

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών
Υπολογιστών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Εφαρμογή του ρομποτικού βραχίονα *AESOP 1000TS* σε
λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές

Επιβλέπων καθηγητής: Χριστοδούλου Εμμανουήλ



ZACHARIAS KAMARIANAKHIS

Χανιά, Σεπτέμβριος 2003

*Στους Γιώργο, Ελένη και Κατερίνα
για την αμέριστη συμπαράσταση τους
και σε όλους τους φίλους μου.*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα κατ' αρχήν να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα αυτής της εργασίας, Μανόλη Χριστοδούλου για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και το ενδιαφέρον που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον γιατρό και Διευθυντή της Ουρολογικής Κλινικής του Νοσοκομείου Χανίων, Πέτρο Χατζηλία ο οποίος εκτός από την επιτυχή έκβαση των λαπαροσκοπικών διαδικασιών που περιγράφονται στο 4^ο κεφάλαιο, στερήθηκε πολλές φορές τον πολύτιμο χρόνο του για να με βοηθήσει στη συγγραφή και στην επεξήγηση των ιατρικών διαδικασιών που περιγράφονται σε αυτή την εργασία.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	6
----------------	---

Κεφάλαιο 1^ο

Λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές	7
----------------------------------	---

1.1 Λαπαροσκοπικές διαδικασίες	7
1.1.1 Τοποθέτηση εργαλείων και προσωπικού στο χειρουργείο κατά τη διάρκεια της εγχείρησης.	9
1.2 Προβλήματα στην λαπαροσκοπική χειρουργική και κάποιες προτάσεις για την αντιμετώπισή τους.	11
1.2.1 Προβλήματα που αφορούν το οπτικό πεδίο	11
1.2.2 Προβλήματα κίνησης των χεριών /εργαλείων	14
1.2.3 Προβλήματα στη δύναμη /αίσθηση στις επαφές	16
1.3 Κίνητρα για περαιτέρω μελέτη των λαπαροσκοπικών διαδικασιών-Στόχος της εργασίας	17
1.4 Περιγραφή της διαδικασίας της λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής	18
1.4.1 Μέθοδοι λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής: Διαπεριτοναϊκή, Οπισθοπεριτοναϊκή, υποβοηθούμενη από το χέρι.	18
1.4.2 Τομή για την εισαγωγή του χεριού και τοποθέτηση των πυλών εισόδου(trocars)	21

Κεφάλαιο 2^ο

Εφαρμογές ρομποτικής στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική και σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις	23
--	----

2.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί- γενικές εφαρμογές ρομποτικής	23
2.1.1 Η εμφάνιση των ρομπότ	23
2.1.2 Ρομποτική ορολογία	25
2.1.3 Εφαρμογές της ρομποτικής.....	27
2.2 Εφαρμογές της Ρομποτικής στην ιατρική.....	29
2.2.1 Ρομποτική στην ορθοπεδική χειρουργική.....	29
2.2.2 Ρομποτική στην Νευροχειρουργική.....	30
2.2.3 Ρομποτική στην γενική χειρουργική.....	32
2.2.4 Ρομποτικοί βραχίονες στην λαπαροενδοσκοπική χειρουργική	34
2.2.5 Ολοκληρωμένα συστήματα στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική	38
2.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στην Τηλεχειρουργική	42
2.4 Εκπαίδευση και προσομοίωση των λαπαροσκοπικών διαδικασιών	44

Κεφάλαιο 3^ο

Ο ρομποτικός βραχίονας AESOP	46
------------------------------------	----

3.1 Παθητικοί-ενεργοί τοποθετητές εργαλείων–Λαπαροσκοπική θέση-Ρομποτικός βραχίονας AESOP	46
3.2 Λειτουργική περιγραφή του συστήματος	63
3.3 Ασφάλεια του συστήματος	69

Κεφάλαιο 4^ο

Λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές υποβοηθούμενες από ρομποτικό βραχίονα..... 71

4.1 Από τη διάγνωση στη εφαρμογή και τη θεραπεία.....71

4.1.1 Μια σύντομη εισαγωγή για την βιοϊατρική τεχνολογία 71

4.2 Πραγματοποίηση Λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής με τη μέθοδο Hand-Assisted, υποβοηθούμενη από το ρομποτικό βραχίονα AESOP 1000TS. 74

4.2.1 Αναλυτική περιγραφή των σταδίων της χειρουργικής διαδικασίας 76

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα.....86

Βιβλιογραφία88

Εισαγωγή

Στην συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία μελετάμε την εφαρμογή του ρομποτικού βραχίονα AESOP σε λαπαροσκοπικές hand-assisted νεφρεκτομές. Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται με την εισαγωγή μικρών τομών στο σώμα του ασθενή από όπου εισάγονται τα λαπαροσκοπικά εργαλεία. Απαραίτητη προϋπόθεση για την έκβαση τέτοιων διαδικασιών αποτελεί η εικόνα του εσωτερικού του ασθενή που εξάγεται με ένα από τα αυτά τα εργαλεία, το λαπαροσκόπιο. Το χειρισμό αυτού του εργαλείου αναλαμβάνει ο ρομποτικός βραχίονας AESOP ο οποίος είναι σχεδιασμένος ακριβώς για αυτή τη δουλειά. Χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο βραχίονα πραγματοποιήθηκαν στο Νοσοκομείο Χανίων (κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της Διπλωματικής εργασίας) τρεις τέτοιου τύπου διαδικασίες οι οποίες στέφθηκαν με απόλυτη επιτυχία. Σημαντικό ρόλο σε αυτές τις διαδικασίες αποτέλεσε το παραπάνω ρομποτικό σύστημα το οποίο και μελετάται σε αυτή την εργασία.

Αναλυτικότερα:

Στο 1^ο κεφάλαιο κάνουμε μια εισαγωγή στις λαπαροσκοπικές διαδικασίες και στα προβλήματα που τις διέπουν και συνεχίζουμε με μια σύντομη παρουσίαση των διαδικασιών προσέγγισης της νεφρεκτομής.

Στο 2^ο κεφάλαιο, έπειτα από κάποιες βασικές έννοιες της ρομποτικής ορολογίας παρουσιάζουμε τις εφαρμογές της τελευταίας στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική και τις λαπαροσκοπικές διαδικασίες.

Ακολουθεί στο 3^ο κεφάλαιο η ευθύς κινηματική ανάλυση και η λειτουργική περιγραφή του ρομποτικού βραχίονα AESOP.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφουμε αναλυτικά τη διαδικασία μιας λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής υποβοηθούμενης από το συγκεκριμένο βραχίονα και όπως πραγματοποιήθηκε στο Νοσοκομείο Χανίων.

Τέλος στο 5^ο κεφάλαιο αναφέρουμε συνοπτικά τα συμπεράσματα από τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος.

Κεφάλαιο 1^ο

Λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές

1.1 Λαπαροσκοπικές διαδικασίες

Το πεδίο της λαπαροσκόπησης σχετίζεται κυρίως με εγχειρήσεις που έχουν να κάνουν με επεμβάσεις στη γαστρική περιοχή του ανθρωπίνου σώματος, η οποία προσφέρεται για πλήθος ιατρικών διαδικασιών από το σύνολο των χειρουργών. Η λαπαροσκόπηση έχει τη βάση της στις αρχές του 20^{ου} αιώνα όπου για αρκετές δεκαετίες παρέμεινε με ελάχιστους υποστηρικτές λόγω της χρήσης του προσοφθάλμιου φακού. Η δυνατότητα χειρουργικών χειρισμών ήταν ελάχιστη καθώς ο χειρουργός βρισκόταν σε μη λειτουργική θέση(εστιάζοντας μέσα από το φακό) και έχοντας το ένα του χέρι μόνο ελεύθερο(καθώς το άλλο κρατούσε το ενδοσκόπιο) για να εξετάσει τα εσωτερικά όργανα του ασθενή.

Η χρήση όμως της λαπαροσκοπικής κάμερας ήρθε να επιλύσει αυτό το πρόβλημα απελευθερώνοντας τα χέρια του χειρουργού. Το χειρισμό του λαπαροσκοπίου αναλαμβάνει τώρα ένα άλλο άτομο το οποίο κατευθύνει το λαπαροσκόπιο άρα οδηγεί και το οπτικό πεδίο σύμφωνα με τις εντολές του χειρουργού.

Από το 1990 και μετά το πεδίο της λαπαροσκοπικής ή αλλιώς μικροεπεμβατικής χειρουργικής(minimal invasive surgery) αναπτύσσεται ραγδαία ως μια εναλλακτική μορφή επεμβάσεων στο ανθρώπινο σώμα ,έναντι της ανοικτής χειρουργικής(open surgery).Οι μεγάλες τομές που πρωτύτερα απαιτούνταν για την είσοδο των εργαλείων έχουν τώρα αντικατασταθεί με πολύ μικρές τομές στο ανθρώπινο σώμα της τάξεως του 1 cm. Με αυτή τη μέθοδο ενδοσκόπιο(λαπαροσκόπιο) και χειρουργικά εργαλεία εισέρχονται στο σώμα του ασθενή μέσω μικρών τομών ,που κυμαίνονται από 2 ως 5 ανάλογα με το είδος της επέμβασης. Έτσι η μικροεπεμβατική χειρουργική είναι μια εξέλιξη της ενδοσκόπησης σε συνδυασμό με άλλα χειρουργικά εργαλεία για την πραγματοποίηση εγχειρήσεων. Αυτός ο συνδυασμός έχει καταλήξει στην ανάπτυξη πολλών πεδίων της ενδοσκοπικής χειρουργικής όπως είναι η αρθροσκόπηση, η κολονοσκόπηση, η αγγειοσκόπηση και η λαπαροσκόπηση (πίνακας1.1).

Για παράδειγμα η λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή είναι η θεραπεία που εφαρμόζεται σε ασθενείς που πάσχουν από πέτρα στη χολή, μια αρρώστια που μέχρι τώρα αντιμετωπιζόταν από την ανοικτή χειρουργική. (Η πρώτη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή έγινε στη Λυών της Γαλλίας από τον Mouret το 1987).

Ένα άλλο είδος λαπαροσκοπικής διαδικασίας είναι η λαπαροσκοπική νεφρεκτομή κατά την οποία αφαιρείται μέρος ή ολόκληρο το νεφρό του ασθενή.

Η λαπαροσκοπική μέθοδος διαφέρει από αυτή της ανοικτής χειρουργικής για τους εξής λόγους:

- Έχει μικρότερο χρόνο ανάρρωσης
- Μικρότερη πιθανότητα μόλυνσης του ασθενή
- Λιγότερο πόνο και τραύματα για τον ασθενή, μικρότερη απώλεια αίματος.
- Μικρότερη παραμονή στο νοσοκομείο άρα και λιγότερα έξοδα για τον ασθενή.

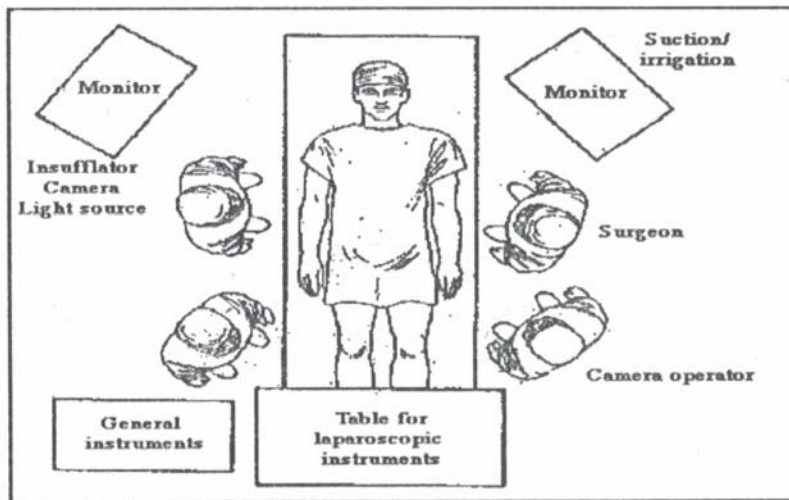
Επίσης από στατιστικά στοιχεία φαίνεται ότι οι δύο διαδικασίες έχουν ποσοστό θνησιμότητας αρκετά χαμηλό που κυμαίνεται στο 4-5% για την ανοικτή χειρουργική και 0.1% για την λαπαροσκοπική επέμβαση.

