηλεκτρονικοί χάρτες» για πλοήγηση.

Ρομπότ αποκατάστασης: Τα ρομπότ αποκατάστασης είναι ρομπότ που βοηθούν άτομα με μόνιμα ή με προσωρινά προβλήματα, άτομα δηλαδή με ειδικές ανάγκες:

- **Ρομποτική βοήθεια στην Φυσιοθεραπεία:** Τα ρομπότ αυτά συνήθως αποτελούνται από ρομποτικούς βραχίονες ειδικού σχεδιασμού (εικ. 5) που κινούν το προβληματικό άκρο του ασθενούς βάσει καταλλήλου προγράμματος. Πολύ συχνά δε παρακολουθούν την πορεία αποκατάστασης με την βοήθεια αισθητήρων δύναμης. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν μειώνεται η ένταση της θεραπείας όσο και αν διαρκεί. Ενώ μειώνεται το επίπεδο επέμβασης του φυσιοθεραπευτή εξοικονομώντας έτσι άμεσα έξοδα παροχής υπηρεσιών υγείας.



Εικόνα 5. Ρομποτική βοήθεια στη φυσικοθεραπεία.

- **Βοήθεια κίνησης για ασθενείς και ανθρώπους με κινητικές βλάβες:** Αφορά αναπηρικές καρέκλες με μικρό ή μεγάλο βαθμό αυτονομίας, που παρέχουν κάποιες διευκολύνσεις στον ασθενή όπως να κινούνται με περισσότερη ασφάλεια π.χ. ανίχνευση εμποδίων, αποφυγή πτώσης κ.λ.π. Για παράδειγμα η αναπηρική καρέκλα VTT (εικ. 6), που σχεδιάστηκε στη

Φιλανδία και διαθέτει, **αισθητήρες υπερήχων για αποφυγή εμποδίων, αισθητήρες φωτός** για ανίχνευση κενού και αποφυγή πτώσης και **ηλεκτρονική πυξίδα** για πλοήγηση. Ακόμη, μπορεί να φέρουν ένα ρομποτικό βραχίονα που συνήθως είναι τοποθετημένος στο πλάγιο μέρος της αναπηρικής καρέκλας. Οι βραχίονες αυτοί, βοηθούν τα άτομα με ειδικές ανάγκες να πραγματοποιήσουν εργασίες που δεν μπορούν να κάνουν από μόνοι τους, όπως το να σηκώσουν το πιρούνι με το φαγητό και να το τοποθετήσουν στο στόμα ή να γυρίσουν μια σελίδα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αναπηρική καρέκλα MANUS (εικ. 7) που σχεδιάστηκε στην Ολλανδία με ρομποτικό βραχίονα 6 βαθμών ελευθερίας με μέγιστο άνοιγμα βραχίονα περίπου 80cm Και ικανότητα ανύψωσης έως και 2 κιλά. Τέλος έχει σχεδιαστεί ακόμα αναπηρικό καρότσι που μπορεί να ανεβαίνει και να κατεβαίνει σκάλες και να κινείται χρησιμοποιώντας μόνο τις δύο από τις τέσσερις ρόδες του αυτό είναι το iBOT (εικ. 8).



Εικόνα 6. Αναπηρική καρέκλα VTT.



Εικόνα 7. Αναπηρική καρέκλα MANUS.



Εικόνα 8. Αναπηρικό καρότσι iBOT.

- **Σύστημα υποβοήθησης κίνησης ασθενών με εξασθενημένη όραση:** Το PAM –AID διαθέτει ένα βασικό αισθητήρα Laser για **ανίχνευση εμποδίων**. Μπορεί να λειτουργήσει, είτε **παθητικά** προειδοποιώντας απλώς τον χρήστη για

επερχόμενα εμπόδια, είτε **ενεργητικά** επεμβαίνοντας στους τροχούς στρίβοντας ή φρενάροντας (εικ. 9).



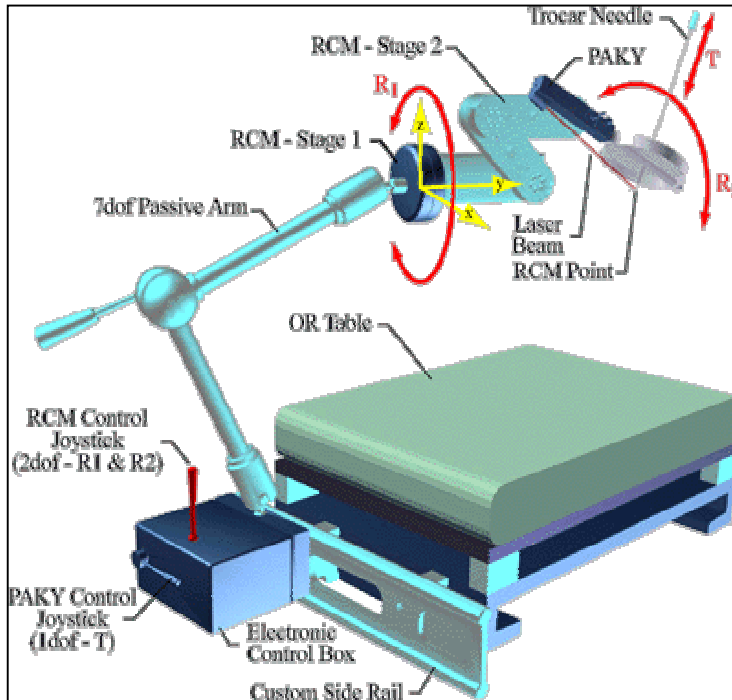
Εικόνα 9. Σύστημα PAM –AID.

Βιο-Ρομπότ: έξυπνα ρομπότ σαν τεχνητή μορφή ζωής.

Υπάρχουν τρία πεδία στη γενική ιατρική που η χρήση των ρομπότ είναι ιδιαίτερος χρήσιμη:

I. Διάγνωση

Τα ρομπότ μπορεί να φανούν χρήσιμα στην εκτέλεση καθοδηγούμενων βιοψιών (εικ. 10) υπερήχων ή υπολογιστικής αξονικής τομογραφίας (CAT). Η χρήση ημιαυτόματων συσκευών χρησιμοποιείται ευρέως σε κακοήθεις όγκους του στήθους όπου το στερεοτακτικό εργαλείο επιτρέπει την πραγματοποίηση βιοψίας όταν καθοδηγείται από μια μαγνητική τομογραφία. Με παρόμοιο τρόπο τα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιοψίες στο συκώτι, στο προστάτη κ.α.



Εικόνα 10. Σύστημα ρομποτικά υποβοηθούμενης βιοψίας.

II. Χειρουργική

Ο τομέας της θεραπείας βρίσκει εξαιρετική τη χρησιμότητα της ρομποτικής χειρουργικής σε επεμβάσεις ελάχιστης παρεμβατικότητας. Με τη βοήθεια τόσο των απλών όσο και των πιο πολύπλοκων χειρουργικών συστημάτων που θα εξεταστούν παρακάτω.

Η ρομποτική χειρουργική έχει εφαρμογές στη:

Μακροχειρουργική: Σε επεμβάσεις, ωτορινολαρυγγολογικές, σπονδυλικής στήλης, μεταμόσχευσης, αγγειολογικές.

Μικροχειρουργική: Σε επεμβάσεις στον εγκέφαλο, οφθαλμολογικές, μικροαγγειακές και στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική (θωρακοσκοπικές, ενδοσκοπικές, αρθροσκοπικές, λαπαροσκοπικές επεμβάσεις κ.α.).

Πρόσφατα, οι παρακάτω επεμβάσεις της γενικής χειρουργικής ωφελήθηκαν από τη ρομποτική τεχνολογία:

- Χολοκυστεκτομή.
- Επεμβάσεις αντιμετώπισης παχυσαρκίας.
- Θεραπεία ασθένειας MRGE.

- Θεραπεία αχαλαζίας.
- Πυελική λεμφαδεκτομή.
- Αγγειακή και σαλπγγική μικροαναστόμωση.
- Νεφρεκτομή ζωντανού δότη.
- Σκωληκοειδεκτομή.
- Προστατεκτομή.
- Αρθρωπλαστική ισχίου και γονάτου.
- Νευροχειρουργική.

Τηλεχειρουργική: Με τη χρήση της ρομποτικής χειρουργικής και των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών επιτυγχάνεται η εφαρμογή της τηλεχειρουργικής οι οποία μπορεί να διακριθεί στις εξής κατηγορίες:

i. Επεμβάσεις τηλεδιάσκεψης (Surgical Teleconsulting)

Παρά τη σχετικά νέα ορολογία ο όρος τηλεδιάσκεψη υπάρχει εδώ και αρκετά χρόνια. Τεχνικά ακόμα και ένα τηλεφώνημα στο γιατρό για να μας δώσει μια συμβουλή, περιλαμβάνεται στη σφαίρα της τηλεδιάσκεψης. Τα τελευταία χρόνια παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή έχει διευρυνθεί, με γιατρούς που λαμβάνουν μέρος σε « ζωντανές » τηλεδιασκέψεις ή συμμετέχουν σαν παρατηρητές σε χειρουργικές επεμβάσεις.

Ειδικότερα, η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την μετάδοση μιας επέμβασης που βιντεοσκοπείται, προς ένα ειδικό που βρίσκεται μακριά ακόμα και σε άλλη χώρα, με σκοπό να συζητηθούν οι δυσκολίες της επέμβασης που την ίδια στιγμή αντιμετωπίζονται. Σε απλές περιπτώσεις, χρησιμοποιείται τηλεφωνικό δίκτυο για μετάδοση φωνής, δεδομένων και fax. Η αμφίδρομη οπτικοακουστική γραμμή επικοινωνίας μεταξύ των δύο τερματικών επιτυγχάνεται με υπηρεσίες ψηφιακού δικτύου (Integrated Services Digital Network ή ISDN) σε πολύπλοκες περιπτώσεις συνήθως προτιμούνται δίκτυα Ethernet.

ii. Επεμβάσεις τηλεβοηθούμενες (Surgical Teleassistance) ή τηλεχειριζόμενες επεμβάσεις

Η χειρουργική τηλεβοήθεια αφορά τον έλεγχο από μακριά (ο γιατρός βρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο με τον ασθενή), ενός χειρουργικού εργαλείου ή ενδοσκοπίου από έναν

ειδικό με το αντικείμενο. Αφορά ρομποτικά χειρουργικά τηλεχειριζόμενα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την συγκράτηση, την τοποθέτηση ενός ενδοσκοπίου ή και χειρουργικών εργαλείων. Παράδειγμα τέτοιων συστημάτων είναι τα ρομποτικά συστήματα Aesop, da Vinci και Zeus. Η πληροφορία ελέγχου για το ρομπότ μεταδίδεται αμφίδρομα με γραμμές ISDN ή ευρείας περιοχής ISDN (Broadband ISDN ή B-ISDN).

iii. Τηλεχειρουργικές επεμβάσεις

Αυτές χαρακτηρίζονται από την εκτέλεση μιας επέμβασης ή μέρους μιας επέμβασης κατά την οποία ο χειρουργός μπορεί να απουσιάζει από το χειρουργικό δωμάτιο. Χρησιμοποιούνται πολύπλοκα ρομποτικά συστήματα τα οποία αποτελούνται από τη μονάδα του « αφέντη » και τη μονάδα « υπηρέτη-δούλου ». Η μονάδα του « αφέντη », αποτελεί την χειρουργική κονσόλα που παίζει το ρόλο του χειρουργού, ενώ η μονάδα του « δούλου » είναι υπεύθυνη για την μετατροπή των εντολών ελέγχου, σε πραγματικές χειρουργικές κινήσεις. Η επικοινωνία και η μεταφερόμενη πληροφορία μεταξύ των δύο μονάδων λαμβάνει χώρα μέσω τοπικών δικτύων (LAN) ή μέσω ασύγχρονων μεθόδων μεταφοράς δεδομένων δικτύων (Asynchronous Transfer Mode ή ATM).

Οι επεμβάσεις με τηλεχειρισμό έχουν πολλές εφαρμογές: από την εκτέλεση πολύπλοκων διαδικασιών που πραγματοποιούνται μόνο σε μερικά κέντρα του κόσμου, χωρίς να χρειαστεί οι ασθενείς να μετακινηθούν από της περιοχή διαμονής τους, μέχρι την πιθανότητα πραγματοποίησης ακόμα και απλών χειρουργικών επεμβάσεων από απόσταση φθάνοντας έτσι ακόμα και τις πιο απομακρυσμένες περιοχές στο κόσμο.

III. Εκπαίδευση

Με την εξέλιξη της ενδοσκοπικής χειρουργικής νέες ανάγκες προέκυψαν όσον αφορά την διδασκαλία και την εκπαίδευση, λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας της πληροφορίας.(IT- Information Technology).

Οι βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στις τεχνικές παραγωγής εικόνας, όπως η δημιουργία εικονικής πραγματικότητας και τρισδιάστατων ολογραφικών ανακατασκευών, συνέβαλλαν στην ανάπτυξη ειδικών συστημάτων εξομοίωσης χειρουργικών επεμβάσεων. Τα συστήματα αυτά, μπορούν χρησιμοποιώντας

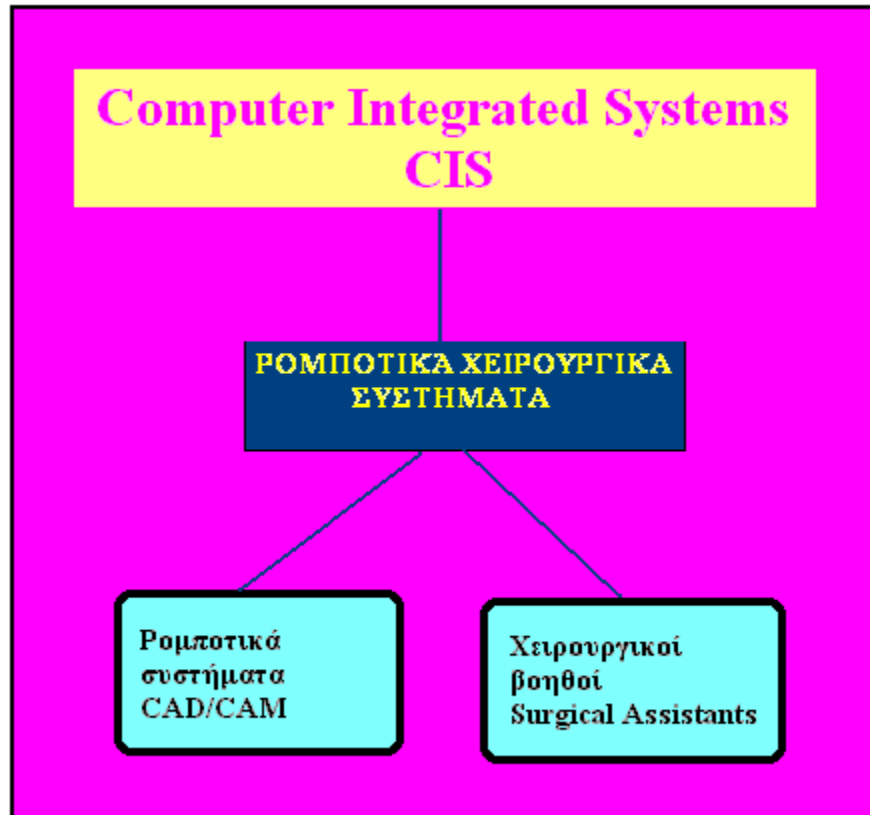
πληροφορίες ανατομίας, να παραστήσουν φυσιολογικές ή παθολογικές καταστάσεις ενός εικονικού ασθενή.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος είναι:

- Η πιστή αναπαραγωγή των κινήσεων και των διαδικασιών μιας επέμβασης.
- Η ακριβής αναπαραγωγή της αίσθησης της αντίστασης της δύναμης (λόγω της επαφής με τα εσωτερικά όργανα).
- Η χρήση ίδιων εργαλείων με αυτά που χρησιμοποιούνται σε κανονικές εγχειρήσεις
- Και η δυνατότητα εξομοίωσης κρίσιμων καταστάσεων με ποικίλες χειρουργικές τεχνικές.

3. ΙΑΤΡΙΚΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα, είναι κατά πρώτο συστήματα της χειρουργικής που στηρίζονται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές (Computer Integrated Systems-CIS) και κατά δεύτερο ιατρικά ρομπότ.



Εικόνα 11. Σχεδιάγραμμα κατηγοριών ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων.

Με άλλα λόγια, το ρομπότ από μόνο του είναι ένα στοιχείο ενός μεγαλύτερου συστήματος, σχεδιασμένο να βοηθήσει το χειρουργό να φέρει εις πέρας μια χειρουργική επέμβαση που μπορεί να περιλαμβάνει, προεγχειριντικό σχεδιασμό, εγγραφή του προ

σχεδιασμένου πλάνου κατά τη διάρκεια της εγχείρησης, χρήση ενός συνδυασμού ρομποτικής βοήθειας και χειροκίνητα ελεγχόμενων εργαλείων για την εφαρμογή του πλάνου και τη μετεγχειρητική εξακρίβωση και παρακολούθηση της εξέλιξης της.

Τα χειρουργικά ρομπότ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς τρόπους όπως: από το βαθμό αυτονομίας τους (π.χ. σε προ-προγραμματιζόμενα, σε τηλεχειριζόμενα), από το συγκεκριμένο ανατομικό μέρος στο οποίο στοχεύουν η την τεχνική (π.χ. νευροχειρουργικά, ορθοπεδικά, λαπαροσκοπικά κ.α.), από τον τρόπο που λειτουργούν αν για παράδειγμα βοηθούν τον γιατρό να αποφεύγει λανθασμένες κινήσεις κατά τη διάρκεια της επέμβασης ή αν επεμβαίνουν με ρομποτικούς βραχίονες στον ασθενή ενώ ο χειρουργός βρίσκεται μακριά από το χειρουργικό τραπέζι (η πρώτη περίπτωση αφορά ρομποτικά χειρουργικά συστήματα πλοήγησης Navigation Surgery Systems, ενώ η δεύτερη περίπτωση αφορά ρομποτικά συστήματα τηλεχειρισμού αφέντη – δούλου Tele-operation Robotic Systems Master – Slave Manipulators) κ.α.

Στο κεφάλαιο αυτό, τα ρομπότ θα ταξινομηθούν (εικ. 11) σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το γενικότερο πλαίσιο του ρόλου τους στην χειρουργική υποβοηθούμενη από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έτσι έχουμε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τα χειρουργικά συστήματα CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing).
- Και τους χειρουργικούς βοηθούς (surgical assistants).

Η εργασία αυτή, αφορά τη δεύτερη κατηγορία συστημάτων γι' αυτό θα γίνει περιληπτικά λόγος για την πρώτη κατηγορία και αναλυτικά για την δεύτερη κατηγορία στα επόμενα κεφάλαια.

3.1 Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα CAD/CAM

Τα ρομποτικά συστήματα CAD/CAM επεξεργάζονται την απεικονιστική πληροφορία, συνήθως, συνήθως της Μαγνητικής ή της Υπολογιστικής Τομογραφίας, είναι δυνατή η χρήση απεικονιστικών μοντέλων για το προεγχειρητικό σχεδιασμό, την τροποποίηση ή τη βελτιστοποίηση της εγχειρητικής στρατηγικής αλλά και την εκπαίδευση νέων χειρουργών μέσω των εξομοιωτών σε νέες χειρουργικές τεχνικές.

Ο προεγχειρητικός σχεδιασμός, τυπικά αρχίζει με δισδιάστατες ή τρισδιάστατες ιατρικές εικόνες που λαμβάνονται μαζί με πληροφορία για τον ασθενή. Αυτές οι εικόνες μπορούν να συνδυαστούν με γενικές πληροφορίες για την ανθρώπινη ανατομία για να παραχθεί ένα μοντέλο στον υπολογιστή διαφορετικό για κάθε ασθενή που κατόπιν θα χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό της επέμβασης. Στο χειρουργικό δωμάτιο, η πληροφορία αυτή εγγράφεται στον ασθενή με τη χρήση τρισδιάστατου εντοπισμού, εικόνες υπερήχων ή ακτίνες-x, ή τη χρήση του ίδιου του ρομπότ. Εάν είναι απαραίτητο, το χειρουργικό σχέδιο μπορεί να αναβαθμιστεί και μετά ένα ή περισσότερα «βήματα κλειδιά» της διαδικασίας, πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του ρομπότ. Επιπρόσθετες εικόνες ή με τη βοήθεια εντοπισμού του ασθενούς από το σύστημα μπορούν να βεβαιώσουν ότι το χειρουργικό πλάνο εκτελέστηκε επιτυχώς και να βοηθήσει στο μετεγχειρητικό έλεγχο της έκβασης της διαδικασίας.

Σε πολλές χειρουργικές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένου τη κρανιοπροσωπική χειρουργική και την ορθοπεδική χειρουργική είναι αναγκαία η χρήση τέτοιων ρομποτικών συστημάτων, συστημάτων δηλαδή CAD/CAM που προγραμματίζονται και ελέγχονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο τα δεδομένα που καταχωρούνται μπορεί να είναι μια αξονική, η μαγνητική τομογραφία του ασθενή. Τα δεδομένα μετατρέπονται σε τρισδιάστατα μοντέλα του ασθενή. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι: είτε ενεργά, δηλαδή συστήματα που εκτελούν κάποιο σημείο της επέμβασης μόνα τους όπως το ρομποτικό σύστημα ROBODOC, είτε ημιενεργά, συστήματα πλοήγησης τα οποία επιτρέπουν τον ακριβή προσανατολισμό των χειρουργικών εργαλείων ακόμα και σε επεμβάσεις MIS (χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερη ακρίβεια και για να καθορίσουν τα όρια επέμβασης, να καθοδηγήσουν το χειρουργό, προστατεύοντας τους ιστούς που δεν πρέπει να τραυματισθούν και να έρθουν σε επαφή με το χειρουργικό εργαλείο. Είναι εξαιρετικά χρήσιμα σε επεμβάσεις αφαίρεσης ιστών στη νευροχειρουργική όπου ένα λάθος έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις και σε πολύπλοκες επεμβάσεις ανακατασκευής ιστών όπως στην αρθρωπλαστική ισχίου (ένα τέτοιο σύστημα είναι και το HipNav που θα αναλυθεί παρακάτω).

Τυπικά παραδείγματα της ρομποτικής χειρουργικής CAD/CAM παρουσιάζονται παρακάτω

3.1.1 Ρομποτικό σύστημα ROBODOC

Τα ενεργά συστήματα είναι αυτόνομα ρομποτικά συστήματα που υπό την επίβλεψη του χειρουργού και την καθοδήγηση ειδικών υποδοχέων εκτελούν συγκεκριμένες φάσεις, δηλαδή συγκεκριμένους χειρουργικούς χρόνους κατά τη διάρκεια μιας εγχείρησης ή ακόμη και ολόκληρες εγχειρήσεις. Παρά την αυτονομία τους, είναι αυτονόητη η παρουσία του έμπειρου χειρουργού που παρακολουθεί την χειρουργική πράξη έτοιμος ανά πάσα στιγμή να παρέμβει προκειμένου να διακόψει ή να τροποποιήσει τη λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα.

Ένα από τα πρώτα επιτυχή CAD/CAM ρομπότ ήταν το σύστημα ROBODOC (εικ. 12) που χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται ακόμα σε αρθροπλαστικές. Αναπτύχθηκε κλινικά από την εταιρεία Integrated Surgical Systems, από ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε στην IBM Research στα τέλη του 1980. Επιλέχτηκε να εξετασθεί επειδή, το σύστημα αυτό έχει ένα αριθμό χαρακτηριστικών που βρίσκονται και σε άλλα χειρουργικά ρομπότ CAM/CAD.



Εικόνα 12. ROBODOC™

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ευρέως στην ολική αρθρωπλαστική ισχίου, κατά την οποία αντικαθιστάται η πάσχουσα άρθρωση με μία τεχνητή πρόθεση.

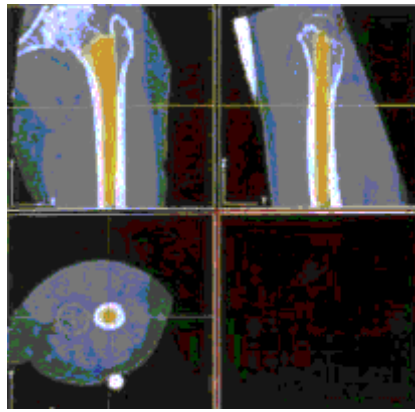
Το ROBODOC™ χρησιμοποιώντας την πληροφορία της Υπολογιστικής Τομογραφίας (CT) επιτρέπει στο χειρουργό να σχεδιάσει προεγχειρητικά στον υπολογιστή την τρισδιάστατη κοιλότητα που επιθυμεί να δημιουργηθεί (εικ. 13). Ακολούθως, το σχέδιο εργασίας αποθηκεύεται σε μια κασέτα και μεταφέρεται στο ρομποτικό βραχίονα, ένα υψηλής ταχύτητας ορθοπεδικό εργαλείο που λαξεύει την επιθυμητή κοιλότητα με εξαιρετική ακρίβεια. Κατά την εγχείρηση ο χειρουργός εκκινεί τον βραχίονα και απλώς παρακολουθεί την ομαλή εκτέλεση του προεγχειρητικού σχεδίου. Μετά το πέρας της λειτουργίας του βραχίονα, αυτός απομακρύνεται από το χειρουργικό πεδίο, τοποθετείται η πρόθεση και η εγχείρηση ολοκληρώνεται με το συνηθισμένο τρόπο.

Στην αρθρωπλαστική επέμβαση με ROBODOC, ο χειρουργός επιλέγει το μοντέλο και το μέγεθος του εμφυτεύματος βασιζόμενος στην ανάλυση των προεγχειρητικών εικόνων αξονικής τομογραφίας (CT) και ενεργά καθορίζει την επιθυμητή θέση κάθε μέρους της άρθρωσης, σε σχέση με της συντεταγμένες της αξονικής. Η επέμβαση προχωράει κανονικά έως το σημείο που τα οστά του ασθενή πρέπει να ετοιμαστούν για να δεχθούν το εμφύτευμα. Το ρομπότ τοποθετείται πάνω από το χειρουργικό τραπέζι. Τα οστά του ασθενή προσαρμόζονται στη βάση του ρομπότ μέσω μιας ειδικά σχεδιασμένης συσκευής που τα κρατάει ακίνητα. Και η μετατροπή μεταξύ του ρομπότ και των συντεταγμένων (CT), καθορίζεται είτε αγγίζοντας πολλαπλά σημεία στην επιφάνεια των οστών του ασθενή είτε αγγίζοντας προεμφυτευμένα σημεία αναφοράς (λεπτές καρφίτσες) των οποίων οι συντεταγμένες (CT) καθορίζονται από την επεξεργασία εικόνας.

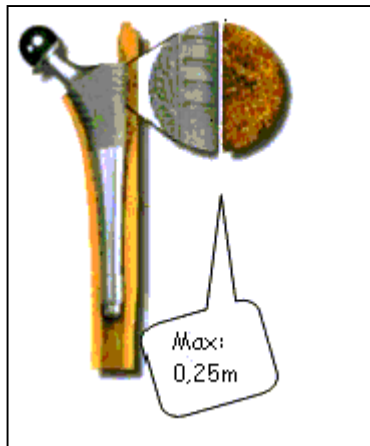
Το χέρι του χειρουργού οδηγεί το ρομπότ σε μια αρχική θέση χρησιμοποιώντας ένα αισθητήρα δύναμης που τοποθετείται μεταξύ του ρομποτικού μέρους που συγκρατεί το εργαλείο και του χειρουργικού εργαλείου κοπής. Το ρομπότ κατόπιν σμιλεύει το οστό στο επιθυμητό σχήμα (για να επέλθει η ανάπτυξη οστίτη ιστού, η κοιλότητα στο μηριαίο οστό πρέπει να σχηματισθεί με τέτοια ακρίβεια ώστε η μέγιστη απόσταση μεταξύ του οστού και της μεταλλικής επιφάνειας να είναι 0,25 χιλιοστά (εικ. 14)), ενώ ταυτόχρονα απεικονίζονται σε μόνιτορ οι δυνάμεις κοπής, η κίνηση των οστών και άλλες παράμετροι ασφαλείας. Ο χειρουργός επίσης βλέπει σε οθόνη την εξέλιξη της επέμβασης και μπορεί

να διακόψει το ρομπότ οποιαδήποτε στιγμή. Εάν η διαδικασία σταματήσει για οποιονδήποτε λόγο, υπάρχει ένα αριθμός διαδικασιών αποκατάστασης του λάθους που επιτρέπουν να επαναληφθεί από την αρχή η διαδικασία ή να ξαναξεκινήσει η επέμβαση σε ένα από τα αρκετά καθορισμένα σημεία ελέγχου. Αφού γίνει το επιθυμητό σχήμα στο οστό η επέμβαση προχωράει με τον κλασικό τρόπο δηλαδή με το χέρι του χειρουργού.

Το σύστημα εφαρμόστηκε κλινικά το 1992 για την εμφύτευση πρόθεσης μηριαίου οστού σε ολική αρθρωπλαστική ισχίου.



Εικόνα 13. Σχεδιασμός (προεγχειριντικά) στον υπολογιστή της επιθυμητής κοιλότητας.

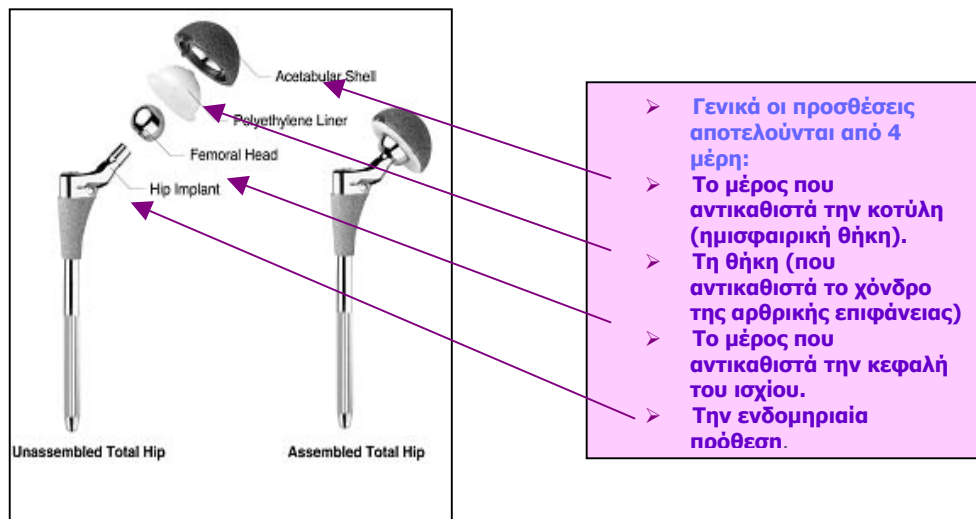


Εικόνα 14 Επιθυμητή απόσταση μεταξύ οστού και μεταλλική πρόθεσης.

3.1.2 Ρομποτικό σύστημα πλοήγησης HipNav για αρθρωπλαστική ισχίου

Οι Ορθοπαιδικοί χρησιμοποιούν συστήματα οδήγησης σε ολικές αρθρωπλαστικές ισχίου ή γονάτου που κάνουν μικρότερες τομές.

Το σύστημα πλοήγησης HipNav (Hip Navigator), επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιήσει με ακρίβεια την καλύτερη τοποθέτηση εμφυτεύματος κοτύλης (διαφορετικό για κάθε ασθενή) κατά την διάρκεια μιας επέμβασης ολικής αρθρωπλαστικής ισχίου (εικ. 15).



Εικόνα 15. Πρόθεση ολικής αρθρωπλαστικής ισχίου.

Το σύστημα HipNav περιλαμβάνει:

- Ένα προεγχειριντικό σχεδιαστή. Ο οποίος επιτρέπει στο χειρουργό με κατάλληλο χειρισμό να καθορίσει την θέση της κοτύλης μέσα στη λεκάνη, βασιζόμενος σε αξονικές τομογραφίες του ασθενή που λαμβάνονται πριν την εγχείρηση.
- Ένα εξομοιωτή του εύρους κίνησης. Ο υπολογισμός του εύρους κίνησης της κεφαλής του ισχίου από τον εξομοιωτή, βασίζεται σε παραμέτρους της τοποθέτησης του εμφυτεύματος που παρέχονται από τον προεγχειριντικό

σχεδιαστή. Η ανάδραση που παρέχεται από τον εξομοιωτή μπορεί να βοηθήσει το χειρουργό στον βέλτιστη τοποθέτηση του εμφυτεύματος που διαφέρει από ασθενή σε ασθενή.

- iii. Και ένα σύστημα ανίχνευσης και οδήγησης της κίνησης των χεριών του χειρουργού κατά τη διάρκεια της επέμβασης: Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για την ακριβή τοποθέτηση του εμφυτεύματος στην προκαθορισμένη βέλτιστη θέση, ανεξάρτητα από τη θέση που βρίσκεται ο ασθενής στο εγχειρνητικό τραπέζι.

Οι στόχοι που εκπληρώνει αυτό το σύστημα είναι:

1. Να μειώσει τις εξάρθρώσεις που ακολουθούν μια ολική αρθρωπλαστική ισχίου λόγω της κακής τοποθέτησης της κοτύλης.
2. Να καθορίσει και να αυξήσει το «ασφαλές» εύρος της κίνησης.
3. Να μειώσει τα υπολείμματα εφαρμογής που παράγονται από την επαφή της κεφαλής του μηριαίου με την επιφάνεια της κοτύλης.
4. Να ανιχνεύσει σε πραγματικό χρόνο τη θέση της λεκάνης και της κοτύλης κατά τη διάρκεια της επέμβασης.

Αυτή η πληροφορία θα βοηθήσει το χειρουργό να επιτύχει πιο αξιόπιστη και ακριβή τοποθέτηση της κοτύλης.

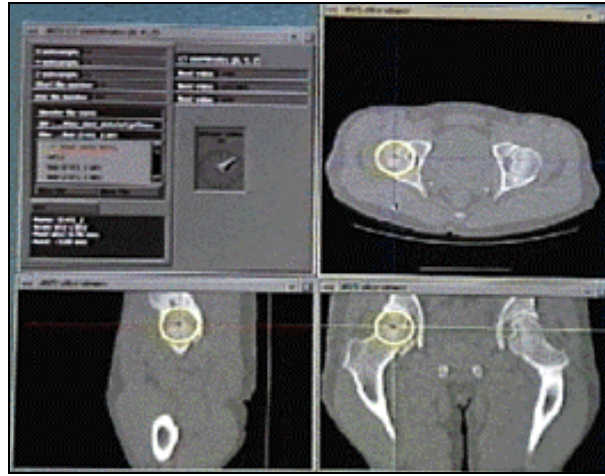
Το μέγεθος του εμφυτεύματος επιλέγεται με απλές ακτινογραφίες που λαμβάνονται από τον ασθενή ενώ το είδος του εμφυτεύματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ηλικία, η εργασία που κάνει ασθενής κ.α.

3.1.2.1 Περιγραφή λειτουργίας του συστήματος

Το πρώτο βήμα που γίνεται χρησιμοποιώντας το HipNav είναι μια προεγχειρητική σάρωση με αξονικό τομογράφο που χρησιμοποιείται για να καθορίσει την συγκεκριμένη γεωμετρία του οστού του ασθενή. Βοηθά το χειρουργό να καθορίσει τον βέλτιστο προσανατολισμό για τον κάθε ασθενή της ισχιακής πρόθεσης και να επιτύχει με ακρίβεια την επιθυμητή τοποθέτηση κατά την εγχείρηση.

Οι εικόνες που λαμβάνονται από τον αξονικό τομογράφο χρησιμοποιούνται στο σχεδιαστή ο οποίος επιτρέπει στο χειρουργό να καθορίσει το κατάλληλη τοποθέτηση και

μέγεθος του εμφυτεύματος. Ο χειρουργός μπορεί να τοποθετήσει στον σχεδιαστή τις τομές της που έχουν ληφθεί από τον αξονικό όπως φαίνεται στην εικόνα 16.



Εικόνα 16. Αξονικές τομές του ασθενή εισάγονται στο σύστημα.

Αφού ο χειρουργός επιλέξει τη θέση του κοτυλικού εμφυτεύματος χρησιμοποιείται ένας εξομοιωτής εύρους κίνησης για να καθορίσει τις θέσεις του μηριαίου οστού (έκταση, κάμψη, απαγωγή, προσαγωγή, έσω και έξω περιστροφή) που θα μπορεί να πραγματοποιήσει με το συγκεκριμένο σχέδιο, και τη συγκεκριμένη θέση του εμφυτεύματος. Ο χειρουργός βασισμένος σε αυτό το εύρος πληροφορίας της κίνησης μπορεί να επιλέξει να τροποποιήσει την επιλεγμένη θέση ώστε να πετύχει τη βέλτιστη τοποθέτηση της θήκης για το συγκεκριμένο ασθενή. Το εύρος της κίνησης που πραγματοποιεί ο εξομοιωτής είναι μια κινηματική ανάλυση που καθορίζει το πλαίσιο του ασφαλούς εύρους κίνησης. Το καλύτερο, εξειδικευμένο για κάθε ασθενή σχέδιο χρησιμοποιείται από το σύστημα HipNav στο χειρουργικό δωμάτιο την ημέρα της επέμβασης. Το σύστημα HipNav επιτρέπει στο χειρουργό να καθορίσει που βρίσκονται η λεκάνη και η κοτύλη σε συντεταγμένες στο χειρουργικό δωμάτιο, ανά πάσα στιγμή καθ' όλη τη διάρκεια της επέμβασης. Γνωρίζοντας της θέση της λεκάνης σε όλες τις φάσεις της εγχείρησης, και ειδικά κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας και εμφύτευσης της κοτύλης, επιτρέπει στο χειρουργό να την τοποθετήσει με ακρίβεια σύμφωνα με το προεγχειριντικό πλάνο. Εναλλακτικά, χρησιμοποιώντας το σύστημα ο χειρουργός μπορεί

να ευθυγραμμίσει το μέλος σε ένα αποδεκτή πρότυπη θέση που επιτρέπει 45° απαγωγή και 20° κάμψη.

Υπάρχουν αρκετές συσκευές που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της επέμβασης για να επιτρέψουν στο χειρουργό να εκτελέσει με ακρίβεια το προεγχειρνητικό σχέδιο. Μια συσκευή είναι μια Optotrak κάμερα που παρακολουθεί και ανιχνεύει τη θέση ειδικών διόδων που εκπέμπουν φως (LEDS). Αυτές οι δίοδοι μπορούν να προσαρτηθούν στα οστά σε εργαλεία ή σε άλλο εξοπλισμό του χειρουργείου επιτρέποντας υψηλή και αξιόπιστη παρακολούθηση θέσης. Το Optotrak μπορεί να πετύχει ακρίβειες περίπου 0.1 mm με ταχύτητα 100 μετρήσεις το δευτερόλεπτο ή ακόμα και περισσότερες.

Με σκοπό να καθορισθεί την τοποθεσία της λεκάνης και της κοτύλης του εμφυτεύματος κατά τη διάρκεια της επέμβασης, στόχοι του Optotrak προσαρμόζονται σε κάποιο από τα χειρουργικά εργαλεία. Η λεκάνη παρακολουθείται προσαρτώντας ένα στόχο σε ένα μέρος της λεκάνης και εισάγοντας τη συσκευή (Optotrak) σε ένα σημείο στο λαγόνιο οστό. Η κοτύλη παρακολουθείται τοποθετώντας ένα δεύτερο στόχο στη λαβή ενός HGP II που τοποθετεί και συγκρατεί τη θήκη της κοτύλης. Και ένας τρίτος στόχος απαιτείται από το σύστημα HipNav για να καθορίσει τις συντεταγμένες του χειρουργικού δωματίου (π.χ. πάνω, κάτω, αριστερά δεξιά) λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του χειρουργού.

Αρκετά βήματα «κλειδιά» είναι απαραίτητα για τη χρήση του συστήματος οδήγησης της επέμβασης HipNav. Ένα από τα πιο σημαντικά είναι η εγγραφή της προεγχειρητικής πληροφορίας (π.χ. αξονικές τομές και προεγχειρνητικό σχέδιο) για τη θέση του ασθενή στο τραπέζι του χειρουργείου. Ένας περιορισμός των σύγχρονων συστημάτων εγγραφής που χρησιμοποιούνται στην ορθοπεδική, είναι η ανάγκη να εμφυτευτούν χειρουργικά καρφίτσες μέσα στο κόκαλο πριν ληφθούν οι προεγχειρητικές εικόνες. Μια εναλλακτική τεχνική που ερευνάται χρησιμοποιεί τη γεωμετρία επιφάνειας για να πραγματοποιήσει εγγραφή. Με αυτή την προσέγγιση, οι επιφάνειες του οστού (όπως η λεκάνη ή η κοτύλη) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ευθυγραμμίσουν με ακρίβεια την προεγχειρητική θέση του ασθενή στο προεγχειρνητικό σχεδιασμό χωρίς τη χρήση καρφίτσων ή άλλων επεμβατικών διαδικασιών. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, είναι απαραίτητο να ανιχνευθούν πολλαπλά σημεία στην επιφάνεια του οστού με ένα όργανο που μετατρέπει την πληροφορία αυτή σε ψηφιακή. Αυτά τα σημεία δεδομένων κατόπιν, συνδυάζονται

και δημιουργούν μια γεωμετρική περιγραφή της οστικής επιφάνειας του ασθενή προερχόμενη από εικόνες αξονικής τομογραφίας που χρησιμοποιήθηκαν για να σχεδιαστεί η επέμβαση.

Το μοντέλο της επιφάνειας της λεκάνης κατασκευάστηκε από δεδομένα αξονικής τομογραφίας με τεχνικές που περιγράφηκαν παραπάνω. Τα διακεκριμένα σημεία συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας ένα όργανο (που μετατρέπει την πληροφορία αυτή σε ψηφιακή) το οποίο φυσικά έρχεται σε επαφή με τα ενδεδειγμένα σημεία (εικ. 17). Ο σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να καθορίσει είναι να καθορίσει ένα μετασχηματισμό εγγραφής που ευθυγραμμίζει με τον καλύτερο τρόπο τα διακριτά σημεία με το μοντέλο της επιφάνειας. Μια αρχική εκτίμηση αυτή της μετατροπής αρχικά καθορίζεται με το χέρι ειδικευμένα ανατομικά όρια για να πραγματοποιηθεί αντίστοιχη εγγραφή σημείων. Αφού καθοριστεί αυτή η αρχική εκτίμηση, ο βασιζόμενος στην επιφάνεια αλγόριθμος εγγραφής χρησιμοποιεί τα δεδομένα πριν και κατά τη διάρκεια της επέμβασης για να βελτιώσει την αρχική εκτίμηση μετατροπής.

Αφού καθοριστεί η θέση της λεκάνης μέσω της εγγραφής, ανάδραση οδήγησης μπορεί να παρέχεται στο χειρουργό σε μια οθόνη τηλεόρασης. Αυτή η ανάδραση χρησιμοποιείται από το χειρουργό για να τοποθετήσει με ακρίβεια το εμφύτευμα της κοτύλης μέσα στην κοιλότητα της κοτύλης.

Η εγγραφή επίσης επιτρέπει να ανιχνεύεται η θέση της λεκάνης κατά τη διάρκεια της επέμβασης με τη χρήση του συστήματος Optotrack. Η ικανότητα της ανίχνευσης επιτρέπει στους χειρουργούς να καταγράψουν τη θέση της λεκάνης κατά τη διάρκεια της επέμβασης και ειδικά σε στιγμές « κλειδιά » όπως τη στιγμή της εμφύτευσης του μέρους της κοτύλης ή κατά τη διάρκεια του ελέγχου του εύρους κίνησης.

Μια από τις συχνότερες (1-5%) πρώιμες επιπλοκές της αρθροπλαστικής του ισχίου είναι το εξάρθρημα του ισχίου, η επίπτωση της οποίας παραμένει σταθερή και οφείλεται στην κακή τοποθέτηση (ως προς τον προσανατολισμό) της πρόθεσης. Στις εγχειρήσεις αυτές, ο σχεδιασμός της εγχείρησης από το χειρουργό γίνεται με τη βοήθεια απλών προσθοπίσθιων και πλάγιων ακτινογραφιών του ισχίου με τις οποίες εκτιμάται το επιθυμητό μέγεθος της κεφαλής. Η πληροφορία όμως που λαμβάνεται για τον προσανατολισμό της πρόθεσης στον τρισδιάστατο χώρο από τις δισδιάστατες ακτινογραφίες είναι ουσιαστικά ελάχιστη.



Εικόνα 17. Χρησιμοποιώντας συνηθισμένα χειρουργικά εργαλεία που φέρουν οπτικούς σημαντήρες το HipNav επιτρέπει στο χειρουργό να προσανατολίσει στο χώρο της πυέλου, εξασφαλίζοντας την κατάλληλη θέση και προσανατολισμό, σύμφωνα με τον προεγχειρητικό σχεδιασμό.

Το σύστημα HipNav με την επεξεργασία της προεγχειρητικής Υπολογιστικής Τομογραφίας, καθορίζει την οστική γεωμετρία του συγκεκριμένου ασθενούς και εξασφαλίζει την ασφαλή επιλογή του μεγέθους και της τοποθέτησης της πρόθεσης. Ο χειρουργός μπορεί να τροποποιήσει την επιλεγμένη θέση αφού δοκιμάσει εικονικά τη συμπεριφορά της πρόθεσης σε κάθε κίνηση του μηρού (έκταση / κάμψη, απαγωγή / προσαγωγή, εσωτερική / εξωτερική στροφή). Το HipNav κατά τη διάρκεια της εγχείρησης επιτρέπει στο χειρουργό να βλέπει την τρισδιάστατη εικόνα της λεκάνης σε πραγματικό χρόνο και από την επιθυμητή οπτική γωνία. Ιδιαίτερα μάλιστα κατά τη φάση της προετοιμασίας και της τοποθέτησης της πρόθεσης, παρέχει στο χειρουργό τη δυνατότητα της ακριβούς τοποθέτησης της σύμφωνα με τον προεγχειρητικό σχεδιασμό. Το HipNav υπόσχεται μείωση της συχνότητας των εξάρθρημάτων μετά από ολική αρθρωπλαστική. Ήδη, από τον Απρίλιο 1997, το σύστημα ευρίσκεται σε κλινική χρήση.

Ανάλογα συστήματα πλοήγησης χρησιμοποιούνται και σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια. Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το Neuro Mate το οποίο εφαρμόστηκε κλινικά το 1996. Είναι της εταιρείας Integrated Surgical Systems έχει εγκριθεί από το FDA και είναι εμπορικά διαθέσιμο.

4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΒΟΗΘΩΝ (ΤΥΠΟΥ MASTER-SLAVE)

Η ρομποτική χειρουργική είναι η εφαρμογή της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής μεθόδου μέσω ενός ρομποτικού συστήματος. Είναι η διαδικασία όπου ένα ρομπότ εκτελεί χειρουργική επέμβαση υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστικού προγράμματος.

Τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα master-slave δεν είναι αυτόνομα ρομπότ που μπορούν να πραγματοποιήσουν χειρουργικές πράξεις από μόνα τους, αλλά δανείζουν ένα μηχανικό χέρι βοήθειας στους χειρουργούς. Αυτά τα συστήματα απαιτούν το χειρουργό να τα λειτουργήσει και να εισάγει τις οδηγίες. Παρόλο που ο χειρουργός παρακολουθεί και καθοδηγεί την επέμβαση η εκτέλεση της γίνεται από τους ρομποτικούς βραχίονες. Οι μέθοδοι με τις οποίες αυτά τα ρομπότ ελέγχονται είναι είτε με τηλεχειρισμό είτε με φωνητικές εντολές.

Ολοένα αυξάνεται ο αριθμός των ιατρικών ειδικοτήτων που χρησιμοποιούν τη ρομποτική τεχνολογία για να διευρύνουν και να αξιοποιήσουν τις ανθρώπινες ικανότητες. Η νευροχειρουργική, η ορθοπαιδική, η οφθαλμολογία, η οδοντιατρική, η ουρολογία, η γενική χειρουργική, η γυναικολογική ιατρική, η ογκολογία και άλλες ειδικότητες χρησιμοποιούν σε ορισμένες εφαρμογές τους τη ρομποτική χειρουργική

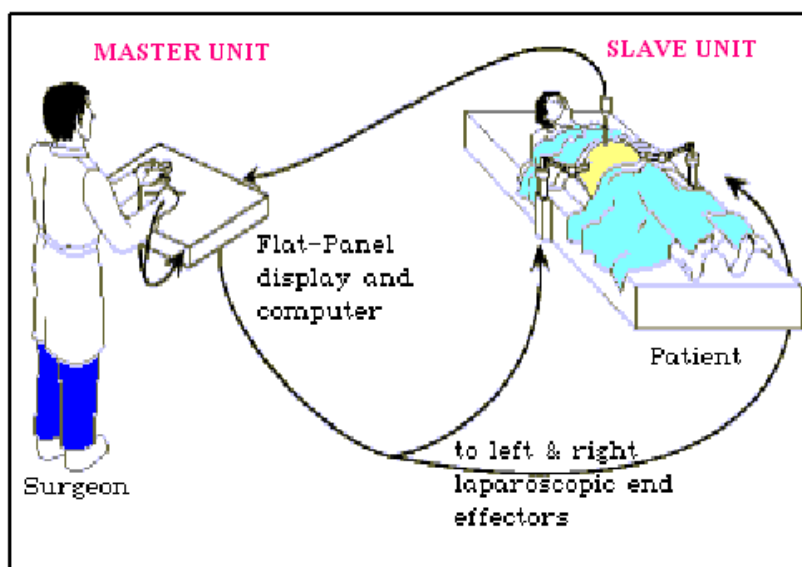
4.1 Ρομποτικά συστήματα Master–Slave («αφέντη–δούλου»)

Γενικά, τα ρομποτικά συστήματα master-slave (εικ. 18), περιλαμβάνουν τη χειρουργική κονσόλα όπου ο χειριστής χειρουργός (master), καθοδηγεί το χειρουργικό η τους χειρουργικούς ρομποτικούς βραχίονες (slave), μέσω ενός τηλερομποτικού βινεοσκοπικής σύνδεσης. Ο χειρουργός κάθεται σε μια κονσόλα ελέγχου η οποία περιλαμβάνει μια οθόνη όπου παρουσιάζονται οι εικόνες που λαμβάνονται με ενδοσκοπική κάμερα που βρίσκεται μέσα στο σώμα του ασθενή. Η χειρουργική κονσόλα επίσης παρέχει μοχλούς (master manipulators), τους οποίους ο χειρουργός χρησιμοποιεί

για να ελέγξει τις κινήσεις των χειρουργικών βραχιόνων (slave manipulators) που βρίσκονται στη μεριά του ασθενή και διαχειρίζονται τους ιστούς. Ο χειρουργός όταν κοιτάζει τις εικόνες έχει την αίσθηση ότι κοιτάζει απευθείας το χειρουργικό πεδίο και τα χέρια του. Κρατάει δε τους μοχλούς και με τα δύο του χέρια έχοντας ένα μοχλό στο κάθε χέρι και οδηγεί προσεκτικά τις άκρες των εργαλείων μέσα στο σώμα του ασθενή. Καθώς ο χειρουργός κινεί τους μοχλούς στη χειρουργική κονσόλα, οι χειρουργικοί βραχίονες ακολουθούν άμεσα τις κινήσεις που εισάγει.

Αυτό το σύστημα αφέντη – δούλου επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιεί πιο λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις που απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτές που πραγματοποιούνται με τη συμβατική ενδοσκοπική χειρουργική. Τα πιο σημαντικά ρομποτικά συστήματα « αφέντη – δούλου» είναι τα: AESOP, ZEUS και da Vinci.

Τα ρομποτικά συστήματα τύπου master – slave, εισήχθησαν στην ιατρική διότι επιτρέπουν στο χειρουργό να κάνει επεμβάσεις από απόσταση ακόμα και σε απομακρυσμένα μέρη, αλλά και με μεγάλη ακρίβεια χειρισμού των χειρουργικών εργαλείων κατά τη διάρκεια ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής ή μικροεπεμβατικής



Εικόνα 18. Χειρουργικό σύστημα τύπου Master Slave.

χειρουργικής διαδικασίας. Επιτρέποντας έτσι στους γιατρούς να πραγματοποιήσουν τις πιο λεπτές επεμβάσεις με ελάχιστο ρίσκο και μετεγχειρητικό πόνο για τον ασθενή.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στα συστήματα, master – slave ή αλλιώς «αφέντη–δούλου» με τα οποία ο χειρουργός δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τον ασθενή. Το τηλεχειριζόμενο σύστημα ακολουθεί την πορεία της κίνησης των χεριών του χειρουργού και τη μεταφράζει. Προς το παρόν δύο χειρουργικά συστήματα «αφέντη–δούλου» (master-slave), είναι εμπορικά διαθέσιμα: **Το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci και το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Zeus.** Τα οποία βασίζονται στις τεχνικές της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής.

4.2 Ελάχιστα Επεμβατική Χειρουργική (Minimum Invasive Surgery or MIS)

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αλματώδεις επαναστατικές ανακαλύψεις στην ιατρική επιστήμη, με την εφαρμογή νέων θεραπευτικών και διαγνωστικών τεχνικών και μηχανημάτων υψηλής τεχνολογίας στον τομέα της χειρουργικής που επιτρέπουν τη λεπτομερή και εις βάθος διερεύνηση του ανθρώπινου οργανισμού.



Εικόνα 19. Μια λαπαροσκοπική επέμβαση πραγματοποιείται με τρεις μικρές τομές στη κοιλιά.

Σε όλες τις ιατρικές ειδικότητες οι χειρουργικές τεχνικές οδηγούνται προς την κατεύθυνση των πιο λεπτών και ανώδυνων επεμβάσεων (εικ. 19). Η χειρουργική των μεγάλων τομών και της άμεσης ψηλάφησης των οργάνων από το χειρουργό αντικαθίσταται σταδιακά από την MIS, με τη χρησιμοποίηση μικρών και ευαίσθητων εργαλείων που εισέρχονται στο σώμα από μικρές, σχεδόν αναίμακτες τομές και την καθοδήγηση της επέμβασης μέσω μόνιτορ (εικ. 20).



Εικόνα 20. Οι χειρουργοί παρατηρούν το χειρουργικό πεδίου μέσω μόνιτορ.

Ένα λαπαροσκόπιο εισέρχεται μέσω μιας από τις τομές. Το λαπαροσκόπιο αυτό αποτελείται από μια σειρά οπτικών φακών που μεταδίδουν την εικόνα της επέμβασης στην κάμερα που συνδέεται με το εξωτερικό άκρο του. Οπτικές ίνες μεταφέρουν το φως για να φωτιστεί το εσωτερικό.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την επέμβαση έχουν ειδικό σχεδιασμό, είναι μακριά και λεπτά εισέρχονται στα τροκάρ και τοποθετούνται στις οπές που έχουν γίνει στη σωματική κοιλότητα, για να τη σφραγίσουν.

Αέριο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) χρησιμοποιείται για να διασταλεί η κοιλότητα του σώματος, επιτρέποντας έτσι στον χειρουργό να πραγματοποιήσει την επέμβαση.

Η ελάχιστα επεμβατική χειρουργική (Minimally Invasive Surgery) επέφερε τεχνολογική επανάσταση τα τελευταία 10 χρόνια στην αντιμετώπιση των ασθενειών που απαιτούν χειρουργική επέμβαση. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 το ενδιαφέρον για τη διάρκεια νοσηλείας και την παραμονή του ασθενούς στο νοσοκομείο, για το χαμένο χρόνο εργασίας, για την αντιμετώπιση του πόνου και τις επιπλοκές που σχετίζονταν με τις μεγάλες τομές, ώθησε στο να αναπτυχθεί η ελάχιστα επεμβατική χειρουργική για τους ενήλικες ασθενείς. Παρόλα αυτά η παιδιατρική χειρουργική παρέμεινε αισθητά αμετάβλητη έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Όταν τελικά έγινε διαθέσιμος μικρότερου μεγέθους λαπαροσκοπικός εξοπλισμός, τα πλεονεκτήματα της MIS πέρασαν στην παιδιατρική.

Στόχος της MIS είναι αφενός μεν να μειωθούν οι μετεγχειρητικοί πόνοι και τα πρηξίματα, αφετέρου δε, την ταχεία επούλωση του τραύματος και ανάρρωση του ασθενή.

Ανάλογα με τα μέρη του σώματος που εξετάζονται κάθε φορά, η MIS μπορεί να υποδιαιρεθεί σε: θωρακοσκόπηση (θωρακική κοιλότητα), αρθροσκόπηση (αρθρώσεις), πυελοσκόπηση (λεκάνη ή πύελος), αγγειοσκόπηση (αγγεία αίματος) και λαπαροσκόπηση (κοιλιακή κοιλότητα).

Η τεχνική της MIS εφαρμόζεται στην γενική χειρουργική σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Παρακάτω παρατίθενται εφαρμογές της :

- Λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή (χοληδόχου κύστης).
- Λαπαροσκοπική αντιμετώπιση αχαλαζίας του οισοφάγου.
- Λαπαροσκοπική επέμβαση στομάχου.
- Λαπαροσκοπική σπληνεκτομή.
- Λαπαροσκοπική επινεφριδιεκτομή.
- Λαπαροσκοπική κολεκτομή.
- Λαπαροσκοπική επέμβαση λεπτών εντέρων.
- Λαπαροσκοπική επέμβαση ήπατος.
- Λαπαροσκοπική επέμβαση αφαίρεσης όγκων.
- Βιοψία με λαπαροσκόπηση.

- Λαπαροσκοπική επέμβαση κοίλης.
- Λαπαροσκοπική σκοληκωειδεκτομή.
- Μικρο-λαπαροσκοπία με χρήση χειρουργικών εργαλείων 2 mm - 3 mm σε διάμετρο.
- Λαπαροσκοπικές επεμβάσεις αντιμετώπισης κακοήθους παχυσαρκίας κ.α.

Επίσης η τεχνική της MIS ή « μικροχειρουργική της κλειδαρότρυπας » εφαρμόζεται πλέον σε μεγάλο ποσοστό νευροχειρουργικών επεμβάσεων, όπως σε αφαίρεση όγκων της βάσεως του κρανίου, όγκων εγκεφάλου, αιματομάτων, κυστών κ.λ.π., με μικρές ευθείες τομές στο δέρμα και πολύ μικρές τομές στο κρανίο. Είδη έχει αρχίσει να εφαρμόζεται και στην Ελλάδα η διαρινική αφαίρεση των όγκων της υπόφυσης με ενδοσκόπιο. Με τη μέθοδο αυτή οι χειρουργοί φτάνουν στον εγκέφαλο με ενδοσκόπιο από τη μύτη. Έτσι επιτυγχάνεται, ριζικότερη αφαίρεση των όγκων, μείωση των μετεγχειρητικών επιπλοκών και μείωση των ημερών νοσηλείας (τα πλεονεκτήματα για τον ασθενή είναι η προστασία του εγκεφάλου, η ελαχιστοποίηση της αιμορραγίας στη διάρκεια της επέμβασης, ο περιορισμός των μετεγχειρητικών λοιμώξεων, αλλά και το σημαντικό κοσμητικό αποτέλεσμα, καθώς δεν κόβονται τα μαλλιά του ασθενή ούτε υπάρχουν τομές).

Τέλος η MIS έχει εφαρμογές στην ορθοπεδική, στη γυναικολογία και στη ρομποτική χειρουργική που είναι η τελευταία εξέλιξη της ενδοσκοπίας.

4.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα MIS

Σε σύγκριση με τη παραδοσιακή χειρουργική η MIS έχει αρκετά πλεονεκτήματα για τον ασθενή. Όπως λιγότερος μετεγχειρητικός πόνος, συντομότερο χρόνο ανάρρωσης, λιγότερες μετεγχειρητικές επιπλοκές, καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα στο σημείο της τομής και επομένως λιγότερο άγχος για τον ασθενή. Σημαντικό είναι και το οικονομικό όφελος τόσο γιατί είναι μικρότερος ο χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο, όσο και γιατί μπορεί να επιστρέψει συντομότερα στη δουλειά του και στις κοινωνικές του δραστηριότητες .

Από την άλλη μεριά η MIS έχει μερικά μειονεκτήματα για τους χειρουργούς.

- ✦ Ο χειρουργός δουλεύει με μακριά εργαλεία μέσω μικρών τομών τυπικά μικρότερες από 10 mm και δεν έχει άμεση πρόσβαση στο χειρουργικό πεδίο. Χάνει τη δυνατότητα ψηλάφησης των ιστών και των οργάνων. Η ψηλάφηση είναι πολύ σημαντική στο να αναγνωρίσει την υφή των ιστών, αρτηριακούς παλμούς και περιοχές που ο ιστός είναι πιο παχύς πράγμα που μπορεί να σημαίνει κάποιου είδους παθολογία όπως μόλυνση ή καρκίνο. Επομένως μια σημαντική διαγνωστική πληροφορία χάνεται λόγω της απώλειας της αίσθησης της δύναμης (αντίσταση ιστών) και της αφής.
- ✦ Επιπλέον η κίνηση των εργαλείων είναι συνήθως περιορισμένη σε τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (Degrees Of Freedom ή DOF). Συνεπώς, ο χειρουργός δεν μπορεί να φτάσει σε οποιοδήποτε σημείο στο χειρουργικό πεδίο. Αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημα της MIS που περιπλέκει εργασίες όπως το δέσιμο κόμπου που είναι χρονοβόρο και απαιτεί εντατική εκπαίδευση.
- ✦ Ο χειρισμός των εργαλείων ενέχει δυσκολίες ακόμα και λόγω των αντίθετων κινήσεων που πρέπει να κάνει ο χειρουργός για να κινήσει τα μακριά εργαλεία (μήκους περίπου 30cm) τα οποία πρέπει να κινούνται περιμετρικά γύρω από τα σημεία εισαγωγής τους στο σώμα του ασθενή. Έτσι για να κινηθεί το εργαλείο δεξιά πρέπει ο χειρουργός να το κινήσει με το χέρι του προς τα αριστερά και για να για να κινηθεί προς τα κάτω πρέπει να το κινήσει προς τα πάνω. Δεν υπάρχει δηλαδή άμεσος συγχρονισμός ματιού-χεριού.
- ✦ Σημαντικό μειονέκτημα σε σχέση με την παραδοσιακή χειρουργική είναι ο υπερτονισμός του τρέμουλου του χεριού του χειρουργού λόγω του μήκους των εργαλείων.
- ✦ Η οπτική επαφή με τους γύρω ιστούς είναι περιορισμένη.
- ✦ Ενώ η απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου σε μια οθόνη τηλεόρασης είναι δύο διαστάσεων.

Σαν συνέπεια αυτών των μειονεκτημάτων της, η MIS δεν είναι ευρέως επιθυμητή τόσο από τους ασθενείς όσο και από τους χειρουργούς. Μόνο χολοκυστεκτομές πραγματοποιούνται με την τεχνική της MIS σε ποσοστό 95% ή και περισσότερο.

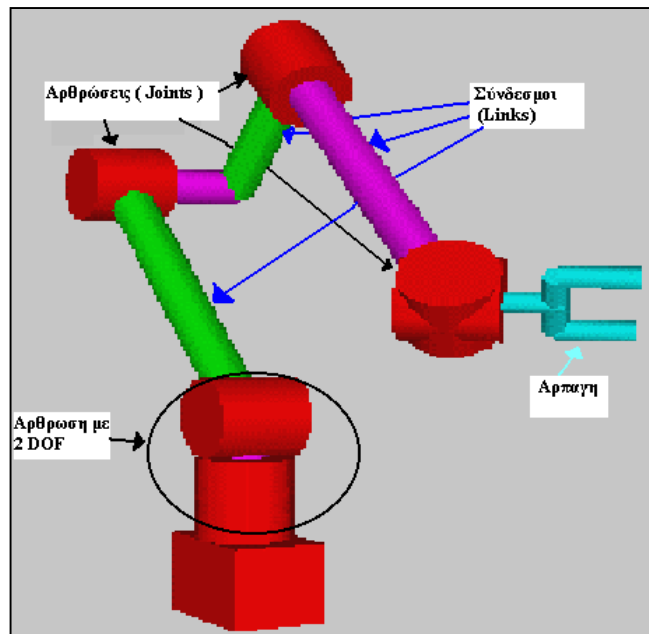
4.4 Βασικές μονάδες ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων Master-Slave.

Ένα ρομποτικό χειρουργικό σύστημα τηλεχειρισμού, αποτελείται από τρεις βασικές μονάδες (οντότητες):

1. Το μηχανικό μέρος που είναι υπεύθυνο για την κίνηση του και αποτελεί τους ρομποτικούς βραχίονες.
2. Το σύστημα οδήγησης του δηλαδή τους επενεργητές που δίνουν ενέργεια στους βραχίονες να κινηθούν.
3. Και το σύστημα ελέγχου τους που υλοποιείται με τη βοήθεια υπολογιστή, interface και λειτουργικού προγράμματος.

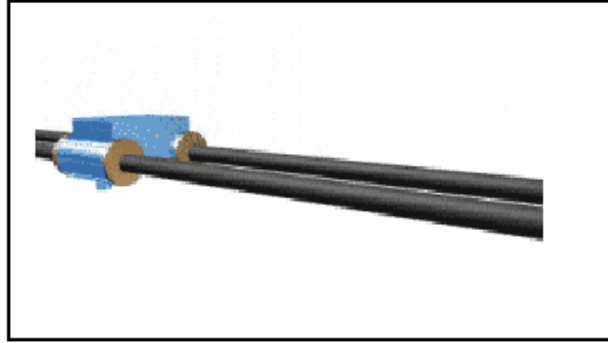
4.4.1 Ρομποτικοί βραχίονες

Οι ρομποτικοί χειρουργικοί βραχίονες έχουν αρθρωτή μορφή. Μπορούμε να τους περιγράψουμε σαν μια ανοικτή κινηματική αλυσίδα, αποτελούμενη από αλληλουχία συνδέσμων και αρθρώσεων.



Εικόνα 21. Μορφή αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα.

Παράδειγμα αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα παρουσιάζεται στην εικόνα 21. Οι κινήσεις των αρθρώσεων του ρομπότ ανήκουν στο χαμηλότερο επίπεδο ελέγχου. Κάθε ρομποτικός βραχίονας έχει ορισμένους βαθμούς ελευθερίας

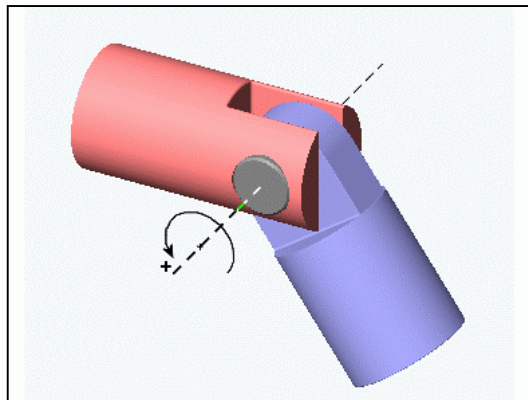


Εικόνα 22. Πρισματική άρθρωση.

Βαθμοί ελευθερίας είναι οι μεταβλητές που καθορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό ενός σώματος στο χώρο. Ένα ρομπότ έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας όταν από ένα οποιοδήποτε σημείο του χώρου δράσης μπορεί να πάρει ένα αντικείμενο και να το τοποθετήσει σε ένα άλλο οποιοδήποτε σημείο του χώρου δράσης

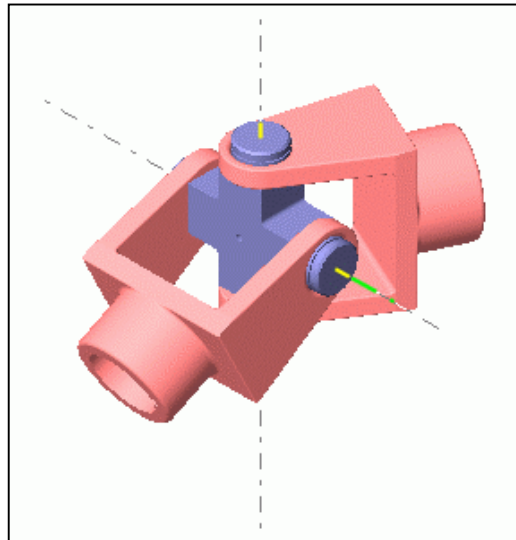
Οι αρθρώσεις ενός ρομποτικού αρθρωτού βραχίονα μπορεί να είναι:

- Πρισματική (γραμμική), για ευθύγραμμη κίνηση 1 βαθμό ελευθερίας (Degrees Of Freedom ή DOF) (εικ. 22).

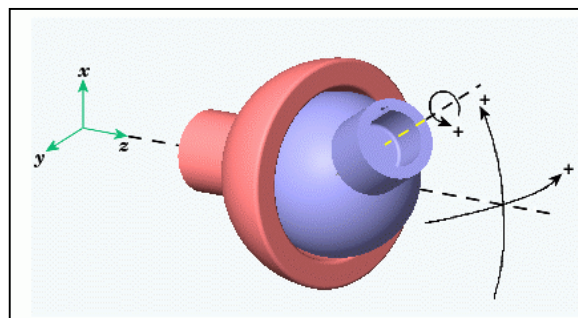
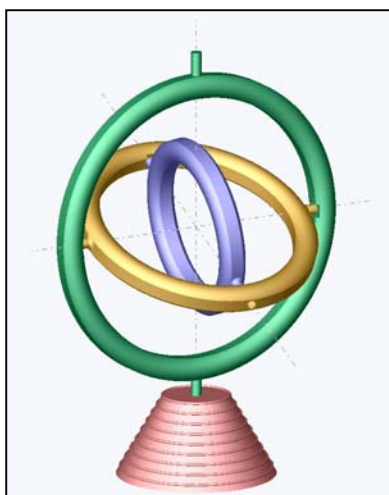


Εικόνα 23. Περιστροφική άρθρωση 1DOF.

- Περιστροφικές με 1 DOF (εικ. 23), πραγματοποιεί κίνησή πάνω-κάτω (1 κίνηση).
- Δισαρθωτές (Universal Joints) με 2 DOF πραγματοποιούν δύο κινήσεις (εικ. 24), πάνω-κάτω (1^η κίνηση) και αριστερά-δεξιά (2^η κίνηση).
- Σφαιρικές με 3 DOF (εικ. 25-26).



Εικόνα 24. Περιστροφική άρθρωση Universal 2 DOF.



Εικόνα 25. Παράδειγμα κίνησης σφαιρικής. **Εικόνα 26.** Σφαιρικής άρθρωσης 3 DOF. Άρθρωσης.

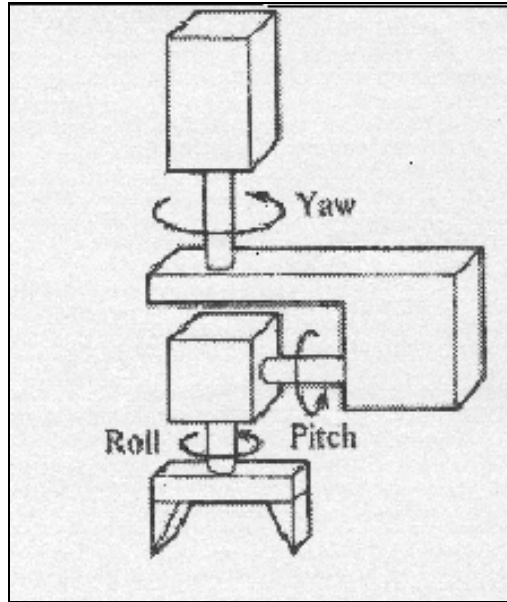
Ένα ρομποτικό χειρουργικό σύστημα έχει συνήθως από 5-7 DOF. Τρεις βαθμοί ελευθερίας (αρθρώσεις) χρειάζονται για την κίνηση του καρπού στο χώρο, ένας τέταρτος βαθμός ελευθερίας αφορά την κίνηση του τελικού εργαλείου (της αρπάγης) αν υπάρχει. Και οι υπόλοιποι (ένας έως τρεις) είναι βαθμοί ελευθερίας του καρπού που χρησιμεύουν για τον προσανατολισμό του μετακινούμενου αντικειμένου.

Οι ρομποτικοί χειρουργικοί βραχίονες, γενικά πρέπει να είναι ελαφριοί ώστε να μπορούν να τοποθετούνται και να αφαιρούνται εύκολα από το προσωπικό κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό σε επείγουσες περιπτώσεις και επίσης βοηθάει να μειωθεί ο χρόνος προετοιμασίας της συσκευής πριν την εγχείρηση. Επίσης πρέπει να μπορούν να μένουν σταθεροί (να μη λυγίζουν), για να διασφαλιστεί η απαιτούμενη ακρίβεια στην εγχείρηση. Δυστυχώς αυτό έρχεται συνήθως σε αντίθεση με το στόχο που είναι το ελαφρύ βάρος τους. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να καθοριστεί το μήκος των βραχιόνων μεταξύ των αρθρώσεων ώστε οι ρομποτικοί βραχίονες να πραγματοποιούν καλύτερα, με ακρίβεια και επιδεξιότητα ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές διαδικασίες, όντας ταυτόχρονα ανθεκτικοί και ελαφριοί

4.4.1.1 Καρπός ρομποτικών βραχιόνων

Συνήθως ο καρπός των χειρουργικών συστημάτων έχει τρεις DOF που υλοποιεί τρεις απαραίτητες περιστροφές (εικ. 27).

Στην πρώτη περιστροφή (yaw), περιστρέφεται ολόκληρο το τελευταίο μέρος του βραχίονα που κρατά τον καρπό και τους κινητήρες των υπολοίπων περιστροφών. Στην δεύτερη περιστροφή (pitch ή bend) ο καρπός «σπάει» και στην τελευταία περιστροφή (roll) περιστρέφεται το τελικό εργαλείο.



Εικόνα 27. Κινήσεις Yaw, Pitch, Roll.

4.4.1.2 Τελικό εργαλείο

Το τελικό εργαλείο προσαρμόζεται ανάλογα με την εφαρμογή. Μπορεί να είναι ένα κοφτερό εργαλείο για τη κοπή των ιστών, μια αρπαγή ώστε να μπορεί ο χειρουργός να πιάσει και να αφαιρέσει τους ιστούς ή ακόμα και συγκρατητής βελόνας για να κάνει ράμματα.