Πεδία	Διαδικασία	Περιγραφή
Κολονοσκόπηση		Εξέταση για αναγνώριση όγκου στο παχύ έντερο
Αρθροσκόπηση		Εξέταση και αποκατάσταση βλαβών στο σκελετό
Αγγειοσκόπηση		Εξέταση και αποκατάσταση θρομβούμενων αγγείων
Λαπαροσκόπηση	Χολοκυστεκτομή Εγχείρηση κοίλης Εκτομή σκωληκοειδούς απόφυσης Κολεκτομή Νεφρεκτομή	Ενδοσκοπική χειρουργική σε όργανα της κοιλιάς Αφαίρεση της χολής Αποκατάσταση της κοίλης Αφαίρεση της σκωληκοειδούς απόφυσης Αφαίρεση μέρους η ολόκληρου του παχύ εντέρου(κόλον) Αφαίρεση του νεφρού

Πίνακας 1.1: Κάποια από τα πεδία της ενδοσκοπικής χειρουργικής και των λαπαροσκοπικών διαδικασιών

1.1.1 Τοποθέτηση εργαλείων και προσωπικού στο χειρουργείο κατά τη διάρκεια της εγχείρισης.

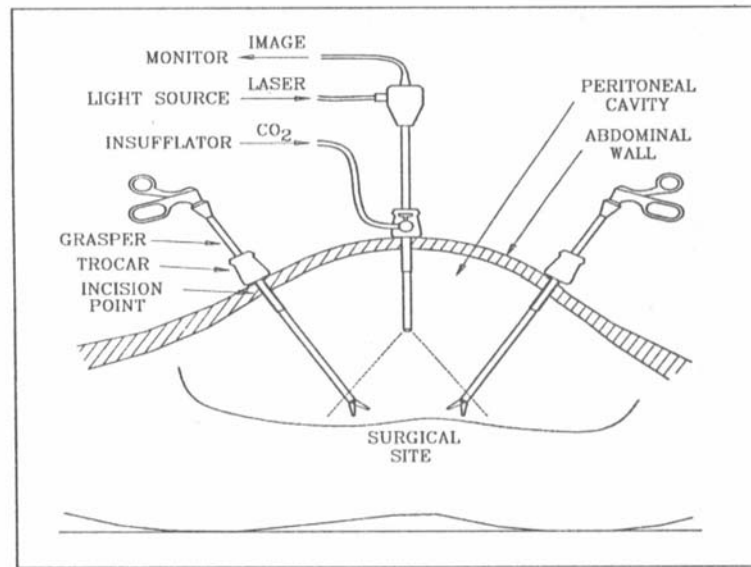
Υπάρχουν πολλοί τρόποι διευθέτησης του προσωπικού κατά τη διάρκεια μιας λαπαροσκοπικής εγχείρισης. Παρόλα αυτά μια τυπική τοποθέτηση είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 1.1 και μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές χειρουργικές διαδικασίες. Ο χειρουργός στέκεται από τη μεριά του ασθενή, ενώ αυτός που κρατάει την κάμερα στη δεξιά πλευρά του. Ένας βοηθός καθώς και μια νοσοκόμα στέκονται στην απέναντι πλευρά. Συνήθως τοποθετούνται ένα με δύο μόνιτορ σε ειδικά πλαίσια στήριξης στο ύψος των ματιών, ώστε όλοι να έχουν μια καθαρή εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Η παροχή του λευκού φωτός για την κάμερα, το κεντρικό χειριστήριο της κάμερας, ο φυσητήρας CO₂ καθώς και τα συστήματα αναρρόφησης τοποθετούνται στα κατώτερα επίπεδα του πλαισίου στήριξης ώστε να μην εμποδίζεται η εικόνα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.



Σχήμα 1.1: Τοποθέτηση στο χειρουργείο (External set-up).

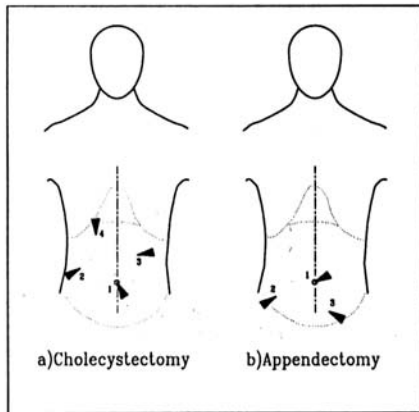
Η παραπάνω τοποθέτηση έχει προφανώς άμεση σχέση με τη τοποθέτηση των χειρουργικών εργαλείων και της κάμερας πάνω στο σώμα του ασθενή. Η τοποθέτηση αυτή φαίνεται στο σχήμα 1.2. Εκτός της μίας μικρής τομής που απαιτείται για το λαπαροσκόπιο, χρειάζονται δύο ή περισσότερες τομές στη κοιλιά για τα άλλα εργαλεία όπως για την ειδική αρπάγη(συλληπτική λαβίδα), το χειρουργικό ψαλίδι, τη συσκευή για τα ράμματα. Οι παραπάνω τομές στη κοιλιά πρέπει να είναι αεροστεγείς κλεισμένες όπως τονίστηκε προηγούμενα και γύρω από τα εργαλεία. Θα πρέπει να

επιτυγχάνεται η μικρότερη τριβή. Προκειμένου να επιτευχθεί, αυτό στην είσοδο της κάθε τομής τοποθετείται ένα ειδικό ιατρικό εργαλείο(trocar).CO₂ εμφυσάτε σε ασφαλή πίεση μέσω αυτού του εργαλείου ώστε να μπορεί αργότερα με την είσοδο του λαπαροσκοπίου να δημιουργηθεί ένα καλό οπτικό πεδίο. Η πίεση τότε στο εσωτερικό του ασθενή είναι περίπου 14mmHg. Για την παροχή φωτός το λαπαροσκόπιο είναι συνδεδεμένο με καλώδιο οπτικής ίνας με την πηγή τροφοδοσίας λευκού φωτός. Η κάμερα τέλος που είναι συνδεδεμένη στο λαπαροσκόπιο μεταφέρει την εικόνα του εσωτερικού του ασθενή στο μόνιτορ.

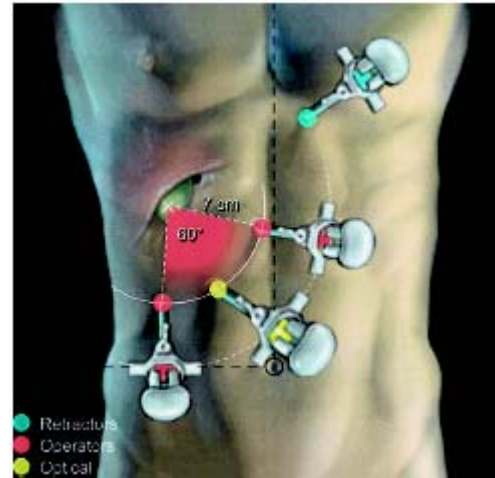


Σχήμα 1.2: Τοποθέτηση του λαπαροσκοπίου και των εργαλείων στο σώμα του ασθενή.

Η επιλογή των σημείων που θα γίνουν οι τομές που αναφέρθηκαν προωύτερα εξαρτάται από την περίπτωση της εγχείρισης. Για παράδειγμα στη χολοκυστεκτομή και στην εκτομή της σκωληκοειδούς απόφυσης οι τομές που απαιτούνται φαίνονται στο εικόνα 1.1(το σημείο 1 είναι για το λαπαροσκόπιο και τα 2,3 και 4 για τα υπόλοιπα χειρουργικά εργαλεία). Στην εικόνα 1.2 παρατηρούμε την τοποθέτηση των trocar για την περίπτωση μιας λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής. Πάντως σε κάθε περίπτωση η γωνία μεταξύ του λαπαροσκοπίου και των άλλων εργαλείων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις 45° ,διαφορετικά θα υπάρχει αισθητή μείωση στους χειρισμούς του χειρουργού λόγω της έλλειψης συντονισμού ματιών και χεριού. Για αυτόν ακριβώς το λόγο τα δύο εργαλεία σε σχέση με το λαπαροσκόπιο θα πρέπει να ορίζουν ένα τρίγωνο όμοιο με το φυσικό τρίγωνο που ορίζει η διεύθυνση των χεριών του γιατρού με τα μάτια του.



Εικόνα 1.1. Τοποθέτηση των trocars για την πραγματοποίηση λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής.



Εικόνα 1.2. Τοποθέτηση των trocars για την πραγματοποίηση λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής.

1.2 Προβλήματα στην λαπαροσκοπική χειρουργική και κάποιες προτάσεις για την αντιμετώπισή τους.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες προβλημάτων στην λαπαροσκοπική χειρουργική.

α) προβλήματα που αφορούν το οπτικό πεδίο

β) προβλήματα σχετικά με τις κινήσεις χεριών /εργαλείων και

γ) προβλήματα που αφορούν στη δύναμη /αίσθηση στις επαφές κατά την εγχείριση.

Παρακάτω αναλύουμε τα προβλήματα αυτά ένα –ένα ξεχωριστά.

1.2.1 Προβλήματα που αφορούν το οπτικό πεδίο

Τα λαπαροσκόπια γενικά χρησιμοποιούν τηλεοπτικά συστήματα όπου η πληροφορία της εικόνας συλλέγεται μέσω ενός σωλήνα (διαμέτρου περίπου 10mm και μήκους 300mm). Υπάρχουν δύο ειδών κάμερες, που είναι προσαρμοσμένες στα λαπαροσκόπια, οι κεντρικές (proximal) και απομακρυσμένες (remote). Στον πρώτο τύπο το CCD array της πληροφορίας συλλέγεται στην άκρη του σωλήνα και το σήμα μεταδίδεται μέσω του λαπαροσκοπίου, ενώ στο δεύτερο τύπο η δισδιάστατη εικόνα

μεταδίδεται μέσω οπτικής ίνας στην άλλη άκρη του λαπαροσκοπίου όπου είναι εγκατεστημένη η CCD κάμερα. Και οι δύο παραπάνω τύποι παρέχουν ένα καθαρό οπτικό πεδίο των 60°. Εκτός από τα προβλήματα σύλληψης του οπτικού αντικειμένου υπάρχουν ακόμη μερικά :

♦**Έλλειψη στερεοσκοπικής εικόνας:** Στη περίπτωση συστημάτων δισδιάστατης(2D) απεικόνισης ,ακόμα και για απλές διαδικασίες τοποθέτησης με ενδοσκοπικά εργαλεία, χρειάζεται ο διπλάσιος χρόνος για την ολοκλήρωση της εφαρμογής, χειρουργώντας με το ένα μάτι(όπως γινόταν παλαιότερα με το ενδοσκόπιο) από ότι με τα δύο. Με τη χρήση του λαπαροσκοπίου ο χρόνος αυτός είναι ακόμα μεγαλύτερος. Αυτό είναι λογικό γιατί ο χειρουργός δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το χειρουργικό πεδίο, αλλά μέσα από την εικόνα που προσφέρει το λαπαροσκόπιο.

♦**Περιορισμένο οπτικό πεδίο:** Λόγω του περιορισμένου μεγέθους του μόνιτορ ,καθώς και του περιορισμένου πεδίου που λαμβάνει το λαπαροσκόπιο, η εικόνα δεν έχει το φυσικό πεδίο των 150° που τις παρέχουν τα ανθρώπινα μάτια. Έτσι δεν υπάρχει ένα φυσικό πεδίο, όπου ο γιατρός θα μπορεί να διεκπεραιώσει εγχειρίσεις με ευκολία(όπως υπάρχει στην ανοικτή χειρουργική).

♦**Περιορισμένη ανάλυση:** Σαν αλλαγή θα μπορούσαμε να αυξήσουμε την ανάλυση της εικόνας ,μειώνοντας το πεδίο λήψης του λαπαροσκοπίου. Σε αυτή όμως την περίπτωση η τελική ανάλυση της εικόνας εξαρτάται από την ανάλυση του μόνιτορ η οποία είναι πολύ μικρότερη ακόμα και από την ανάλυση των ματιών από απόσταση.