Εικόνα 28. Διάφορα είδη τελικών εργαλείων π.χ. αρπάγη, νυστέρι.

4.4.2. Επενεργητές

Κάθε βαθμός ελευθερίας αντιστοιχεί σε ένα επενεργητή (κινητήρα). Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε ρομποτικές εφαρμογές είναι οι ηλεκτρικοί (σερβοκινητήρες). Είναι κυρίως περιστροφικοί κινητήρες, πολύ σπάνια γραμμικοί και διατίθενται σε τεράστια ποικιλία μορφών και μεγεθών. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι ελέγχονται εύκολα, είναι οικονομικοί και είναι ανυπέρβλητοι για εφαρμογές περιορισμένου χώρου γι' αυτό και τείνουν να επικρατήσουν. Μειονέκτημα τους είναι ότι απαιτούν μειωτήρα στροφών, υστερούν σε υψηλές ισχύς και δεν μπορούν να υπερφορτισθούν σοβαρά.

Σε εφαρμογές όπως στα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα, που είναι απαραίτητος ο πλήρης έλεγχος και η ακρίβεια των κινήσεων, χρησιμοποιούνται σερβοκινητήρες με μειωτήρα στροφών. Με το μειωτήρα επιτυγχάνεται υψηλή μείωση των στροφών (άρα πάρα πολύ καλός έλεγχος των αρθρώσεων). Σε συνδυασμό με το μικρό τους μέγεθος και την ύπαρξη σχεδόν μηδενικού τζόγου τους κάνει ιδανικούς για ρομποτικές εφαρμογές,

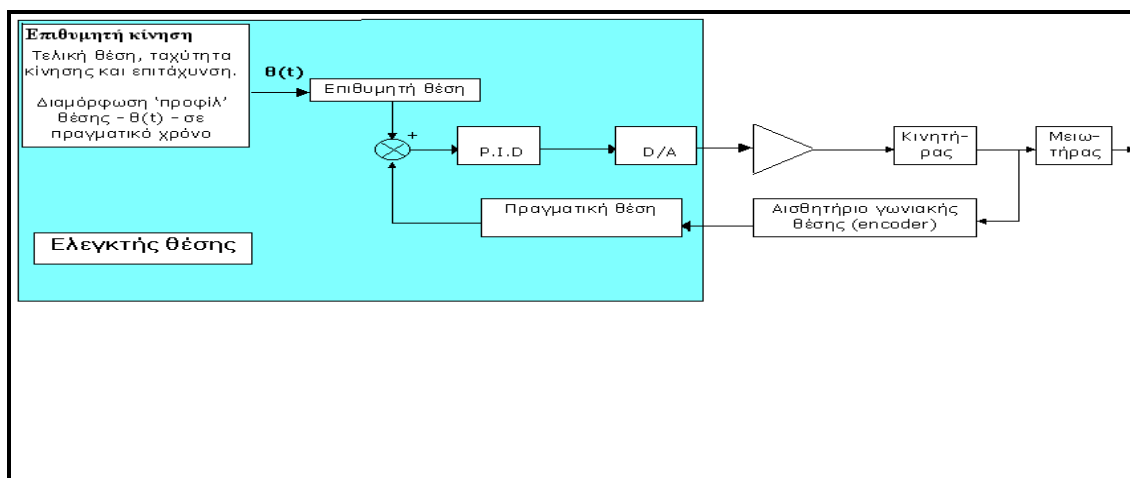
4.4.3 Έλεγχος

Το ρομπότ είναι ένα σύνολο με πολλούς επενεργητές (κινητήριους μηχανισμούς). Κάθε μια από τις αρθρώσεις έχει από ένα έως και τρεις επενεργητές που καθορίζουν το βαθμό ή τους βαθμούς ελευθερίας της άρθρωσης. Κάθε μία άρθρωση έχει το δικό της ελεγκτή ενώ υπάρχει και ένας κεντρικός ελεγκτής που συντονίζει τις κινήσεις των αρθρώσεων ώστε το ρομπότ να επιτύχει το « σκοπό » του.

Αν χωρίζαμε σε επίπεδα τον έλεγχο, θα λέγαμε ότι στο υψηλότερο επίπεδο βρίσκεται ο συντονισμός των αρθρώσεων και στο χαμηλότερο βρίσκεται ο έλεγχος τους.

Για να μελετήσουμε τον έλεγχο μιας άρθρωσης, θα θεωρήσουμε μια απλή άρθρωση με ένα ελεγκτή θέσης, ένα επενεργητή (κινητήρα) που συνδέεται με τη μονάδα ισχύος, ένα μειωτήρα στροφών (για τον καλύτερο έλεγχο της άρθρωσης) και ένα αισθητήρα γωνιακής θέσης (κωδικοποιητή) όπως φαίνεται στην εικόνα 29. Επίσης για την κίνηση της άρθρωσης από μια θέση σε μια άλλη (point to point), δίνονται συνήθως εκτός από την τελική της θέση και η επιθυμητή ταχύτητα καθώς και η επιτάχυνση της κίνησης.

Ο αισθητήρας γωνιακής θέσης, μετράει τη γωνία στροφής της άρθρωσης, το σήμα αυτό οδηγείται σε κάποιας μορφής ηλεκτρονικού υπολογιστή και αποθηκεύεται στη μνήμη του, δίνοντας ανά πάσα στιγμή τη πραγματική γωνιακή θέση του κινητήρα. Η πραγματική θέση του κινητήρα συγκρίνεται με την επιθυμητή του θέση (θέση που επιθυμεί ο χειριστής του ρομπότ). Από τη διαφορά τους προκύπτει το σφάλμα (e) ελέγχει το σύστημα . Όταν η διαφορά των τιμών επιθυμητής θέσης μείον πραγματικής θέσης είναι μεγαλύτερη από το μηδέν δηλαδή το σφάλμα είναι μεγαλύτερο του μηδενός, τότε θα δοθεί τέτοια τάση στο κινητήρα ώστε να αυξηθεί την ταχύτητα του μέχρι το σφάλμα να γίνει μηδέν ($e = 0$).

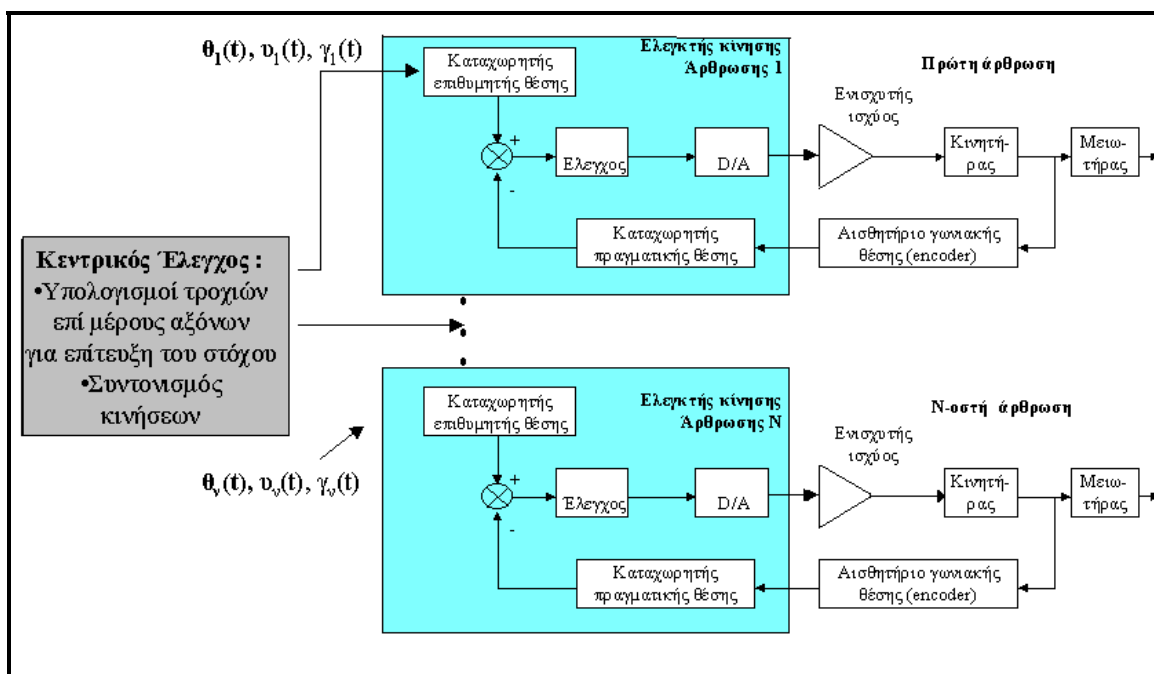


Εικόνα 29. Έλεγχος άρθρωσης.

Όταν το σφάλμα είναι μικρότερο του μηδενός ($e < 0$), θα δοθεί ανάστροφη τάση ώστε να φρενάρι ο κινητήρας, να λειτουργήσει δηλαδή με αντίστροφη φορά.

Επειδή πρακτικά το σύστημα δεν παίρνει την επιθυμητή τιμή ακαριαία και επειδή θέλουμε το σύστημα να είναι όσο το δυνατό πιο γρήγορο και με λιγότερες ταλαντώσεις γι' αυτό το σήμα του σφάλματος περνάει από έλεγχο πριν μετατραπεί από ψηφιακό σε αναλογικό και οδηγήσει τον κινητήρα.

Ο ελεγκτής κάθε άρθρωσης συνδέεται με τον κεντρικό ελεγκτή (εικ. 30) ο οποίος υπολογίζει, αποθηκεύει στη μνήμη του τις γωνίες στροφής όλων των αρθρώσεων και συντονίζει τις κινήσεις τους για την επίτευξη του στόχου.



Εικόνα 30. Έλεγχος N-αρθρώσεων.

4.5 Γενικές σκέψεις για το σχεδιασμό ρομποτικών συστημάτων

Ένα χειρουργικό ρομπότ πρέπει να είναι συμβατό με το χειρουργικό δωμάτιο. Το ρομπότ πρέπει να έχει αρκετή δύναμη, ακρίβεια και επιδεξιότητα για την χρήση που αυτό προορίζεται. Πρέπει να τοποθετείται σε μέρος που θα μπορεί να δουλέψει πάνω στον ασθενή επιτρέποντας παράλληλα την πρόσβαση και στο ιατρικό προσωπικό. Συνήθως αυτό γίνεται τοποθετώντας τους βραχίονες του ρομπότ πάνω στο χειρουργικό τραπέζι όπως στα ρομποτικά σύστημα Aesop και Zeus. Ενώ άλλες φορές τοποθετούνται στο πάτωμα δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι που βρίσκεται ο ασθενής. Τα συστήματα που οι ρομποτικοί βραχίονες τοποθετούνται στο τραπέζι, είναι πιο βολικά σε περίπτωση που κατά τη διάρκεια της επέμβασης χρειαστεί μετατόπιση του χειρουργικού τραπεζιού όμως περιορίζουν το ωφέλιμο φορτίο που μπορούν να σηκώσουν, είναι εύκολο να καμφθούν και πρέπει από το προσωπικό να μεταφερθούν και να τοποθετηθούν πάνω στο τραπέζι (εικ. 31). Τα συστήματα που είναι τοποθετημένα στο πάτωμα επιτρέπουν την εφαρμογή

μεγαλύτερων ωφέλιμων φορτίων το πρόβλημα τους είναι ότι πιάνουν αρκετό χώρο στο χειρουργικό δωμάτιο.



Εικόνα 31. Οι ρομποτικοί βραχίονες του Zeus τοποθετούνται από το προσωπικό στην άκρη του κρεβατιού του ασθενή.

Κάθε μέρος του ρομπότ που μπορεί να έρθει σε επαφή με τον ασθενή ή μπορεί να μολύνει το χειρουργικό πεδίο πρέπει να αποστειρωθεί ή να καλυφθεί με αποστειρωμένο κάλυμμα. Γι' αυτό συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται αποστειρωμένες σακούλες που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του ρομπότ. Συνήθως στο τελικό μέρος που συγκρατεί το εργαλείο που περιλαμβάνει κινητήρες ή αισθητήρες, η αποστείρωση γίνεται είτε με αέριο είτε με υγρό.

Η ασφάλεια είναι πολύ σημαντική για τα χειρουργικά ρομπότ και πρέπει να υπάρχει σε όλες τις φάσεις σχεδιασμού, κατασκευής και εφαρμογής τους. Παρότι δεν υπάρχουν σκληροί κανόνες, μερικές βασικές αρχές αναλύονται στο κεφάλαιο 6.

Ένα θέμα υπό συζήτηση στο βιομηχανικά ρομπότ αφορά τη δημιουργία, ρομπότ πολύ γενικού σκοπού ή απλούστερων πιο ειδικευμένων συστημάτων που μπορεί να είναι φθηνότερα, πιο αξιόπιστα και εξειδικευμένα για μια συγκεκριμένη εργασία. Το ίδιο θέμα απασχολεί τους ειδικούς και για τα ιατρικά ρομπότ, ειδικά μια και το τόσο μεγάλο κόστος τους σχετίζεται περισσότερο με το κόστος ανάπτυξης παρά με το κόστος

κατασκευής. Είναι επιθυμητό λοιπόν, ένα χειρουργικό ρομπότ να μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε πολλά εργαλεία χωρίς να αυξηθεί πολύ η πολυπλοκότητα του.

5. ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΙ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΙ ΒΟΗΘΟΙ

Η πρώτη γενιάς ρομποτό χειρουργικών βοηθών έχει είδη εγκατασταθεί σε αρκετά χειρουργεία ανά τον κόσμο. Αυτά τα ρομποτικά συστήματα συνιστώνται στην ιατρική διότι επιτρέπουν έλεγχο άνευ προηγμένου και ακρίβεια στο χειρισμό των ιατρικών εργαλείων στις επεμβάσεις ελάχιστης παρεμβατικότητας (MIS).

Ένα χειρουργικό ρομποτό μπορεί να οριστεί ως ένα υπολογιστικό σύστημα αποτελούμενο από μηχανοκίνητους βραχίονες με τεχνητούς αισθητήρες που μπορούν να προγραμματισθούν για να κινήσουν, να τοποθετήσουν εργαλεία και να πραγματοποιήσουν πολλαπλούς χειρουργικούς ελιγμούς. Τα χειρουργικά ρομποτό μπορούν να χωριστούν σε απλά συστήματα και πολύπλοκα συστήματα master-slave.

5.1 Απλά χειρουργικά συστήματα

Τα απλά ρομποτικά χειρουργικά συστήματα αντιπροσωπεύονται από συστήματα συγκράτησης και τοποθέτησης και χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν το χειρουργό κατά τη διάρκεια ελάχιστα παρεμβατικών επεμβάσεων.

Αυτά τα ελεγχόμενα από υπολογιστή ρομποτό, λειτουργούν ως χέρια στήριξης του λαπαροσκοπίου και είναι ικανά να αλλάζουν την θέση τους σύμφωνα με τις ανάγκες του χειρουργού. Παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το ρομποτό AESOP εικ.

5.1.1 AESOP

Το ρομποτό αυτό είναι το πρώτο ρομποτό που εγκρίθηκε από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) των Η.Π.Α. για κλινική χρήση στην κοιλιακή χώρα το 1994 (AESOP 1000). Το όνομα προέρχεται από το ακρωνύμιο των λέξεων Automated Endoscope System Optimal Positioning δηλαδή αυτοματοποιημένο ενδοσκοπικό σύστημα, βέλτιστης τοποθέτησης και συγκράτησης (χειρουργικών εργαλείων). Κατασκευάστηκε από την εταιρεία Computer Motion που βρίσκεται στη Σάντα Μπάρμπαρα της Καλιφόρνιας.



Εικόνα 32. AESOP 3000.

Την περίοδο εκείνη που πρωτοπαρουσιάστηκε, ο χειρουργός έλεγχε το ρομποτικό βραχίονα από μακριά, χειροκίνητα ή με πεντάλ ποδιού, αλλά η πιο πρόσφατη γενιά του AESOP 3000 (εικ. 32), ελέγχεται με φωνητικές εντολές.

Ο ρομποτικός βραχίονας συγκρατεί και κινεί μια κάμερα η οποία χρησιμοποιείται σε επεμβάσεις MIS για την παρατήρηση του χειρουργικού πεδίου. Η κάμερα τοποθετείται στην άκρη του βραχίονα και εισέρχεται μέσα στο σώμα του ασθενή μέσω μιας τομής μήκους περίπου δύομισι εκατοστών. Το AESOP κινεί την κάμερα με ακριβείς και σταθερές κινήσεις ώστε να παρέχει στο χειρουργό τη βέλτιστη εικόνα του χειρουργικού πεδίου.

Το ρομποτικό σύστημα AESOP είναι το τρίτο χέρι του χειρουργού. Χρησιμοποιώντας απλές εντολές όπως «AESOP, move up (AESOP, κινήσου προς τα πάνω)», «AESOP, turn left (AESOP, στρίψε αριστερά)» ο χειρουργός λέει στο ρομπότ να κινήσει την κάμερα. Κάθε χειρουργός ηχογραφεί τη φωνή του και έχει κάρτα φωνής που εισάγεται στο σύστημα όποτε χειρουργεί, προκειμένου να αναγνωρίζει τις εντολές. Συνήθως το

σύστημα λειτουργεί καλά. Το ρομπότ μπορεί να μην αναγνωρίζει τη φωνή εάν ο τόνος της φωνής του χειρουργού εκείνη τη μέρα διαφέρει από τον ηχογραφημένο. Αλλά υπάρχει υποστηρικτικό σύστημα με το οποίο μπορεί να το χειριστεί χειροκίνητα εάν κάτι τέτοιο συμβεί. Επειδή δεν την κρατάει ανθρώπινο χέρι, δεν κάνει ανεπιθύμητες κινήσεις. Χρησιμοποιείται κυρίως σε σχετικά απλές επεμβάσεις, π.χ. σε επεμβάσεις χολοκυστεκτομής και βουβωνοκήλης. Το AESOP πήρε το σήμα CE τον Ιούνιο του 1998. Μέχρι σήμερα το AESOP βρίσκεται σε περίπου 280 νοσοκομεία. Το κόστος του συστήματος αυτού είναι περίπου 65.000\$.

5.2 Πολύπλοκα ρομποτικά συστήματα

Στις αρχές του 1990 αναπτύχθηκε η ιδέα των συστημάτων τηλεχειρισμού ή συστημάτων master - slave. Η Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση των Η.Π.Α. υποστήριξε την έρευνα σε αυτό το πεδίο που έκανε το Ινστιτούτο Ερευνών Stanford. Έτσι στις αρχές του 1990 αναπτύχθηκε το πρώτο σύστημα master – slave με μόλις 4 DOF στα εργαλεία του. Η εταιρεία Intuitive Surgical αγόρασε την άδεια για χρήση της τεχνολογίας αυτής το 1994. Ο χειριστής χρησιμοποιώντας τηλεχειριστήριο ή φωνητικές εντολές μπορεί να εκτελέσει κινήσεις εγχείρησης, οι οποίες μέσω ειδικού ηλεκτρονικού υπολογιστή διαβιβάζονται στα όργανα του ρομπότ, ακόμα και αν ο χειρουργός βρίσκεται σε άλλο νοσοκομείο. Αντιμετωπίζοντας έτσι δύσκολες περιπτώσεις στις οποίες επιβάλλεται άμεση παρέμβαση εξειδικευμένου επιστήμονα, (ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές). Εκμεταλλευόμενος ο χειριστής, αυτή τη τεχνολογία, δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το σώμα του ασθενή αλλά δρα μέσω μιας master console (κονσόλα ελέγχου) από όπου τα σήματα εντολής στέλνονται και μετατρέπονται σε χειρουργικές μανούβρες από τους ρομποτικούς βραχίονες (robot slave arms). Τα πολύπλοκα ρομπότ αποτελούνται από τα ακόλουθα υποσυστήματα: ρομποτικούς βραχίονες, εσωτερικούς επενεργητές και εσωτερικούς αισθητήρες, τριών διαστάσεων βίντεο-ενδοσκοπικό σύστημα, ευφυή σύστημα ελέγχου και διάταξη διασύνδεσης ανθρώπου – μηχανήματος με H/Y (interface).

Ο χειριστής του μηχανήματος δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το σώμα του ασθενή αλλά δρα μέσω μιας κεντρικής κονσόλας απ όπου στέλνονται τα σήματα εντολών τα οποία μετατρέπονται σε χειρουργικούς ελιγμούς στα άκρα των ρομποτικών βραχιόνων. Οι ενέργειες δηλαδή του ρομπότ δεν προκαθορίζονται όπως συμβαίνει σε άλλα χειρουργικά ρομπότ αλλά ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο από το χειρουργό. Σ' αυτά τα συστήματα ανήκουν το da Vinci και Zeus τα οποία δημιουργήθηκαν με σκοπό να εκτελέσουν τηλεχειρουργικές επεμβάσεις. Επιτρέπουν στο χειρουργό να επεμβαίνει από μακρινή τοποθεσία. Η μακρινή αυτή τοποθεσία μπορεί να είναι τόσο μακριά όσο στην άλλη άκρη του κόσμου ή τόσο κοντά όσο το διπλανό δωμάτιο. Μια και η απόσταση χωρίζει τον ασθενή από το χειρουργό είναι φυσικό ότι ο χειρουργός δεν μπορεί να χειρουργήσει με τα δικά του χέρια. Ένα ρομπότ δίπλα στον ασθενή γίνεται τα χέρια του χειρουργού ενώ μια περίπλοκη διασυνδετική διάταξη υπολογιστή (interface) μεταφέρει εικόνα, ήχο στον χειρουργό ενώ σε ερευνητικό στάδιο βρίσκεται ακόμα η μεταφορά της αίσθησης της δύναμης και της αφής στα χέρια του χειρουργού. Η τηλεχειρουργική αποτελεί μια εφαρμογή των πολύπλοκων ρομποτικών συστημάτων master-slave.

Στην τηλεχειρουργική ο χειρουργός μπορεί να βασίζεται μόνο στις πληροφορίες που παίρνει από τους αισθητήρες οι οποίες μεταδίδονται από απομακρυσμένη τοποθεσία. Γι' αυτό και πληροφορίες τους πρέπει να είναι σωστές. Όπως και στη ρομποτική χειρουργική, συχνά χρησιμοποιούνται κάποια σημεία αναφοράς ως μέσα για την ευθυγράμμιση της εικονικής εικόνας με την πραγματική θέση τόσο του ρομπότ όσο και του ασθενή. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται πομποί και δέκτες υπερύθρων σημάτων δεδομένου ότι προσφέρουν πολύ γρήγορη και ακριβή εγγραφή.

Παρόλο που η ρομποτική χειρουργική με τηλεχειρισμό και η τηλεχειρουργική έχουν πολλά κοινά σημεία, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του ρομπότ και του μέσου διασύνδεσης μεταξύ ανθρώπου-ρομπότ (HCI, Human - Computer Interface). Το HCI είναι μια από τις πιο περίπλοκες πτυχές της τηλεχειρουργικής. Πρέπει να είναι απλό, «διορατικό» και αποτελεσματικό.

5.2.1 Ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci

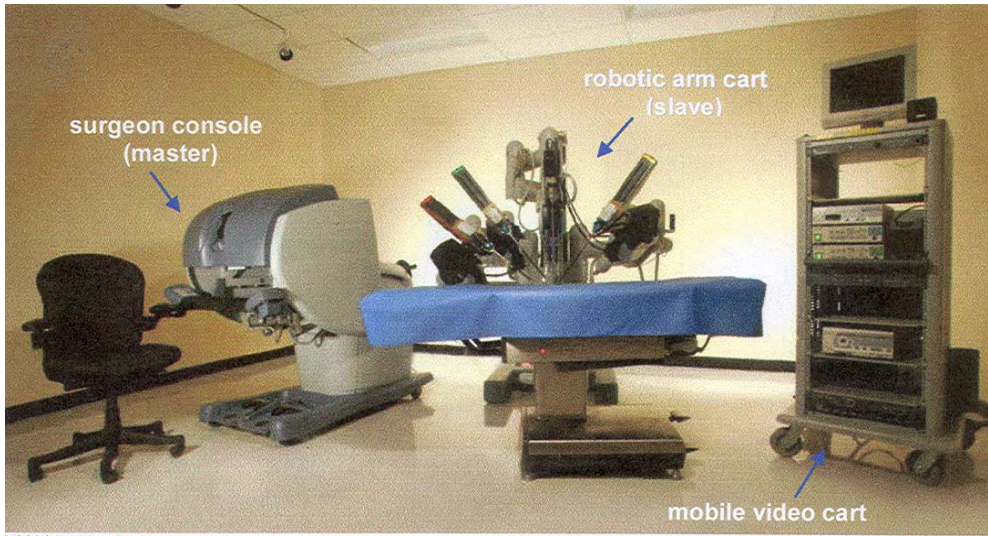
Το ρομποτικό σύστημα da Vinci αναπτύχθηκε από το υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α. και ενός προγράμματος της NASA σχεδιασμένο για να πραγματοποιεί επείγουσες χειρουργικές επεμβάσεις από απόσταση σε στρατιώτες ή αστροναύτες. Το όνομα da Vinci επιλέχτηκε επειδή όπως και ο Leonardo (Da Vinci), έτσι και το σύστημα ήταν μπροστά από την εποχή του.

Η πραγματοποίηση της ιδέας για τη δημιουργία του ρομποτικού συστήματος da Vinci, προήλθε στα εργαστήρια ερευνών του ινστιτούτου του Στάνφορντ (Stanford Research Institute ή SRI), όπου αναπτύσσονταν ένα σύστημα τηλεϊατρικής με το οποίο θα πραγματοποιούνταν χειρουργικές επεμβάσεις για το στρατό. Η εταιρεία Intuitive Surgical που ιδρύθηκε το 1995 (που βρίσκεται στο Sunnyvale στην Καλιφόρνια) αγόρασε τα δικαιώματα για χρήση της τεχνολογίας του από το SRI με το όραμα να κάνει το σύστημα αξιόπιστο και ασφαλή ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευρείας κλίμακας χειρουργικές εφαρμογές.

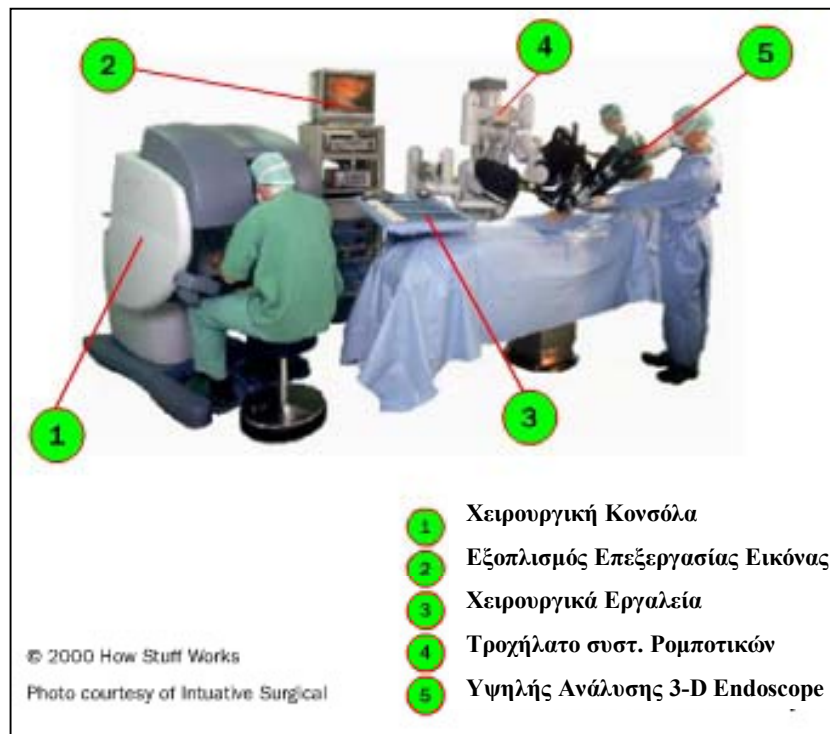
Για να επιτύχει το έργο αυτό η Intuitive Surgical, δημιούργησε έμπειρες ομάδες σχεδίασης, με εξειδικευμένους επιστήμονες στα πεδία της ρομποτικής, του βίντεο και των υπολογιστών και με χειρουργούς που ενδιαφέρονταν να βελτιώσουν την ικανότητα της ιατρικής βιομηχανίας να παρέχει πιο εκλεπτυσμένες και πιο ασφαλείς χειρουργικές τεχνικές. Το αποτέλεσμα αυτής της έντονης προσπάθειας είναι το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci το οποίο συνδέει τα χέρια του χειρουργού με μικρά εργαλεία μέσω ενός ρομπότ που ελέγχεται από ένα υπολογιστή. Το ρομποτικό σύστημα da Vinci είναι ένα, master-slave σύστημα τηλεχειρισμού.

Το χειρουργικό σύστημα da Vinci αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη (εικ. 33):

- Την κονσόλα ελέγχου ή κονσόλα χειρουργού.
- Τη τροχήλατη συσκευή με του τρεις ρομποτικούς βραχίονες.
- Το οπτικό σύστημα.
- Τέλος περιλαμβάνει ένα «πύργο» με βίντεο, μια οθόνη, ένα ιατρικό μόνιτορ που δίνει εικόνες από το χειρουργικό πεδίο, τη γεννήτρια υπερήχων, την πηγή φωτός κ.α. Παρέχει χρήσιμες πληροφορίες στους βοηθούς του γιατρού και βρίσκεται δίπλα από το κρεβάτι του ασθενή.



Εικόνα 33. Ρομποτικό σύστημα da Vinci.



Εικόνα 34. Ρομποτικό σύστημα da Vinci, κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης.

χειρουργός πραγματοποιεί την εγχείρηση καθισμένος στην κονσόλα ελέγχου (εικ. 34) και τοποθετεί τα μάτια του σε δύο προσοφθάλμιους φακούς που βρίσκονται πάνω στην κονσόλα ελέγχου, παρατηρώντας μια οθόνη η οποία παρέχει υψηλής ανάλυσης, έγχρωμες, τρισδιάστατες και σε μεγέθυνση εικόνες του χειρουργικού πεδίου και των δύο χειρουργικών εργαλείων.

Η FDA των Η.Π.Α. αποδέχτηκε τη χρήση του για χειρουργική βοήθεια (surgical assistance) τον Ιούλιο του 1997 (Κ:965001). Στις 11 Ιουλίου 2000 ο οργανισμός τροφίμων και φαρμάκων (FDA) των Η.Π.Α. ενέκρινε το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci να χρησιμοποιηθεί στα χειρουργεία της Αμερικής ως σύστημα ελέγχου του ενδοσκοπικού εργαλείου για χρήση του σε λαπαροσκοπικές χειρουργικές επεμβάσεις. Ήταν το πρώτο ρομποτικό σύστημα για χειρουργικές επεμβάσεις που ενέκρινε το FDA. Τον Μάρτιο του 2001 το FDA ενέκρινε τη χρήση του σε γενικές μη καρδιολογικές θωρακοσκοπικές χειρουργικές διαδικασίες. Ενώ τον Ιούνιο του 2001 εγκρίθηκε για χρήση σε λαπαροσκοπική αφαίρεσης προστάτη. Στην Ευρώπη το σύστημα da Vinci έχει πλήρως εγκριθεί με ρυθμιστικές διατάξεις και θα του επιτραπεί να φέρει το σήμα CE έως τον Αύγουστο του 2006 όταν η άδεια του θα χρειαστεί να ανανεωθεί.

Παρακάτω παρατίθενται όλες οι επεμβάσεις που έχουν εγκριθεί από το FDA.

- ✦ Γενική λαπαροσκοπική χειρουργική (Ιούλιος 00:K990144).
 - Χοληδοχοκυστεκτομή.
 - Εκτομή θύμου αδένου (θυμεκτομή), για τη μυασθένεια Gravis.
 - Του γαστρεντερικού, για αντιμετώπιση παχυσαρκίας
 - Επεμβάσεις για θεραπεία των γαστροοισοφαγικών αντανάκλαστικών (Nissen fundoplication).
- ✦ Ουρολογικές επεμβάσεις (αποκατάσταση γονιμότητας).
 - Ριζικής προστατεκτομής (Μάιος 01: K011002)
- ✦ Θωρακοσκοπικές επεμβάσεις. (Μάρτιος 01 : K002489)
- ✦ Επεμβάσεις θωρακοσκοπικής καρδιοτομίας (Νοέμβριος 02 :K022574).
 - Αορτοστεφανιαίας παράκαμψης (bypass).
 - Αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας.

- Καθοδήγηση επικάρδιου βηματοδότη για δικοιλιακό επανασυγχρονισμό.
- Στον οισοφάγο.
- Στους πνεύμονες.
- ✦ Γυναικολογική χειρουργική
- ✦ Παιδιατρικές επεμβάσεις.

Οι εφαρμογές του da Vinci (ανάλογα με τις ιατρικές ειδικότητες) αφορούν:

Ουρολογικές επεμβάσεις: ριζική προστατεκτομή, λαπαροσκοπική πυελοπλαστική, λαπαροσκοπική κυστεκτομή, λαπαροσκοπική κυστοπροστατεκτομή, κολποπλαστική, λαπαροσκοπική επινεφριδεκτομή.

Καρδιολογικές επεμβάσεις: αορτοστεφανιαία παράκαμψη (bypass), αποκατάσταση διαφραγματικής ανωμαλίας καρδιακού κόλπου, αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας, αορτο-μηριαίο bypass, λαπαροσκοπικά αορτική αποκατάσταση.

Θωρακικές επεμβάσεις: Εκτομή θύμου αδένα (θυμεκτομή), περικαρδική αφαίρεση κύστης.

Γενική χειρουργική: χολοκυστεκτομή, επέμβαση στομάχου, λαπαροσκοπική νεφρεκτομή ζωντανού δότη, μεταμόσχευση νεφρού, αφαίρεση όγκου παγκρέατος, μυοτομία Heller, αποκατάσταση βουβωνοκήλης.

Γυναικολογικές επεμβάσεις: σαλπγγική επαναστόμωση, λαπαροσκοπική υστερεκτομή.

Παιδιατρικές επεμβάσεις:

- Διάγνωση, παιδιατρικών χειρουργικών προβλημάτων π.χ. βιοψίες.
- Αντιμετώπιση παιδιατρικών χειρουργικών προβλημάτων π.χ. αφαίρεση όγκων, μέρους εντέρων κ.α.

Το ρομποτικό σύστημα da Vinci χρησιμοποιεί μια κινηματική δομή (κίνηση αρθρώσεων) επιτρέποντας στο χειρουργό να πραγματοποιήσει κινήσεις και τεχνικές ανοικτής χειρουργικής διατηρώντας τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης μέσω τομών « κλειδαρότρυπας», απλοποιεί τις ήδη υπάρχουσες επεμβατικές διαδικασίες, μετατρέπει τις δύσκολες επεμβάσεις MIS, και κάνει τις νέες διαδικασίες MIS δυνατές στις περισσότερες χειρουργικές ειδικότητες.

Ήδη περισσότερα από 210 ρομποτικά συστήματα da Vinci, λειτουργούν στις Η.Π.Α., στην Ευρώπη, στην Ασία και ανά το κόσμο.

5.2.1.1 Κονσόλα ελέγχου ή κονσόλα χειρουργού

Η κονσόλα παρέχει τη διασυνδεδετική διάταξη υπολογιστή (computer interface) μεταξύ του χειρουργού και των χειρουργικών βραχιόνων. Το υπολογιστικό σύστημα που ελέγχει ολόκληρο το σύστημα βρίσκεται μέσα στην κονσόλα ελέγχου (εικ.35).



Εικόνα 35. Κονσόλα ελέγχου ρομποτικού συστήματος da Vinci.

Η οθόνη τρισδιάστατης απεικόνισης του χειρουργικού πεδίου, βρίσκεται μέσα στο κουβούκλιο της κονσόλας ελέγχου. Γι' αυτό για να την δει ο χειρουργός τοποθετεί τα μάτια σε διόπτρες (εικ.36) που βρίσκονται πάνω στην κονσόλα ελέγχου. Οι ρομποτικοί βραχίονες απενεργοποιούνται όποτε ο χειρουργός βγάζει τα μάτια του από την οθόνη παρατήρησης.



Εικόνα 36. Διόπτρες κονσόλας ελέγχου και μοχλοί χειρισμού του συστήματος τύπου joystick.

Η κονσόλα ελέγχου εκτός από την οθόνη παρατήρησης, αποτελείται από δύο χειριστήρια τύπου joystick (εικ.37, 38), που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τις διόπτρες και επιτρέπουν στο χειρουργό να ελέγχει τους ρομποτικούς χειρουργικούς βραχίονες οι οποίοι τελικά κινούν τα εργαλεία. Οι κινήσεις του δακτύλου και του καρπού του χειρουργού μέσω αισθητήρων ψηφιοποιούνται και εγγράφονται στην μνήμη του υπολογιστή αυτές οι ενέργειες μεταφέρονται στους ρομποτικούς βραχίονες, οι οποίοι πραγματοποιούν πανομοιότυπες κινήσεις στο εγχειριντικό πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Οι μοχλοί χειρισμού (master handles), εκτός από το να δώσουν κατεύθυνση στους ρομποτικούς βραχίονες, χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν και άλλες παραμέτρους της βίντεο οθόνης (παρατήρησης) και των ρομποτικών βραχιόνων, όπως την επιλογή του ενδοσκοπίου και της αναλογίας διαβάθμισης της κίνησης.

Οι κινήσεις του χειρουργού φιλτράρονται ώστε η κίνηση των εργαλείων να μεταδίδεται χωρίς τρέμουλο στον ασθενή. Επίσης οι κινήσεις του χειρουργού «λεπτόνονται». Δηλαδή οι σχετικά μεγάλες κινήσεις των δακτύλων και καρπών του μεταφέρονται σε πολύ μικρές κινήσεις των εργαλείων. Οι μοχλοί των συστημάτων master-slave συνήθως έχουν ανάδραση αφής, αυτό το σύστημα δεν έχει, έμμεσα παρέχεται ένας βαθμός ανάδρασης μέσω ενός βίντεο μόνιτορ (οπτική ανάδραση) και αίσθηση της έκτασης των ιστών.



Εικόνα 37. Μοχλός χειρισμού τύπου joystick

The daVinci™ Surgical System instrument hand control



Εικόνα 38. Μοχλοί χειρισμού του συστήματος από άλλη οπτική γωνία .

Οι μοχλοί ελέγχου δηλαδή, παρέχουν ένα βαθμό αντίληψης της αίσθησης δύναμης και έκτασης των ιστών. Όμως η πλειοψηφία της πληροφορίας αυτής παρέχεται έμμεσα μέσω του βίντεο μόνιτορ (οπτικά).



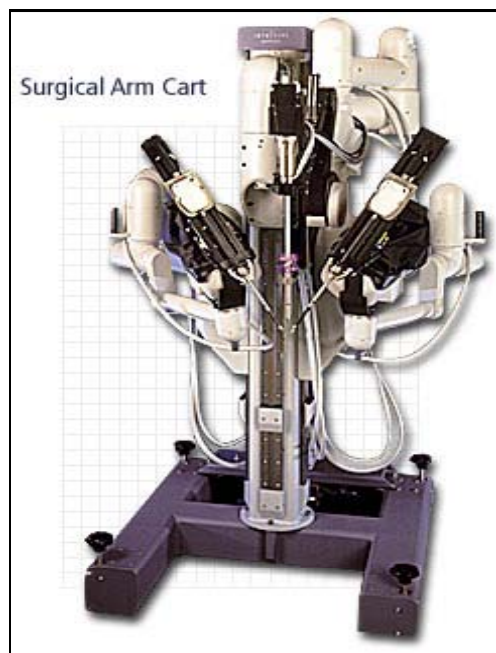
Εικόνα 39. Πετάλια ελέγχου του da Vinci.(από αριστερά προς τα δεξιά) για επανατοποθέτηση των χεριών του χειρουργού σε μια επιθυμητή πιο εργονομική θέση, για τον έλεγχο της κάμερας, για εστίαση της κάμερας (το μεσαίο), για μελλοντικές εφαρμογές και τέλος το πετάλι διαθερμίας.

Ο χειρουργός χρησιμοποιεί επίσης πετάλια ελέγχου που ενεργοποιούν τον ηλεκτροκαυτηριασμό, τα εργαλεία που χρησιμοποιούν υπερήχους και απενεργοποιούν τους μοχλούς όταν ο χειρουργός θελήσει να επανατοποθετήσει καλύτερα τα χέρια του (εικ. 39).

5.2.1.2 Τροχήλατο σύστημα ρομποτικών βραχιόνων

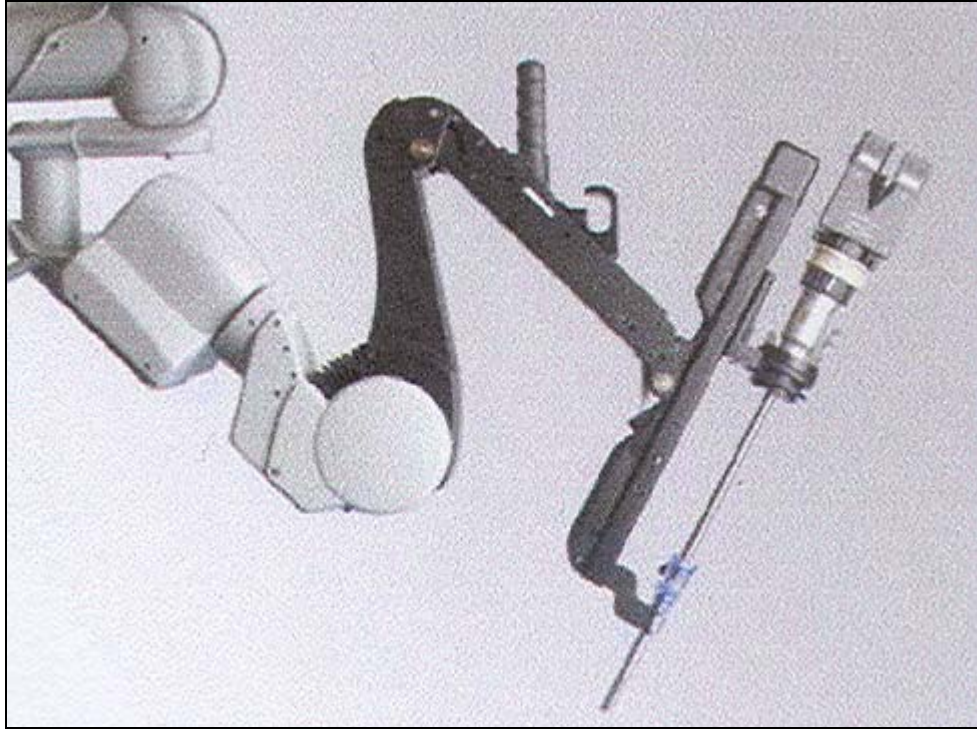
Το τροχήλατο σύστημα ρομποτικών βραχιόνων (εικ. 40) τοποθετείται στην άκρη του κρεβατιού του ασθενή και οι ρομποτικοί βραχιόνες αιωρούνται πάνω από το χειρουργικό τραπέζι την ώρα της επέμβασης. Το σύστημα αποτελείται από τρεις ρομποτικούς βραχιόνες ενώ πρόσφατα έγινε διαθέσιμο μοντέλο με τέσσερις.

Ένας βραχίονας συγκρατεί την ενδοσκοπική κάμερα (ο μεσαίος) και οι υπόλοιποι χρησιμοποιούνται για να δεχθούν τους υποδοχείς που θα συνδεθούν με τα ρομποτικά εργαλεία μέσω επαναχρησιμοποιούμενων τροκάρ.



Εικόνα 40. Τροχήλατο σύστημα ρομποτικών βραχιόνων.

Κάθε ένας ρομποτικός βραχίονας συγκρατεί ένα τροκάρ μια ανοξείδωτη ράβδο η οποία δέχεται κάθε φορά το κατάλληλο χειρουργικό εργαλείο (εικ. 41) Κάθε φορά που ένα από τα joysticks κουνιέται, ένας υπολογιστής στέλνει ένα ηλεκτρονικό σήμα σε ένα από τα εργαλεία το οποίο μεταφράζεται σε κίνηση. Τα εργαλεία κινούνται συγχρόνως με τις κινήσεις των χεριών του χειρουργού. Τα τηλεκατευθυνόμενα εργαλεία περιστρέφονται με τέτοιο τρόπο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φτάσουν περιοχές που θα ήταν αδύνατο να φτάσει ο γιατρός με την επιδεξιότητα του ανθρώπινου καρπού. Αυτό επιτρέπει στο χειρουργό να δουλέψει σε μικρότερη κλίμακα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Σαν αποτέλεσμα της χειρουργικής ακρίβειας, οι χειρουργικές διαδικασίες μπορούν να πραγματοποιούνται μέσω τομών μήκους μόλις 10 mm.



Εικόνα 41.Ρομποτικός βραχίονας του da Vinci.

Οι καρποί των χειρουργικών βραχιόνων πραγματοποιούν τις κινήσεις πάνω-κάτω, αριστερά-δεξιά και πλήρη περιστροφή 360° , προσδίδοντας έτσι μεγαλύτερο εύρος κίνησης απ' ό,τι θα ήταν ανθρωπίνως δυνατό. Οι βραχίονες έχουν τέσσερις βαθμούς ελευθερίας ενώ προστίθενται και άλλοι δύο βαθμοί ελευθερίας λόγω των εργαλείων που χρησιμοποιούνται. Συνολικά το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci έχει επτά βαθμούς ελευθερίας μπορώντας να μιμηθεί έτσι την ευελιξία του ανθρώπινου καρπού.

Το da Vinci λειτουργεί μεταφέροντας τις πραγματικές κινήσεις του χειρουργού μέσα στο σώμα του ασθενή μετατρέποντας τις σε «μικρό-κινήσεις». Ενώ επιτρέπει στο χειρουργό να χρησιμοποιεί πολύ φυσικά τις κινήσεις του χεριού και του καρπού. Επίσης η κίνηση του βραχίονα, μπορεί να ρυθμιστεί ώστε η στροφή 90° του καρπού του χειρουργού να μπορεί να δώσει 180° στροφή στον καρπό του και επομένως στο χειρουργικό εργαλείο.

Προς το παρόν η χειρουργική κονσόλα και το τροχήλατο μέρος των ρομποτικών βραχιόνων συνδέονται μέσω καλωδίων μεταφοράς δεδομένων (εικ. 42) και η χρήση του σύμφωνα με την έγκριση από το FDA των Η.Π.Α., απαιτεί ο χειρουργός (στην

χειρουργική κονσόλα) να βρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο με τον ασθενή. Ωστόσο, είναι πιθανή η εφαρμογή της τηλεχειρουργικής, στην οποία ο ασθενής και ο χειρουργός δεν βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο παρότι περιορίζεται προς το παρόν από τις σχετικά μικρές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που είναι διαθέσιμες μέχρι τώρα.



Εικόνα 42. Καλώδια σύνδεσης και μεταφοράς δεδομένων της κονσόλας ελέγχου με τους ρομποτικούς βραχίονες.

5.2.1.3 Οπτικό σύστημα

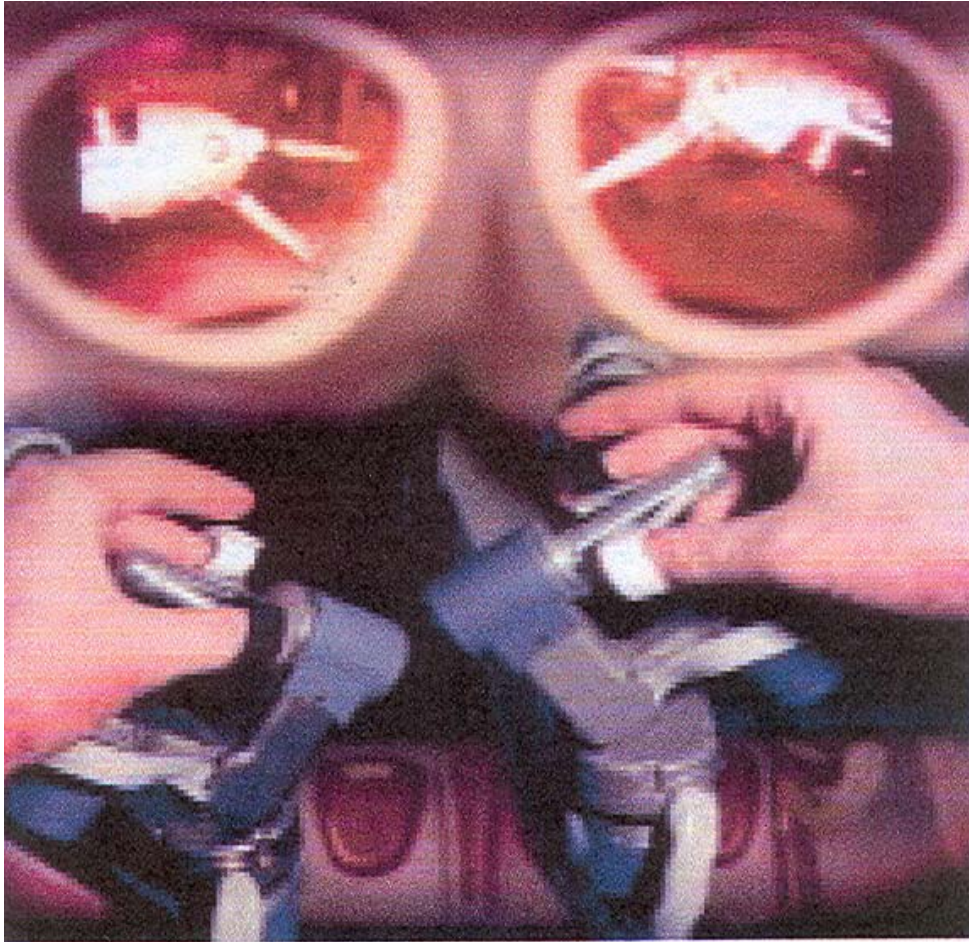
Το οπτικό σύστημα da Vinci ονομάζεται InSite. Διότι είναι κατασκευασμένο για να δίνει την αίσθηση στο χειρουργό ότι τα χέρια του είναι βυθισμένα στο σώμα του ασθενή. Ο έλεγχος της κάμερας γίνεται με πεντάλ που υπάρχει στα πόδια του χειρουργού. Η

κάμερα του da Vinci αποτελείται από δύο υψηλής ανάλυσης κάμερες οπτικών ινών που βρίσκονται στο εσωτερικό ενός ενδοσκοπίου 12 mm (εικ. 43). Οι οποίες παρέχουν τρισδιάστατη έγχρωμη εικόνα στο χειρουργό που κάθεται στην κονσόλα (εικ. 44) . Οι κάμερες αυτές αυτές μεγεθύνουν το χειρουργικό πεδίου έως και 12 φορές και παρέχουν στερεοσκοπική όραση σε γωνία 30° ή 0° (ευθεία) στο χειρουργό που βρίσκεται στην κονσόλα.



Εικόνα 43. Ενδοσκόπιο χειρουργικού συστήματος da Vinci.

Η 3D εικόνα επιτυγχάνεται από δύο εικόνες του εγχειρητικού πεδίου που μεταφέρονται μέσω διαφορετικών οπτικών καναλιών σε δύο υψηλής ανάλυσης οθόνες μέσα στη κονσόλα ελέγχου. Το δεξί και το αριστερό μάτι του χειρουργού βλέπουν ελαφρώς διαφορετικές εικόνες που τις αντιλαμβάνονται ως μία τρισδιάστατη εικόνα. Η κάμερα συγκρατείται από τον ρομποτικό βραχίονα που βρίσκεται στο κέντρο.



Εικόνα 44. Τρισδιάστατη έγχρωμη εικόνα στο χειρουργό που κάθεται στην κονσόλα.

5.2.1.4 Χειρουργικά εργαλεία EndoWrist™

Τα ρομποτικά χειρουργικά εργαλεία περιλαμβάνουν τεχνολογία EndoWrist. Που σημαίνει ότι εκτός από την άρθρωση που υπάρχει στον καρπό του βραχίονα, τα ίδια τα εργαλεία φέρουν άρθρωση κοντά στην άκρη τους. Η άκρη των εργαλείων μπορεί να περιστρέφεται και να εκτελεί κινήσεις Pitch και Yaw (πληροφορίες στο κεφ.2) Με την τεχνολογία αυτή οι κατασκευαστές πρόσθεσαν δύο επιπλέον DOF στα χειρουργικά εργαλεία προκειμένου να εκτελούν κινήσεις ίδιες με αυτές που εκτελεί ο ανθρώπινος καρπός σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, αυξάνοντας σημαντικά την ευκολία χρήσης τους και μεταφέροντας την επιδεξιότητα του χεριού και του καρπού του χειρουργού. Έτσι οι

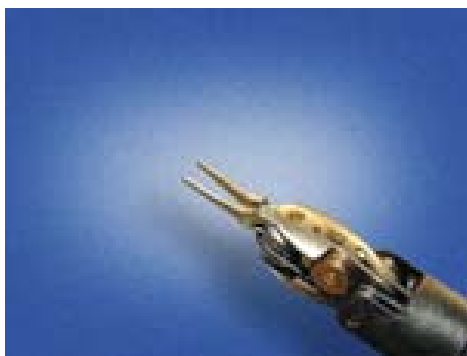
διαχειριστές των ιστών (τα άκρα των εργαλείων) μπορούν να μιμηθούν τις κινήσεις του ανθρώπινου καρπού (εικ. 45). Έχοντας συνολικά επτά βαθμούς ελευθερίας τα χειρουργικά εργαλεία μπορούν να μιμηθούν τις φυσικές κινήσεις της ανοικτής χειρουργικής. Υπάρχει ένα εύρος διαφορετικών εργαλείων (εικ. 46) που είναι διαθέσιμα όπου κάθε ένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί έως και δέκα φορές (μετά το ρομποτικό σύστημα τα απενεργοποιεί εμποδίζοντας την παραπέρα χρήση τους).



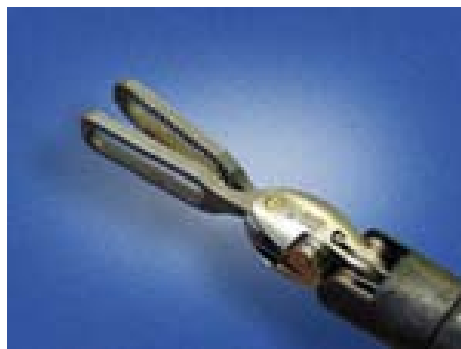
Εικόνα 45. Εργαλείο τεχνολογίας EndoWrist ικανό να μιμηθεί τις κινήσεις του ανθρώπινου καρπού.



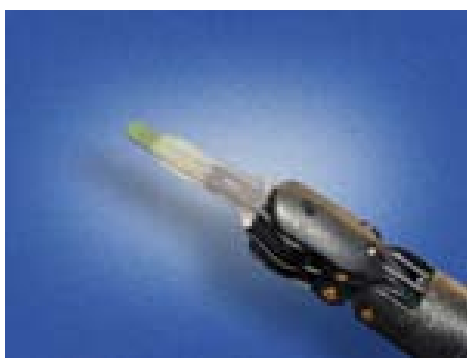
Εικόνα 46. Διάφορα χειρουργικά εργαλεία του συστήματος da Vinci.



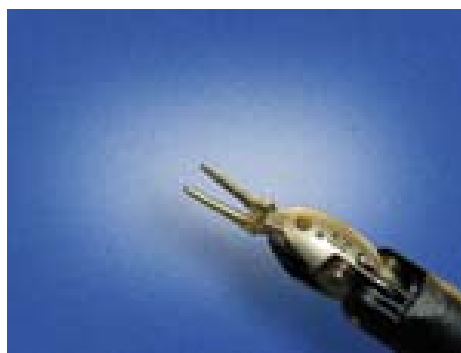
Εικόνα 47. Μικροχειρουργική λαβίδα.



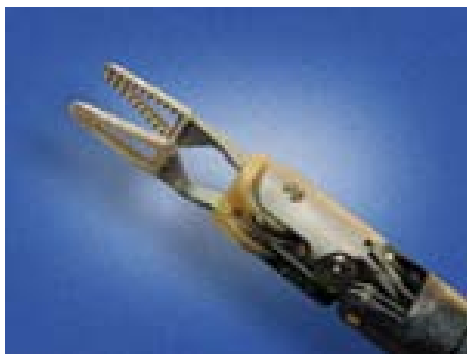
Εικόνα 48. Χειρουργική λαβίδα Cadiere.



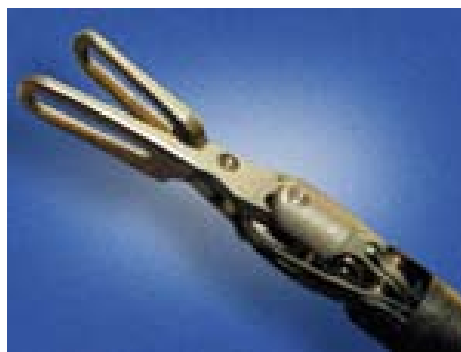
Εικόνα 49. Σπάτουλα καυτηρίασης.



Εικόνα 50. Χειρουργική λαβίδα Cichon.



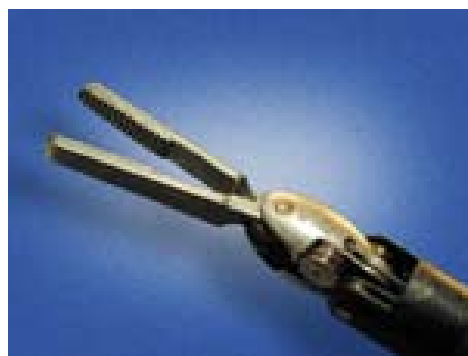
Εικόνα 51. Διπολικό εργαλείο καυτηρίασης.



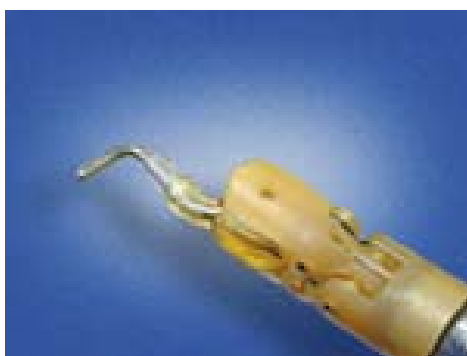
Εικόνα 52 Τύπος χειρουργικής λαβίδας EndoWrist.



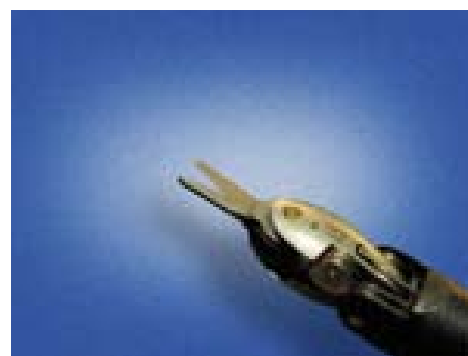
Εικόνα 53.Μεγάλος οδηγός βελόνας.



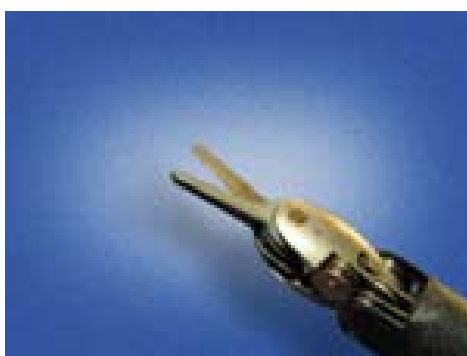
Εικόνα 54. Χειρουργική λαβίδα με μακριά άκρα.



Εικόνα 55.Γάντζος καυτηρίασης.



Εικόνα 56. Χειρουργικό ψαλίδι.



Εικόνα 57. Χειρουργικό ψαλίδι με καμπυλωτές. Άκρες.



Εικόνα 58. Εργαλείο κοπής με Υπερήχους.

Τα διαθέσιμα εργαλεία είναι:

- Μικροχειρουργικές λαβίδες (εικ. 47).
- Χειρουργικές λαβίδες με μακριά άκρη (εικ. 54).
- Χειρουργικές λαβίδες Cadiere (εικ. 48) και Cichon (εικ. 50).
- Σπάτουλα καυτηρίασης (εικ.49).
- Διπολικά εργαλεία καυτηρίασης (εικ. 51).
- Γάντζοι καυτηρίασης.(εικ. 55).
- Νυστέρι καυτηρίασης με 15° λεπίδα.
- Νυστέρι με λεπίδα beaver.
- Διάφορα είδη ψαλιδιών (εικ. 56. εικ. 57).
- Εργαλείο κοπής με υπερήχους (εικ. 58).
- Χειρουργικές λαβίδες τύπου EndoWrist. (εικ. 52).
- Μεγάλες οδηγούς βελόνας (εικ. 53).

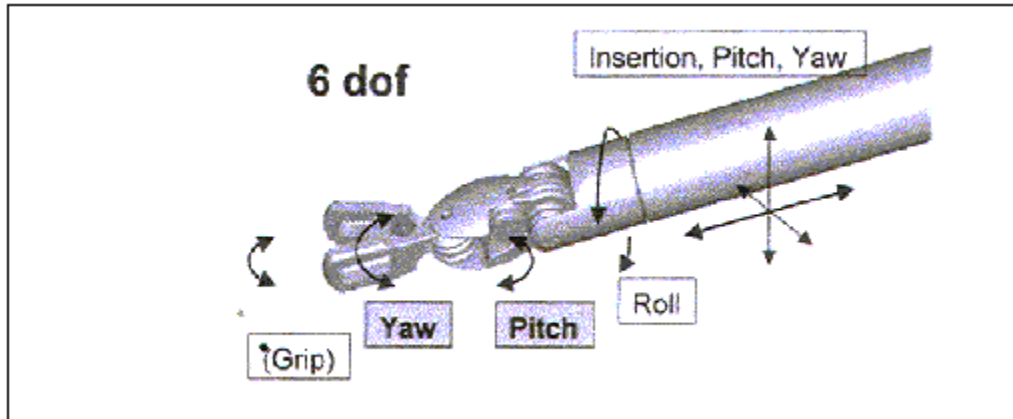
τα πολύ μικρά χειρουργικά εργαλεία (σχεδόν 1cm-2cm σε μήκος). τα οποία παρέχουν την ευελιξία που παρέχουν αυτά που χρησιμοποιούνται στην ανοικτή χειρουργική.

5.2.1.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά ρομποτικού συστήματος da Vinci

Η τεχνολογία da Vinci σχεδιάστηκε για να μιμηθεί την κίνηση του ανθρώπινου χεριού, των καρπών και των δακτύλων. Το μεγάλο εύρος κινήσεων επιτρέπει ακρίβεια που δεν θα ήταν δυνατή σε επεμβάσεις κλασικής MIS.

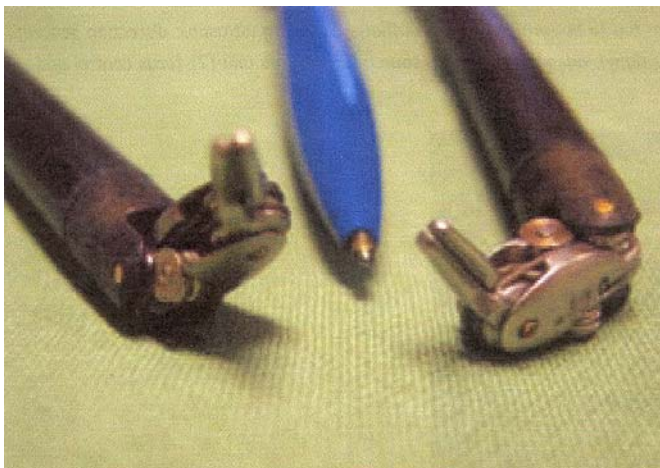
- ✦ Η μονάδα του ρομποτικού χειρουργικού συστήματος da Vinci που φέρει τους ρομποτικούς βραχίονες είναι τροχήλατη με ύψος 2m. Ο κάθε ρομποτικός βραχίονας έχει μήκος 45cm.
- ✦ Τα εργαλεία έχουν μήκος 1-2 cm και διάμετρο 7 mm μεταφράζουν τις φυσικές κινήσεις του χεριού και του καρπού του χειρουργού σε αντίστοιχες, ακριβείς και μικρής κλίμακας κινήσεις και μπορούν να κινηθούν μόνο όταν πάρουν εντολή από το χειρουργό είναι ικανά να μεταφέρουν συνολικά έξι βαθμούς ελευθερίας (συμπεριλαμβανομένου το πιάσιμο) όπως φαίνεται και στην εικόνα 59: Οι

χειρουργικοί βραχίονες έχουν τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (οριζόντια, κάθετα εισαγωγή-εξαγωγή και περιστροφή στο καρπό), καθώς και επιπλέον τρεις βαθμούς ελευθερίας που προστίθενται από τα εργαλεία τεχνολογίας EndoWrist (μαζί με το πιάσιμο).



Εικόνα 59. Βαθμοί ελευθερίας του εργαλείου da Vinci.

- ✦ Η κονσόλα ελέγχου είναι εργονομικά κατασκευασμένη ώστε ο χειρουργός να κάθεται άνετα κατά τη διάρκεια της επέμβασης.
- ✦ Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο ρομποτικό σύστημα da Vinci περιέχουν την τεχνολογία **EndoWrist**. (εικ. 60). Τα εργαλεία EndoWrist επιτρέπουν ένα εξαιρετικά ολοκληρωμένο εύρος κίνησης στην άκρη τους ικανά να διευκολύνουν την αφαίρεση ιστών και να πραγματοποιήσουν εξαιρετική τοποθέτηση βελόνας συγκριτικά με την ανοικτή χειρουργική.



Εικόνα 60. Χειρουργικά εργαλεία τεχνολογίας EndoWrist.

- ✦ Επιπλέον η εταιρεία Intuitive Surgical και Olympus Optical συμφώνησαν να χρησιμοποιηθεί η προηγμένη τεχνολογία χειρουργικής με υπερήχους, της εταιρείας Olympus, στο ρομποτικό σύστημα da Vinci. Το αποτέλεσμα της συνεργασίας αυτής ήταν η δημιουργία ψαλιδιού υπερήχων da Vinci (εικ. 61). Αυτή είναι η πρώτη ρομποτική, πλήρως ολοκληρωμένη συσκευή υπερήχων της ιατρικής βιομηχανίας η οποία επιτρέπει στους χειρουργούς να πραγματοποιήσουν εφαρμογές κοπής και αιμόστασης μαζί. Το ψαλίδι υπερήχων da Vinci ενεργοποιείται από μια γεννήτρια τη «SonoSurg» της Olympus η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια των υπερηχητικών δονήσεων. Η συσκευή κόβει (ταχύτατα) τον ιστό και τα αγγεία του αίματος με ψαλίδια που μεταφέρουν υπερηχητικές δονήσεις και κάνει τομές μετά από αιμόσταση - για να εμποδίσει την αιμορραγία- με θέρμανση σε βαθμό όμως τέτοιο ώστε να μην απανθρακωθούν οι ιστοί. Παρέχει δηλαδή ταχύτατο κόψιμο ενώ ταυτόχρονα εκτελεί υψηλής απόδοσης αιμόσταση. Το ψαλίδι αυτό είναι εμπορικά διαθέσιμο στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α.



Εικόνα 61. Ψαλιδιού υπερήχων της Olympus.

- ✦ Με σκοπό να παραχθεί η καλύτερη εικόνα του χειρουργικού πεδίου, η ομάδα σχεδιασμού της Intuitive Surgical, επέλεξε τις κάμερες Panasonic 3CCD. Οι οποίες εκτός από τα χαρακτηριστικά της υψηλής τους απόδοσης (έως και 800 γραμμές χρωματικής ανάλυσης και 5 lux ελάχιστη απαίτηση φωτισμού), οι κεφαλές της κάμερας είναι εξαιρετικά μικρού μεγέθους (34x44x52 mm) και επιτρέπουν να τοποθετούνται εύκολα στην άκρη ενός ενδοσκοπίου χωρίς να προσθέτουν σε βάρος και σε όγκο.

- ✦ Μετά από πολλά πειράματα και συσκέψεις με τους χειρουργούς, οι σχεδιαστές της Intuitive Surgical, διαπίστωσαν ότι η στερεοσκοπική απεικόνιση, θα έδινε πιο χρήσιμη εικόνα στους χειρουργούς. Δίνοντας βάθος πεδίου ο χειρουργός θα μπορούσε να ελιχθεί γύρω από το χειρουργικό πεδίο με μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση και ικανότητα να πραγματοποιήσει πιο περίπλοκες πράξεις όπως τη ραφή ενός αγγείου αίματος της καρδιάς. Η ομάδα σχεδίασης εκτίμησε όλα τα διαθέσιμες στερεοσκοπικά χειρουργικά εργαλεία της αγοράς και αποφάσισαν να κατασκευάσουν το δικό τους ενδοσκόπιο με διπλό κανάλι, με σκοπό να πετύχουν την οπτική απόδοση που επιθυμούσαν. Το ενδοσκόπιο αυτό απαιτούσε δύο κάμερες 3CCD Panasonic να βρίσκονται στο τελικό άκρο του, όπου η οπτική είσοδος του μετατρέπεται σε standard NTSC ή PAL βίντεο σε component form. Επίσης ενσωμάτωσαν επεξεργαστές βίντεο στο οπτικό μονοπάτι, για να μειώσουν το θόρυβο σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού.
- ✦ Για να παρατηρήσουν εικόνες από το ενδοσκόπιο διπλού καναλιού, η Intuitive Surgical, ανέπτυξε το δικό της στερεοσκόπιο, προκειμένου να επιτραπεί οι χειρουργοί να δουν το χειρουργικό πεδίο με ένα συγκεκριμένο προσανατολισμό. Αυτό τους δίνει την ψευδαίσθηση ότι τα χέρια τους, χειρίζονται άμεσα εργαλεία που βρίσκονται μέσα στο σώμα του ασθενή όπως δηλαδή εάν τα έπιαναν.

Σύμφωνα με τους ειδικούς της Intuitive Surgical, οι κάμερες 3CCD Panasonic επιλέχθηκαν για τους εξής λόγους:

- Η Panasonic δημιούργησε μια ιατρικού τύπου κάμερα που είναι μικρή, ελαφριά και παρέχει την απαιτούμενη ανάλυση και αντίθεση.
- Οι κάμερες 3CCD Panasonic τύπου GP-US522 και GP-US522 είναι διαθέσιμες σε μεγάλες ποσότητες στην ιατρική βιομηχανία, διευκολύνοντας έτσι τους σχεδιαστές στην επιλογή τους.
- Η εταιρεία (Intuitive Surgical) εντυπωσιάστηκε με την άνευ προηγουμένου τεχνική υποστήριξη που παρέχει η Panasonic και την ανταπόκριση της στις ειδικές της ανάγκες.
- Οι κάμερες 3CCD έχουν αποδείξει ότι είναι εξαιρετικά αξιόπιστες, χωρίς μηχανικές βλάβες με τέλεια ποιότητα οπτικομαγνητικής εγγραφής (video).

Οι εικόνες του χειρουργικού πεδίου μεταφέρονται σε μια υψηλής ανάλυσης οθόνη απεικόνισης με διόπτρες.

- ✦ Το 2003 η εταιρεία λάνσαρε την επιλογή και για τέταρτο ρομποτικό βραχίονα για το χειρουργικό σύστημα da Vinci, και το τριών καναλιών οπτικό σύστημα του da Vinci σε συνεργασία με την Olympus Optical Corporation, και τη νέα σειρά εργαλείων μεγέθους 5 mm.
- ✦ Το ρομποτικό σύστημα da Vinci πλεονεκτεί στην τεχνολογία των επεξεργαστών των υπολογιστών. Τα ηλεκτρονικά τους περιλαμβάνουν, επεξεργαστές DSP που παρέχουν 250 mega flops υπολογιστική ισχύ, ικανοί να πραγματοποιούν 300.000.000 υπολογισμούς σε ένα μόνο δευτερόλεπτο. Ο υπολογιστής ελέγχει και διατηρεί στην ακριβή του θέση κάθε ένα έως και 48 κινητήρες (έξι φορές τον αριθμό των κινητήρων σε ένα πρότυπο ρομποτικό βραχίονα) 1.500 φορές το δευτερόλεπτο. Σε περίπτωση που ανιχνευθεί πρόβλημα στην κίνηση, σε οποιοδήποτε μηχανικό μέρος, οι χειρουργικοί βραχίονες κλειδώνουν (λειτουργία «soft lock») ή σταματούν ακαριαία.

Συμπερασματικά το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci σχεδιάστηκε για να δώσει στο χειρουργό το εύρος της κίνησης, το λεπτό χειρισμό ιστών και τα τρισδιάστατα οπτικά χαρακτηριστικά της ανοιχτής χειρουργικής επέμβασης ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει στο χειρουργό να δουλέψει μέσω μικρών οπών χρησιμοποιώντας την τεχνική της MIS. Η τεχνολογία αυτή ξεπερνάει πολλούς από τους περιορισμούς των εργαλείων της MIS και των τεχνικών τους με τους ακόλουθους τρόπους:

Με τις φυσικές κινήσεις των εργαλείων: Είναι σχεδιασμένο για να μετατρέπει απευθείας τις φυσικές κινήσεις των χεριών του χειρουργού σε ανάλογες μικροκινήσεις μέσα στο σώμα του ασθενή. Για παράδειγμα μια κίνηση το χεριού προς τα δεξιά προκαλεί το εργαλείο να κινηθεί προς τα δεξιά εξαλείφοντας την αντεστραμμένη ιδιότητα των εργαλείων της τεχνικής MIS.

Με τα εργαλεία EndoWrist δίνουν φυσική επιδεξιότητα και εύρος κίνησης: Είναι σχεδιασμένα ώστε να παρέχουν στους χειρουργούς ένα εύρος κίνησης στο χειρουργικό πεδίο, ανάλογο με τις κινήσεις του ανθρώπινου χεριού και καρπού. Τα κατάλληλα εργαλεία τα οποία ονομάζονται EndoWrist εργαλεία περιλαμβάνουν αρθρώσεις στον

καρπό τους που επιτρέπουν στο χειρουργό να φτάσει πίσω από ιστούς και να κόψει με ακρίβεια όπως θα μπορούσε να κάνει και στην ανοικτή χειρουργική. Ο χειρουργός ελέγχει τις κινήσεις των αρθρώσεων από τη χειρουργική κονσόλα χρησιμοποιώντας φυσικές κινήσεις του χεριού και του καρπού του, οι αρθρώσεις EndoWrist βρίσκονται κοντά στις άκρες των εργαλείων. Τα συμβατικά εργαλεία της MIS, επιτρέπουν στο χειρουργό μικρότερη ευελιξία, επιδεξιότητα και εύρος κίνησης απ' ό,τι τους παρέχουν τα χέρια τους στην ανοικτή χειρουργική.