♦**Περιορισμένο κοντράστ και πιστότητα χρωμάτων**

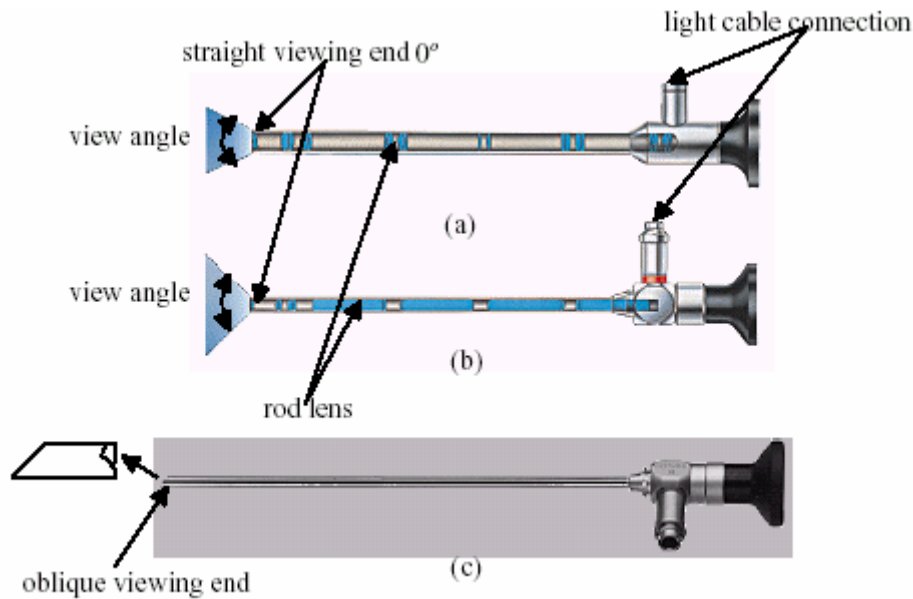
Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει κάποιες αναβαθμίσεις σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν τρισδιάστατη απεικόνιση σε ενδοσκοπικές εγχειρίσεις. Τρισδιάστατα στερεοσκοπικά ενδοσκόπια είναι διαθέσιμα στην αγορά, από πολλούς διαφορετικούς κατασκευαστές. Τα συστήματα αυτά έχουν βελτιώσει αρκετά την αίσθηση του βάθους η οποία δίνει μια καλή άποψη για το αντικείμενο, βελτιώνοντας ταυτόχρονα και την ποιότητα της εικόνας άρα και την απόδοση. Παρόλα αυτά όμως, αυτού του είδους η όραση απαιτεί από τον χειρουργό να φοράει ειδικά τρισδιάστατα γυαλιά τα οποία να μην τον βολεύουν και να λειτουργούν για αυτόν σαν ένα επιπρόσθετο “βάρος” την ώρα της εγχείρισης.

Από την άλλη πλευρά όμως , μπορεί να γίνουν κάποιες πρακτικές θεωρήσεις οι οποίες αν ληφθούν σοβαρά υπόψη θα βελτιώσουν αισθητά την απόδοση της εικόνας του χειρουργικού πεδίου. Μερικές από αυτές είναι:

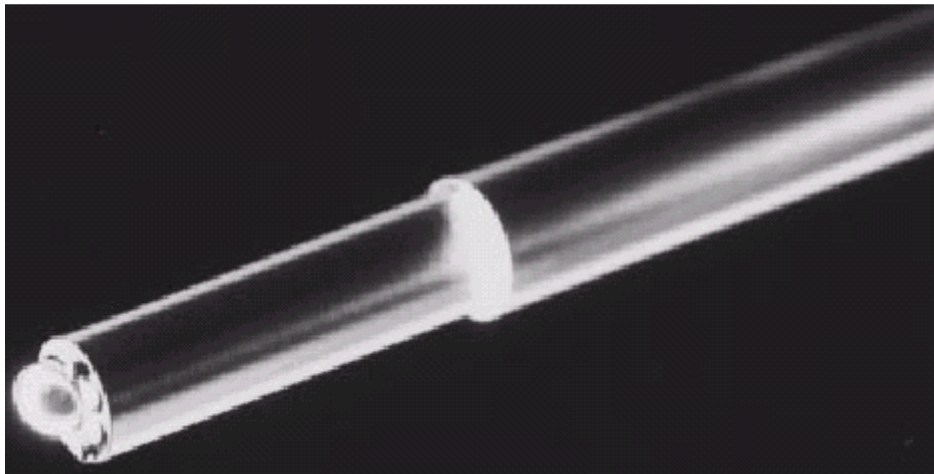
α)Η θέση του μόνιτορ:Η απόσταση του χειρουργού από μόνιτορ μπορεί να κανονιστεί έτσι ώστε η οπτική γωνία στο μόνιτορ να είναι παρόμοια με το γωνιακό οπτικό πεδίο του λαπαροσκοπίου.

β)Θέση και προσανατολισμός του λαπαροσκοπίου:Είναι σημαντική η ρύθμιση της αξονικής θέσης του λαπαροσκοπίου ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ανάλυση/μεγέθυνση τη εικόνας. Από την άλλη πλευρά είναι ακόμα πιο σημαντικό η σωστή επιλογή των περιοχών που θα γίνουν οι τομές για το λαπαροσκόπιο ,ώστε να παραχθεί μια φυσική οπτική γωνία του χειρουργικού πεδίου και των εργαλείων. Επίσης για να υπάρχει μια σωστή εικόνα στο μόνιτορ, θα πρέπει να μπορεί το λαπαροσκόπιο να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, ώστε να εξάγεται στο μόνιτορ ο σωστός προσανατολισμός της εικόνας του χειρουργικού πεδίου και να μην φαίνεται η εικόνα ανάποδη ή πλάγια.

γ)κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του λαπαροσκοπίου:Από στατιστικές μελέτες(βιβλιογραφία) έχει παρατηρηθεί ότι είναι πολύ σημαντική η επιλογή του σωστού λαπαροσκοπίου για την κάθε χειρουργική πράξη. Έχει επίσης τονιστεί ότι αφιερώνεται πολύς χρόνος των χειρουργικών διαδικασιών στο καθάρισμα του φακού του λαπαροσκοπίου. Για την πρώτη περίπτωση απλά αναφέρεται ότι οι χειρουργοί θα πρέπει να επιλέγουν λαπαροσκόπιο ορισμένης κλίσης(ανάλογα με τη διαδικασία) π.χ. 0° ή 45° .Κάποια τέτοια είδη λαπαροσκοπίων φαίνονται στην εικόνα 1.3.Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιλογής λαπαροσκοπίου το οποίο παρέχει ειδικό-ενσωματωμένο σύστημα καθαρισμού των φακών. Αυτό θα οδηγήσει στη δραστική μείωση του χρόνου της επέμβασης, αφού το λαπαροσκόπιο δεν θα πρέπει να αφαιρείται συνεχώς για καθαρισμό των φακών. Ένα τέτοιο λαπαροσκόπιο φαίνεται στην εικόνα 1.4.



Εικόνα1.3. α)ένα λαπαροσκόπιο με συνηθισμένο σύστημα φακών. Η διάθλαση πραγματοποιείται καθώς το φως διέρχεται μέσω μικρών φακών που είναι τοποθετημένοι ανά διαστήματα. β)ένα λαπαροσκόπιο Hopkins.Οι φακοί είναι τοποθετημένοι σε πιο κοντινά διαστήματα επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερη μετάδοση του φωτός και μικρότερη διάμετρο του λαπαροσκοπίου. γ)Λαπαροσκόπιο με κλίση 45^ο.



Εικόνα 1.4.Σύγχρονος τύπος λαπαροσκοπίου(MGB,Berlin).Εκτός της πηγής φωτός για καλύτερη οπτική απεικόνιση των αντικειμένων, διαθέτει επίσης ακροφύσιο για τον καθαρισμό των φακών. Κάτι τέτοιο μειώνει δραστικά τη διάρκεια της εγχείρισης.

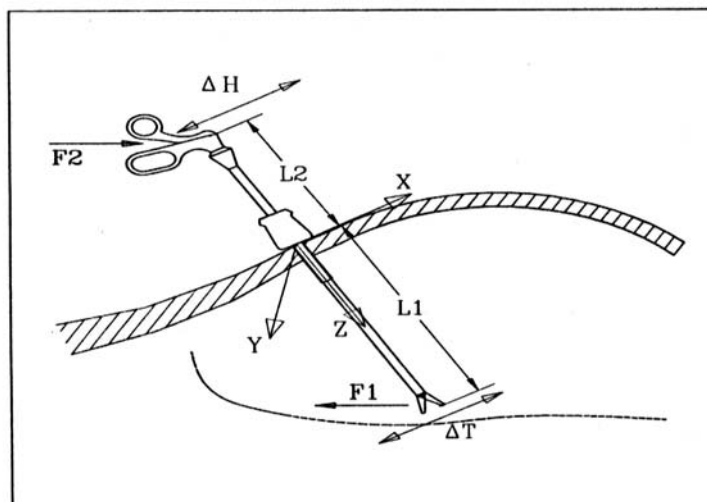
1.2.2 Προβλήματα κίνησης των χεριών /εργαλείων

Η πραγματοποίηση μιας λαπαροσκοπικής εγχείρισης μέσω των μικρών τομών που γίνονται στο σώμα περιορίζει τον αριθμό των κινήσεων του χειρουργού και συνεπώς τους βαθμούς ελευθερίας. Η τομή και η πύλη εισόδου (trocar) που τοποθετείται στο

κοιλιακό τοίχωμα του ασθενή, λειτουργούν σαν σφαιρικός σύνδεσμος περιστροφής που επιτρέπει 3 βαθμούς ελευθερίας(περιστροφή γύρω από τους άξονες X, Y και Z σχήμα 1.3) και μία γραμμική κίνηση (κατά τον Z άξονα). Τα υπάρχοντα προβλήματα που δημιουργούνται από τις παραπάνω περιστροφικές κινήσεις είναι τα ακόλουθα.

♦ **Αντίστροφη κίνηση:** Η περιστροφή του εργαλείου γύρω από το σημείο της τομής προκαλεί σαν αποτέλεσμα αντίστροφη κίνηση στη λαβή. Αυτό πολύ απλά σημαίνει ότι όταν η άκρη του εργαλείου θα πρέπει να μετακινηθεί δεξιά ,ο γιατρός θα πρέπει να κινήσει το χέρι του αριστερά. Αυτό είναι θέμα αρκετής εξάσκησης για να συνηθίσει κανείς τη ανάποδη κίνηση, ώστε να υπάρχει η αίσθηση του χώρου μέσα στην κοιλιά του ασθενή και να αποφύγει ο χειρουργός κάποιο πιθανό τραυματισμού του.

♦ **Κλίμακα των κινήσεων:** Ο λόγος της μετατόπισης του εργαλείου(ΔT) προς τη μετατόπιση του χεριού (ΔH) προσδιορίζεται από τον λόγο της απόστασης που ενώνει το σημείο τομής με το σημείο της επέμβασης(L_1 ,μήκος εργαλείου μέσα στο σώμα) ,προς την απόσταση του σημείου τομής από τη λαβή του εργαλείου(L_2 ,μήκος εργαλείου έξω από το σώμα). Σχήμα 3. Έτσι ισχύει :

$$\frac{\Delta T}{\Delta H} = \frac{L_1}{L_2}$$


Σχήμα 1.3: Η κίνηση του εργαλείου συγκράτησης γύρω από το σημείο της τομής.

Έτσι λοιπόν ο συντελεστής της κλίμακας των κινήσεων εξαρτάται από το πόσο μήκος του εργαλείου είναι μέσα στο σώμα του ασθενή. Αυτό προκαλεί μια αβεβαιότητα στο χειρουργό για το σύνολο των απαιτούμενων κινήσεων, πράγμα που τον ωθεί σε λάθη στις κινήσεις που απαιτούν ακρίβεια και ιδιαίτερη προσοχή.

♦ **Έλλειψη ελαστικότητας στις κινήσεις των εργαλείων:** Για τους απαραίτητους χειρισμούς της ειδικής βελόνας και τη σωστή μεταχείριση των ιστών π.χ. κατά τη διαδικασία του ραψίματος μέρους αυτών απαιτούνται 3 βαθμοί ελευθερίας στο πεδίο της επέμβασης. Με τον υπάρχον σχεδιασμό, τα εργαλεία αποτελούνται από αλύγιστα μέρη με αποτέλεσμα μόνο η περιστροφή γύρω από τον άξονα του εργαλείου να είναι εφικτή. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι το ράψιμο ενός απλού κόμπου με λαπαροσκοπικά εργαλεία απαιτεί διπλάσιο χρόνο από ότι με απλά εργαλεία στην ανοικτή χειρουργική.