Πραγματοποιώντας περισσότερο ακριβείς κινήσεις με μειωμένο τρέμουλο: Ο χειρουργός μπορεί να κάνει «λέπτυνση» των κινήσεων («motion scaling») αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό που μεταφράζει για παράδειγμα μια τριών χιλιοστών κίνηση του χεριού σε ενός χιλιοστού κίνηση του εργαλείου που βρίσκεται μέσα στο σώμα του ασθενή. Η εφαρμογή αυτή δημιουργήθηκε για να επιτραπεί μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ό,τι φυσιολογικά είναι διαθέσιμη στην ανοικτή χειρουργική όσο και στην MIS. Επίσης περιλαμβάνει τεχνολογία που φιλτράρει το τρέμουλο του χεριού του χειρουργού.

Παρέχοντας απεικόνιση 3D (τριών διαστάσεων). Το οπτικό σύστημα που ονομάζεται οπτικό σύστημα InSite, σχεδιάστηκε για να δώσει στους χειρουργούς την εντύπωση ότι τα χέρια τους βρίσκονται πραγματικά, «έχουν βυθιστεί» στο χειρουργικό πεδίο παρότι οι ίδιοι βρίσκονται μακριά από το σώμα του ασθενή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην νοιώθουν πια αποκομμένοι από το χειρουργικό πεδίο και τα εργαλεία όπως συμβαίνει στην MIS. Επιπλέον το σύστημα InSite δίνει πιο φωτεινή και πιο έντονη εικόνα απ' ό,τι αλλά 3D ενδοσκοπικά οπτικά συστήματα και διαθέτει τεχνολογία ελέγχου πλοηγού κάμερας.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα του τρία είναι τα βασικά μειονεκτήματα του συστήματος:

1. Το αρχικό κόστος του συστήματος και το κόστος των εργαλείων (1-1.5\$) και το κόστος υποστήριξης του συστήματος. Μια και τα ρομποτικά εργαλεία είναι μερικώς επαναχρησιμοποιούμενα το τρέχον κόστος είναι σημαντικό. Επίσης απαιτείται εξειδικευμένη εκπαίδευση για τη χρήση του ρομποτικού συστήματος πράγμα που προσθέτει στο κόστος.
2. Πρακτικά θέματα που αφορούν το στήσιμο του συστήματος-της χειρουργικής κονσόλας και του τροχήλατου μέρους με τους ρομποτικούς βραχίονες. Το οποίο

καταλαμβάνει αρκετό χώρο στο χειρουργικό δωμάτιο και χρειάζεται αρκετός χρόνος για την προετοιμασία του.

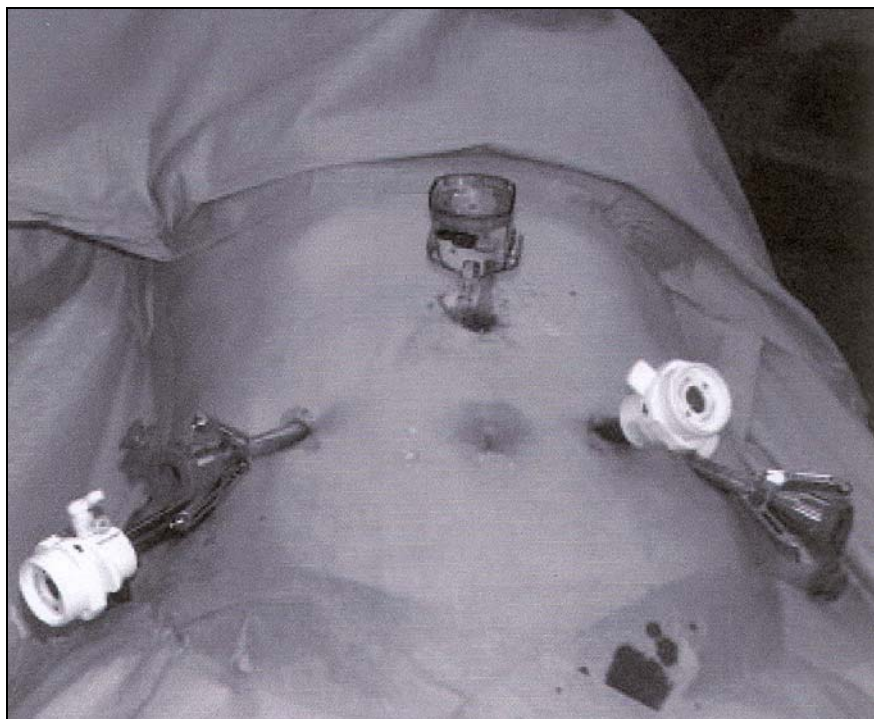
3. Τεχνικά θέματα που αφορούν το ρομποτικό σύστημα. Βασικό τεχνικό μειονέκτημα είναι η έλλειψη αίσθησης αφής, η πιθανότητα μηχανικής βλάβης του συστήματος και η μερική έλλειψη ευελιξίας με τους ρομποτικούς χειρουργικούς βραχίονες. Τεχνικά προβλήματα έχουν αναφερθεί είτε λόγω δυσλειτουργίας του συστήματος όπως: θανατηφόρο λάθος, πτώση ισχύος λόγω λανθασμένης σύνδεσης, κακή λειτουργία του συστήματος, των φακών, σύγκρουση των βραχιόνων (είτε μεταξύ τους είτε με τον ασθενή) λόγω προβλημάτων του εξοπλισμού όπως: απόσπαση του άκρου των εργαλείων, αποσύνδεση του γάντζου από τον ηλεκτροκαυτηριασμό, λανθασμένη εισαγωγή των εργαλείων στους ρομποτικούς βραχίονες, θραύση ρομποτικών λαβίδων, μετακίνηση του τροκάρ κ.α.
4. Ο μέσος όρος ωφέλιμης ζωής του συστήματος έχει εκτιμηθεί ότι είναι πέντε χρόνια, με τα μέρη που το αποτελούν να διαρκούν τέσσερα με επτά χρόνια.

5.2.1.6 Περιγραφή λειτουργίας

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης ο χειρουργός κάθεται μπροστά από μια οθόνη μακριά από το χειρουργικό τραπέζι. το ρομπότ τυλίγεται με ένα πλαστικό (εικ. 62) Οι ρομποτικοί βραχίονες τοποθετούνται πάνω από τον ασθενή και πάνω τους τοποθετούνται ατσάλινες ράβδοι. Αφού αναισθητοποιηθεί ο ασθενής τρεις οπές, όχι μεγαλύτερες από τη διάμετρο ενός μολυβιού (1cm), ανοίγονται στο σώμα του ασθενή επιτρέποντας έτσι στις τρεις αυτές ατσάλινες ράβδους (τροκάρ) να εισαχθούν (εικ. 63). Μια από τις ράβδους φέρει κάμερα ενώ στις άλλες δύο εφαρμόζονται χειρουργικά εργαλεία ικανά να τεμαχίσουν, να αφαιρέσουν ή και να ράψουν τους ιστούς. Στην οθόνη ο χειρουργός παρατηρεί την τρισδιάστατη εικόνα που στέλνει η κάμερα μέσα από το σώμα του ασθενή και η οποία ελέγχεται από τους μοχλούς τύπου joystick. Η κάμερα επιβλέπει κάθε κίνηση που κάνει το ρομπότ και μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί κατά βούληση με πεντάλ.



Εικόνα 62. Ρομποτικοί βραχίονες τυλιγμένοι σε αποστειρωμένες σακούλες και ορισμένα εργαλεία.



Εικόνα 63. Τοποθέτηση των τροκάρ στη κοιλιά ενός ασθενή.

Κάθε κίνηση των joystick που κάνει ο χειρουργός με τα δάκτυλα ή τον καρπό του, ελέγχεται και επεξεργάζεται και μεταφράζεται από υπολογιστή σε κίνηση στα άκρα των εργαλείων, ενώ ταυτόχρονα καταχωρείται στη μνήμη του. Ο υπολογιστής στη συνέχεια κινεί τα χειρουργικά εργαλεία με τη βοήθεια των ρομποτικών βραχιόνων. Υπάρχει δηλαδή ανάμεσα στο χειρουργό και στο χειρουργικό εργαλείο κάποιος βαθμός παρεμβολής από τον υπολογιστή.

Πάντα σε αυτές τις χειρουργικές επεμβάσεις υπάρχει το λιγότερο ένας ακόμα χειρουργός που στέκεται πάντα δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι και βοηθάει στην αλλαγή των εργαλείων των ρομποτικών βραχιόνων.

Τα φώτα στο δωμάτιο που βρίσκεται ο χειρουργός χαμηλώνουν για να μπορεί να βλέπει πιο καθαρά την οθόνη.

Το σύστημα χρησιμοποιεί τα ίδια ράμματα και υλικά που χρησιμοποιούνται και στην παραδοσιακή χειρουργική.

5.2.2 Ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Zeus



Εικόνα 64. Χειρουργικό σύστημα Zeus.

Το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Zeus (εικ. 64), που προτάθηκε από την εταιρεία Computer Motion το 1998 και ήταν το πρώτο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για να

πραγματοποιήσει το 1999 την πρώτη πλήρη ενδοσκοπική ρομποτική επέμβαση αορτοστεφανιαίας παράκαμψης (bypass) σε παλλόμενη καρδιά. Σαν γενική ιδέα μοιάζει με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci, με κάποιες μικρές διαφορές. Ήταν το πρώτο που εγκρίθηκε από το FDA τον Οκτώβριο του 2001 για χρήση με χειρουργικά εργαλεία νυστέρια, χειρουργικά άγκιστρα κ.α. κατά τη διάρκεια λαπαροσκοπικής και θωρακοσκοπικής χειρουργικής επέμβασης. Τον Σεπτέμβριο του 2002, το FDA ενέκρινε τη χρήση του στη γενική λαπαροσκοπική χειρουργική. Έχει εφαρμογή στην καρδιοχειρουργική σε επεμβάσεις αορτοστεφανιαίας παράκαμψης (coronary artery bypass) και αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας (mitral valve repair). Για την πώληση του η εταιρεία Computer Motion συνεργάζεται με την εταιρεία Medtronic που βρίσκεται στη Μινεάπολη.

Αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Μια εργονομική κονσόλα ελέγχου
- Το κεντρικό έλεγχο (ελεγκτής ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή) .
- Και τους ρομποτικούς βραχίονες που κινούνται με την κίνηση του χεριού του χειρουργού.

Ο χειρουργός κάθεται άνετα στη χειρουργική, κονσόλα και χειρίζεται τα εργαλεία που βρίσκονται μέσα στον ασθενή. Οι κινήσεις του χειρουργού αφού ψηφιοποιηθούν, φιλτράρονται, λεπτόνονται και μεταβιβάζονται στον ελεγκτή του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος μεταδίδει αυτές τις κινήσεις μέσω ενός ηλεκτρομηχανικού interface στους ρομποτικούς βραχίονες και στα εργαλεία.

Το σύστημα επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιεί λεπτές επεμβάσεις MIS κάνοντας στον ασθενή τρεις μικρές οπές με διάμετρο όση η διάμετρος ενός μολυβιού. Το Zeus βελτιώνει επίσης την εικόνα του χειρουργικού πεδίου μεγεθύνοντας τη ενώ με τη βοήθεια του AESOP ελευθερώνονται τα χέρια του χειρουργού για να μπορεί να χειρίζεται τα χειρουργικά εργαλεία. Η αρχική έκδοση του συστήματος δεν παρείχε τρισδιάστατη αλλά δισδιάστατη ενδοσκοπική απεικόνιση.

Η περιγραφή λειτουργίας του είναι ίδια με το ρομποτικό σύστημα da Vinci μόνο που η κάμερα όπως ανέφερα παραπάνω ελέγχεται με φωνητικές εντολές και δεν χρησιμοποιεί ενδοσκοπικά εργαλεία τύπου EndoWrist. Πρόσφατο είναι το ρομποτικό σύστημα Zeus,

τεχνολογίας MicroWrist (εικ. 65), ελέγχει εργαλεία τύπου MicroWrist που παρέχουν ένα βαθμό ελευθερίας ακόμα στο σύστημα (συνολικά 5 DOF χωρίς το πιάσιμο).



Εικόνα 65. Χειρουργός εκτελεί επέμβαση με το Zeus (MicroWrist).

Το Zeus αρχικά επικεντρώθηκε σε MIS καρδιάς κλινικά έχει εφαρμοστεί σε επεμβάσεις αορτοστεφανιαίας παράκαμψης (CABG- Coronary Artery Bypass Grafting) σε παλλόμενη και μη παλλόμενη καρδιά.

Χρησιμοποιώντας το σύστημα αυτό, οι χειρουργοί πέτυχαν τα παρακάτω αξιοσημείωτα γεγονότα που θεωρήθηκαν ορόσημο στη χειρουργική:

- Στη Γαλλία, έχουν πραγματοποιηθεί μια σειρά από επεμβάσεις σε βρέφη για την θεραπεία μιας καρδιολογικής ασθένειας (που ονομάζεται patent ductus arteriosus). Χρησιμοποιώντας το ρομποτικό σύστημα ο χειρουργός μπορεί να κλείσει μια ανοικτή αρτηρία κάνοντας στο σώμα του βρέφους 3 μόνο τομές με διάμετρο 5 mm η κάθε μία σε αντίθεση με τις τομές μήκους 10cm-12cm και το διαχωρισμό των πλευρών που γίνονταν παλιότερα.
- Στον Καναδά πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του Zeus εναλλακτική διοχέτευση της κυκλοφορία αίματος (bypass) σε παλλόμενη καρδιά πάλι με μικρές τομές και χωρίς θραύση του θώρακα. Ο ασθενής επέστρεψε στο σπίτι του την επόμενη μέρα μετά την επέμβαση.

Όμως το Zeus επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιήσει τηλεχειρουργικές επεμβάσεις μακρινών αποστάσεων χρησιμοποιώντας το σύστημα Socrates (της Computer

Motion). Το Socrates είναι ένα χειρουργικό σύστημα τηλεσυνεργασίας (Surgery tele-collaboration system) που συνδέει τους χειρουργούς άμεσα με συναδέλφους τους που βρίσκονται στο χειρουργείο. Στη Γαλλία έχει πραγματοποιηθεί μια σειρά επεμβάσεων σε παιδιά χρησιμοποιώντας το ρομποτικό σύστημα Zeus.

Το Zeus ήταν το πρώτο σύστημα που εγκρίθηκε από το FDA τον Οκτώβριο του 2001, για χρήση με νυστέρια, χειρουργικά άγκιστρα, ατρυματικές λαβίδες και συγκρατητές. Βελόνων κατά τη διάρκεια λαπαροσκοπικής και θωρακοσκοπικής χειρουργικής επέμβασης. Το Σεπτέμβριο του 2002 το FDA ενέκρινε τη χρήση του σε γενικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Τον Οκτώβριο του 2002, ο Οργανισμός υγείας του Καναδά εγγυήθηκε τη χρήση του σε καρδιολογικές επεμβάσεις και τηλεχειρουργικές εφαρμογές και έλαβε τη σήμανση CE για πώληση στην Ευρωπαϊκή αγορά τον Φεβρουάριο του 1999.

Το Zeus τεχνολογίας Micro Wrist έχει εγκριθεί από το FDA για χρήση σε λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή, επεμβάσεις διόρθωσης γαστροισοφαγικών αντανεκλαστικών (Nissen Fundoplication). Επίσης για να ελέγχει λαπαροσκοπικά εργαλεία που εκτελούν πιάσιμο, κοπή, αφαίρεση, ηλεκτροκαυτηριασμό, ράμματα και δέσιμο κόμπου.

5.2.2.1 Κονσόλα ελέγχου



Εικόνα 66. Κονσόλα ελέγχου Zeus τεχνολογίας MicroWrist.

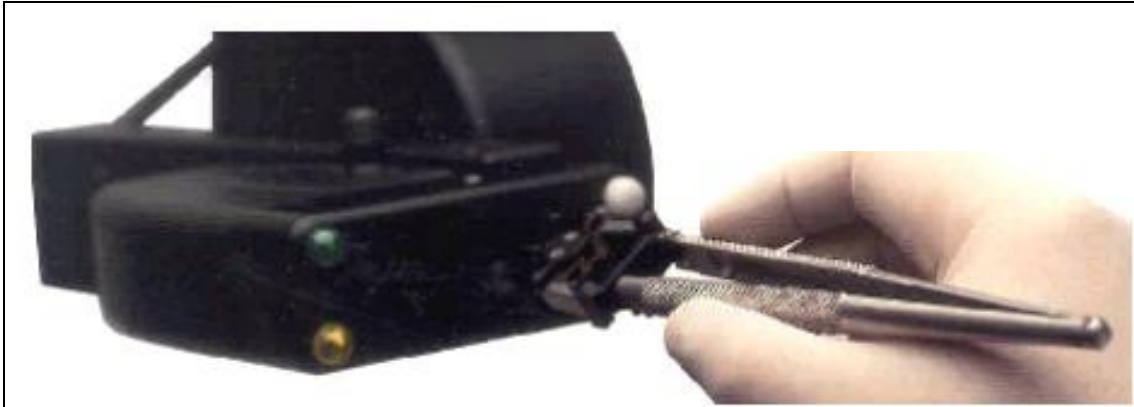
Ο χειρουργός, χειρίζεται τους βραχίονες από μακριά μέσω μιας κονσόλας ελέγχου (εικ. 66) που περιλαμβάνει:

- Μία οθόνη στην οποία απεικονίζεται μια ψευδοτριδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου και η οποία μπορεί να παρατηρηθεί με ένα ειδικό ζευγάρι γυαλιών. Τα γυαλιά στερεώνονται στην οθόνη μιας τηλεόρασης και τα φοράει ο χειρουργός. Αυτά, πολώνουν τις δύο εικόνες στην οθόνη σε δεξιά πολωμένη εικόνα για το δεξί μάτι και αριστερά πολωμένη εικόνα για αριστερό μάτι. Με αποτέλεσμα ο χειρουργός να βλέπει μια ψευδοτριδιάστατη εικόνα.
- Μια οθόνη αφής για την εισαγωγή παραμέτρων, στοιχείων που αφορούν π.χ. επιλογή κάμερας, μεγέθυνση ή σμίκρυνση του πεδίου κ.τ.λ.
- Δύο μοχλούς τύπου joystick που κινούν σε πραγματικό χρόνο τους δύο βραχίονες και επομένως και τα χειρουργικά εργαλεία (εικ. 67).



Εικόνα 67. Μοχλοί ελέγχου και χειρουργικά εργαλεία του Zeus.

- Το νέο ρομποτικό σύστημα Zeus, είναι τεχνολογίας MicroWrist (εικ. 68). Με την τεχνολογία MicroWrist, ο χειρουργός μπορεί να πραγματοποιεί χειρουργικές επεμβάσεις μέσω μικροσκοπικών οπών των 5 mm (π.χ. παιδιατρικές επεμβάσεις). Τα εργαλεία (εικ. 69) που χρησιμοποιεί η νέα αυτή τεχνολογία προσθέτουν ένα βαθμό ελευθερίας ακόμα στο σύστημα (5 DOF).



Εικόνα 68. Μοχλοί ελέγχου τεχνολογίας MicroWrist.



Εικόνα 69. Εργαλεία MicroWrist του Zeus.

5.2.2.2 Ρομποτικοί βραχίονες

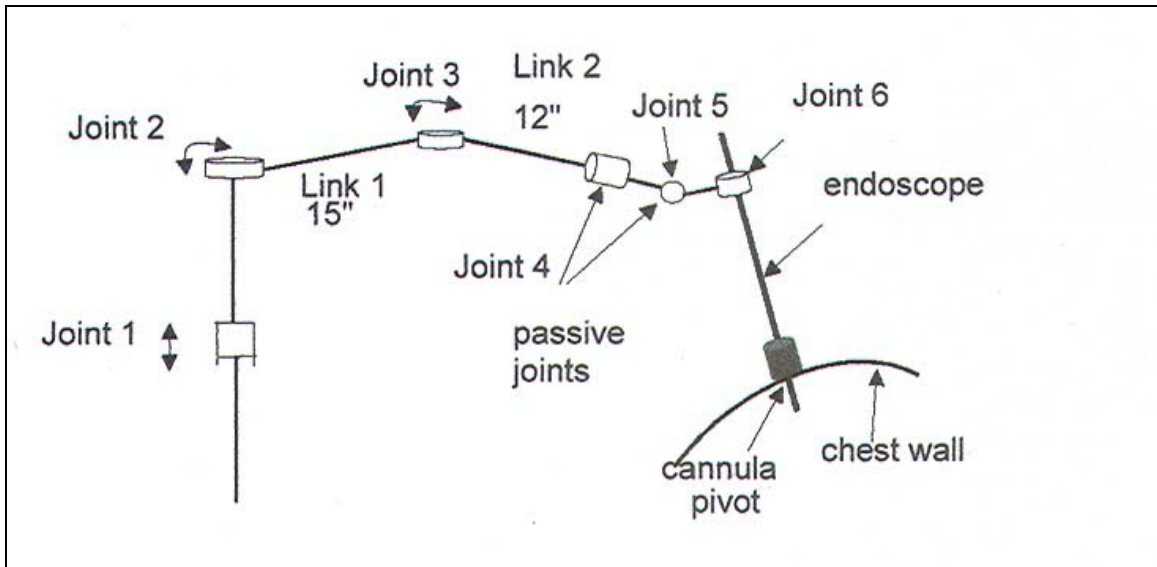
Αποτελείται από τρεις ρομποτικούς βραχίονες οι οποίοι βρίσκονται πάνω στη χειρουργική τράπεζα (συνήθως αφού έχει τοποθετηθεί ο ασθενής στο τραπέζι). Οι βραχίονες έχουν τέσσερις βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 70. Ρομποτικοί χειρουργικοί βραχίονες του Zeus.

Οι δύο φέρουν τα εργαλεία χειρισμού των ιστών (εικ. 70) και ο τρίτος φέρει την κάμερα που ελέγχεται από το ρομπότ AESOP. Είναι ένας αυτοματοποιημένος, χειρουργικός, ενδοσκοπικός φωνητικά ενεργοποιούμενος ρομποτικός βραχίονας, εξαιρετικής συγκράτησης- τοποθέτησης. Το λαπαροσκόπιο έχει μήκος μόλις 10 mm. Οι άλλοι δύο ρομποτικοί βραχίονες ελέγχουν τα εργαλεία με διάμετρο μόλις 3.9 mm που πραγματοποιούν την επέμβαση. Οι ρομποτικοί βραχίονες προσαρμόζονται ξεχωριστά στο κρεβάτι για εύκολο στήσιμο, ευέλικτη τοποθέτηση γρήγορη αποσυναρμολόγηση και εύκολη μεταφορά). Οι βραχίονες του Zeus είναι σχετικά ελαφριοί, όμως μόνο 4 από τις 6 αρθρώσεις μπορούν να ενεργοποιηθούν (δύο αρθρώσεις είναι παθητικές όπως φαίνεται και στην εικόνα 71). Το ρομποτικό σύστημα Zeus επιτρέπει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας: την οριζόντια κίνηση, την κάθετη

(μέσα- έξω), την περιστροφική, και το πιάσιμο σε αντίθεση με το ρομποτικό σύστημα da Vinci που έχει επτά βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 71. Διάγραμμα αρθρώσεων Zeus.

5.2.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά ρομποτικού συστήματος Zeus

- Το βασικό μόνιτορ του συστήματος, έχει διαστάσεις έως 23”W x 23”D.
- Επίσης η κονσόλα περιλαμβάνει μια οθόνη αφής και μέρος για την τοποθέτηση των μικροφώνων, τη μονάδα ελέγχου του προσωπικού υπολογιστή και του συστήματος κεντρικού ελέγχου Hermes (αν χρησιμοποιείται).
- Το σύστημα περιλαμβάνει σάνταρ βιομηχανικό μηχανισμό εύκολης αποστείρωσης (Easy Sterilization). Τα εργαλεία είναι ανθεκτικά και επαναχρησιμοποιούμενα κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν στις απαιτήσεις του χειρουργικού περιβάλλοντος. Τα χειρουργικά εργαλεία του προσφέρουν απaráμιλλη ακρίβεια με μέγεθος 3.9 mm και 5 mm για την ενδοσκοπική κάμερα αντίστοιχα. Πάνω από 40 εργαλεία είναι συμβατά με το

χειρουργικό σύστημα Zeus και διατίθενται από τις εταιρείες Scalan, Storz, και US Surgical.

- Το σύστημα επίσης διαθέτει ένα μηχανισμό γρήγορης αλλαγής των εργαλείων και ασφαλούς τοποθέτησης των νέων στο χειρουργικό πεδίο.
- Η προετοιμασία και το στήσιμο του συστήματος είναι γρήγορο και διαρκεί λιγότερο από 15 min.
- Οι βραχίονες είναι ελαφριοί και τοποθετούνται από το προσωπικό στο χειρουργικό τραπέζι.
- Όσον αφορά την απεικόνιση σχεδιάστηκε ώστε να επιτρέπει δισδιάστατη ή τρισδιάστατη απεικόνιση ανάλογα με την επιλογή του χειρουργού ενώ παρέχει μια ευρεία ποικιλία από ενδοσκόπια και ποικίλους τρόπους ρύθμισης της οθόνης.
- Δευτερεύοντα μόνιτορ επίπεδης οθόνης, τοποθετούνται παράλληλα με το κυρίως μόνιτορ για να παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες για τον ασθενή όπως πληροφορίες για τη λειτουργία των ζωτικών του οργάνων (π.χ. αναπνοή, θερμοκρασία, σφυγμούς), απεικόνιση αναφοράς οδήγησης εικόνας, και επιπλέον απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου για χρήση με το σύστημα Socrates.
- Το χειρουργικό σύστημα Zeus είναι ελαφρύ, εύκολο στην εγκατάσταση με ευελιξία ρυθμίσεων.
- Ως προς το χειρισμό του είναι φιλικό προς το χρήστη, ένα απλό πεντάλ μπλοκάρει ή ξεμπλοκάρει το σύστημα. Όταν το σύστημα είναι ενεργοποιημένο είναι εύκολος ο έλεγχος του με φωνητικές εντολές ή μέσω του interface μιας οθόνης αφής.
- Οι μοχλοί ελέγχου MicroWrist μεταφράζουν τις κινήσεις του χειρουργού φιλτραρισμένες, ακριβείς και πολύ πιο «λεπτές».
- Το σύστημα έχει 6 αρθρώσεις εκ των οποίων οι 2 είναι παθητικές επομένως εκτελεί 4 κινήσεις δηλαδή 4 DOF. Διαθέτει μια πρισματική άρθρωση για την κάθετη κίνηση, μια περιστροφική άρθρωση στον ώμο, μια περιστροφική άρθρωση στον αγκώνα και μια άρθρωση για την περιστροφή του εργαλείου. Αν το εργαλείο έχει αρπάγη τότε προστίθεται άλλος ένας βαθμός ελευθερίας.
- Οι κινητήρες (σερβοκινητήρες) που βρίσκονται στο εσωτερικό του ρομποτικού βραχίονα του Zeus, περιλαμβάνουν εσωτερικούς ελέγχους που επιτρέπουν την εύκολη ρύθμιση της ταχύτητας.

- Με τη χρήση των νέων εργαλείων MicroWrist προστίθεται ένας ακόμα βαθμός ελευθερίας.
- Το σύστημα προσφέρει σημαντικά μεγάλη λεπτονση κινήσεων. Οι ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται είτε μέσω της οθόνης αφής είτε με φωνητική εντολή.
- Το κάθισμα του χειρουργού είναι εργονομικά σχεδιασμένο, προκειμένου να του προσφέρει άνεση για μεγάλης διάρκειας χειρουργικές επεμβάσεις.
- Κατά τη διάρκεια της επέμβασης οι βραχίονες που φέρουν το ενδοσκόπιο και τα εργαλεία «παίρνουν» κάποια κλίση σε σχέση με το χειρουργικό τραπέζι, ο ευέλικτος σχεδιασμός του αποκλείει την ανάγκη να αναπροσαρμόσει ή να καλιμπράρει ξανά τους βραχίονες.
- Με το πάτημα του πεντάλ μπορεί ο χειρουργός οποιαδήποτε στιγμή, να αφήσει τις χειρολαβές επιτρέποντας του έτσι να ηρεμήσει, να χαλαρώσει και να επανατοποθετήσει τα χέρια του.
- Το σύστημα Zeus παρέχει την σημαντική δυνατότητα να αποθηκεύει τρεις διαφορετικές ενδοσκοπικές θέσεις και μπορεί γρήγορα και εύκολα να επιστρέψει σε αυτές.
- Χρησιμοποιεί τεχνολογία Mirror redundancy για να διασφαλίσει την ασφάλεια του ασθενή. Που σημαίνει ότι ο ρυθμός ελέγχου του συστήματος (για εύρεση σφάλματος) είναι πάνω από 1000 φορές το δευτερόλεπτο.

5.3 Ομοιότητες - διαφορές μεταξύ συστημάτων da Vinci και Zeus

Με τη χρήση των ρομποτικών συστημάτων da Vinci (εικ. 73) και Zeus (εικ. 72), επιτυγχάνονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Μειώνεται σημαντικά ο συντελεστής κόπωσης καθώς ο χειρουργός είναι καθιστός κατά της διάρκεια της επέμβασης και δεν χρειάζεται να συγκρατεί συνεχώς τα εργαλεία.
- Τα ρομποτικά εργαλεία ακολουθούν την κίνηση του χειρουργού ενώ φιλτράρεται το τυχόν τρέμουλο. Με τη λεπτονση των κινήσεων που επιτυγχάνουν τα συστήματα

μπορούν να εκτελέσουν μικροκινήσεις οι οποίες θα ήταν αλλιώς ανθρωπίνως αδύνατες,

- Με τα ρομποτικά εργαλεία, οι τομές είναι ακόμα πιο μικρές από την κλασική MIS, με αποτέλεσμα λιγότερο τραύμα για τους ασθενείς και συνεπώς συντομότερος χρόνος ανάρρωσης.

Σημαντικές όμως είναι και οι διαφορές μεταξύ τους.

- Με το χειρουργικό σύστημα da Vinci και κατά τη διάρκεια της ενδοσκοπικής παρατήρησης ο χειρουργός έχει την εντύπωση ότι βρίσκεται μέσα στο χειρουργικό πεδίο χωρίς πιθανότητα της παραμικρής ενόχληση-απόσπασης από το εξωτερικό περιβάλλον ότι και αν συμβεί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εξαιρετική συνεργασία ματιού-χειριού, την έξοχη προοπτική βάθους κατά τη διάρκεια χειρισμού και ραφής των ιστών. Αντίθετα από τις συμβατικές ενδοσκοπικές επεμβάσεις ή το σύστημα Zeus, ο χειρουργός κατά τη διάρκεια της επέμβασης εκτός από το χειρουργικό πεδίο μπορεί να δει όλο το δωμάτιο.

- Το ρομποτικό σύστημα Zeus προσφέρει κατά ένα τρόπο διαφορετικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά την απεικόνιση και τα εργαλεία. Παρότι το αρχικό μοντέλο Zeus δεν περιελάμβανε τρισδιάστατη απεικόνιση όπως το da Vinci, το μοντέλο αυτό παρέχει μια ψευδοτριστατική εικόνα με την βοήθεια ενός ζεύγους γυαλιών. Επίσης όσον αφορά τα εργαλεία δεν έχουν αρθρωτές απολήξεις και επιτρέπει κινήσεις που μοιάζουν με αυτές της λαπαροσκόπησης και όχι με της ανοικτής χειρουργικής που επιτρέπει το da Vinci.

- Οι βραχίονες του da Vinci έχουν μεγάλο βάρος. Οι βραχίονες του Zeus είναι σχετικά ελαφριόί.

- Τα εργαλεία του da Vinci έχουν 7 DOF (μαζί με το πιάσιμο) ενώ του Zeus 6 DOF (μαζί με το πιάσιμο). Γι' αυτό και διαδικασίες όπως ράμματα ή δέσιμο κόμπου είναι ευκολότερες με το σύστημα da Vinci.

- Επίσης τα εργαλεία του da Vinci έχουν μεγαλύτερη διάμετρο (7 mm) από του Zeus (3.9 mm)

- Το ρομποτικό σύστημα Zeus διαθέτει ανεπτυγμένη τεχνολογία αναγνώρισης φωνής που ελέγχει την ενδοσκοπική κάμερα ελευθερώνοντας τα χέρια του χειρουργού

ενώ ο έλεγχος της κάμερας στο da Vinci γίνεται με πεντάλ που βρίσκεται στην κονσόλα ελέγχου.

- Οι ρομποτικοί βραχίονες του Zeus στερεώνονται πάνω σε μια πλευρά του χειρουργικού τραπεζιού. Ενώ οι βραχίονες του da Vinci στέκονται δίπλα από το χειρουργικό κρεβάτι σαν ξεχωριστός τροχήλατος εξοπλισμός καταλαμβάνοντας αρκετό χώρο στο χειρουργικό δωμάτιο ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιείται.

- Το da Vinci εγκρίθηκε από το FDA για να βοηθήσει σε εξελεγκμένες χειρουργικές τεχνικές δηλαδή να εκτελεί χειρουργικά ράμματα και να κόβει ιστούς. Το αρχικό μοντέλο Zeus εγκρίθηκε να εκτελεί εργασίες όπως πιάσιμο, συγκράτηση και αφαίρεση ιστών όμως δεν έχει εγκριθεί για κοπή και ραφή ιστών. Το Zeus τεχνολογίας Micro Wrist έχει κριθεί (Σεπτέμβριο 2002) κατάλληλο για εργασίες όπως ηλεκτροκαυτηριασμός, ραφή και κοπή ιστών.

- Όσον αφορά τη διάρκεια διάφορων επεμβάσεων (π.χ. λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής, λαπαροσκοπικής επινεφριδεκτομή, λαπαροσκοπικής πυελοπλαστικής κ.α.), έρευνες σε ζώα έδειξαν ότι το da Vinci υπερτερεί. Για παράδειγμα ο συνολικός χρόνος μιας λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής, με το σύστημα da Vinci διήρκεσε 51.3 λεπτά έναντι 71,6 λεπτά που διήρκεσε η επέμβαση με το ρομποτικό σύστημα Zeus. Ο πραγματικός χρόνος που διήρκεσε η επέμβαση ήταν 42.1 λεπτά αντί 61,4 λεπτά, συγκρινόμενο με το Zeus. Σε εργασίες όπως το δέσιμο κόμπων και η πραγματοποίηση ραμμάτων το σύστημα da Vinci είναι αρκετά γρηγορότερο από το Zeus, ενώ η ακρίβεια τους σε λεπτές εργασίες είναι παρόμοια

- Το κόστος του ρομποτικού συστήματος da Vinci (1.000.000 \$) είναι μεγαλύτερο αν και δεν έχει μεγάλη διαφορά από το κόστος του συστήματος Zeus (975.000\$).
- Παρόλα αυτά η γενική τους ιδέα είναι ίδια δύο ρομποτικοί βραχίονες ελέγχουν τα εργαλεία ενώ ένας τρίτος οδηγεί την κάμερα.
- Επίσης, προβλήματα μεταξύ των ρομποτικών βραχιόνων ή και μεταξύ των ρομποτικών βραχιόνων και του σώματος μπορούν να υπάρξουν σε μερικές περιπτώσεις και στα δύο συστήματα. Μελλοντική σμίκρυνση της αρχιτεκτονικής των ρομποτικών βραχιόνων θα λύσει αυτό το πρόβλημα.
- Τα ηλεκτρονικά και των δύο συστημάτων επιτρέπουν την λέπτυνση, το φίλτράρισμα και την μεγέθυνση των κινήσεων.

Και στα δύο συστήματα ένα βοηθός παραμένει δίπλα στον ασθενή μόνο για να αλλάζει τα διάφορα ρομποτικά εργαλεία (όταν πάρει την εντολή από το χειρουργό που εκτελεί την επέμβαση), τα οποία περιλαμβάνουν οδηγό βελόνας, αρπάγες, ηλεκτροχειρουργικά εργαλεία σε μορφή γάντζου, νυστέρια, ψαλίδια και για να αποκαταστήσει τυχόν βλάβες των ρομποτικών βραχιόνων.

Η εκμάθηση των συστημάτων αυτών θεωρείται σχετικά εύκολη.

Και τα δύο ρομποτικά συστήματα (master–slave) έχουν ένα σοβαρό μειονέκτημα δεν μπορούν να μεταφέρουν την αίσθηση της δύναμης της αντίστασης (force feedback), της αφής (haptic Feedback) και ψηλάφησης (tactile feedback) των ιστών που διαχειρίζεται ο χειρουργός.



Εικόνα 72 Ρομποτικό χειρ/κό σύστημα Zeus.



Εικόνα 73. Ρομποτικό χειρ/κό σύστημα da Vinci.

5.4 Socrates σύστημα τηλεσυνεργασίας (Telecollaborative system)

Το σύστημα τηλεσυνεργασίας Socrates είναι η πρώτη συσκευή που πήρε άδεια (τον Οκτώβριο του 2001) στην νεοϊδρυθείσα κατηγορία του FDA «συσκευές ρομποτικής

τηλεϊατρικής». Το Socrates αποτελείται από ένα εξελιγμένο εξοπλισμό τηλεπικοινωνίας που είναι σε δίκτυο με ιατρικές συσκευές και ρομποτικά συστήματα. Το σύστημα επιτρέπει στο χειρουργό που βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή να δουλέψει σε συνεργασία με ένα άλλο χειρουργό που βρίσκεται σε χειρουργικό δωμάτιο που βρίσκεται στην άλλη πλευρά του κόσμου. Το σύστημα παρέχει σε πραγματικό χρόνο εικόνες του χειρουργείου. Σε συνεργασία με το Zeus, το Socrates είναι το πρώτο κρίσιμο βήμα που σηματοδοτεί την αρχή της περιόδου της ελάχιστα επεμβατικής τηλεχειρουργικής. Το 2001 το Socrates σε συνδυασμό με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Zeus, έμεινε στην ιστορία αφού έκανε πραγματικότητα την πρώτη υπερατλαντική επέμβαση. Στις 7 Σεπτεμβρίου 2001, μια ομάδα χειρουργών στην Νέα Υόρκη πραγματοποίησε επέμβαση χολοκυστεκτομής σε ασθενή στη Γαλλία με τη βοήθεια χειρουργών που βρίσκονταν εκεί (εικ.74). Η κονσόλα και το ρομπότ ήταν συνδεδεμένα με καλώδιο οπτικών ινών. Η επέμβαση αυτή είχε δοκιμαστεί πρώτα σε έξι χοίρους. Επικεφαλής της ομάδας ήταν ο γιατρός Jack Marescaux από το Πανεπιστήμιο Παστέρ και υπό την επίβλεψη του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεχειρουργικής (European Institute of Telesurgery (EITS)). Χάρη τους μηχανικούς της France Telecom τα δεδομένα τα οποία έπρεπε να ταξιδέψουν 7.000 χιλιόμετρα, μεταδίδονταν με καθυστέρηση μόλις 155 χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Αυτή ήταν η πρώτη ολοκληρωμένη τηλεχειρουργική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε από χειρουργούς που βρίσκονταν 7.000 χιλιόμετρα περίπου μακριά από τον ασθενή. Ο ασθενής έφυγε από το νοσοκομείο 48 ώρες μετά την επέμβαση και

επέστρεψε στις κοινωνικές δραστηριότητες του μετά από μια εβδομάδα.



Εικόνα74.

Τηλεχειρουργική επέμβαση.

Η χειρουργική επέμβαση ονομάστηκε Lindbergh, από το όνομα του πιλότου που πραγματοποίησε την πρώτη υπερατλαντική πτήση.

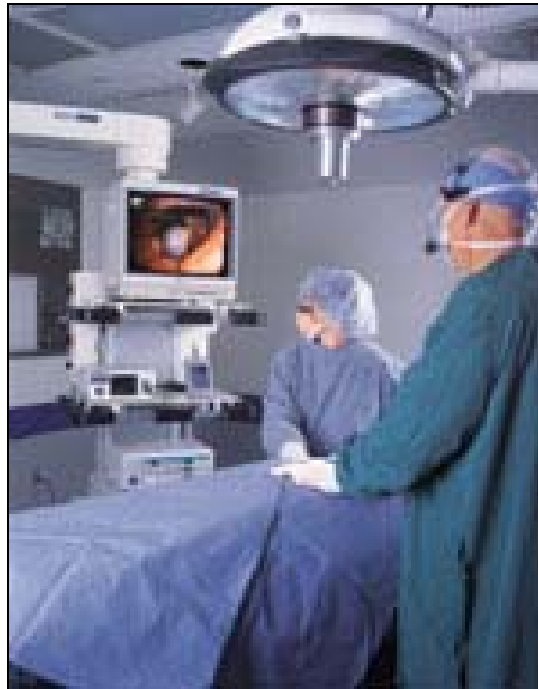
5.5 Κέντρο ελέγχου Hermes (Hermes Control Center)

Το κέντρο ελέγχου Hermes αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α από την εταιρεία Computer Motion και σε συνεργασία με την εταιρεία κατασκευής ιατρικού εξοπλισμού, Stryker που βρίσκεται στην Καλιφόρνια. Είναι ένα υπερσύγχρονο, ρομποτικό σύστημα αναγνώρισης φωνής, επιτρέπει στο χειρουργό να ελέγξει πολλές συσκευές και χειρουργικά εργαλεία MIS, μέσα σε ένα χειρουργείο χρησιμοποιώντας απλές φωνητικές εντολές. Το σύστημα αποτελείται από μια οθόνη αφής, τη συσκευή που συνδέεται με τις υπόλοιπες συσκευές και ένα ζευγάρι ακουστικών με μικρόφωνο (εικ. 75).



Εικόνα 75. Κέντρου ελέγχου Hermes.

Φορώντας το ζεύγος των ακουστικών και μικρόφωνο (εικ. 76), ο χειρουργός μπορεί να πει στο Hermes να ελέγξει χειρουργικά εργαλεία, να ρυθμίσει το χειρουργικό κρεβάτι και το φωτισμό μέσα στο δωμάτιο ή πάνω από το χειρουργικό τραπέζι, να βγάλει φωτογραφίες ή να βιντεοσκοπήσει το χειρουργικό πεδίο, να αλλάξει την εικόνα που βλέπει στην οθόνη, να διορθώσει την θέση της κάμερας που καταγράφει την επέμβαση, να εκτυπώσει εικόνες για μελλοντική αναφορά και να ξαναδεί τις ακτινογραφίες ή μαγνητικές τομογραφίες του ασθενή σε μια οθόνη βίντεο.



Εικόνα 76. Επέμβαση με χρήση του Hermes.

Ο χειρουργός επίσης μπορεί αυτόματα να δει τα παθολογικά αποτελέσματα κατά τη διάρκεια της επέμβασης ενώ του επιτρέπει στιγμιαία πρόσβαση σε ιατρικές πληροφορίες από τα ψηφιακά ιατρικά αρχεία του ασθενή. Επιπρόσθετα μπορεί ο χειρουργός να διατάξει την κάμερα να πάρει φωτογραφίες, να τις σώσει σε ένα CD και να σώσει τα σχόλια του στο CD αυτό ταυτόχρονα. Σε ένα παραδοσιακό χειρουργείο πολλές από αυτές τις δουλειές θα έπρεπε να γίνουν από νοσοκόμους, οι οποίοι τώρα μπορούν να συγκεντρωθούν στον ασθενή αντί να ασχολούνται με τον τριγύρω εξοπλισμό.

Το σύστημα έχει αναγνώριση φωνής ώστε να εξασφαλίζει ότι θα υπακούει στις φωνητικές εντολές μόνο του χειρουργού. Το προσωπικό του χειρουργείου μπορεί να εισάγει εντολές μέσω μια οθόνης αφής. Είναι σημαντικό οι εντολές να δύνονται σωστά. Για παράδειγμα για να αυξηθεί η φωτεινότητα στο χειρουργικό πεδίο ο χειρουργός πρέπει να πει τη φράση «Hermes, light up» δηλ «Hermes, φώτισε». Το σύστημα ανταποκρίνεται μόνο σε 100 εντολές, ακούγοντας κάθε ήχο φιλτράροντας αυτό που «θέλει να ακούσει». Από αυτή την άποψη μπορεί να θεωρηθεί «έξυπνο σύστημα». Το σύστημα Hermes μπορεί να παρέχει οπτική και φωνητική ανάδραση για την κατάσταση κάθε συσκευής, όπως π.χ. εάν υπάρχει ένα πρόβλημα δυσλειτουργίας ή αποσύνδεσης και αναβαθμίζει το χειρουργικό εξοπλισμό, χειρουργικά τραπέζια, φώτα, βίντεο κάμερες, μειώνοντας το χρόνο και το κόστος της επέμβασης.

Το Hermes επιτρέπει στο χειρουργό και στο προσωπικό να ελέγχει ένα ευρύ σύνολο δικτύων που αποτελείται από τα σύστημα AESOP, Zeus και Socrates.

Σύμφωνα με το FDA το σύστημα Hermes νομοθετικά κατατάσσεται στην τάξη II (Class II) και ενδείκνυται να χρησιμοποιείται με τις παρακάτω συσκευές: Stryker Endoscopy Camera 882, Stryker Quantum 5000 Light Source, Stryker SE5 Shaver, WOM 20L Insufflator, WOM, 2.0 Arthroscopy Pump, Stryker Total Performance System, Berchtold Surgical Lights, Steris Amsco Table Model SP3085, AESOP⁰⁰ HR (HERMES-Ready TM), Valleylab Force FXTM Electro-surgical Unit, Smith &Nephew Dyonics Access 15 Arthroscopic Fluid Irrigation System, Smith &Nephew Dyonics Vision 635 Digital Image Management System, Skytron Stellar Seriew O.R Lights και, Smith &Nephew Dyonics Power Shaver.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γενική λαπαροσκόπηση, σε επεμβάσεις ρινοφαρυγγοσκόπησης, ενδοσκόπησης στο αυτί, κολποσκόπησης και οπουδήποτε ενδείκνυται να χρησιμοποιείται ένα λαπαροσκόπιο / ενδοσκόπιο. Μερικά παραδείγματα των πιο κοινών ενδοσκοπικών επεμβάσεων είναι η λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή, η λαπαροσκοπική επέμβαση κήλης, η λαπαροσκοπική σκωληκοειδεκτομή, λαπαροσκοπική υστερεκτομή, λαπαροσκοπική και θωρακοσκοπική συγκόλληση σπονδυλικής στήλης, βιοψία στον πνεύμονα, πλευρόδεση, βιοψία υπεζωκότα, παράκαμψη στεφανιαίας αρτηρίας (bypass) κ.α.

Αυτός ο τρόπος ελέγχου των επεμβάσεων μπορεί να μειώσει τη διάρκεια της επέμβασης έως και 15%. Οι χρήστες του συστήματος Hermes είναι γενικοί χειρουργοί, γυναικολόγοι, καρδιοχειρουργοί, πλαστικοί χειρουργοί, ορθοπεδικοί χειρουργοί και ουρολόγοι και βρίσκεται σε περίπου 84.000 χειρουργικά δωμάτια ανά τον κόσμο. Το κόστος ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου 47.000\$.

5.6 Πλεονεκτήματα ρομποτικής χειρουργικής

Τα πλεονεκτήματα της κλασικής MIS, αντισταθμίζονται από κάποια εμπόδια για τους χειρουργούς.

Αυτά περιλαμβάνουν την έλλειψη τρισδιάστατης απεικόνισης του χειρουργικού πεδίου, και τη χρήση μακριών χειρουργικών εργαλείων που μπορούν να κινούνται με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (DOF ή Degrees Of Freedom). Αυτά τα εργαλεία δεν επιτρέπουν στο χειρουργό να δείξει την επιδεξιότητα του δεν έχουν στροφή «καρπού» και έκαναν πολλούς να παρομοιάζουν τις επεμβάσεις αυτές σαν επεμβάσεις με chopsticks. Επιπλέον ο χειρουργός θα πρέπει να χειρουργεί σχετικά μακριά από το χειρουργικό πεδίο. Ενώ το μήκος των εργαλείων τονίζει το οποιοδήποτε τρέμουλο του χεριού που μπορεί να υπάρξει.

Οι περιορισμοί της MIS μπορούν τώρα να ξεπεραστούν χάρη στην ανάπτυξη καινοτόμων οπτικών συστημάτων και αρθρωτών ρομποτικών βραχιόνων. Η εισαγωγή των χειρουργικών ρομπότ και των τρισδιάστατων συστημάτων απεικόνισης στη χειρουργική προήγαγε τη MIS σ' ένα νέο επίπεδο (στο πίνακα 1. παρουσιάζονται ορισμένες από τις διαφορές τις MIS και της ρομποτικής χειρουργικής).

Table 1. Comparison of the limitations of the endoscopic techniques in relation to robotic surgery (Mohr et al., 2001 [18])

Function	Conventional endoscopic instruments	Telemanipulators
Degree of freedom	4	6
Shake filtration	No	Yes
Rate of movement transmission	1:1	1:1 to 5:1 (adjustable)
Alignment hand-eye	Poor	Natural
Effect of the lever	Reverse movement	Is not effective
Force transmission	Great/abnormal/non-linear (depends on the length of the instrument)	Programmable
Ergonometry (for the surgeon)	unfavorable	Favorable
Image	Bidimensional	3-dimensional

Πίνακας 1. Διαφορές ενδοσκοπικών τεχνικών με ρομποτική χειρουργική.

Η ρομποτική χειρουργική παρέχει δύο βασικές τεχνολογικές βελτιώσεις:

- Αναβάθμιση του συστήματος που παρέχει οπτικό έλεγχο κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο πρόσφατος εξοπλισμός της κλασικής MIS, απαιτεί ο χειρουργός να κινεί το χέρι του προς τα κάτω ώστε το εργαλείο να κινηθεί προς τα πάνω ή αριστερά ώστε το εργαλείο να κινηθεί δεξιά. Το ρομπότ εξαλείφει αυτό το πρόβλημα και δίνει την εντύπωση στο χειρουργό ότι τα μάτια του και τα χέρια του είναι μέσα στο σώμα του ασθενή. Ενώ η απεικόνιση του πεδίου με τα συστήματα αυτά είναι τρισδιάστατη. Επειδή η κάμερα στις επεμβάσεις MIS, συγκρατούνταν με το χέρι, συχνά χρειαζόταν να επανατοποθετηθεί για να έχει ο χειρουργός μια πιο καθαρή εικόνα. Τέλος επιτυγχάνεται μεγέθυνση του χειρουργικού πεδίου μέχρι και 15 φορές περισσότερο από την φυσιολογική όραση διευκολύνοντας έτσι τη διαδικασία. Το χειρουργικό πεδίο δηλαδή, μπορεί να μεγεθυνθεί τόσο, ώστε φλέβες μερικών χιλιοστών να μπορούν να ειδωθούν σαν μεγάλα μολύβια.
- «Λέπτυνση» των κινήσεων των χειρουργικών εργαλείων. Έτσι κίνηση του χειρουργού 2 εκατοστών μπορεί να σημαίνει 0.5 εκατοστά κίνηση του ρομποτικού χειρουργικού εργαλείου. Οι σχετικά μεγάλες κινήσεις που κάνει ο γιατρός ενώ χειρίζεται τους μοχλούς τύπου joystick, φιλτράρονται από ένα υπολογιστή

επιτρέποντας έτσι τον καθορισμό μικρομετρικών κινήσεων στα χειρουργικά εργαλεία χωρίς το παραμικρό τρέμουλο, ακριβή και λιγότερο τραυματικό χειρισμό των ιστών και των οργάνων. Τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά δίνουν μεγάλη χειρουργική ακρίβεια ξεπερνώντας τους περιορισμούς του ανθρώπινου χεριού. Οι χειρουργοί λένε πως η ρομποτική χειρουργική τους επιτρέπει να κάνουν πράγματα που ποτέ δεν είχαν φανταστεί για παράδειγμα να κόψουν αγγεία και να τα ξαναενώσουν χρησιμοποιώντας πολύ μικρά ράμματα.

Ορισμένοι ακόμα θετικοί παράγοντες, που αφορούν την χρήση των ρομπότ στη χειρουργική είναι:

- Όσον αφορά τον ασθενή επειδή οι πληγές στο σώμα είναι μικρότερες, η απώλεια του αίματος είναι μικρή ο μετεγχειριντικός πόνος είναι μικρότερος και η ανάρρωση είναι συντομότερη. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η προσφορά της ρομποτικής χειρουργικής στην καρδιοχειρουργική. Χαρακτηριστικά, σε μία επέμβαση καρδιάς η τομή που γίνεται στο θώρακα είναι περίπου 30cm ενώ απαιτείται και σπάσιμο των οστών του θώρακα, ο χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο είναι τρεις με έξι εβδομάδες. Ενώ στη ρομποτική χειρουργική επέμβαση καρδιάς γίνονται τρεις σπές στον ασθενή, είναι μόλις 10 mm η κάθε μια και δεν χρειάζεται να σπάσουν το θώρακα. Εξαιτίας του μικρού τραύματος, ο χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο είναι μόνο τέσσερις ημέρες.
- Στις κλασικές χειρουργικές επεμβάσεις, μέσα σε ένα χειρουργείο βρίσκονται δύο ή τρεις χειρουργοί ένα αναισθησιολόγος και μερικοί νοσοκόμοι και όλοι αυτοί χρειάζονται ακόμα και για μια απλή επέμβαση. Ένα χειρουργικό ρομποτικό σύστημα εξαιτίας του αυτοματισμού του περιορίζει την ανάγκη ύπαρξης τόσων ατόμων. Μια επέμβαση απαιτεί μόνο ένα χειρουργό που βρίσκεται στο ίδιο ή σε άλλο δωμάτιο ή ακόμα και σε μια απομακρυσμένη περιοχή, ένα αναισθησιολόγο και ένα βοηθό που θα βρίσκεται δίπλα στο κρεβάτι του ασθενή. Σ' αυτό το σχεδόν άδειο δωμάτιο ο γιατρός καθισμένος σε μια κονσόλα επιτυγχάνει κάτι που κάποτε απαιτούσε ένα πλήθος ατόμων.
- Όντας λιγότερα άτομα στο χώρο του χειρουργείου και έχοντας τη δυνατότητα ο γιατρός να χειρουργήσει από απόσταση μειώνεται το κόστος περίθαλψης.

- Τα ρομπότ είναι ιδανικά για επαναληπτικές διαδικασίες, που απαιτούν υψηλό επίπεδο ακρίβειας και που μπορούν να κουράσουν το χειρουργό. Ενώ οι ρομποτικοί καρποί διευκολύνουν το χειρουργό να χειριστεί τους ιστούς και να δουλέψει από όλες τις γωνίες.
 - Τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούν μικρότερα εργαλεία - σε σχέση με τα κλασικά ενδοσκοπικά - που παρέχουν αυξημένο εύρος κίνησης. Για παράδειγμα η κοιλιά ενός βρέφους έχει μέγεθος περίπου όσο ενός χεριού γι' αυτό τα χειρουργικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι πολύ μικρά.
 - Τα ρομπότ είναι ικανά να κινούν και να διατηρούν σταθερά και για μεγάλα χρονικά διαστήματα τα χειρουργικά εργαλεία σε συγκεκριμένα σημεία χωρίς την ενοχλητική παρουσία του τρέμουλου λόγω της κόπωσης του χειρουργού.
 - Τα ρομπότ μπορούν να εξομοιώσουν μια επέμβαση, επιτρέποντας το σχεδιασμό της διαδικασίας υπολογιστικά όπου πολύπλοκες τεχνικές προσεγγίσεις μπορούν να δοκιμαστούν εικονικά, καθορίζοντας τα αποτελέσματα. Αυτό έχει σημαντική επίδραση στην ασφάλεια της διαδικασίας ενώ δίνει την ευκαιρία εκμάθησης μιας χειρουργικής τεχνικής.
 - Ο χειρουργός πραγματοποιεί την επέμβαση από μια θέση πιο άνετη και εργονομική.
 - Μειώνεται η πιθανότητα λάθους.
 - Αντίθετα με το χειρουργό ένα ρομπότ δεν θα διστάσει πριν από το κάθε βήμα σκεφτόμενο τα αποτελέσματα της επόμενης κίνησης (αυτό από κάποιους μπορεί να θεωρηθεί και μειονέκτημα).
- Η εξέλιξη της ρομποτικής έδωσε ισχυρή ώθηση στην εκπαίδευση και τη διδασκαλία της γενικής χειρουργικής. Ύστερα από πειραματικές έρευνες, έγινε φανερό ότι το ρομπότ, μπορεί να γίνει, μια εξαιρετική συσκευή εκπαίδευσης για τους έμπειρους χειρουργούς, επιτρέποντας τους, να τελειοποιήσουν της τεχνικές τους αλλά και να εξερευνήσουν νέες τεχνικές. Όσον αφορά δε τους ειδικευόμενους χειρουργούς, τους επιτρέπει να αποκτήσουν βασικές γνώσεις της χειρουργικής τεχνικής.

Εξαιτίας όλων των παραπάνω είναι πιθανό οι χειρουργικές επεμβάσεις υποβοηθούμενες από ρομπότ ακόμα και να επινοήσουν νέες χειρουργικές προσεγγίσεις (δρόμους) στο ανθρώπινο σώμα. Ενώ τα χειρουργικά ρομπότ προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την κλασική χειρουργική και την ελάχιστα επεμβατική χειρουργική, είμαστε ακόμα πολύ μακριά από τη μέρα όπου ένα αυτόνομο ρομπότ θα χειρουργεί σε άνθρωπο χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Ίσως στο μέλλον με τη πρόοδο των υπολογιστών και της τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσε να σχεδιασθεί ένα ρομπότ που να μπορεί να εντοπίσει τις δυσμορφίες στο ανθρώπινο σώμα, να τις αναλύσει και να επέμβει για να τις διορθώσει χωρίς ανθρώπινη επίβλεψη.

5.7 Προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση των ρομποτικών χειρουργικών βοηθών

Έκδηλοι είναι συγκεκριμένοι περιορισμοί και οι επιπτώσεις τους στα πρόσφατα ρομποτικά τηλεχειριζόμενα, χειρουργικά ρομποτικά συστήματα.

- Η ελευθερία της κίνησης των χειρουργικών εργαλείων είναι ακόμα περιορισμένη.
- Απαιτείται πολύπλοκο λογισμικό. Οι σχεδιαστές του λογισμικού (software) και της διάταξης διασύνδεσης (interface) ανθρώπου με ρομπότ, αγωνίζονται να δημιουργήσουν μηχανές που είναι φιλικές προς το χρήστη (χειρουργό).
- Τα χειρουργικά ρομπότ είναι πολύ ακριβά. Για παράδειγμα το χειρουργικό σύστημα da Vinci κοστίζει 1.000.000\$ (δολάρια) Κάθε του βραχίονας κοστίζει 40.000\$- 50.000\$ και όσον αφορά την αντοχή τους στο χρόνο μετά από ελέγχους έχει αποδειχτεί ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο 10 φορές περίπου πριν αντικατασταθούν.
- Σημαντικό επίσης είναι και το κόστος συντήρησης, επισκευής και το κόστος αναβάθμισης του υλικού και του λογισμικού όπως κάθε σύστημα που στηρίζεται στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

- Οι χειρουργοί πρέπει να υποβληθούν σε εκπαίδευση για να μπορούν να πραγματοποιήσουν επεμβάσεις επομένως πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος εκπαίδευσης.
- Σήμερα η χρονική καθυστέρηση (δηλ. ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της κίνησης του χεριού του γιατρού και της κίνησής του ρομποτικού βραχίονα που ανταποκρίνεται σ' αυτή την κίνηση) είναι το μεγαλύτερο εμπόδιο στη διάδοση της τηλεχειρουργικής. Με μια χρονική καθυστέρηση απόκρισης σήματος μεγαλύτερη από 200ms η εφαρμογή τηλεχειρουργικών επεμβάσεων δεν είναι πρακτικά εφικτή. Για να επιτευχθεί στιγμιαία μετάδοση είναι απαραίτητη η χρήση καναλιών επικοινωνίας με πολύ υψηλό εύρος ζώνης
- Γι' αυτό πρέπει ο γιατρός να βρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο με τον ασθενή ώστε το ρομποτικό σύστημα να αντιδρά αμέσως στις κινήσεις των χεριών του γιατρού.
- Η έλλειψη της αίσθησης της δύναμης και της αφής ήταν ένα τεράστιο πρόβλημα και για τα δύο συστήματα. Γι' αυτό θα πρέπει να αναπτυχθούν πρωτότυπα λογισμικά προγράμματα για να συνδυάσουν την αίσθηση της δύναμης ταυτοχρόνως με την τρισδιάστατη απεικόνιση. Η τεχνολογία που αφορά την αντίληψη της αίσθησης της αφής και της δύναμης της αντίστασης των ιστών, δεν έχει τεθεί σε εφαρμογή εξαιτίας της απουσίας, αξιόπιστης πληροφορίας των δυνάμεων από τη μεριά που γίνεται η επέμβαση και αποτελεσματικών αλγορίθμων ελέγχου. Η πρόσφατη τεχνολογία haptics, επιτρέπει τον εντοπισμό δύναμης περίπου 0.6 N, η οποία ισούται με την εκτροπή μαλακού ιστού κατά 4 mm. Αυτός ο βαθμός ευαισθησίας βεβαίως, είναι ανεπαρκής για την πραγματοποίηση μικροαγγειακών επεμβάσεων.
- Θέματα που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια του ασθενή.
- Η χειρουργική ρομποτική είναι τεχνικά και πνευματικά πιο απαιτητική υποστηρίζουν οι γιατροί όμως εξακολουθούν να είναι ενθουσιασμένοι με τα αποτελέσματα.
- Κάποια άρθρα ισχυρίζονται ότι η αποτελεσματικότητα ορισμένων MIS διαδικασιών μπορούν να ενισχυθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές ρομποτικής, ενώ

άλλα υποστηρίζουν ότι η αποτελεσματικότητα μειώνεται εξαιτίας του πολύπλοκου χειρισμού των ρομποτικών εργαλείων (π.χ. λόγω της χρονικής καθυστέρησης της επικοινωνίας και της περιορισμένης κίνησης), του χρόνου που χάνεται για το σχεδιασμό μιας χειρουργικής διαδικασίας, τις απαιτήσεις απεικόνισης, αλλά και του χρόνου που απαιτείται για να τεθεί σε λειτουργία το σύστημα.

Η ανάπτυξη και κλινική εφαρμογή ρομποτικών συστημάτων Zeus και da Vinci, επιτρέπουν την από απόσταση χειρουργική παρέμβαση στον ασθενή, ωστόσο δεν εμπίπτουν στην κατηγορία της τηλεχειρουργικής αλλά του τηλεχειρισμού, καθώς τελικά ο χειρουργός βρίσκεται στην ίδια αίθουσα με τον ασθενή ή τουλάχιστον βρίσκεται σε απόσταση τέτοια που του επιτρέπει ανά πάσα στιγμή τη διακοπή της λειτουργίας του ρομποτικού συστήματος και την ανάληψη της δράσης από τον ίδιον. Η εκτέλεση ολοκληρωμένων φάσεων μιας εγχείρησης ή και ολόκληρης της εγχείρησης με τη βοήθεια της τηλεχειρουργικής έχει επιχειρηθεί μόνο σε πειραματικές εγχειρήσεις και αυτό διότι τα τεχνικά και τα νομικά ζητήματα τα οποία προκύπτουν δεν έχουν προς το παρόν υπερκερασθεί από τους μηχανικούς και από το νομοθέτη αντίστοιχα.

Αν και θεωρητικά μοιάζει εντελώς εφικτή η επιμήκυνση του κυκλώματος χειρουργικής κονσόλας χειρουργικού πεδίου ώστε τα λίγα μέτρα που μεσολαμβάν μεταξύ της κονσόλας και του χειρουργικού τραπέζιού να γίνουν χιλιόμετρα ή και δεκάδες χιλιάδες χιλιόμετρα, στην πράξη αυτό δεν είναι καθόλου εύκολο. Η μεταφορά της εικόνας του ενδοσκοπίου από το χειρουργικό τραπέζι στη χειρουργική κονσόλα και της κίνησης των χεριών του χειρουργού ακριβώς στην αντίθετη κατεύθυνση είναι εφικτή είτε με τη χρήση ενσύρματου (τηλεφωνική γραμμή) είτε ασύρματου (δορυφορική σύνδεση) δικτύου. Ωστόσο ο κρίσιμος παράγοντας για την ασφαλή και ομαλή επικοινωνία και λειτουργία του κυκλώματος είναι ο χρόνος καθυστέρησης του σήματος που πρέπει να είναι τόσο μικρός ώστε ο χειρουργός να αισθάνεται ότι χειρουργεί σε πραγματικό χρόνο.

Αυτό σημαίνει πως η εικόνα που βλέπει στην οθόνη του ο χειρουργός θα πρέπει να δείχνει αυτό που πραγματικά εκτελούν εκείνη τη στιγμή τα χέρια του και κατ' επέκταση τα εργαλεία που κινούν οι ρομποτικοί βραχίονες. Η αποδεκτή καθυστέρηση, η μέγιστη δηλαδή καθυστέρηση την οποία ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται ως «πραγματικό χρόνο» είναι μόλις 10 msec. Μετά από ειδική εκπαίδευση (εκπαίδευση

στην οποία υποβάλλονται αστροναύτες της Αμερικάνικης Διαστημικής Εταιρείας, NASA) ο χειρισμός εργαλείων από απόσταση μπορεί να γίνει με σχετική ασφάλεια ακόμη και με καθυστέρηση 100 msec. Οπωσδήποτε όμως, με καθυστέρηση μεγαλύτερη από 200msec είναι αδύνατη και εξαιρετικά επικίνδυνη κάθε προσπάθεια χειρισμού εργαλείων από απόσταση.

Με βάση αυτήν την παραδοχή το μήκος του κυκλώματος θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η καθυστέρηση του σήματος που λαμβάνει ο χειριστής χειρουργός να μην ξεπερνά με κανέναν τρόπο τα 200 msec, χρόνος που ισοδυναμεί με μέγιστη απόσταση 350 χιλιόμετρα ενσύρματου ή 50 χιλιόμετρα ασύρματου δικτύου.

Αν και έχουν προταθεί τεχνικές λύσεις για την αντιμετώπιση του προηγούμενου καίριου προβλήματος τα εμπόδια που προβάλλει στην ουσιαστική ανάπτυξη της τηλεχειρουργικής είναι προς το παρόν τουλάχιστον ανυπέρβλητα. Πέρα από αυτό υπάρχουν πολλά άλλα προβλήματα των οποίων η λύση είναι προαπαιτούμενη για την ουσιαστική εφαρμογή των τηλεχειρουργικών εφαρμογών.

Αντίθετα, εφαρμογές στις οποίες ο ευρισκόμενος σε απόσταση έμπειρος χειρουργός δε χειρίζεται χειρουργικά εργαλεία με άμεσο τρόπο αλλά κατευθύνει, καθοδηγεί, εποπτεύει και επικουρεί (teleconsultation, teleproctoring) τον χειρουργό που ευρίσκεται στο πλευρό του ασθενή έχουν ήδη επιχειρηθεί με επιτυχία. Οι πρώτες εγχειρήσεις που εκτελέστηκαν υπό την καθοδήγηση χειρουργού που βρισκόταν σε απόσταση από τον ασθενή και τη χειρουργική αίθουσα ήσαν δυο λαπαροσκοπικές χολοκυστεκτομές που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια ρομποτικών βραχιόνων το 1999 στη Σιγκαπούρη σε σύνδεση με το Νοσοκομείο John Hopkins στη Βαλτιμόρη των Η.Π.Α. Το κύκλωμα παρείχε αμφίδρομη οπτική και ακουστική επικοινωνία των δύο χειρουργικών ομάδων ενώ ο χειρουργός στη Βαλτιμόρη είχε επιπροσθέτως τη δυνατότητα να κινεί και να εστιάζει στο επιθυμητό σημείο το ρομποτικό βραχίονα που συγκρατούσε την κάμερα ώστε να διευκολύνεται η καθοδήγηση του χειρουργού στη Σιγκαπούρη.

Ακολούθησε η πραγματοποίηση και άλλων τηλεκαθοδηγούμενων εγχειρήσεων μεταξύ Βαλτιμόρης (Η.Π.Α) και Ρώμης (Ιταλία), και Χονολουλού Χαβάη, (Η.Π.Α) New Haven (Η.Π.Α) και Μάαστριχ (Ολλανδία), τόσο απλών όσο και σύνθετων λαπαροενδοσκοπικών εγχειρήσεων (λαπαροσκοπικές χολοκυστεκτομές, λαπαροενδοσκοπική νεφρεκτομή κ.α.). Τα αποτελέσματα ήσαν επιτυχή στην συντριπτική πλειονότητα των εγχειρήσεων που

επιχειρήθηκαν, τα όποια προβλήματα ήσαν τεχνικά και αντιμετωπίστηκαν χωρίς κανένα κόστος υγείας για τον ασθενή.

Κοινά χαρακτηριστικά όλων αυτών των τηλεκαθοδηγούμενων εγχειρήσεων είναι:

(α). Η ελάχιστη επεμβατική φύση όλων των επεμβάσεων που επιχειρήθηκαν (λαπαροενδοσκοπικές εγχειρήσεις, διαδερμικές παρακεντήσεις)

(β). Η χρήση ρομποτικών βραχιόνων για τον έλεγχο της επεμβατικής εικόνας και την ευχερή πλοήγηση του έμπειρου και σε απόσταση ευρισκόμενου χειρουργού στο χειρουργικό πεδίο.

(γ). Ο χρόνος καθυστέρησης της ολοκλήρωσης του κυκλώματος αν και μικρότερος συνήθως από ένα δευτερόλεπτο ήταν αρκετά μεγάλος (πολύ μεγαλύτερος από 200ms) για να επιτρέψει οποιαδήποτε σκέψη άμεσης τηλεχειρουργικής παρέμβασης.

Η ευφορία που προκάλεσαν οι επιτυχίες αυτές προσπάθειες είναι μεγάλη. Ουσιαστικά όμως, οι εφαρμογές αυτές ανέδειξαν την παντελή απουσία ρυθμιστικής νομοθεσίας και έθεσαν πλήθος ερωτημάτων σε ζητήματα ασφάλειας, αστικής ευθύνης, άδειας ασκήσεως της Χειρουργικής και της Τηλεχειρουργικής, ευθύνης του παροχέα του κυκλώματος (Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών) και γενικότερα οριοθέτησαν ένα πλαίσιο προβληματισμού για τη διατύπωση αυστηρών οδηγιών και προϋποθέσεων για την εκτέλεση τηλεχειρουργικών εγχειρήσεων.

6. ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟΥΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΥΣ ΒΟΗΘΟΥΣ

Το FDA εφαρμόζοντας ρυθμιστικές διατάξεις δίνει μεγάλη προσοχή στην πιθανότητα λάθους και στην αρτιότητα λειτουργίας, του ρομποτικού εξοπλισμού που πρέπει να συμμορφώνεται σε κάποια πρότυπα. Εκτιμά την πιθανότητα τεχνικών βλαβών του υπολογιστή και αν αυτά σημαίνουν κίνδυνο για τους ασθενείς. Γενικά, πάντα υπάρχει το ο κίνδυνος τεχνικών προβλημάτων στα αυτόματα συστήματα. Όμως διαθέτουν μηχανισμούς ασφαλής λειτουργίας που βοηθούν στην προστασία κατά των προβλημάτων. Το da Vinci βγάζει έναν ήχο κουδουνιού και δεν επιτρέπει να γίνει καμία κίνηση εάν το κεφάλι του ασθενή δεν είναι τοποθετημένο στη σωστή θέση.

Οι ειδικοί λένε ότι μπορεί να υπάρξουν φορές, όπου ο χειρουργός θα ξεκινήσει μια χειρουργική εργασία με το ρομπότ και μετά για κάποιο λόγο αναγκάζεται να το εγκαταλείψει και να εκτελέσει την επέμβαση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Μελέτες για το da Vinci έχουν δείξει ότι μια επέμβαση που χρησιμοποιεί ρομποτική συσκευή διαρκεί περίπου 50 λεπτά περισσότερο σε σχέση με μια ίδια της κλασικής ενδοσκόπησης. Η επιμήκυνση του χρόνου αυτού, θεωρείται ότι οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στην έλλειψη εμπειρίας των χειρουργών με τη νέα τεχνολογία.

Το FDA απαιτεί από τους κατασκευαστές να εκπαιδεύσουν τους χειρουργούς πριν χρησιμοποιήσουν τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα. Θεωρείται ότι ο χειρουργός χρειάζεται να επέμβει σε περίπου 12-18 ασθενείς πριν νιώσει «άνετα» και πριν είναι ικανός να πραγματοποιήσει επεμβάσεις με το ρομποτικό σύστημα τόσο γρήγορα, όσο και με τις κλασικές τεχνικές.

6.1 Εκπαίδευση

Ο Paul Nolan ένας από τους υπεύθυνους της Computer Motion, λέει ότι η τυπική εκπαίδευση για τους χειρουργούς που αγοράζουν το ρομποτικό σύστημα Zeus, διαρκεί

έως και 40 ώρες η οποία περιλαμβάνει εκπαίδευση σε ζώα και σε εργαστήρια με πτώματα. Όσον αφορά το Zeus εκτός από την εκπαίδευση του χειρουργού περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα που καλύπτει την τεχνική εκπαίδευση, τον τρόπο σύνθεσης του χειρουργείου και την αποστείρωση.