1.2.3 Προβλήματα στη δύναμη /αίσθηση στις επαφές

Η αίσθηση της δύναμης που εφαρμόζεται στην άκρη του χειρουργικού εργαλείου είναι καθοριστικής σημασίας για την ασφαλή έκβαση δύσκολων διαδικασιών όπως είναι το κόψιμο, ο έλεγχος, το ράψιμο των ιστών. Λόγω του μήκους των λαπαροσκοπικών εργαλείων, της τριβής και τις πιθανές απότομες κινήσεις των συνδέσμων που το απαρτίζουν, η αίσθηση της δύναμης του άκρου αντανακλάται σε πολύ μικρό βαθμό στη λαβή. Επιπλέον ο άξονας-μοχλός του εργαλείου γύρω από την τομή αλλάζει τη διεύθυνση αυτών των δυνάμεων, ($F_2/F_1 = L_1/L_2$) σχήμα 1.3. Η αίσθηση αυτή είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της υφής κάποιων επιφανειών και της ανίχνευσης μικρών κινήσεων όπως είναι οι παλμοί σε μια αρτηρία. Στα λαπαροσκοπικά εργαλεία όλη αυτή η πληροφορία είναι ανύπαρκτη και μόνο μια μικρή αίσθηση της αρπάγης του εργαλείου γίνεται αντιληπτή από το χειρουργό, σε μια περιορισμένη έκταση βέβαια. Φυσικά ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, το μέγεθος και η ακρίβεια της συγκεκριμένης πληροφορίας απορροφάται συνήθως από τους ενδιάμεσους μηχανικούς συνδέσμους του εργαλείου.

1.3 Κίνητρα για περαιτέρω μελέτη των λαπαροσκοπικών διαδικασιών-Στόχος της εργασίας

Τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω παρέχουν το κίνητρο για μελέτη σε κάποια πεδία όπως:

1. Στο σχεδιασμό κατάλληλων μηχανισμών και μηχανών.
2. Στη μελέτη της αίσθησης της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής.
3. Στη ρομποτική και τηλεχειρουργική.
4. Στα οπτικά και ενδοσκοπικά συστήματα.
5. Στη ανάλυση του χρόνου των λαπαροσκοπικών διαδικασιών.

Παρόλα αυτά κατά τη ανάλυση των παραπάνω προβλημάτων έγιναν κάποιες παρατηρήσεις και προτάθηκαν κάποιες λύσεις, όπως για παράδειγμα η σπουδαιότητα τη σωστής επιλογής του λαπαροσκοπίου καθώς και η κατάλληλη επιλογή των σημείων που θα γίνουν οι τομές και θα μπουν τα trocars. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε και με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη εξασφάλιση μιας σταθερής ποιοτικής εικόνας με ταυτόχρονο στόχο τη μείωση του εγχειρητικού χρόνου. Σε αυτή την προσπάθεια γίνεται χρήση και εφαρμογή του ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000 έπειτα από μια εκτεταμένη αναφορά στις εφαρμογές των ρομποτικών συστημάτων σε λαπαροσκοπικές κυρίως επεμβάσεις. Η επαναλαμβανόμενη χρήση του ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000 για τη διεξαγωγή λαπαροσκοπικών νεφρεκτομών (στο Νοσοκομείο Χανίων) απέδειξε την ουσιαστική διαφορά μεταξύ των λαπαροσκοπικών διαδικασιών με συμβατά μέσα και με τη χρήση αντίστοιχα, ρομποτικού βραχίονα στο ρόλο του χειριστή της κάμερας.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι η ομαλή διεξαγωγή μιας λαπαροσκοπικής εγχείρισης απαιτεί πρώτα από όλα την εξασφάλιση ενός σταθερού οπτικού πεδίου. Αυτό είναι ένα σημείο καίριας σημασίας καθότι ο χειρουργός θα πρέπει να παίρνει αποφάσεις και να χειρουργεί σε περιβάλλον ανόμοιο με αυτό της ανοικτής χειρουργικής, όπου η εικόνα του εσωτερικού του ασθενή είναι σε ευθεία γραμμή με το οπτικό του πεδίο. Υπάρχει λοιπόν επιτακτική η ανάγκη της σταθεροποίησης του λαπαροσκοπίου προκειμένου να εξασφαλίσουμε μια επιθυμητή και σταθερή εικόνα.

Η ιδανική περίπτωση βέβαια είναι να χειρίζεται ο ίδιος ο χειρουργός το λαπαροσκόπιο ώστε να κατευθύνει την ενδοσκοπική εικόνα σύμφωνα με τις ανάγκες

του. Αυτή η περίπτωση θα εξάλειφε την αναγκαία εκπαίδευση και απασχόληση ενός επιπλέον μέλους της χειρουργικής ομάδας για το ρόλο του χειριστή της κάμερας. Ο άμεσος έλεγχος της κάμερας από το χειρουργό θα μείωνε το κόστος της εγχείρισης καθώς η χειρουργική ομάδα θα ήταν ολιγομελής και δεν θα υπήρχε σπατάλη χρόνου συνεννόησης ανάμεσα στο χειρουργό και στον χειριστή της κάμερας. Το φυσικό τρεμούλιασμα του ανθρώπινου χεριού και η φυσική κόπωση, ιδιαίτερα σε πολύωρες επεμβάσεις όπου απαιτείται η συνεχόμενη προσοχή στο monitor αλλά και η σταθερότητα του οπτικού πεδίου, σε συνδυασμό με τη λεπτή υφή κάποιων ιδιαίτερα πολύπλοκων λαπαροσκοπικών διαδικασιών(π.χ. νεφρεκτομή) είναι παράγοντες που λειτουργούν ανασταλτικά και προκαλούν από τη φύση τους αντίξοες συνθήκες εργασίας. Κρίσιμο επίσης αρνητικό σημείο αποτελεί και ο αναγκαστικός συνωστισμός στο χειρουργείο που οδηγεί σε απόσπαση της προσοχής από τη χειρουργική διαδικασία και σε εκνευρισμό ανάμεσα στα μέλη της χειρουργικής ομάδας. Όλα αυτά αυτομάτως μεταφράζονται σε αυξημένο κόστος, σε μια εποχή βέβαια που το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας βρίσκεται σε ασφυχτικό έλεγχο από κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς. Είναι λοιπόν αναγκαία η μείωση του αριθμού της χειρουργικής ομάδας και η αναζήτηση κάποιου άλλου τρόπου χειρισμού του λαπαροσκοπίου δεδομένου ότι ο άνθρωπος-χειριστής δεν είναι η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα.

Πριν όμως από την παρουσίαση και την μελέτη των θεμάτων που τέθηκαν παραπάνω, κρίνεται σκόπιμο μια σύντομη περιγραφή της διαδικασίας της νεφρεκτομής μιας και η συγκεκριμένη διαδικασία αποτέλεσε τη αφορμή για την εφαρμογή του ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000.

1.4 Περιγραφή της διαδικασίας της λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής

1.4.1 Μέθοδοι λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής: Διαπεριτοναϊκή, Οπισθοπεριτοναϊκή, υποβοηθούμενη από το χέρι.

Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις μιας λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής: Η διαπεριτοναϊκή(transperitoneal) λαπαροσκοπική νεφρεκτομή, η οπισθοπεριτοναϊκή και η υποβοηθούμενη από το χέρι λαπαροσκοπική νεφρεκτομή. Η πρώτη περίπτωση

είναι η συνήθης διαδικασία μιας λαπαροσκοπικής εγχείρησης. Καταλήγει σε μικρές τομές στο ανθρώπινο σώμα και παρέχει καλή τοποθέτηση των trocars. Παρέχει επίσης καλό περιβάλλον εργασίας και διευκολύνει την προσαρμογή παρέχοντας εύκολα αναγνωρίσιμα σημάδια που θέτει ο χειρουργός. Η οπισθοπεριτοναϊκή προσέγγιση μιμείται την ανοικτή χειρουργική όπου ο νεφρός προσεγγίζεται χωρίς την είσοδο στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Παρόλα αυτά με αυτή την τεχνική ο λιπώδης ιστός και το περιορισμένο περιβάλλον εργασίας μπορούν να οδηγήσουν σε δυσκολίες με την προσαρμογή, την κατάλληλη απεικόνιση των οργάνων και την διάταξη των trocars και τέλος σε τραυματισμό.

Σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο η οπισθοπεριτοναϊκή προσέγγιση καταλήγει σε δυσκολότερη χειρουργική διαδικασία, μεγαλύτερη διαμονή στο νοσοκομείο, ισχυρή χορήγηση φαρμάκων και καθυστέρηση στην επανένταξη του ασθενή.

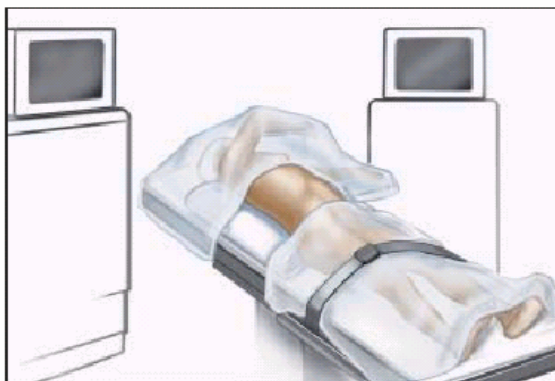
Προκειμένου λοιπόν να διευκολυνθούν οι λαπαροσκοπικές διαδικασίες αναπτύχθηκε η υποβοηθούμενη από το χέρι λαπαροσκοπική τεχνική. Η μέθοδος hand assisted ουσιαστικά λειτουργεί σαν μια γέφυρα ανάμεσα στην ανοικτή και στη λαπαροσκοπική χειρουργική και βοηθά χειρουργούς που δεν έχουν προηγούμενη μεγάλη εμπειρία σε λαπαροσκοπικές εγχειρήσεις. Προσφέρει χειροπιαστή ανάδραση στο χειρουργικό χέρι δηλαδή μεγάλη αίσθηση της υφής και της ανατομίας των ανθρωπίνων οργάνων.

Η υποβοηθούμενη από το χέρι λαπαροσκοπική νεφρεκτομή Hand-Assisted Laparoscopic Nephrectomy (HALN) διευκολύνεται μέσω του συστήματος HandPort το οποίο είναι μία είσοδος 6 με 14 cm από την οποία εισέρχεται το χέρι του χειρουργού. Η τομή αυτή επιτρέπει στο χέρι να παρεμβληθεί στην κοιλία συντηρώντας το πνευμοπεριτόναιο (pneumoperitoneum). Η χρήση ενός χεριού εσωτερικά στη κοιλία του ασθενή μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό της παθολογίας, στον προσδιορισμό του νεφρού και του επιπέδου των ιστών, στην εκτέλεση γρήγορης ανατομίας του εσωτερικού του ασθενούς, στην εξαγωγή των ιστών που έχουν αφαιρεθεί, στην εφαρμογή ακαριαίας πίεσης των σημείων που αιμορραγούν. Η ίδια τομή που χρησιμοποιείται για να τοποθετήσει το σύστημα HandPort και το χέρι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση του νεφρού.

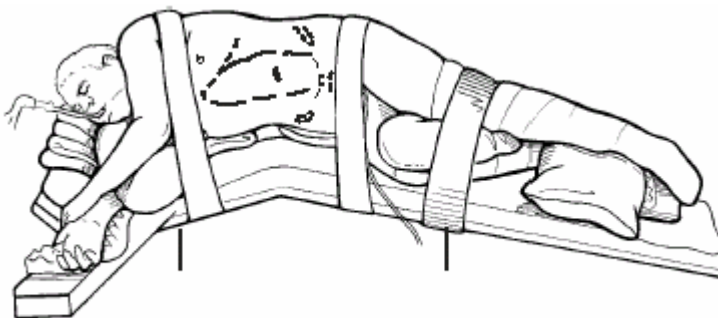
Η hand assisted λαπαροσκοπική χειρουργική ελαττώνει την καμπύλη εκμάθησης για τους χειρουργούς που είναι νέοι στις λαπαροσκοπικές διαδικασίες. Η μέθοδος αυτή

μειώνει μάλιστα και το χρόνο διαδικασίας της εγχείρησης ενώ είναι εφάμιλλη με την κανονική λαπαροσκοπική νεφρεκτομή. Τα επίπεδα θνησιμότητας είναι παρόμοια με αυτά της απλής λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής. Η νεφρεκτομή είναι η ιδανική περίπτωση για την εφαρμογή hand assisted λαπαροσκοπικής χειρουργικής. Πραγματοποιείται μέσω μιας πλευρικής τομής στο σώμα του ασθενή. Καθότι πολλές φορές το προς εξαγωγή δείγμα(νεφρό) είναι πολύ μεγάλο ,η απαιτούμενη τομή θα είναι αντιστοίχους μεγέθους με την τομή που χρειάζεται για τη hand assisted διαδικασία.

Ο ασθενής τοποθετείται σε πλάγια πλευρική θέση(θέση flank) με ανυψωμένη την κοιλιά και το θώρακα με την βοήθεια μαξιλαριών και συγκρατείται στο χειρουργικό τραπέζι με ειδικό μιάντα. Τοποθετούνται επίσης ένας ειδικός καθετήρας(Foley catheter) και ένας orogastric σωλήνας. Τα monitor από όπου και παρατηρείται και η ενδοσκοπική εικόνα τοποθετούνται στο πάνω μέρος του τραπεζιού δεξιά ή αριστερά .Οι εικόνες 1.5 και 1.6 δείχνουν τα παραπάνω.



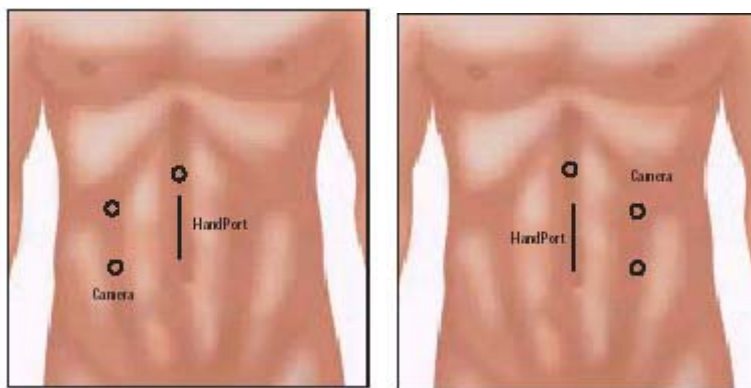
Εικόνα 1.5. Τοποθέτηση του ασθενή στο χειρουργικό κρεβάτι και τοποθέτηση των monitor



Εικόνα 1. 6. Τοποθέτηση του ασθενή στο χειρουργικό κρεβάτι, πλάγια θέση (θέση flank). Διακρίνονται τα μαξιλάρια στήριξης των χεριών και των ποδιών.

1.4.2 Τομή για την εισαγωγή του χεριού και τοποθέτηση των πυλών εισόδου(trocars)

Γενικά η τομή για την είσοδο του χεριού πραγματοποιείται στο ενδιάμεσο του σώματος και πάνω από τον ομφαλό. Υπάρχουν και άλλα μέρη στα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί η τομή αλλά η συγκεκριμένη θέση ενδείκνυται γιατί είναι κοντά στο νεφρό και στα νεφρικά αγγεία, είναι εύκολη στο άνοιγμα και στο κλείσιμο και σε περιπτώσεις επιπλοκών η συγκεκριμένη θέση της επιτρέπει επέκταση σε μήκος. Τυπικά χρησιμοποιούνται δύο ή τρεις τομές για τα trocars: Μία τομή 12mm για το trocar της κάμερας(λαπαροσκόπιο), μία δεύτερη 12mm για το trocar από το οποίο θα γίνονται οι διάφορες δουλειές (π.χ. παρασκευή των ιστών) και μία προαιρετική τομή 5mm για το trocar από το οποίο εισέρχεται ειδικό εργαλείο συγκράτησης δηλαδή μια συλληπτική λαβίδα(π.χ. leaver retractor). Για τη πραγματοποίηση μιας δεξιάς νεφρεκτομής το trocar της κάμερας τοποθετείται πλευρικά από τον ομφαλό ,ακριβώς πλευρικά από το πλευρικό όριο του κοιλιακού μυ και το trocar εργασίας τοποθετείται στο πάνω μισό μέρος (εικόνα 1.7).Για την αριστερή νεφρεκτομή ακολουθείται παρόμοια διαδικασία και τα trocars τοποθετούνται συμμετρικά (ως προς τη μέση)από την άλλη πλευρά.(εικόνα 1.8). Είναι επίσης λογικό τα trocars να τοποθετούνται αρκετά εκατοστά από την τομή για το χέρι και σε κάποια απόσταση το ένα από το άλλο.



Εικόνες 1.7,1.8. Τοποθέτηση των trocars για δεξιά και αριστερή νεφρεκτομή αντίστοιχα

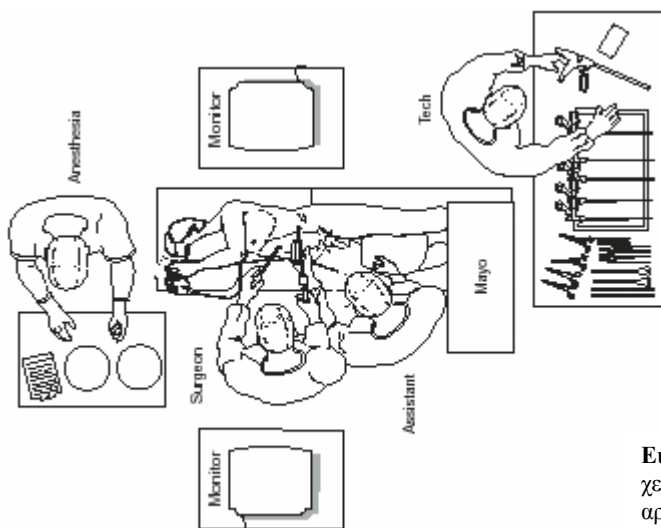
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της hand assisted λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής είναι για ασθενείς που έχουν υποστεί ξανά επέμβαση στον κοιλιακό χώρο όπου και μπορεί να επιτευχθεί η είσοδος για το χέρι μέσω μιας προϋπάρχουσας τομής. Εναλλακτικά αν ο ασθενής δεν έχει υποστεί αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια βελόνα Veress(στο ενδιάμεσο ή στην κύρια μεριά των trocars) για το φύσημα του

στομάχου. Έτσι αρχικά χρησιμοποιείται κλειστού τύπου trocar που επιτρέπει δηλαδή τη διέλευση από τη μία μόνο μεριά. Στη συνέχεια τοποθετείται ειδικός δακτύλιος πάνω στην τομή(hand port) το χέρι μέσα από τον οποίο εισέρχεται το χειρουργικό χέρι φορώντας ειδικό γάντι που προσαρμόζεται σε αυτό το δακτύλιο (εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9.Είσοδος του χεριού μέσα από την hand port τομή .Στη εικόνα διακρίνεται το ειδικό γάντι που φοράει ο χειρουργός

Παρακάτω φαίνεται το setup του χειρουργείου για την πραγματοποίηση μιας αριστερής λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής(εικόνα 10).



Εικόνα 1.10.Το στήσιμο(setup) μέσα στο χειρουργείο για την πραγματοποίηση αριστερής λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής

Κεφάλαιο 2^ο

Εφαρμογές ρομποτικής στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική και σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις

2.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί- γενικές εφαρμογές ρομποτικής

2.1.1 Η εμφάνιση των ρομπότ

Η λέξη ρομπότ (robot) εμφανίστηκε για πρώτη φορά από τον Τσέχο σκηνοθέτη Karel Capek στο έργο του RUR(Rossums's Universal Robots) που παίχθηκε για πρώτη φορά στο Παρίσι το 1922. Στο έργο αυτό μικρά, τεχνητά, ανθρωπομορφικά πλάσματα υπάκουαν αυστηρά στις διαταγές του κυρίου τους, τελικά όμως ξεσηκώθηκαν ενάντια στους δημιουργούς τους. Στη Τσέχικη και Ρωσική γλώσσα τα πλάσματα αυτά ονομαζόταν robotnik από τη λέξη robota που σημαίνει καταναγκαστική εργασία και αγγαρεία. Το έργο του Capek φαίνεται να είναι πρωταρχικά υπεύθυνο για τις ευρύτερες απόψεις των ανθρώπων σχετικά με τα ρομπότ που παρουσιάζονται να είναι ανεξάρτητης προσωπικότητας ανθρωπομορφικές μηχανές προικισμένες με ευφυΐα. Η εικόνα αυτή ενισχύθηκε από το γερμανικό φιλμ Metropolis(1926) που παρουσίαζε το ρομπότ Electro.

Ο Isaac Asimov στη δεκαετία του '50 εισήγαγε την ιδέα των "καλών" ρομπότ ,τα οποία αποκάλεσε droids και έκανε διάσημη τη λέξη ρομποτική (robotics). Ο Asimov εισήγαγε τους "Τρεις Νόμους της Ρομποτικής" προσθέτοντας αργότερα και ένα μηδενικό νόμο.

Νόμος 0. Ένα ρομπότ δεν πρέπει να βλάπτει το ανθρώπινο γένος ή μένοντας αδρανές να θέτει σε κίνδυνο το ανθρώπινο γένος.

Νόμος 1. Ένα ρομπότ δεν πρέπει να βλάπτει μια ανθρώπινη ύπαρξη ή μένοντας αδρανές να θέτει σε κίνδυνο μια ανθρώπινη ύπαρξη , εκτός αν αυτό θα προσέβαλλε ένα Νόμο υψηλότερης τάξης.

Νόμος 2. Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει σε εντολές που του δίνονται από ανθρώπινες υπάρξεις, εκτός αν τέτοιες εντολές συγκρούονται με ένα Νόμο υψηλότερης τάξης.

Νόμος 3. Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει τον εαυτό του για όσο η προστασία αυτή δεν συγκρούεται με ένα Νόμο υψηλότερης τάξης.

Η πρωταρχική ωστόσο εμφάνιση των ρομπότ, ως ανθρωπομορφικές κατασκευές μπορεί να αναζητηθεί στη μυθολογία διαφόρων λαών. Ο Τάλως ο μυθικός γίγαντας από χαλκό, έμψυχος και άτρωτος, ήταν δώρο του Δία στο Μίνωα για την προστασία της Κρήτης την οποία περιδιάβαινε τρεις φορές τη μέρα. Το golem των εβραϊκών παραμυθιών είναι επίσης άλλο ένα πρώιμο δείγμα της ανθρώπινης φαντασίας στην αναζήτηση των ρομπότ.

Τη λαϊκή εικόνα και φιλολογία για τα ρομπότ ενίσχυσαν ταινίες επιστημονικής φαντασίας όπως το “Metropolis”(1926) του Γερμανού Fritz Lang, που αναφέρθηκε πρωτύτερα, και παρουσιάζει το ρομπότ Electro ως την πιο σύγχρονη “Ο πόλεμος των Άστρων”(1977) που παρουσιάζεται το διάσημο ρομπότ C3PO. Η ανθρώπινη φαντασία συνεχίζεται με τη δημιουργία του Robocop ένα κράμα ανθρώπου και ρομπότ, που επιστρατεύεται στην υπηρεσία του Νόμου και φθάνει μέχρι σήμερα. Παρόλα αυτά τα σύγχρονα ρομπότ εμφανίζονται πρωτόγονα και σίγουρα πολύ διαφορετικά από την εικόνα που έχουν καλλιεργήσει τα Μέσα Μαζικής Επικοινωνίας.

Το λεξικό Webster’s ορίζει ως ρομπότ την “ αυτόματη μηχανή ή συσκευή που εκτελεί έργα τα οποία είχαν αρχικά ανατεθεί σε ανθρώπινα όντα”. Η περιγραφή όμως αυτή είναι πολύ γενική και αφηρημένη καθώς, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, ακόμα και οικιακές συσκευές (π.χ. πλυντήρια) μπορούν να θεωρηθούν προγραμματιζόμενα ρομπότ. Την απαίτηση για εξαγωγή ενός γενικού και πλήρους ορισμού για ρομποτικούς χειριστές ικανοποιεί το Ινστιτούτο Ρομποτικής της Αμερικής(RIA, Robotic Institute of America), το 1970, με τον παρακάτω ορισμό.

Ορισμός 1: Ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος , πολυλειτουργικός χειριστής , σχεδιασμένος να μεταφέρει υλικά, αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές, μέσω μεταβλητών προγραμματιζόμενων κινήσεων, προκειμένου να εκτελέσει διάφορα έργα.