Η εκπαίδευση γίνεται στην έδρα της εταιρείας και στα νοσοκομεία. Η ίδια χρησιμοποιείται και για το σύστημα da Vinci το οποίο σύμφωνα με τον Gene Nagel, διευθυντή εκπαίδευσης της εταιρείας Intuitive Surgical έχει τέσσερα ενεργά κέντρα εκπαίδευσης. Η εταιρεία προσφέρει διήμερα και τριήμερα προγράμματα για κάθε μια διαφορετική ειδικότητα. Στόχος είναι η ομαδική εκπαίδευση. Όσον αφορά το νοσηλευτικό προσωπικό η εκπαίδευση αφορά την προετοιμασία που πρέπει να κάνει και την προεγχειριντική και μετεγχειριντική διαχείριση του συστήματος. Όσον αφορά τους χειρουργούς η εκπαίδευση τους αφορά την εξάσκηση ώστε να αποκτήσουν απαραίτητες δεξιότητες και άνεση στη χρήση του συστήματος για ένα πλήθος χειρουργικών εφαρμογών.

Στις Η.Π.Α. έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός ρομποτικών προγραμμάτων εκπαίδευσης από διαφορετικά κέντρα όπως το Irvine Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας (University of California-UCI), η ιατρική σχολή Brody στο πανεπιστήμιο East Carolina (ECU) στη βόρεια Καρολίνα, το πανεπιστήμιο της νότιας Καλιφόρνιας και το νοσοκομείο St Luke's Roosevelt στη Νέα Υόρκη, το Πανεπιστήμιο Iowa στο «Κέντρο. Φροντίδα Υγείας Ελάχιστα Επεμβατικής Χειρουργικής» (Health Care's Minimally Invasive Surgery), κ.α. Το πρόγραμμα του UCI, περιλαμβάνει πέντε επίπεδα εκπαίδευσης, ξεκινώντας με διαλέξεις που αφορούν τεχνικά στοιχεία των ρομποτικών συστημάτων και τους περιορισμούς αυτών. Κατόπιν με πρακτική άσκηση είτε σε αντικείμενα που εξομοιώνουν μέρη του ανθρώπινου σώματος, είτε σε εργαστήρια με πειραματόζωα ώστε να εξασκηθούν στην ανατομία και στην παρατήρηση ρομποτικά υποβοηθούμενων επεμβάσεων. Τα μαθήματα εκπαίδευσης τυπικά διαρκούν δύο με πέντε μέρες. Ενώ υπάρχουν ειδικά προγράμματα που αφορούν ένα συγκεκριμένο είδος επεμβάσεων π.χ. πρόγραμμα εκπαίδευσης για την πραγματοποίηση ρομποτικά βοηθούμενου πλήρους ενδοσκοπικού bypass στεφανιαίας αρτηρίας (robotic-assisted Totally Endoscopic Coronary Artery Bypass-TECAB).

Μερικά θέματα που αφορούν την εκπαίδευση είναι ιδιαιτέρως σημαντικά.:

- Όλη η ομάδα που πραγματοποιεί την εγχείρηση πρέπει να εκπαιδευτεί γιατροί, νοσηλευτικό προσωπικό, αναισθησιολόγοι και λοιπό προσωπικό- προκειμένου να μπορούν να συνεργαστούν σωστά κατά την διάρκεια μιας επέμβασης. Η εκπαίδευση όμως του χειρουργού βοηθού είναι επίσης πολύ σημαντική μια και η παρουσία του είναι σημείο κλειδί της επαφής με τον ασθενή για τον χειρουργό που εκτελεί την επέμβαση.
- Προηγούμενη εμπειρία σε τεχνικές MIS, είναι απαραίτητη διότι συντομεύει το χρόνο εκμάθησης και βελτιώνει τα αποτελέσματα.
- Λόγο της εκπαίδευσης:
 - Αυξήθηκε ο αριθμός των χειρουργών που μπορούν να εκτελέσουν πολύπλοκες επεμβάσεις.
 - Διευκολύνθηκαν οι πιο κοινές επεμβάσεις.
 - Επετράπησαν νέες χειρουργικές επεμβάσεις.
 - Μειώθηκε η διάρκεια των επεμβάσεων, της ανάρρωσης και της νοσηλείας.
 - Μειώθηκε το κόστος των επεμβάσεων.

6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια

Σε σύγκριση με τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό τομέα, τα ιατρικά ρομπότ παρουσιάζουν στο σχεδιασμό τους περισσότερα και περιπλοκότερα προβλήματα που αφορούν την ασφάλεια. Μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες στους οποίους οφείλονται τα προβλήματα αυτά περιγράφονται παρακάτω:

Η ανθρώπινη παρουσία: Σε μια βιομηχανική εφαρμογή δεν είναι κανένας άνθρωπος παρόν στο περιβάλλον της εφαρμογής. Οι κανονισμοί ασφαλείας διευκρινίζουν ότι το ρομπότ πρέπει να απενεργοποιείται όταν βρίσκονται άνθρωποι στην κοντινή περιοχή. Αυτό απλοποιεί πολύ τις απαιτήσεις ασφαλείας. Στον ιατρικό τομέα, εντούτοις, τα ρομπότ απαιτούνται για να βοηθήσουν τους ανθρώπους παρά για να τους αντικαταστήσουν. Από αυτή την άποψη, θα πρέπει να είναι ικανά να δουλέψουν μαζί με τους ανθρώπους και να αποδώσουν καλά και για όσο χρόνο χρειασθεί σε ένα χαοτικό

περιβάλλον. Αυτό απαιτεί τα ιατρικά ρομπότ να έχουν πολλούς αισθητήρες ώστε να συμπεριφέρονται « σκεπτικά » σε σχέση με το περιβάλλον τους. Αυτά ωθούν τη σύγχρονη τεχνολογία στα όρια και προκαλούν στους σχεδιαστές των ρομπότ αξεπέραστα εμπόδια.

Η συνέπεια του λάθους: Σχετίζεται όχι μόνο με την παρουσία ανθρώπων κοντά στο ρομπότ, αλλά και με τη φύση του σκοπού του ρομπότ το οποίο τυπικά αφορά έναν ασθενή. Στο βιομηχανικό τομέα ένα λάθος σημαίνει το πολύ πολύ καταστροφή ή απώλεια ενός προϊόντος. Στον ιατρικό τομέα οι επιπτώσεις ενός λάθους είναι μεγάλης σπουδαιότητας αφού μπορεί να κοστίζει μια ανθρώπινη ζωή.

Πιθανοί λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν σε επισφαλή λειτουργία ενός ρομποτικού χειρουργικού συστήματος, είναι ο κακός σχεδιασμός, η δυσλειτουργία τμημάτων του υλικού (software) και του λογισμικού (hardware) και οι ανεπαρκείς προδιαγραφές. Όπως σε πολλές άλλες εφαρμογές, η βελτίωση κάποιων από αυτών των παραμέτρων έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης άλλων παραμέτρων. Για παράδειγμα, ένα γενικά αυξημένο επίπεδο ασφάλειας συνοδεύεται από αυξημένο κόστος, πολυπλοκότητα ή και τα δύο.

Η ιδέα της πλήρους ασφάλειας είναι μια πλάνη. Διαφορετικές στρατηγικές ασφάλειας προσφέρουν διαφορετικά πλεονεκτήματα (ή μειονεκτήματα). Η γενική πιθανότητα ενός λάθους θα πρέπει να είναι πολύ μικρή. Όμως ακόμα πιο σημαντικό από την αποφυγή ενός λάθους είναι η ικανότητα του χειρουργικού συστήματος, να ανιχνεύει ένα λάθος που έχει συμβεί, αποτρέποντας έτσι τους κινδύνους που πρόκειται να προκληθούν από αυτό και επιτρέποντας στο ρομπότ να «αποτύχει με ασφάλεια». Αυτό συνήθως περιλαμβάνει την δυνατότητα απενεργοποίησης του ρομπότ σε περίπτωση ανίχνευσης λάθους και την απομάκρυνση του από τον ασθενή έχοντας δίνοντας τη δυνατότητα στο χειρουργό να ολοκληρώσει με τα χέρια του την επέμβαση.

Όσο ο στόχος του ρομπότ γίνεται όλο και πιο πολύπλοκος, τόσο αυξάνεται και η ανάγκη για πιο περίπλοκο υλικό και λογισμικό (γρήγορη ανταπόκριση του συστήματος, μεγαλύτερη ακρίβεια, περισσότερους βαθμούς ελευθερίας). Αυτό αυξάνει την πιθανότητα λάθους εκθετικά. Το λογισμικό ενέχει κάποιες δυσκολίες εξαιτίας των παραπάνω ενώ η αξιοπιστία του υλικού είναι πρωταρχικής σημασίας.

6.3 Στρατηγικές ασφαλείας

Διάφορες στρατηγικές χρησιμοποιούνται για την αύξηση της ασφάλειας ενός ιατρικού ρομπότ. Οι δύο βασικότερες περιγράφονται παρακάτω:

Πλεονασμός: Μια και η πιθανότητα αποτυχίας δύο στοιχείων ταυτόχρονα είναι σημαντικά μικρότερη από την πιθανότητα αποτυχίας μόνο ενός, η επανάληψη της διαδικασίας ελέγχου δύο ή και τρεις φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια μέθοδος αυξανόμενης ασφάλειας. Αυτό μπορεί να σημαίνει περιπλοκότερο υλικό ή και λογισμικό, ή απλά πολλούς αισθητήρες, και χρήση διάφορων τεχνολογιών (όπως η χρήση στοιχείων αναφοράς για την τοποθέτηση του ρομπότ στον ασθενή). Στην περίπτωση λάθους σε ένα σημείο ο χειρουργός μπορεί να ειδοποιηθεί ή και αυτομάτως το σύστημα να σταματήσει την επέμβαση. Δυστυχώς, αυτή η μέθοδος είναι προβλεπόμενο ότι συνοδεύεται από υψηλό κόστος, αυτός είναι και ο σημαντικότερος παράγοντας που εμποδίζει ώστε να επικρατήσει η χρήση του.

Περιορισμός λειτουργιών: Καθώς η πιθανότητα λάθους αυξάνεται με την πολυπλοκότητα, είναι πιθανό να κατασκευαστεί ένα σύστημα ασφαλέστερο, περιορίζοντας τις πιθανές λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει τον περιορισμό των βαθμών ελευθερίας ή τον περιορισμό των πολύπλοκων κινήσεων σε κινήσεις κατά μήκος ενός άξονα κάθε φορά. Το εύρος της κίνησης του ρομπότ μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση φυσικών εμποδίων. Εάν το ρομπότ εποπτεύεται από ένα χειρουργό πράγμα που σχεδόν πάντα συμβαίνει στα χειρουργικά ρομπότ, η ταχύτητα της επέμβασης μπορεί να ελαττωθεί σε τέτοιο σημείο, ώστε ο χειρουργός να μπορεί να ακολουθήσει τη διαδικασία και να τη σταματήσει, όταν κάτι πάει στραβά προτού να γίνει οποιαδήποτε σοβαρή ζημιά.

Στα πρώτα στάδια εγκατάστασης των ρομποτικών συστημάτων ίσως χρειαστεί να προσφερθεί τεχνική υποστήριξη από την κατασκευάστρια εταιρεία ώστε να διασφαλιστεί ότι τυχόν προβλήματα του συστήματος δεν θα επηρεάσουν την ασφάλεια του ασθενή.

6.4 Άλλα θέματα που αφορούν την ασφάλεια

Παρόλο που επενδύεται πολύς χρόνος και χρήμα στην έρευνα αυτού του πεδίου, τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα ακόμα δεν παράγονται μαζικά γι' αυτό και το κόστος τους είναι πολύ μεγάλο. Ένα μεγάλο πρόβλημα παρουσιάζεται από την έλλειψη σε βιομηχανικό επίπεδο ευρέως αποδεκτών προτύπων ασφαλείας, εν μέρει επειδή ο καθορισμός της ασφαλείας εξαρτάται από την εφαρμογή, και εν μέρει επειδή μια αυστηρή προδιαγραφή θα εμπόδιζε την περαιτέρω αναζήτηση προς εκείνη την κατεύθυνση. Επιπλέον, δεν υπάρχουν ακριβή όρια για το που αρχίζει ή τελειώνει η ευθύνη του γιατρού και του κατασκευαστή σε περίπτωση λάθους, αποτρέποντας τους κατασκευαστές των ρομπότ από το να έχουν μια σαφή εικόνα της κατάστασης. Ένα τελικό σημείο που μεγαλώνει το πρόβλημα είναι ότι οι κατασκευαστές των ρομπότ είναι απρόθυμοι στο να καταστήσουν όλες τις προδιαγραφές σχεδιασμού διαθέσιμες στις ιατρικές επιτροπές ασφαλείας.

Επικεντρώνοντας στα χειρουργικά ρομπότ, οι λόγοι για τους οποίους δεν κέρδισαν τον άμεσο ενθουσιασμό και αποδοχή στην ιατρική κοινότητα είναι δύο.

Ζητήματα ασφαλείας έχουν σταθεί ως εμπόδια για την πραγματοποίηση έρευνας και ανάπτυξης τους. Τα ζητήματα ασφαλείας δεν έχουν αντιμετωπιστεί και υπάρχει μια επείγουσα ανάγκη για συναίνεση για το τι είναι ασφαλές στην πράξη σχετικά με τα αυτόνομα και ημιαυτόνομα (καθοδηγούμενα από άνθρωπο) ρομπότ.

Το άλλο κύριο εμπόδιο είναι οι παρερμηνείες που αφθονούν σχετικά με τα ρομπότ. Οι χειρουργοί δεν επιθυμούν να δουν τους όμοια με αδέξιους βιομηχανικούς βραχίονες στα χειρουργικά δωμάτια, επίσης δεν τους αρέσει η ιδέα να αντικατασταθούν ως « περιττός εξοπλισμός ».

Το πρώτο ζήτημα, αυτό της ασφαλείας είναι ένα αναμφίβολο πρόβλημα. Τα βιομηχανικά ρομπότ λειτουργούν σε ένα ορισμένο χώρο δράσης χωρίς την παραμικρή επαφή με τους ανθρώπους. Αυτό είναι προφανές ότι δεν μπορεί να συμβεί με τα χειρουργικά ρομπότ. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι αυξανόμενη πολυπλοκότητα τόσο στο πρόγραμμα ενός αυτόνομου ρομπότ όσο και στο σχεδιασμό ενός καθοδηγούμενου (ή αυτόνομου) ρομπότ αυξάνει το πρόβλημα ορισμού προτύπων ασφαλείας. Ένα ρομπότ που έχει όλες τις δεξιότητες του ανθρώπου (χειρουργού) θα ήταν

εξαιρετικά περίπλοκο. Γι' αυτό είναι ίσως καλύτερο να περιοριστούν οι δυνατότητες που έχει ένα ρομπότ έτσι ώστε να περιοριστεί η πιθανή ζημιά που θα προκαλέσει σε περίπτωση δυσλειτουργίας.

Το δεύτερο ζήτημα είναι θέμα εκπαίδευσης των χειρουργών και της ιατρικής κοινότητας προκειμένου να δεχθούν την προηγμένη τεχνολογία. Βέβαια πρέπει να ειπωθεί ότι υπάρχουν ακόμα αρκετά προβλήματα που πρέπει να λυθούν όπως π.χ. οι βαθμοί ελευθερίας που παρέχουν τα ρομπότ. Ακόμα και τα πιο εξελιγμένα ρομπότ μπορούν να έχουν οκτώ ή εννιά βαθμούς ελευθερίας ελάχιστους σχετικά με τα ανθρώπινα χέρια που έχουν είκοσι βαθμούς ελευθερίας.

Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι, **όσο πιο ασφαλές είναι ένα ρομπότ, τόσο κατάλληλο είναι να λειτουργεί δίπλα στους ανθρώπους.** Δεδομένου ότι η πλήρης ασφάλεια είναι ανέφικτη, εντούτοις δεν παύει να ισχύει η ερώτηση: « Πότε είναι αρκετά ασφαλές ένα ιατρικό ρομπότ; ». Αυτό εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την εφαρμογή. Αν πρόκειται να πραγματοποιήσει μια συνηθισμένη επέμβαση οι δυνατότητες του ρομπότ θα πρέπει να είναι ίδιες εάν όχι και να ξεπεράσουν αυτές του χειρουργού. Εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε μια επέμβαση για να σώσουν μια ζωή που θα ήταν αδύνατη αλλιώς, είναι εύλογο ότι οι απαιτήσεις ασφαλείας μπορεί να είναι πιο χαλαρές δεδομένου ότι ο ασθενής θα πεθάνει αν δεν πραγματοποιηθεί η επέμβαση. Αυτό λύνει εντούτοις μόνο μέρος του προβλήματος. Οι επεμβάσεις διάσωσης είναι αναγκαστικά πολύπλοκες με συνέπεια την ανάγκη για ένα ρομπότ υψηλών δυνατοτήτων, τεχνολογικά εξελιγμένο το οποίο όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη πιθανότητα λάθους.

Οι επιπλοκές αυτής της ερώτησης οδηγούν αρκετά βαθύτερα, το τελικό κριτήριο είναι ότι ο χειρουργός είναι άνθρωπος και σαν άνθρωπος είναι επιρρεπής σε λάθη επίσης. Τα παραδείγματα χειρουργών που ξεχνούν τα γάντια ή τα ψαλίδια στον ασθενή, ή που κάνουν αδικαιολόγητα βαθιές τομές δεν είναι τόσο σπάνια όσο θα περίμενε κανείς. Έτσι μια πιθανή απάντηση θα είναι ότι το ρομπότ είναι αρκετά ασφαλές όταν είναι ασφαλέστερο από το χειρουργό ή ακόμα ότι είναι αρκετά ασφαλές όταν τα λάθη του ρομπότ είναι προτιμότερα από αυτά του χειρουργού.

Συμπερασματικά, υπάρχουν αρκετά βήματα που πρέπει να γίνουν προκειμένου να προαγάγουν τη χρήση και την ανάπτυξη των ρομπότ στη χειρουργική (και στην ιατρική γενικά). Αυτά είναι:

- ✦ Η ανάπτυξη και η διεθνής **θέσπιση προτύπων ασφαλείας**.
- ✦ Η δημιουργία **ρομπότ συγκεκριμένου έργου** σε αντίθεση με τα ρομπότ γενικής χρήσης.
- ✦ Η **εκπαίδευση της ιατρικής κοινότητας** για την αποδοχή και την ολοκλήρωση των ρομπότ.

7. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

7.1 Τηλεχειρουργική: Το ιατρικό κύμα του μέλλοντος

Η τηλεχειρουργική ξεκινά με την ανάπτυξη της MIS. Άλλωστε, η λαπαροσκόπηση κατά βάση είναι μια τηλεχειρουργική παρέμβαση καθώς για πρώτη φορά έως τότε ο χειρουργός αρχίζει να χρησιμοποιεί ισοδύναμα πληροφορίας (οθόνη βίντεο) αντί για την απευθείας όραση αλλά και χειρουργικά εργαλεία των οποίων αδυνατεί να δει την άκρη (παρά μόνο στην οθόνη του βίντεο).

Το κανάλι της επικοινωνίας μεταξύ χειρουργού και χειρουργικού πεδίου παύει να στηρίζεται στις φυσικές αισθήσεις του χειρουργού αλλά αντικαθιστάται από το ψηφιακό κανάλι της λαπαροσκοπικής κάμερας της οθόνης που του παρέχει την απαιτούμενη πληροφορία και τη δυνατότητα ελέγχου (feedback) των χειρουργικών του κινήσεων. Με τη MIS, ο χειρουργός χάνει τη στερεοτακτική όραση, την αίσθηση αφής και ακόμη τις αποκτηθείσες χειρουργικές δεξιότητες της ανοικτής χειρουργικής και επαφίεται πια στην ποιότητα της ψηφιακής πληροφορίας που λαμβάνει στην οθόνη και την ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων.

Η μεγαλύτερη δυσκολία της MIS και γενικότερα της τηλεχειρουργικής για το χειρουργό είναι η θέση από την οποία καλείται να χειρουργήσει τον ασθενή. Ενώ στην κλασσική χειρουργική το μάτι, το χέρι και το όργανο-στόχος του χειρουργικού πεδίου παραμένουν πάντα στον ίδιο άξονα, στη MIS, ο άξονας αυτός διαταράσσεται και συχνά απουσιάζει εντελώς. Αν σκεφθεί κανείς ότι στην καθημερινή ζωή οποιαδήποτε πράξη εκτελείται πάντα στον άξονα χέρι - αντικείμενο είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς τις δυσκολίες που συνάντησε η MIS κατά την εδραίωσή της αλλά και το προσωνόμιο Nintendo surgeons που κέρδισαν (χωρίς ιδιαίτερα τιμητική διάθεση) οι πρώτοι λαπαροσκόποι χειρουργοί. Όμως, η υπέρβαση αυτού του άξονα είναι που άνοιξε τις θύρες της Τηλεχειρουργικής, αφού ο χειρουργός πια μπορούσε να χειρουργεί χωρίς να κοιτά το χειρουργικό πεδίο. Η μεταφορά της εικόνας είχε ήδη επιτευχθεί. Απέμενε η μεταφορά και κυρίως η ενίσχυση της χειρουργικής κίνησης, για να μπορέσει κανείς να

μιλήσει για χειρουργική εξ αποστάσεως. Και εδώ είναι η θέση των ρομποτικών βραχιόνων.

Η τηλεχειρουργική είναι ένας τομέας της τηλεϊατρικής που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Το βασικό έρεισμα στην ανάπτυξη της τηλεχειρουργικής είναι η ανάγκη μετάδοσης και διάχυσης των εξειδικευμένων χειρουργικών τεχνικών και γνώσεων διευκολύνοντας την αρτιότερη και αποτελεσματικότερη εκπαίδευση και διάδοση των λαπαροσκοπικών χειρουργικών διαδικασιών. Ένας σημαντικός αριθμός κατασκευαστών λαπαροσκοπικών συσκευών είναι εφοδιασμένος με δυνατότητες 2-διευθσεων μετάδοσης κινούμενης εικόνας και ήχου, επιτρέποντας έτσι την σύνδεση χειρουργείων με εκπαιδευτικές ή έμπειρες χειρουργικές εγκαταστάσεις.

Σήμερα η τηλεχειρουργική μπορεί να ειπωθεί σαν την 2-διευθύνσεων μετάδοση εικόνας και ήχου επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ χειρουργών (μικρής εμπειρίας) στα χειρουργεία και χειρουργών (με μεγάλη εμπειρία) σε απομακρυσμένες περιοχές. Η χρήση ρομποτικών συσκευών επιτρέπει στους απομακρυσμένους χειρουργούς να συμμετέχουν ενεργά στην χειρουργική διαδικασία. Είναι αυτονόητο ότι πέρα από τις αυξημένες τηλεπικοινωνιακές υποδομές που η εφαρμογή αυτή απαιτεί, απαιτείται και πολύ εξειδικευμένο λογισμικό και υλικό, ώστε να είναι εφικτή η προσομοίωση στον απομακρυσμένο σταθμό, της καταστάσεως που επικρατεί στο χειρουργείο. Για τον σκοπό αυτό συνήθως απαιτούνται συστήματα εικονικής πραγματικότητας (virtual reality) που επιτρέπουν στους απομακρυσμένους χειρουργούς να έχουν μια πραγματική εικόνα της όλης διαδικασίας.

7.1.1 Ο σκοπός της τηλεχειρουργικής

Ο σκοπός για τη δημιουργία των ρομποτικών συστημάτων, ήταν η εφαρμογή της ιδέας της τηλεχειρουργικής. Η τηλεχειρουργική είναι η ιδανική μέθοδος για την πραγματοποίηση πολύπλοκων εργασιών σε άγνωστα περιβάλλοντα. Με αυτό τον τρόπο ελέγχου, όλες οι ενέργειες βασίζονται στην ερμηνεία που δίνει ο χειριστής από τις εικόνες που λαμβάνει μέσω μιας κάμερας.

Παρόλο που ακόμα εφαρμόζεται η κλασική χειρουργική αναμένεται να την αντικαταστήσει η ρομποτική χειρουργική.

Ο σκοπός της τηλεχειρουργικής είναι τριπλός:

1. Να μεταφέρει τη φροντίδα υγείας σε περιοχές με υποβαθμισμένη ιατρική περίθαλψη, εξαλείφοντας έτσι την μεταφορά ασθενών.
2. Να επιτρέψει στους ειδικούς που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, να βοηθήσουν να εκπαιδεύσουν και να συμμετάσχουν απευθείας σε επεμβάσεις.
3. Να χρησιμοποιηθεί εκεί όπου η εξειδικευμένη ιατρική φροντίδα δεν είναι εύκολα προσβάσιμη π.χ. σε διαστημικές αποστολές.

Με την ένταξη της τηλεχειρουργικής, προβλέπεται ότι οι ασθενείς ανά τον κόσμο θα μπορούν να λαμβάνουν ιατρική περίθαλψη χωρίς την ανάγκη να βρίσκεται ο γιατρός δίπλα τους.

7.1.2 Τηλεχειρουργική με ρομπότ

Ο ιατρικός τομέας δέχεται συνεχή πίεση προκειμένου να παράσχει καλύτερη φροντίδα σε όλο και περισσότερους ασθενείς, διατηρώντας τις δαπάνες σε αποδεκτά επίπεδα. Παραδοσιακά, οι ειδήμονες στον ιατρικό τομέα ήταν λίγοι και μακριά ο ένας με τον άλλο. Με την άφιξη της τηλεϊατρικής αυτό τίθεται (ως στόχος) να αλλάξει. Η τηλεϊατρική είναι ένα γρήγορα αναπτυσσόμενο πεδίο. Πειράματα πραγματοποιούνται συνεχώς που αφορούν όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις.

Η απόδοση του αγγλοσαξονικού όρου *telepresence surgery* είναι δυσχερής στην ελληνική γλώσσα. Στο εξής και επειδή οι αναφορές μου εστιάζονται αποκλειστικά στη Χειρουργική, θα χρησιμοποιώ τον όρο "τηλεχειρουργική". Σε αντιδιαστολή με τον "τηλεχειρισμό" (*teleoperation*), η τηλεχειρουργική προϋποθέτει εκτός από τον τηλεχειρισμό και την μεταβίβαση πληροφορίας στον χειριστή (εν προκειμένω στο χειρουργό) με τέτοιο τρόπο και σε τέτοια έκταση και λεπτομέρεια ώστε να νοιώθει παρών στο φυσικό περιβάλλον της εκτελούμενης από το ρομποτικό βραχίονα πράξης. Σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο τηλεχειρουργικής ο χειρουργός βρίσκεται σε μια ειδική κονσόλα (*interface*) δια της οποίας προσλαμβάνει αισθητηριακή πληροφορία (εικόνα,

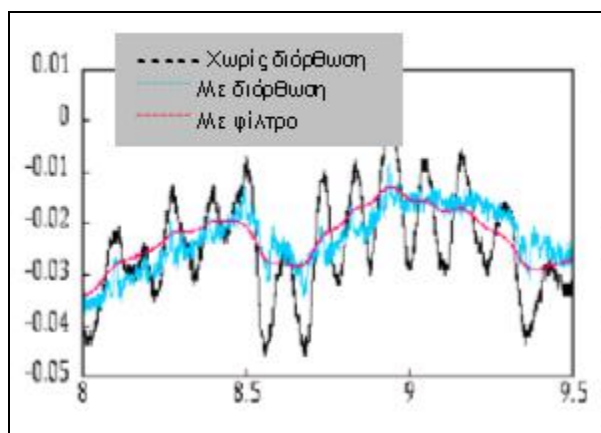
ήχος, αφή) έτσι ώστε να αισθάνεται ως να ήταν πραγματικά παρών στη χειρουργική αίθουσα με τον ασθενή. Μεταξύ του χειρουργού και του ασθενή μεσολαβούν μερικά μέτρα ή χιλιάδες χιλιόμετρα ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου και ένας ή περισσότεροι ρομποτικοί βραχίονες στο πλευρό του ασθενή οι οποίοι και εκτελούν τη χειρουργική πράξη υπό τις εντολές και την άμεση επίβλεψη του χειρουργού.

Με βάση τις προηγούμενες προδιαγραφές η τηλεχειρουργική υπόσχεται δύο σημαντικά πλεονεκτήματα που αποτελούν και τους κινητήριους μοχλούς για την ανάπτυξη της απαραίτητης τεχνολογίας: (α) τη δυνατότητα χειρουργικής παρουσίας σε απομακρυσμένα μέρη και (β) τη δυνατότητα ενίσχυσης της χειρουργικής δεξιότητας. Η δυνατότητα χειρουργικής παρουσίας στο διάστημα, στον τόπο μιας φυσικής καταστροφής, στο μέτωπο πολεμικών επιχειρήσεων, σε απομονωμένους ερευνητικούς σταθμούς ή στα νησιά ενός αρχιπελάγους είναι πραγματικά ελκυστική. Ίσως όμως το σημαντικότερο πλεονέκτημα της τηλεχειρουργικής είναι η δυνατότητα αφενός να μετατρέπει για παράδειγμα μια δυσπρόσιτη ανατομική περιοχή σε ένα εργονομικό χειρουργικό πεδίο αλλά και αφετέρου να ενισχύει τη χειρουργική παρέμβαση με την αύξηση της ακρίβειας, της σταθερότητας ή της ποιότητας της απτικής αίσθησης και να επιτρέπει την εκτέλεση για παράδειγμα **μικροχειρουργικών** ή ενδοαγγειακών επεμβάσεων.

Για να τονισθεί η αξία της ενίσχυσης της χειρουργικής δεξιότητας που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ρομποτικών συστημάτων και τη χειρουργική επέμβαση από απόσταση, θα πρέπει να σημειωθούν τα φυσικά όρια ακόμη και του πλέον εκπαιδευμένου ανθρώπινου χεριού. Για παράδειγμα, ακόμη και με τη χρήση των ισχυρότερων μικροσκοπίων είναι αδύνατη η ελεγχόμενη κίνηση σε απόσταση μικρότερη των 100μ. Όμως σε μερικές χειρουργικές εφαρμογές όπως για παράδειγμα στη χειρουργική με λέιζερ του αμφιβληστροειδούς η επιθυμητή ακρίβεια είναι της τάξης των 10-20μ καθώς το αγγειακό δίκτυο έχει μια πυκνότητα περίπου 25μ. Η αξία της επιθυμητής ακρίβειας έγκειται στο γεγονός πως η τρώση ενός εκ των αγγείων προκαλεί αιμάτωμα και επακόλουθη τύφλωση.

Πράγματι, το 1993 ο Green στο ανέπτυξε ένα ρομποτικό σύστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ του χειρουργού και του αμφιβληστροειδούς του ασθενούς το οποίο φιλτράρει τη χειρουργική κίνηση και αποβάλλει τον ενδογενή μυϊκό τρόπο του ανθρώπινου χεριού (8-

14 κύκλοι/1") αλλά και αποσβένει το νυσταγμό, τη φυσιολογική κίνηση του βολβού (200 κύκλοι/1"), ενώ μεταφράζει κατά ακριβή αναλογία την κατά 1εκ. κίνηση του ανθρώπινου χεριού σε κίνηση του άκρου του χειρουργικού εργαλείου κατά 10μ (εικ. 77).



Εικόνα 77. Μεγέθυνση της κίνησης του ανθρώπινου χεριού κατά τη γραφή και μετά την αφαίρεση του τρόμου (θορύβου), με ειδικό πρόγραμμα από ρομποτικό σύστημα (φίλτρο). Στον οριζόντιο άξονα παριστάνεται ο χρόνος σε δευτερόλεπτα και στον κάθετο η μετακίνηση της γραφίδας σε χιλιοστά.

Ωστόσο, το κύριο πλεονέκτημα που παρέχουν οι ρομποτικοί βραχίονες είναι η δυνατότητα τηλεχειρουργικής παρέμβασης σε περιοχές που είναι αντικειμενικά δυσπρόσιτες (για παράδειγμα στο διάστημα) ή δυσχερώς προσπελάσιμες (για παράδειγμα η ανατομική περιοχή της βάσεως του εγκεφάλου).

Το ρομποτικό συστήματα Zeus κάνει εφικτή την πραγματοποίηση ρομποτικής χειρουργικής από μεγάλες αποστάσεις (Tele presence robotic surgery). Οι χειρουργοί από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τεχνολογίας χρησιμοποίησαν το Zeus και τηλεπικοινωνίες υψηλής ταχύτητας για να πραγματοποιήσουν την πρώτη πλήρη, μεγάλης απόστασης ρομποτική χειρουργική επέμβαση, το Σεπτέμβριο του 2001. Χειρουργοί από τη νέα Υόρκη εργάστηκαν για να αφαιρέσουν χοληδόχο κύστη μιας 68-άχρονης γυναίκας στο Στρασβούργο (Γαλλία). Ο μέσος συνολικός χρόνος καθυστέρησης ήταν 155 msec, έτσι οι χειρουργοί μπορούσαν να δουν το αποτέλεσμα των εντολών τους σε λίγο περισσότερο από ένα δέκατο του δευτερολέπτου αργότερα. Ο χρόνος στησίματος του ρομπότ

διήρκεσε 16 min και η χοληδόχος κύστη αφαιρέθηκε σε 54 min χωρίς επιπλοκές. Ο χρόνος αυτός είναι παρόμοιος με το χρόνο που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μια κλασική λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή. Το ιατρικό κέντρο Mount Sinai στη Νέα Υόρκη και το Τμήμα Ηλεκτρικής Μηχανικής του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας συμμετείχαν στη μελέτη.

7.1.3 Περιορισμοί τηλεχειρουργικής με ρομπότ

Η τηλεϊατρική στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό στη μεταβίβαση πληροφοριών μεταξύ δύο τοποθεσιών. Όσο η απόσταση μεταξύ των δύο τοποθεσιών αυξάνεται τόσο μεγαλύτερη χρονική καθυστέρηση εισάγεται. Αυτό αυξάνει το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της δράσης και του αποτελέσματος και μετά από ένα σημείο καθιστά αδύνατη την επέμβαση σε πραγματικό χρόνο. Οι δοκιμές μέχρι τώρα έχουν περιοριστεί σε συνδέσεις καλωδίων, παρόλο που υπάρχει έντονη έρευνα προς αυξανόμενο φάσμα χρησιμοποιώντας δορυφορικές συνδέσεις. Η εμφάνιση των δικτύων ευρείας ζώνης ATM θα επιταχύνει περαιτέρω τη διαδικασία. Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός είναι ότι η κίνηση των απομακρυσμένων χειρουργικής μονάδας δεν πρέπει να παρεκκλίνει ή να χάσει την ευθυγράμμιση την ώρα της επέμβασης με την κίνηση των χεριών του χειρουργού. Στην πράξη αυτό σημαίνει πολύπλοκο έλεγχο ανάδρασης του συστήματος και συνεχή παρακολούθηση συγκεκριμένων σημείων αναφοράς.

Τέλος το υψηλό κόστος των συστημάτων και η γραφειοκρατικοί κυβερνητικοί ιατρικοί κανονισμοί επιβραδύνουν την χρήση αυτής της τεχνολογίας σε ευρεία κλίμακα.

7.2 Τεχνολογίες ανατροφοδότησης αφής και δύναμης (Haptics and Force Feedback)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το κυριότερο μειονέκτημα των ρομποτικών τηλεχειρουργικών συστημάτων da Vinci και Zeus είναι ότι δεν επιτρέπουν στο χειρουργό

να αισθανθεί το είδος και την υφή των ιστών κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Το χέρι μας καταλαβαίνει την υφή των πραγμάτων και την δύναμη αντίστασης τους. Υπάρχει τεχνολογία που ενσωματώνει αισθητήρες στα εργαλεία ώστε να στέλνουν πίσω στο χειριστή τις πληροφορίες αυτές. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται haptics και force feedback. Προς το παρόν αυτός ο τομέας εφαρμογής είναι εκκολαπτόμενος και μόλις άρχισε να παρουσιάζει την αγοραστική του δυνατότητα.

Μια συσκευή ανατροφοδότησης δύναμης (force feedback device), εφαρμόζει μια δύναμη στον χρήστη που κρατάει τη συσκευή αυτή, δίνοντας του την αίσθηση (δόνηση) του αποτελέσματος των ενεργειών του πάνω στο αντικείμενο που διαχειρίζεται (στην περίπτωση μιας χειρουργικής επέμβασης πάνω στους ιστούς). Η σημασία της ανάδρασης δύναμης είναι μεγάλη στα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα. Εάν ένα εργαλείο αγγίζει κάποιο ιστό, λαμβάνεται η αίσθηση της αντίστασης του ιστού στα χέρια του χειρουργού. Χωρίς αυτή την αίσθηση (ανάδραση δύναμης) ο χειρουργός μπορεί να πιέσει ένα ιστό με το ρομπότ αλλά δεν θα ξέρει πόσο.

Μια συσκευή αίσθησης της επαφής (haptic feedback device) εφαρμόζει μια δύναμη στο χειριστή με τέτοιο τρόπο ώστε να του επιτρέψει να διακρίνει τη γεωμετρία και την σύσταση του αντικειμένου που διαχειρίζεται (π.χ. μέγεθος, σύσταση ιστού). Η πληροφορία που λαμβάνεται από την ψηλάφηση των ιστών, είναι εξαιρετικά σημαντική στην ανοικτή χειρουργική αφού επιτρέπει στους χειρουργούς να αισθανθούν δομές που συνήθως είναι σφηνωμένες στον ιστό. Σημαντικά αγγεία συνήθως περιβάλλονται από συνδετικό ιστό. Όγκοι μέσα στο συκώτι ή στο colon πρέπει να αφαιρεθούν χωρίς έκθεση που θα μπορούσε να επιτρέψει την εξάπλωση των καρκινικών κυττάρων. Σκοπός των ερευνητών σε πολλά ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια αναπτύσσουν υψηλής απόδοσης υπολογιστικά και μηχανικά συστήματα (haptic interfaces) που επιτρέπουν χειρουργούς να νιώθουν όταν διαχειρίζονται τους ιστούς.