Ένας πιο σύγχρονος ορισμός δόθηκε από το Διεθνή Οργανισμό Προτύπων(ISO) και είναι ο ακόλουθος:

Ορισμός 2: Ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι ένας αυτόματος, σερβοελεγχόμενος, ελεύθερα προγραμματιζόμενος, πολλών εφαρμογών χειριστής, με αρκετούς άξονες για τη διαχείριση αντικειμένων ,εργαλείων, ή ειδικών συσκευών. Μεταβλητά προγραμματιζόμενες ενέργειες καθιστούν δυνατή την εκτέλεση πολλαπλών έργων.

2.1.2 Ρομποτική ορολογία

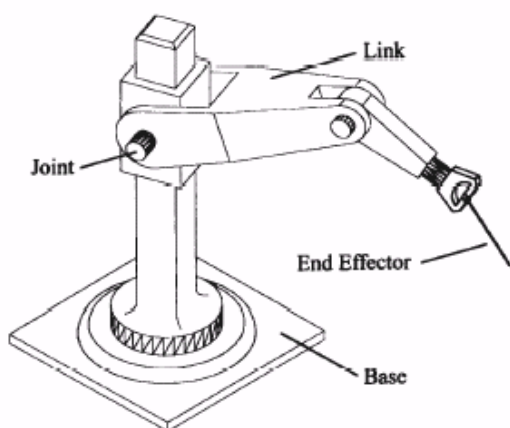
Ένα ρομπότ μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός μηχανικού και υπολογιστικού συστήματος όπου τα μηχανικά του μέρη μπορεί να υπακούουν σε διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά ,ανάλογα με τη δουλειά για την οποία είναι προορισμένο.

Μια ειδική κατηγορία ρομπότ είναι οι χειριστές οι οποίοι έχουν βασική δομή παρόμοια με το ανθρώπινο χέρι, επιτρέποντας έτσι ένα μεγάλο εύρος κινήσεων για την πραγματοποίηση ορισμένων έργων. Αποτελούνται από μια διαδοχή αρθρώσεων(joints) και συνδέσμων(links) οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι κατά μία σειριακή αρχιτεκτονική (εικόνα2.1).Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι τα ρομπότ-χειριστές είναι ανοικτές κινηματικές αλυσίδες στερεών σωμάτων που ονομάζονται σύνδεσμοι ,συνδεδεμένων σειριακά μέσω ανεξάρτητα κινούμενων αρθρώσεων. Ο πρώτος σύνδεσμος του χειριστή είναι συνδεδεμένος σε μία βάση(όπως είναι το πάτωμα ή το χειρουργικό τραπέζι).Ο τελευταίος σύνδεσμος κρατάει το εργαλείο το οποίο συνήθως ορίζεται ως το τελικό στοιχείο δράσης(end-effector).

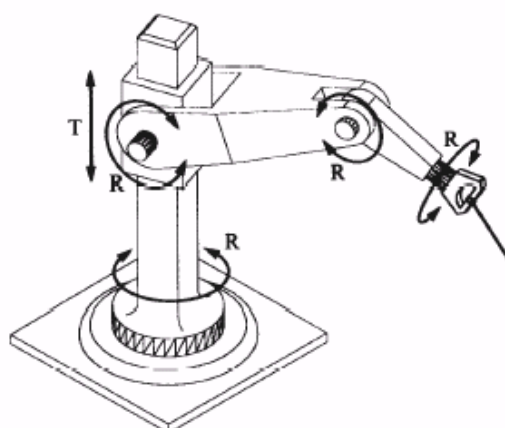
Μία άρθρωση μπορεί να είναι ενεργή, αν καθοδηγείται από ενσωματωμένο μοτέρ, ή παθητική, αν το μοτέρ δεν καθοδηγεί άμεσα την κίνησή της. Τα συνήθη χρησιμοποιούμενα μοτέρ είναι ηλεκτρικά ,υδραυλικά ή πνευματικά. Ο αριθμός των δυνατών κινήσεων μιας άρθρωση περιγράφεται από του βαθμούς ελευθερίας(DOF).Έτσι κάθε ζεύγος συνδέσμου άρθρωσης συγκροτεί ένα βαθμό

ελευθερίας. Μια άρθρωση μπορεί να είναι περιστροφική ή πρισματική, πράγμα που εξαρτάται από την κίνηση για την οποία είναι προορισμένη ορίζοντας ισοδύναμα και τον αντίστοιχο βαθμό ελευθερίας (εικόνα 2.2). Στην σπάνια περίπτωση όπου μια άρθρωση έχει N βαθμούς ελευθερίας, τότε η άρθρωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός N αρθρώσεων ενός βαθμού ελευθερίας συνδεδεμένων με $N-1$ συνδέσμους μηδενικού μήκους. Για παράδειγμα μία σύριγγα έχει ένα πρισματικό βαθμό ελευθερίας, ενώ ο αγκώνας του ανθρώπινου χεριού έχει ένα περιστροφικό βαθμό ελευθερίας. Ο ανθρώπινος ώμος καθώς και ο καρπός του χεριού έχουν από τρεις βαθμούς ελευθερίας. Εξ' ορισμού οι βαθμοί ελευθερίας ενός ρομπότ είναι το άθροισμα όλων των βαθμών ελευθερίας των αρθρώσεών του.

Συνήθως αυτό υπαγορεύει και τις δυνατότητες κίνησης του τελικού στοιχείου δράσης. Τουλάχιστον 6 βαθμοί ελευθερίας χρειάζονται για την πλήρη κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης. Αυτό όπως θα δούμε αργότερα είναι πρωταρχικής σημασίας κατά το σχεδιασμό ενός ρομποτικού βραχίονα γιατί καθορίζει το μετέπειτα έργο του.



Εικόνα 2.1. Διάγραμμα των διαφόρων κομματιών που απαρτίζουν ένα τυπικό ρομπότ



Εικόνα 2.2. Ένα ρομπότ 5 βαθμών ελευθερίας. Το ρομπότ έχει μία πρισματική άρθρωση και 4 περιστροφικές.

2.1.3 Εφαρμογές της ρομποτικής

Βασικό στοιχείο στον πρώτο από τους δύο ορισμούς που δόθηκαν παραπάνω αποτελεί η λέξη *επαναπρογραμματισμός* των ρομπότ, δηλαδή η πολυχρηστότητα και προσαρμοστικότητα των ρομπότ εξαιτίας της σύνδεσής τους με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η ταχεία ανάπτυξη της πληροφορικής έδωσε σημαντική ώθηση στη ρομποτική. Ο ορισμός που δόθηκε παραπάνω καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ρομποτικών χειριστών μέσα στον οποίο μπορούν να συμπεριληφθούν διάφοροι τύποι ρομπότ που εξυπηρετούν μερικές από τις ακόλουθες εφαρμογές που αναλύονται παρακάτω:

Μία από αυτές τις εφαρμογές είναι η λεγόμενη *Αυτόματη ή ευέλικτη εφαρμογή*. Πρόκειται για ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πεδίο βιομηχανικών διεργασιών συμπεριλαμβανομένης της συναρμολόγησης, του ελέγχου αντικειμένων, της διαχείρισης υλικών, της ηλεκτροσυγκόλλησης και της βαφής. Στα πλαίσια των εφαρμογών αυτών εντάσσεται και η *απομακρυσμένη εξερεύνηση*. Οι ρομποτικοί χειριστές λειτουργούν σε συνθήκες που δεν μπορεί να ανεχθεί ο ανθρώπινος οργανισμός όπως στην εξερεύνηση πλανητών του ηλιακού συστήματος και στα βάθη των ωκεανών. Τα ρομποτικά συστήματα βοηθούν επίσης στη *διαχείριση επικίνδυνων υλικών* όπως για παράδειγμα στην απενεργοποίηση εκρηκτικών (π.χ. σε σήραγγες), στη διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων, ραδιενεργών υλικών σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, στη συλλογή επιστημονικών στοιχείων σε δυσπρόσιτα μέρη (π.χ. σε ηφαίστεια) και στη διαχείριση συνιστωσών μικροηλεκτρονικής (π.χ. σε θαλάμους κενού clean rooms). Εξελιγμένα ρομποτικά συστήματα παρέχουν επίσης *προσφορά υπηρεσιών* όπως η επιστασία, η διανομή ταχυδρομείου, η πυροπροστασία και η αντιμετώπιση πυρκαγιάς.

Ένα από τα ευρέως αναπτυσσόμενα πεδία που βρίσκουν εφαρμογές τα ρομπότ είναι και αυτό της ιατρικής και βιοϊατρικής τεχνολογίας που εντάσσεται στην κατηγορία *Προσθετική και Βιοϊατρική*. Η ρομποτική τεχνολογία και η συναφής προς αυτή τεχνολογία αισθητήρων μπορούν να συνδυαστούν προκειμένου να παρέχουν προσθετικά άκρα με αίσθηση της αφής, λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις π.χ. στον εγκέφαλο και την καρδιά. Συμμετέχουν επίσης ενεργά σε λαπαροσκοπικές και μικροεπεμβατικές εγχειρήσεις καθώς χειρίζονται με περισσή ακρίβεια ιατρικά εργαλεία. Ιατρικά ρομπότ χρησιμοποιούνται και σε κλινικά εργαστήρια για την ανάλυση χημικών δειγμάτων. Γενικά λειτουργούν ως συμπλήρωμα και αξιοποίηση

των δυνατοτήτων των χειρουργικών και ιατρικών διαδικασιών με στόχο τη βελτίωση της ανθρώπινης ζωής. Η συγκεκριμένη κατηγορία εφαρμογής των ρομποτικών συστημάτων θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Ακολουθεί μια σύγκριση των δυνατοτήτων του ανθρώπου και των ρομπότ καθώς και στους περιορισμούς που τους διέπουν.

Ανθρώποι	Ρομπότ
Δυνατότητες	Δυνατότητες
Καλός συντονισμός χεριών-ματιών	Γεωμετρική ακρίβεια
Επιδεξιότητα-ευκινησία (σε ανθρώπινη κλίμακα)	Σταθερά και ακούραστα
Εύκαμπτοι-εμπροσάρμοστοι	Μπορούν να σχεδιαστούν για πλήθος εφαρμογών
Μπορούν να ολοκληρώσουν εκτεταμένη και ποικίλη πληροφορία	Μπορούν να είναι αποστειρωμένα
Ικανοί να χρησιμοποιήσουν ποιοτική πληροφορία	Ανθεκτικά στην ακτινοβολία και στη μόλυνση
Καλή κρίση	Μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορους αισθητήρες(ήχου, χημικούς, δύναμης κ.α.)
Εκπαιδεύονται εύκολα	
Περιορισμοί	Περιορισμοί
Περιορισμένες δεξιότητες έξω από τα όρια της κλίμακας	Ασθενής κρίση
Κουράζονται εύκολα	Περιορισμένες δεξιότητες και έλλειψη συντονισμού “χεριών-ματιών”
Περιορισμένη γεωμετρική ακρίβεια	Περιορισμός στη συσχέτιση απλών διαδικασιών
Μικρή ικανότητα στη χρησιμοποίηση μεγάλου μεγέθους πληροφορίας	Είναι ακριβά
Ανάγκη για μεγάλα χειρουργεία	Καθορίζονται από την τεχνολογική εξέλιξη
Έλλειψη αποστείρωσης	Δύσκολα στην κατασκευή και στη επιδιόρθωση των προβλημάτων
Ευαίσθητοι στην ακτινοβολία και στην μόλυνση	

Πίνακας 2.1: Δυνατότητες και περιορισμοί ανθρώπου –ρομπότ.

Οι ρομποτικές εφαρμογές που είναι τόσο διαδεδομένες στις εργοστασιακές διαδικασίες, στον κλάδο της ιατρικής φαίνονται ακόμα ως ένας πρωτοποριακός τομέας που χρειάζεται αρκετή έρευνα και προσπάθεια για να επιφέρει τα μέγιστα.

Παρόλα αυτά όμως σε εργοστασιακές εγκαταστάσεις το 1976 υπήρχαν μερικές εκατοντάδες βιομηχανικά ρομπότ που με το τέλος του 1999 έφτασαν το 1.000.000!Ο ρυθμός ανάπτυξης αυξάνεται ετησίως κατά 20% περίπου. Στις αρχές του 2000 υπήρχαν 500 περίπου ρομποτικά συστήματα αφοσιωμένα σε ιατρικές διαδικασίες.

Προβλέπεται ότι με ρυθμό ανάπτυξης παρόμοιο των βιομηχανικών ρομπότ, σε 20 χρόνια τα ρομπότ στις ιατρικές εφαρμογές θα ξεπερνάνε τα 15.000!