Δύο τέτοια ερευνητικά κέντρα που συνεργάζονται μεταξύ τους είναι το Πανεπιστήμιο Berkley της Καλιφόρνιας (UCB – University of California Berkley) και το τμήμα Χειρουργικής του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο San Francisco (UCSF). Έχουν αναπτύξει ένα ρομποτικό τηλεχειρουργικό σταθμό εργασίας για λαπαροσκόπηση. Το σύστημα τους αποτελείται από δύο βραχίονες με αρπάγες που έχουν 6 DOF ο κάθε ένας.

Σκοπός τους με αυτό το σύστημα, είναι να επαναφέρουν τις ικανότητες χειρισμού και αίσθησης του χειρουργού που χάνονται κατά τη διάρκεια μιας MIS.



Εικόνα 78. Phantom επιτραπέζια συσκευή Haptic.

Επίσης εταιρεία SensAble Technologies η οποία ιδρύθηκε το 1993 από τον Thomas Massie και τον Dr. Kenneth Salisbury, σχεδιάζει κατασκευάζει και διαθέτει στην αγορά συσκευές haptic της σειράς Phantom (εικ. 78), η οποία συμπληρώνεται με το λογισμικό πακέτο GHOST. Το Phantom βασίζεται σε μια πατενταρισμένο σύστημα καλωδιακής μετάδοσης που εφευρέθηκε από τον T. Massie και τον γιατρό K. Salisbury και είναι ένα από τα πιο γνωστά haptic interfaces. Παρέχει ανάδραση αφής (haptic Feedback) σε υπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούν τρισδιάστατη τεχνολογία απεικόνισης (αποτελεί μέρος των συστημάτων master-slave), έτσι ώστε ο χρήστη να μπορεί να διακρίνει τη γεωμετρία και τις ιδιότητες των αντικειμένων εικονικών αντικειμένων. Το Phantom έχει λάβει αρκετά βραβεία σχεδίου για την εντυπωσιακή, υψηλής πιστότητας, ρεαλιστική αίσθηση αφής που προσφέρει. Αποτελείται από ένα σύνολο υψηλής απόδοσης haptic interfaces που ανιχνεύει την πορεία και την κίνηση έξι βαθμών ελευθερίας του χρήστη, και παρέχει ανάδραση δύναμης τριών ή έξι βαθμών ελευθερίας. Εξαιτίας του ευπροσάρμοστου «στήσιμου» του χρησιμοποιείται συχνά στο εργαστήριο σε πειράματα που αφορούν τεχνολογίες haptic. Το εργαστήριο Βίο-ρομποτικής του

Πανεπιστημίου Harvard ανέπτυξε μια πειραματική διάταξη που δημιουργεί την αίσθηση της δύναμης επαφής με τους ιστούς. Η οποία αποτελείται από δύο συσκευές PHANTOM. Η μία συσκευή λειτουργεί σαν την κονσόλα του χειρουργού (master) και η άλλη σαν το χειρουργικό ρομπότ, επίσης περιλαμβάνει αισθητήρα δύναμης / ροπής. Όλα αυτά ελέγχονται από ένα H/Y Pentium 333MHZ που τρέχει τα Windows NT. Ο αλγόριθμος ελέγχου εκτελείται σε γλώσσα Visual C++, μαζί με το Interface του αισθητήρα δύναμης / ροπής.

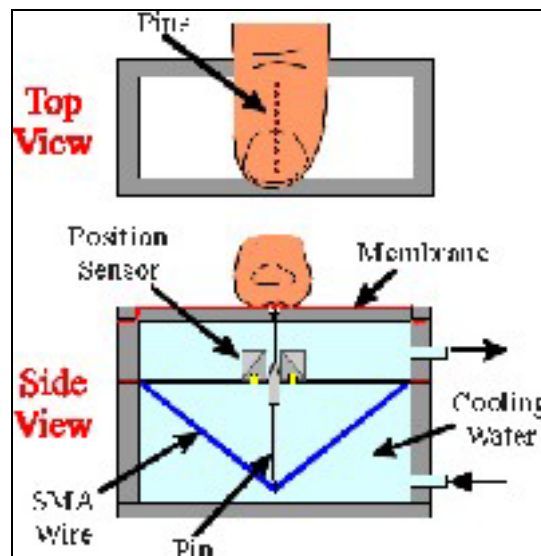
7.3 Προοπτικές στο μέλλον

Οι κατασκευαστές των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων υποστηρίζουν ότι τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα είναι μόλις η αρχή. Τα προϊόντα αυτά θα εξελιχθούν προκειμένου να διορθωθούν οι περιορισμοί τους. Για παράδειγμα το da Vinci και το Zeus που δε διαθέτουν ανάδραση δύναμης. Για το λόγο αυτό, σκοπός των ερευνητών όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι να αναπτύξουν υψηλής απόδοσης υπολογιστικά και μηχανικά συστήματα που θα επιτρέψουν στους χειρουργούς να αισθάνονται και να διαχειρίζονται «φυσικά» τους ιστούς κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης.

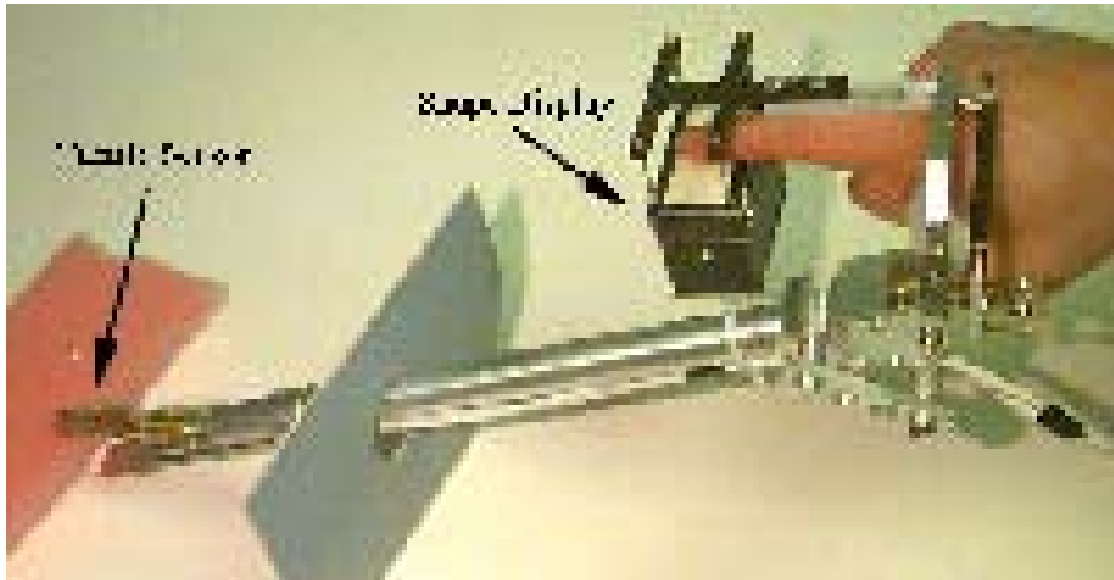
Το πανεπιστήμιο του Berkley στην Καλιφόρνια έχει σχεδιάσει διάταξη που θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί για να γίνουν αντιληπτές από απόσταση, οι ιδιότητες επαφής. Για να παρασχεθεί η τοπική πληροφορία του σχήματος, μια διάταξη παραγωγής δύναμης μπορεί να δημιουργήσει κατανομή δύναμης σε ένα δάκτυλο, συνθέτοντας μια προσέγγιση παρόμοια με την πραγματική επαφή (εικ. 79) Το εργαστήριο Bio – ρομποτικής του Πανεπιστημίου Harvard έχει δημιουργήσει συστήματα (για εφαρμογές τηλεχειρουργικής εικ.80) για να μεταδίδουν πληροφορία αφής από το σώμα του ασθενή στα άκρα των δακτύλων του χειρουργού κατά τη διάρκεια MIS. Αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες αφής που μετρούν την κατανομή της πίεσης πάνω στα εργαλεία καθώς διαχειρίζονται τον ιστό. Τα σήματα από αυτούς τους αισθητήρες λαμβάνονται από ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο θα εφαρμόσει αλγόριθμους για την επεξεργασία των σημάτων αυτών. Τελικά η πληροφορία της αφής θα μεταδοθεί στο χειρουργό μέσω μιας διάταξης που θα επαναδημιουργήσει την κατανομή της πίεσης στις άκρες των δακτύλων του χειρουργού. Η διάταξη του πρότυπου συστήματος (εικ.81) περιλαμβάνει μια σειρά

από 10 «καρφίτσες» που υψώνονται μόλις το χειρουργικό εργαλείο αγγίζει τον ιστό, δημιουργώντας στις άκρες των δακτύλων την αίσθηση της αφής. Με αυτό το σχεδιασμό κάθε ακίδα μπορεί να κινηθεί 3 mm προς τα πάνω παράγοντας δύναμη έως και 1 N. Η τεχνολογία αυτή έχει σκοπό να αυξήσει την ασφάλεια και την αξιοπιστία της MIS.

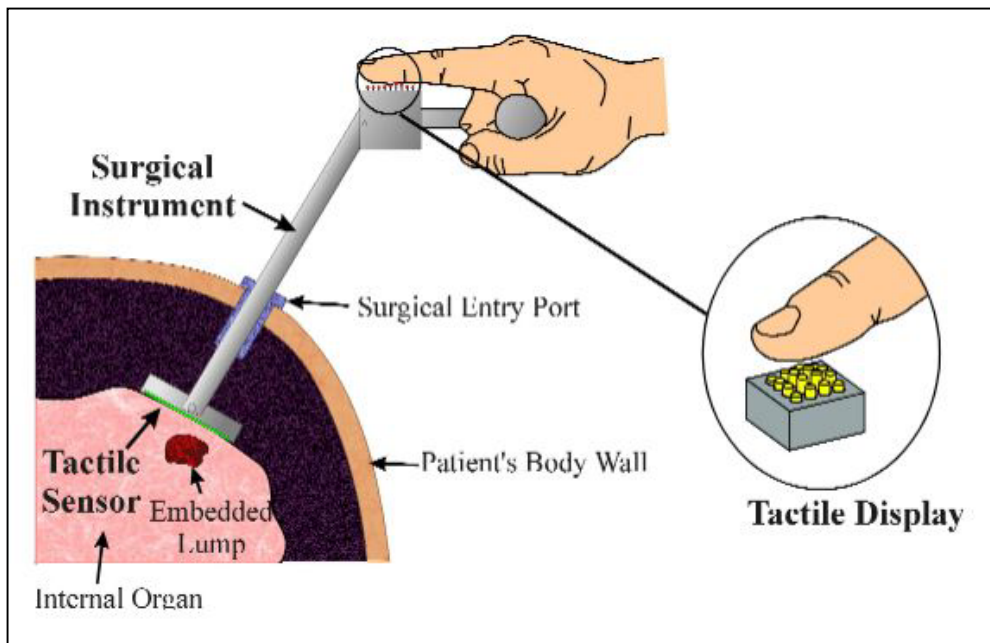
Ένας ακόμα περιορισμός είναι ότι, ο χειρουργός μπορεί με τα σύγχρονα ρομποτικά εργαλεία να φτάσει ιστούς μέσα σε ένα τρισδιάστατο χώρο, όμως δεν μπορεί να ελέγξει πλήρως τον προσανατολισμό τους. Αυτό δεν αποτελεί εμπόδιο σε απλές διαδικασίες όμως κάνει δυσκολεύει εξαιρετικά, πολύπλοκες διαδικασίες όπως ραφή ιστών και δέσιμο κόμπων. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι δυσκολίες τα Πανεπιστήμια αυτά έχουν σχεδιάσει τελικούς επενεργητές με πολλούς βαθμούς ελευθερίας (εικ. 82) και ένα κατάλληλο interface για να κατασκευάσουν λαπαροσκοπικός χειριστές που να έχουν μεγάλο βαθμό κινητικότητας (πιο ευέλικτα) και πιο επιδέξια. Επίσης έχουν σχεδιάσει μια πρωτότυπη σαν γάντι συσκευή (εικ. 83), που αισθάνεται τις θέσεις του καρπού και των δακτύλων του χειρουργού, με αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στο δείκτη και στον καρπό (αισθητήρες ανίχνευσης περιστροφής και κάμψης).



Εικόνα 79. Διάταξη παραγωγής δύναμης του Πανεπιστημίου Berkeley.



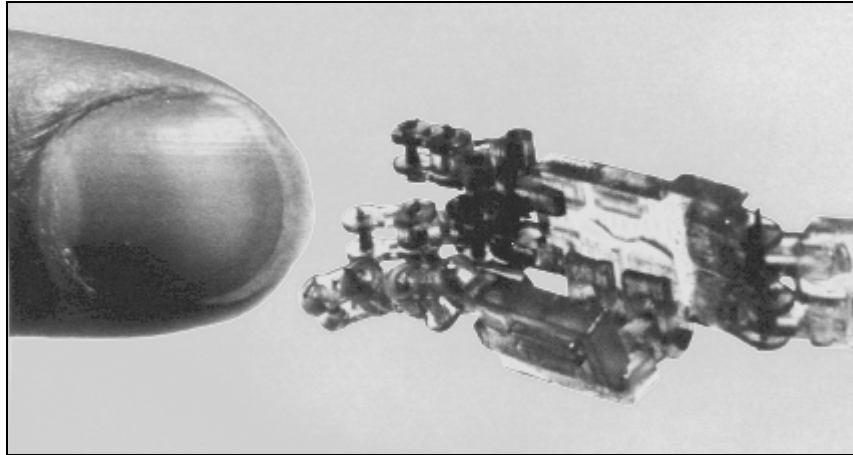
Εικόνα 80. Κατανομή δύναμης στο δάκτυλο του Πανεπιστημίου Harvard.



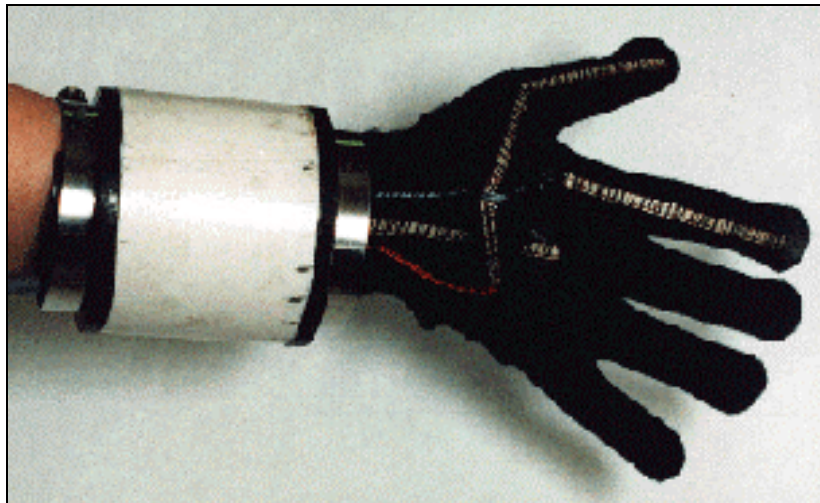
Εικόνα 81. Πρότυπο Σύστημα δημιουργίας αίσθησης αφής του Πανεπιστημίου Harvard.

Το γάντι παρέχει ένα πιο φυσικό τρόπο ελέγχου από τα σύγχρονα ελάχιστα παρεμβατικά εργαλεία. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν master unit για να οδηγείσει

τα μικρά ρομποτικά εργαλεία (slave unit), σε περίπτωση που δεν χρειάζεται ανάδραση δύναμης.



Εικόνα 82. Τελικός επενεργητής με πολλούς βαθμούς ελευθερίας.



Εικόνα 83. Γάντι με αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στο δείκτη και στον καρπό, αισθάνεται τις θέσεις του καρπού και των δακτύλων του χειρουργού.

Μελετώντας τα συστήματα κάποιος θα μπορούσε να ρωτήσει εάν θα ήταν καλή ιδέα να πάμε ένα βήμα πιο πέρα ώστε να συσταθούν αυτόνομα ρομπότ. Υπάρχουν μερικές ενστάσεις για το γιατί τα αυτόνομα ρομπότ δεν είναι ακόμα ευπρόσδεκτα:

- ✦ Θα χρειαστούν κάποιες δεκαετίες ακόμα για να μπορέσουν τα κομπιούτερ να φτάσουν την ανθρώπινη νόηση και διορατικότητα που πρέπει να έχουν για να μπορέσουν να διαχειριστούν το ευαίσθητο ανθρώπινο σώμα.
- ✦ Το περιβάλλον ενός χειρουργείου είναι πολύπλοκο για την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων.
- ✦ Οι χειρουργοί είναι δύσπιστοι και φοβούνται μηχανήματα που αναλαμβάνουν εξολοκλήρου το έργο τους.
- ✦ Επίσης μικρή σημασία έχει δοθεί στην βιβλιογραφία για την αποδοχή της ρομποτική χειρουργικής από για τους ασθενείς.
- ✦ Τα ιατρικά ρομπότ και ειδικά τα αυτόνομα χειρουργικά συστήματα είναι ακόμα σε εμβρυϊκό στάδιο. Υπάρχουν μόνο τρεις ερευνητικές ομάδες που έχουν επινοήσει συγκεκριμένα τροφοδοτούμενα συστήματα με αυτόνομη λειτουργία κοπής (οι ομάδες: ISS – στη χειρουργική επέμβαση ισχίου, EPFL - στη νευροχειρουργική, το κολέγιο Imperial – στην εγχείρηση προστάτη).

Παρόλο που τα χειρουργικά ρομπότ προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με το ανθρώπινο χέρι, είμαστε ακόμα πολύ μακριά από τη μέρα που αυτόνομα ρομπότ θα χειρουργούν χωρίς την ανθρώπινη βοήθεια. Όμως με την πρόοδο των υπολογιστών και της τεχνητής νοημοσύνης, θα μπορούσε σε αυτόν τον αιώνα να σχεδιασθεί ένα ρομπότ που να εντοπίζει δυσμορφίες στο ανθρώπινο σώμα, να τις αναλύει και να επέμβει σωστά σε αυτές, χωρίς καθόλου ανθρώπινη καθοδήγηση.

7.4 Χειρουργική με ρομπότ στην Ελλάδα

Πρώτη φορά στην Ελλάδα λαπαροσκοπική νεφρεκτομή με χειρουργικό ρομπότ εφαρμόστηκε στο Γενικό Νοσοκομείο Χανίων το Φεβρουάριο του 2003. Παρουσιάστηκε στις 28 Μαρτίου του 2003 στο αμφιθέατρο του Νοσοκομείου Χανίων από τους βασικούς συντελεστές και τη διοίκηση του ιδρύματος. Την παρουσίαση έκανε την Τετάρτη 28 Μαρτίου του 2003, ο διευθυντής του Ουρολογικού Τμήματος Πέτρος Χατζηλιάς. Η επέμβαση έγινε, με τη βοήθεια του ρομπότ "Αίσωπος 1000", την τεχνολογία του Τμήματος Ηλεκτρονικών του Πολυτεχνείου Κρήτης και την επιστημονική γνώση των

γιατρών του νοσοκομείου Χανίων. Είναι μια ελπιδοφόρα επέμβαση για όσους έχουν πρόβλημα με τα νεφρά

Όπως τόνισε ο Πέτρος Χατζηλιάς μιλώντας στους δημοσιογράφους, η εγχείρηση έγινε με απόλυτη επιτυχία και χρησιμοποιήθηκε η τεχνική "hand assisted" λαπαροσκοπική νεφρεκτομή.

Η επέμβαση θεωρείται πρωτοποριακή, καθώς σήμερα η τάση παγκοσμίως είναι να γίνονται χειρουργικές επεμβάσεις χωρίς τομές ή τομές μικρής ή ελάχιστης προσπέλασης. Η συγκεκριμένη επέμβαση, η νεφρεκτομή θεωρείται εξαιρετικά δύσκολη επέμβαση σαν λαπαροσκοπική πράξη, γίνεται σε ελάχιστα κέντρα του εξωτερικού και μετά από πολλές προσπάθειες πραγματοποιήθηκε στο νοσοκομείο Χανίων.

Ο διευθυντής της Ουρολογικής Κλινικής του νοσοκομείου εξήγησε την διαδικασία: "Χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο, υποβοηθούμενη με το χέρι λαπαροσκοπική νεφρεκτομή και το ρομπότ "Αίσιωπος 1000". Η τεχνική αυτή βοηθάει σημαντικά τον ασθενή και έχει πολλά πλεονεκτήματα. Ο ασθενής φεύγει σε περίπου τέσσερις ημέρες μετά την εγχείρηση από το νοσοκομείο, ενώ για την κλασική επέμβαση απαιτούνται 9-14 ημέρες.



Η απώλεια αίματος είναι ελάχιστη, περίπου μία φιάλη αίμα, οπότε δεν χρειάζεται μετάγγιση. Δεν χρειάζονται αναλγητικά όπως στις μεγάλες τομές. Ίσως μόνο κάποιο "Ντεπόν". Επίσης ο ασθενής σε 15 ημέρες επανέρχεται στη δουλειά του".

Εικόνα 84. Σύστημα νευροχειρουργικής πλοήγησης Vector vision II.

Αξίζει να επισημανθεί ότι το ρομπότ «Αίσωπος 1.000» βελτιώνεται στα εργαστήρια του Πολυτεχνείου Κρήτης. Μετεξελίσσεται σε «Αίσωπος 2.000» και «Αίσωπος 3.000», ενώ σύντομα αναμένεται να χρησιμοποιηθεί σε πιο πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις.

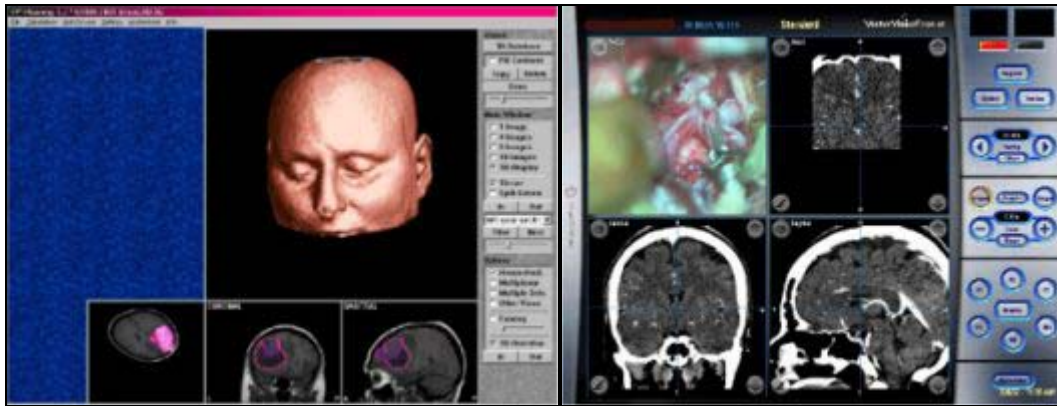
Επίσης στην Ελλάδα σήμερα, χρησιμοποιούνται ρομποτικά συστήματα CAD/ CAM σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Η νευροχειρουργική τα τελευταία χρόνια ενσωματώνει την μεγάλη τεχνολογική πρόοδο των απεικονιστικών μεθόδων (MRI, CT, PET, γ-Knife) και των ηλεκτρονικών υπολογιστών για την αποτελεσματική χειρουργική αντιμετώπιση των παθήσεων του εγκεφάλου, του νωτιαίου μυελού και της σπονδυλικής στήλης.

Το πρώτο σύστημα ρομποτικής πλοήγησης σε χειρουργική επέμβαση που χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα είναι το σύστημα Vector Vision II (εικ. 84) στο Νοσοκομείο «Υγεία.» στην Αθήνα. Το ίδιο σύστημα νευροπλοήγησης, αγοράστηκε από το Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Ηρακλείου, έναντι αξίας 352.164,34 ευρώ και λειτούργησε για πρώτη φορά στις 28 Νοεμβρίου του 2002.

Οι εφαρμογές του καλύπτουν όλο το φάσμα των νευροχειρουργικών επεμβάσεων. Το ρομποτικό σύστημα καθοδήγησης της επέμβασης συμβάλλει:

1. **στον περιορισμό του χειρουργικού τραύματος,**
2. **στην ακριβή εντόπιση των παθήσεων του εγκεφάλου** (όγκου εγκεφάλου, ανευρυσμάτων, αγγειακών δυσπλασιών, όγκων βάσεως κρανίου, αδενωμάτων υποφύσεως), της σπονδυλικής στήλης και του νωτιαίου μυελού,
3. **στην ακριβή οριοθέτηση των όγκων,** στην τρισδιάστατη απεικόνιση των αλλοιώσεων,
4. **στον περιορισμό του χειρουργικού χρόνου,**
5. **στην ελαχιστοποίηση του τραυματισμού των φυσιολογικών ανατομικών δομών και**
6. **στην εκτέλεση στερεοτακτικών επεμβάσεων χωρίς την χρήση της στεφάνης εντοπισμού του στόχου με μεγίστη ακρίβεια μικρότερη του 1 χιλιοστού.**

Το σύστημα πλοήγησης επίσης συνεργάζεται με το ψηφιακό χειρουργικό μικροσκόπιο και μεταφέρει τις πληροφορίες της επέμβασης στο οπτικό πεδίο του χειρουργού (εικ.85, 86), κινεί αυτόματα το μικροσκόπιο και εστιάζει επακριβώς στο σημείο της προκαθορισμένης βλάβης. Συνεργάζεται επίσης με το χειρουργικό ενδοσκόπιο και υποστηρίζει όλες τις νευροχειρουργικές ενδοσκοπικές επεμβάσεις όπως υδροκεφαλία, όγκοι κοιλιών εγκεφάλου, αποστήματα εγκεφάλου, αιματώματα εγκεφάλου κ.λ.π.



Εικόνα 85. Προεγχειρητικός σχεδιασμός. **Εικόνα 86.** Διεγχειρητική εικόνα για την χειρουργική απολίνωση ανευρύσματος εγκεφάλου.

Η συμβολή του συστήματος πλοήγησης σε παθήσεις της σπονδυλικής στήλης είναι ανεκτίμητη. Παθήσεις όπως η σκολίωση, η κήλη μεσοσπονδυλίου δίσκου, η αυχενική σπονδύλωση που απαιτούν επεμβάσεις με σπονδυλοδεσία, ακρίβεια στον εντοπισμό για την αναγνώριση των φυσιολογικών και παθολογικών δομών, πραγματοποιούνται με μεγάλη ευκολία και ασφάλεια για τον ασθενή με την χρήση του συστήματος πλοήγησης (εικ. 87). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι όγκοι του νωτιαίου μυελού και της σπονδυλικής στήλης και οι αγγειακές παθήσεις του νωτιαίου μυελού.



Εικόνα 87. Το σύστημα νευροπλοήγησης εντός του χειρουργείου.

Η τεχνολογική αυτή πρόοδος και οι εφαρμογές της στην νευροχειρουργική τελικό στόχο έχει να βελτιώσει την παροχή των παρεχομένων ιατρικών υπηρεσιών στον ασθενή με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του χειρουργικού τραύματος και τον περιορισμό των επιπλοκών των νοσημάτων.

7.5 Συμπεράσματα

Η ρομποτική τεχνολογία μπορεί να επηρεάσει το μέλλον των χειρουργικών επεμβάσεων με τρεις τρόπους:

1. Διευκολύνοντας τις ήδη υπάρχουσες επεμβάσεις MIS: Οι συνηθισμένες χειρουργικές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται σήμερα και χρησιμοποιούν τις τεχνικές της MIS θα μπορούν να πραγματοποιούνται γρηγορότερα και πιο εύκολα λόγω της μεγάλης επιδεξιότητας και του καλύτερου ελέγχου που παρέχεται με τη βοήθεια των ρομπότ.
2. Μετατρέποντας τις δύσκολες χειρουργικές επεμβάσεις MIS σε ρουτίνα: Χειρουργικές επεμβάσεις που σήμερα πραγματοποιούνται σπάνια με τεχνικές MIS (π.χ. επεμβάσεις καρδιάς), μπορεί κάποια μέρα να πραγματοποιούνται

καθημερινά με τη βοήθεια των ρομπότ. Κάποιες επεμβάσεις που είναι εξαιρετικά δύσκολες και σήμερα πραγματοποιούνται από άκρως εξειδικευμένους χειρουργούς με την διαθεσιμότητα των ρομποτικών συστημάτων, όλο και περισσότεροι χειρουργοί θα μπορούν να τις πραγματοποιήσουν.

3. Πραγματοποιώντας νέες χειρουργικές διαδικασίες: Ένας αριθμός από επεμβάσεις που δεν είναι σήμερα εφικτές με την τεχνική της MIS, θα μπορέσουν στο μέλλον να πραγματοποιηθούν με τη βοήθεια της ρομποτικής τεχνολογίας.

Για να συμβούν όμως τα παραπάνω θα πρέπει τα νέα συστήματα να αναπτυχθούν περαιτέρω βελτιώνοντας το σύστημα οδήγησης απεικόνισης του χειρουργικού πεδίου, επεμβαίνοντας με μικρότερα χειρουργικά εργαλεία, κατασκευάζοντας εξυπνότερα ρομποτικά σύστημα ή βελτιώνοντας τα ήδη υπάρχοντα κ.α. Όσο αφορά δε την εκπαίδευση και μόρφωση να δημιουργηθούν κέντρα εκπαίδευσης ρομποτικής χειρουργικής ανά το κόσμο, όπως το ινστιτούτο CAMIT (Center for Integration of Advanced Medicine, Life Science and Innovative Technology). Η ρομποτική χειρουργική προσφέρει μερικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την MIS και την ανοικτή χειρουργική, παρόλα αυτά είναι σημαντικό το κόστος, της αρχικής αγοράς των συστημάτων, καθώς και το κόστος επισκευής και συντήρησης τους ενώ αναμένονται συχνές αναβαθμίσεις του υλικού και του λογισμικού τους, όπως συμβαίνει σε κάθε εξοπλισμό που βασίζεται σε υπολογιστή, ανεβάζοντας το κόστος τους. Τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα προς το παρόν είναι ανεπαρκή να επιτρέψουν οποιαδήποτε χρήσιμη σύγκριση της ρομποτικής χειρουργικής με την ανοικτή ή την λαπαροσκοπική χειρουργική, όσον αφορά την ασφάλεια ή την αποτελεσματικότητα της δεδομένου ότι υπάρχουν λιγιστές πληροφορίες για την μακροπρόθεσμη (ή ακόμα και για τη μεσοπρόθεσμη) αποτελεσματικότητα της χειρουργικής υποβοηθούμενης με ρομπότ. Για να γίνει αυτό απαιτούνται υψηλής ποιότητας δοκιμές με τυχαία δείγματα και σχολαστικές οικονομικές αναλύσεις.

Εάν ληφθούν υπόψη τα προηγούμενα, τότε η ρομποτική χειρουργική μπορεί να εφαρμοσθεί πλήρως στον ιατρικό τομέα (όπως έχει ήδη συμβεί στις βιομηχανικές εφαρμογές), βελτιώνοντας τις ικανότητες του χειρουργού, τα αποτελέσματα των επεμβάσεων και μειώνοντας το κόστος περίθαλψης. Ενώ κάνοντας ένα βήμα παραπέρα η τηλεχειρουργική, (η χρήση των χειρουργικών ρομπότ σε συνδυασμό με τον

τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό) θα αντικαταστήσει την ανάγκη να βρίσκεται ο γιατρός δίπλα στον ασθενή.

ΠΗΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

A. Διευθύνσεις ιστοσελίδων.

1. http://www.hri.org/cgi-bin/brief?/news/greek/eragr/2003/03-05-28_2.eragr.html#14
2. http://www.laparoscopyhospital.com/history_of_laparoscopy.htm
3. www.lapsurgery.gr/html/ti_einai.html
4. <http://www.uihealthcare.com/depts/med/surgery/davinci/overview.html>
5. <http://prime.jsc.nasa.gov/ROV/history.html>
6. http://trueforce.com/Articles/Robot_History.htm
7. <http://www.techmed.teiher.gr/cd%20PSE/κεφ1%20ΤΗΛΕΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ.htm>
8. <http://www.howstuffworks.com/robotic-surgery.htm/printable>
9. http://www.storming-robots.com/content/famous_robots.html
10. http://www.neuroiasis.com/gr/robot_surg.htm
11. <http://www.cretetv.gr/news/print.php?ArtID=549>
12. <http://www.biomed.brown.edu.htm>
13. <http://www.bccresearch.com/biotech/B182.html>
14. <http://www.computermotion.wwwa.com>
15. http://ed.tsud.edu/tcubed/cool_tech/robotic_surgery.htm
16. http://www.nyp.org/masc/newsletter_spring_02.htm
17. <http://www.intusurg.com>
18. <http://www.diagnosisheart.com/robot.php>
19. http://www.incardiology.gr/pathiseis/ptca_cabg_cabg1.htm
20. http://www.intuitivesurgical.com/news_room/press_releases/pr_030703.html
21. http://www.intuitivesurgical.com/products/da_vinci.html
22. http://www.steris.xom/explore/view_product_page.cfm?productid=33
23. <http://www.techmed.teiher.gr/cd%20PSE/κεφ1%20ΤΗΛΕΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ.HTM>
24. http://www.techmed.teiher.gr/cd%20PSE/κεφάλαιο_4%20ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ&ΕΞΟΜΟΙΩΤΕΣ.HTM
25. http://www.techmed.teiher.gr/cd%20PSE/κεφ6_ρομποτικοι_βραχιωνες_και_χ.htm
26. <http://www.panasonic.com/business/visionsystems/story3.asp>
27. <http://www.theage.com.au>

28. http://www.enquirer.com/editions/2003/03/07Ioc_robot07testdrive.html
29. http://www.thetech.org/exhibits_events/online/robots/basics/
30. <http://www.olympus.co.jp/en/news/2001b/nr011005ussye.cfm?chm=2>
31. <http://www.infohq.com/Computer/computer-news-Sep01-17-29.htm>
32. http://trueforce.com/Haptics%20&%20Force%20Feedback/haptics_and_force_feedback.htm
33. <http://www.cts.usc.edu/rsi-davincisystem.html>
34. <http://www.cmis.ohio-state.edu/procedures/robotic.htm>
35. http://www.thequeen.org/web/robotic_info.html
36. <http://www.mos.org/cst/article/1623/>
37. http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/cbp/article2.html
38. http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/ao2/report.html
39. <http://www.trinitymotherfrances.net/davinci.php>
40. http://www.iowaclinic.com/robotic_surgery.html
41. <http://www.mrcas.ri.cmu.edu/projects/hipnav/paper.html>
42. <http://jjco.oupjournals.org/gi/content/full/34/5/227>
43. <http://www.upmc.edu/minisurg.com>
44. http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/cbp/article2.html
45. <http://www.lapsurgery.com/robotics.htm>
46. http://www.trueforce.com/Medical_Robotics_Companies/Zeus.htm
47. http://www.rd.francetelecom.com/en/medias/prof_jour_press_lindbergh.htm
48. <http://www.devicelink.com/mx/archive/01/03/0103mx024.html>
49. <http://www.biorobotics.harvard.edu/research1.html>
50. <http://www.biorobotics.harvard.edu/research/thomas.html>
51. http://www.biorobotics.harvard.edu/research/ff_surgery.html
52. <http://www.iatrikh.gr/world.news/1999-01.htm>
53. <http://health.in.gr/news/article.asp?IngArticleID=33826>
54. http://www.drgeiss.com/t_hermes.html
55. <http://www.carilion.com/cardiac/html/robotics-photos.html>
56. http://www.fda.gov/fdac/2002/302_bots.html

B. Μελέτες – Εργασίες σε μορφή PDF.

1. “Robotic Applications in Cardiac Surgery” του Alan P. Kypson & Randolph Chitwood Jr.
2. “Robotic Surgery: A New Role for Machines in Medicine” του Paul Bushnell.
3. “Haptic Feedback” του A.F. Rovers. (Σεπτέμβριος 2002).
4. “A Path Following Control of the Zeus Robot Arm” του James Riehl.
5. “Evaluating Control Modes for Constrained Robotic Surgery” των Fuji Lai & Robert D. Howe.
6. “Telesurgery: The Medical Wave of the Future” της Melina McDaris-Dass.
7. “State of the Art of Robotics in General Surgery” των Drs Achille L. Gaspari & Nicola Di Lorenzo.
8. “Παρόν και μέλλον στη Γενική Χειρουργική” του Γρ.Κουράκλη.
9. “Minimally Invasive and Robotic Surgery” του Michael J. Mack.
10. “A New Robot Minimally Invasive Surgery” των Tobias Ortmaier, Holger Weib & Gerd Hirzinger.
11. “ Technological Development of Robotic Surgery” του Jon C. Bowersox.
12. “Technology Overview: da Vinci Surgical Robotic System July 2004” των Rebecca Tooher & Clara Pham.
13. “Medical Robots in Computer-Integrated Surgery” των Russell H. Taylor & Dan Stoianovici.