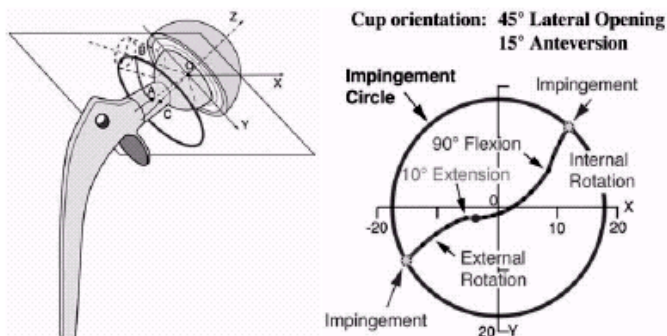
2.2 Εφαρμογές της Ρομποτικής στην ιατρική

2.2.1 Ρομποτική στην ορθοπεδική χειρουργική

Η ορθοπεδική είναι μία από τις πρώτες περιοχές όπου ξεκίνησαν και αναπτύχθηκαν οι ρομποτικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν στην ολική αρθροπλαστική ισχίου και γονάτου καθώς και σε επεμβάσεις στη σπονδυλική στήλη. Το ευρύτερα διαδεδομένο ρομποτικό σύστημα που γνωρίζει σήμερα κλινική εφαρμογή είναι το ROBODOC(Integrated Surgical Systems,Inc). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στην ολική αρθροπλαστική του ισχίου, κατά την οποία αντικαθίσταται η πάσχουσα άρθρωση με μία τεχνητή πρόθεση. Σε αυτές τις διαδικασίες ακολουθείται συνήθως αρχικά ένα προεγχειρητικό σχέδιο κατά το οποίο ο χειρουργός με τη βοήθεια και την πληροφορία της Υπολογιστικής Τομογραφίας(που απεικονίζει την κατάσταση του ασθενή) σχεδιάζει στον υπολογιστή, χρησιμοποιώντας το σύστημα Orthodoc την τρισδιάστατη κοιλότητα που επιθυμεί να δημιουργηθεί (εικόνα 2.5).Το σχέδιο αποθηκεύεται και μεταφέρεται στο ρομποτικό βραχίονα ο οποίος με εξαιρετική ακρίβεια λαξεύει την επιθυμητή κοιλότητα. Η κοιλότητα στο μηριαίο οστό θα πρέπει να σχηματιστεί με τέτοια ακρίβεια ώστε η μέγιστη απόσταση του οστού και της μεταλλικής επιφάνειας να είναι 0.25 χιλιοστά(0.25mm).Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας απομακρύνεται ο βραχίονας και τοποθετείται η τεχνητή πρόθεση(εικόνα 2.4).



Στις παρακάτω εικόνες
Εικόνα 2.4. Τεχνητή μηριαία πρόθεση που εισάγεται στο κοίλωμα της λεκάνης για την ολική αρθροπλαστική του ισχίου.



Εικόνα 2.5. Σχεδιασμός και προσομοίωση του πεδίου κίνησης για το καθορισμό του σωστού προσανατολισμού της πρόθεσης.

παρατηρούμε το ρομποτικό σύστημα ROBODOC καθώς και το υπολογιστικό σύστημα ORTHODOC που χρησιμοποιείται για τον προεγχειρητικό σχεδιασμό.

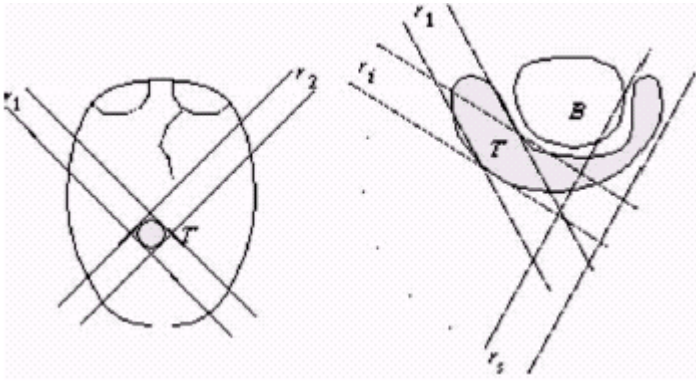
Εικόνα 2.6. Αριστερά διακρίνεται το ρομπότ ROBODOC. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται το υπολογιστικό σύστημα Orthodoc.



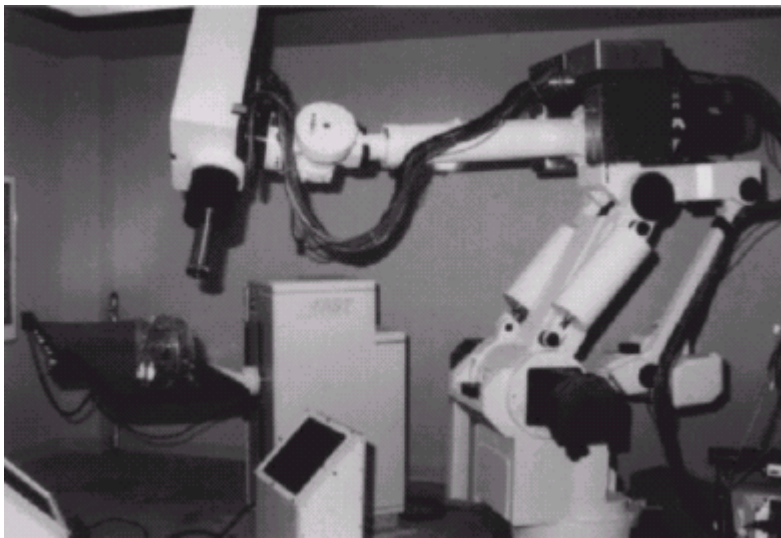
2.2.2 Ρομποτική στην Νευροχειρουργική

Η νευροχειρουργική ήταν η πρώτη χειρουργική ειδικότητα στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές καθοδήγησης μέσω εικόνων (image –guided techniques). Σύμφωνα με αυτές τις τεχνικές προσδιορίζονται τα σημεία που έχουν υποστεί κάκωση στον εγκέφαλο (π.χ. με τη δημιουργία ενός όγκου) και αντίστοιχα καθοδηγούνται τα χειρουργικά εργαλεία για την εξαίρεσή τους. Για την αύξηση της σταθερότητας και της ακρίβειας που απαιτούν τέτοιου είδους επεμβάσεις, ρομποτικά συστήματα έχουν κατασκευαστεί για αυτό το λόγο.

Η ραδιοχειρουργική, χρησιμοποιεί για παράδειγμα δέσμες ακτινοβολιών προκειμένου να καταστρέψει τους όγκους στον εγκέφαλο. Αν η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης περιστρέφεται γύρω από μεγάλη ακτίνα δράσης, η δέσμη περνάει συνεχώς μέσα από τον όγκο αλλά διασταυρώνεται με κάθε σημείο των γειτονικών ιστών πολύ λίγο (εικόνα 2.7). Μεθοδευμένοι αλγόριθμοι μπορεί να βελτιώσουν αυτό το μονοπάτι προσπέλασης ώστε να παραχθεί μια πιο κοντινή και ομοιόμορφη δόση στο σύνολο του όγκου και να αποφευχθεί η περιττή ακτινοβολία στις υγιείς περιοχές του εγκεφάλου. Καθώς οι πηγές ακτινοβολίας είναι μεγάλες και θα πρέπει να ακολουθούν αυστηρά καθορισμένη τροχιά για την καταστροφή των όγκων, ρομποτικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πλατφόρμες κίνησης για αυτές τις εφαρμογές (εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.7. Η δέσμη ακτινοβολίας περνά μέσα από τον όγκο συνεχώς αλλά διασταυρώνεται πολύ σύντομα με κάθε σημείο διπλανού ιστού.



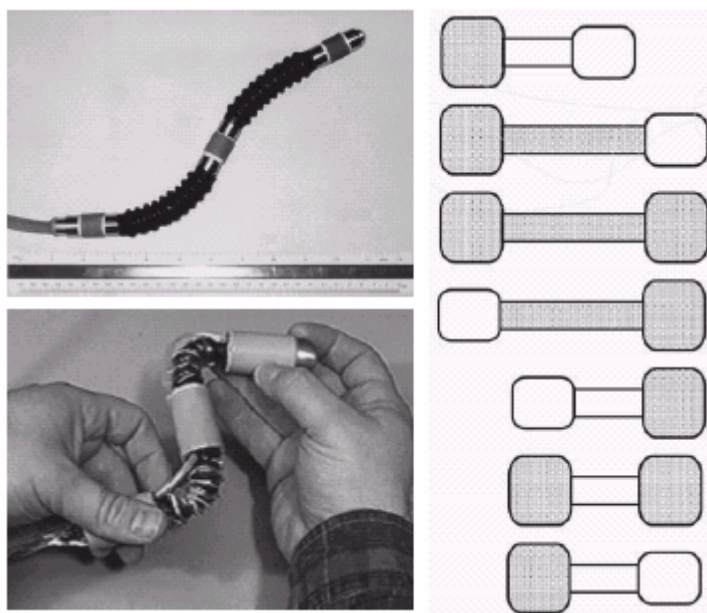
Εικόνα 2.8. Ραδιο-χειρουργικό ρομπότ το οποίο χρησιμοποιεί ένα τροποποιημένο βιομηχανικό ρομπότ σαν πλατφόρμα κίνησης της μεγάλης πηγής ακτινοβολίας που έχει προσαρτηθεί στην άκρη του βραχίονα.

2.2.3 Ρομποτική στην γενική χειρουργική

Πολλές διαδικασίες ελάχιστα επεμβατικής φύσεως παρουσιάζουν κοινά γνωρίσματα στη γενική χειρουργική. Ένα παράδειγμα είναι η ρομποτική ενδοσκόπηση που βρίσκει συνήθως εφαρμογές σε διαδικασίες που αφορούν το κόλον. Ξεπερνώντας τις συμβατικές μεθόδους που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα(εξέταση με άκαμπτους ενδοσκοπικούς σωλήνες) η ρομποτική εισάγει δύο τρόπους προσέγγισης του συγκεκριμένου θέματος.

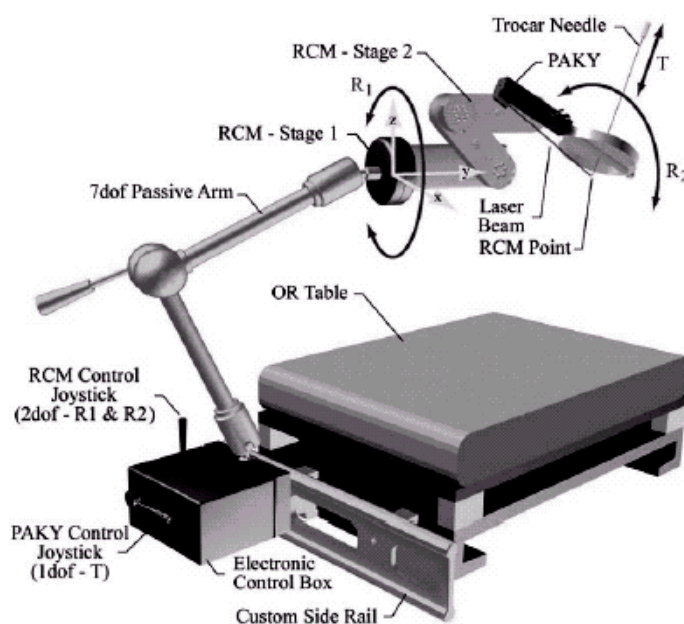
Ο πρώτος τρόπος είναι χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό με πολλές αρθρώσεις ο οποίος συμμορφώνεται στα ελικοειδή και περίπλοκα περάσματα του εντέρου. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί την ενσωμάτωση ενός μεγάλου αριθμού αισθητήρων και μηχανισμών μετάδοσης κίνησης στην ενδοσκοπική δομή του μηχανισμού. Περιορισμοί που αφορούν στο μέγεθος υποδεικνύουν ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν κράμα ενεργοποιητή με ενσωματωμένη μνήμη(shape-memory alloy actuator). Παρόλα αυτά η ρομποτική έρευνα έχει μερικά επιλύσει το συγκεκριμένο πρόβλημα της ανίχνευσης πορείας και των αλγορίθμων ελέγχου για μηχανισμούς με πλεονάζοντες βαθμούς ελευθερίας.

Η άλλη προσέγγιση είναι ένας πολύ μικρός αυτό-καθοδηγούμενος μηχανισμός ο οποίος έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να προσεγγίσει ολόκληρη τη γαστρεντερική περιοχή. Το σύστημα αυτό που αναπτύχθηκε από τους Slatkin και Carrozza κάνει τη χρήση ειδικού μηχανισμού προώθησης(inchworm). Ειδικοί δακτύλιοι στο τέλος του κάθε τμήματος του μηχανισμού διογκώνονται ώστε να συγκρατούνται από το τοίχωμα του εντέρου. Ενεργοποιώντας αυτούς τους μηχανισμούς με τη σωστή σειρά το ρομπότ κινείται προς τα εμπρός ή προς τα πίσω εντός του εντέρου. Το ρομπότ ακολουθεί ένα καλώδιο τροφοδοσίας το οποίο παρέχει ενέργεια και σήματα ελέγχου και επιστρέφει στο εικονα και άλλες πληροφορίες ανίχνευσης του εσωτερικού του ασθενούς. Οι μηχανισμοί μετάδοσης της κίνησης χρησιμοποιούν χαμηλής –πίεσης πνευματική ισχύ ώστε να προσαρμόζονται στην εκάστοτε διάμετρο του εντέρου αποφεύγοντας να εξασκούν τοπικές πιέσεις στο τοίχωμα του. Με αυτή τη μέθοδο λύνεται και το πρόβλημα της ενεργοποίησης των μηχανισμών από ηλεκτρική ενέργεια που θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα στην ασφάλεια του ασθενούς. Ένας τέτοιος μηχανισμός φαίνεται στην εικόνα 2.9.



Εικόνα 2.9. Αυτό -καθοδηγούμενο ρομποτικό ενδοσκόπιο. Στην εικόνα φαίνονται τα ελαστικά τμήματα που μπορούν και να διογκωθούν ώστε να προσαρμόζονται καλύτερα στο έντερο, καθώς και το καλώδιο τροφοδοσίας και μετάδοσης σήματος. Τα μέρη που διογκώνονται σε κάθε βήμα φαίνονται σκιασμένα στο δεξιό σχήμα.

Ένας άλλος τύπος ρομποτικού συστήματος είναι σχεδιασμένος για διαδικασίες που αφορούν στη συρραφή του δέρματος. Παραδείγματα τέτοιων διαδικασιών, οι οποίες είναι υπό ανάπτυξη συμπεριλαμβάνουν διαδικασίες αποστράγγισης των υγρών από την περικαρδική κοιλότητα καθώς και του νεφρού και στη συνέχεια με τη χρήση ακτινοβολίας θεραπεύουν τον καρκίνο. Η καθοδήγηση της εικόνας με μεθόδους απεικόνισης δύο διαστάσεων (υπέρηχοι ,ακτίνες -X ,σκιοσκόπιο) δεν επιτρέπει την εύκολη προσέγγιση των ιστών –στόχων καθώς ο χειρουργός μπορεί εύκολα να βλάψει γειτονικά όργανα ζωτικής σημασίας. Καινούργιες μέθοδοι απεικόνισης κάνουν χρήση μηχανικών βραχιόνων και πολλαπλών τύπων σκιοσκοπιών ,αποβλέποντας στην αναπαράσταση της βελόνας σε τρεις διαστάσεις (εικόνα 2.10).Μια διαφορετική προσέγγιση κάνει χρήση οπτικών ανιχνευτών σε μια κεφαλή εκπομπής υπερήχων και έτσι με τη χρήση υπολογιστή μπορεί να ανασκευαστεί η τρισδιάστατη ανατομική δομή. Ένας οπτικός ανιχνευτής στο σύστημα συγκράτησης της βελόνας καθοδηγεί το χειρουργό στη σωστή τοποθέτηση της βελόνας στον στόχο.



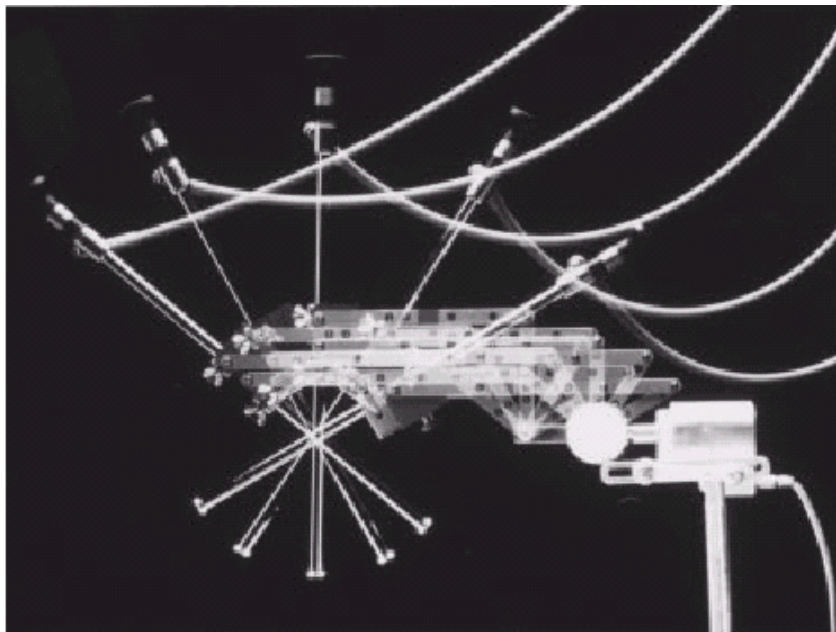
Εικόνα 2.10. Ρομπότ για ράψιμο και διάτρηση του δέρματος. Οι κατώτερες αρθρώσεις τοποθετούνται και κλειδώνονται χειροκίνητα ,ενώ οι ανώτερες κινούνται από μοτέρ .Ο τοποθετητής της βελόνας στην άκρη διακρίνεται από τις ακτίνες-X επιτρέποντας τη ραδιογραφική(ακτινογραφική) καθοδήγηση.

2.2.4 Ρομποτικοί βραχίονες στην λαπαροενδοσκοπική χειρουργική

Αρχικά προτάθηκε η χρήση μηχανικών βραχιόνων για την εξασφάλιση της επιθυμητής ποιότητας στη ενδοσκοπική εικόνα. Τέτοιοι βραχίονες προσαρμόζονται στη ράγα του χειρουργικού τραπεζιού και έχουν χώρο κίνησης γύρω από το κέντρο του χειρουργικού πεδίου. Αποτελούνται συνήθως από μια σειρά αρθρώσεων. Ο βραχίονας TISKA εντάσσεται σε αυτού του τύπου τους βραχίονες. Αποτελείται από αρθρώσεις που κλειδώνουν με τη χρήση αερίου. Οι αρθρώσεις του διατηρούνται άκαμπτες(κρατώντας το ενδοσκόπιο σταθερό) και ελευθερώνονται με το πάτημα ενός ποδοδιακόπτη. Κάθε φορά δηλαδή που ο χειρουργός θέλει να αλλάξει το οπτικό πεδίο απελευθερώνει τις αρθρώσεις και τοποθετεί το βραχίονα στη επιθυμητή θέση όπου συγκρατείται σταθερός μέχρι την επόμενη μεταβολή. Η όλη όμως διαδικασία παρότι εξαλείφει το πρόβλημα του ανθρώπου-χειριστή της κάμερας, επιμηκύνει σημαντικά τη διάρκεια της εγχείρισης καταλήγοντας να είναι χρονοβόρα δεδομένου ότι στην απλή περίπτωση μιας λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής απαιτούνται γύρω στις πενήντα(50) εναλλαγές του οπτικού πεδίου. Ο ρομποτικός βραχίονας TISKA φαίνεται στις εικόνες 2.11 και 2.12.



Εικόνα 2.11.Οπαθητικός βραχίονας TISKA.Οι αρθρώσεις του κλείδωναν με τη χρήση αερίου. Με το πάτημα ενός κουμπιού χαλάρωναν ταυτόχρονα.



Εικόνα 2.12.Οπαθητικός βραχίονας TISKA.όπου στην εικόνα φαίνονται συνεχόμενες φωτογραφίες των θέσεων που μπορεί να τοποθετηθεί.

Η λογική και φυσική εξέλιξη που ακολούθησε ήταν η εισαγωγή ρομποτικών βραχιόνων ελεγχόμενων από ειδικό ενσωματωμένο υπολογιστή (controller) και ο οποίος έδινε τη δυνατότητα στο χειρουργό για πλήρη χειρισμό του βραχίονα που κρατούσε το λαπαροσκόπιο. Τα συστήματα που γνώρισαν τη μεγαλύτερη εφαρμογή είναι το AESOPTM(Computer Motion, Goleta ,CA,USA) ,το σύστημα ENDOASSIST(Armstrong Healthcare ,UK) και το σύστημα FIPS ENDOARM(KARL STORZ Endoscope GmbH,Tottingen). Τα παραπάνω συστήματα είτε προσαρμόζονται στη ράγα του χειρουργικού τραπεζιού είτε είναι τοποθετημένα σε ειδική κινητή βάση(cart).

Το AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning, Computer Motion Inc) χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση και το χειρισμό το λαπαροσκοπίου. Το ρομποτικό σύστημα AESOP και οι εφαρμογές του αποτέλεσαν το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας και θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι το ρομπότ AESOP 1000 ήταν το πρώτο ρομποτικό σύστημα που εγκρίθηκε από την FDA(Food and Drug Administration) των Η.Π.Α προκειμένου να επιτραπεί η χρήση του σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις σε ανθρώπους, ώστε να διευκολύνεται ο χειρισμός του λαπαροσκοπίου. Ακολούθησαν τα ρομπότ AESOP 2000 το οποίο διαθέτει φωνητική αναγνώριση για το χειρισμό της κάμερας που φέρει το λαπαροσκόπιο και το AESOP 3000 με 7 βαθμούς ελευθερίας(DOF's) για καλύτερη τοποθέτηση του λαπαροσκοπίου. Το ρομποτικό σύστημα AESOP φαίνεται στην εικόνα 2.13.



Εικόνα 2.13.Ο ρομποτικός βραχίονας AESOP τοποθετημένος στο χειρουργικό κρεβάτι. Πίσω διακρίνεται το monitor από όπου ο χειρουργός παρατηρεί την ενδοσκοπική εικόνα.

Το σύστημα ENDOASSIST συγκρατεί τη λαπαροσκοπική κάμερα και κινείται με ειδικό σύστημα ανίχνευσης της κίνησης που ακολουθείται από τις κινήσεις του κεφαλιού του χειρουργού. Ο χειρουργός φέρει στο κεφάλι του ειδικό σύστημα-κορδέλα(headband) που μεταφράζει τις κινήσεις του σε κινήσεις του ρομποτικού βραχίονα. Το σύστημα κινείται μόνο αφού έχει ενεργοποιηθεί ειδικός ποδοδιακόπτης ο οποίος απελευθερώνει και τις αρθρώσεις. Κατά τη διάρκεια της εγχείρισης ο χειρουργός έχει προσηλωμένο το βλέμμα του στο monitor.Μια ελαφριά στροφή του κεφαλιού του προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη στροφή της λαπαροσκοπικής κάμερας άρα και του εσωτερικού οπτικού πεδίου, προς την αντίστοιχη κατεύθυνση. Αντίστοιχα απλές κινήσεις του κεφαλιού προκαλούν την κίνηση της κάμερας πάνω-κάτω αλλά και μέσα-έξω(zoom in ,zoom out).Ο βραχίονας που συγκρατεί την κάμερα είναι αποσπώμενος και μπορεί να αποστειρωθεί εύκολα

,χωρίς να είναι αναγκαία ειδικά καλύμματα προστασίας. Ο κλασικός τρόπος κίνησης του βραχίονα είναι μέσω ειδικού υπέρυθρου αισθητήρα που είναι συνδεδεμένος με τη κορδέλα που φοράει ο χειρουργός στο κεφάλι του. Εναλλακτικά το ENDOASSIST μπορεί να κινηθεί με joystick ή μέσω σύνδεσης RS-232.Σημαντικό στοιχείο του συστήματος αποτελεί και ένας αισθητήρας δύναμης που διαθέτει, σαν επιπρόσθετο χαρακτηριστικό ασφάλειας, ο οποίος απενεργοποιεί το σύστημα σε περίπτωση που κατά την κίνηση του λαπαροσκοπίου συναντηθεί υπερβολική αντίσταση. Το ρομποτικό αυτό σύστημα εξασφαλίζει τη συνεχή προσοχή του χειρουργού στο monitor(εικόνες 2.14 και 2.15).



Εικόνα 2.14.Ο ρομποτικός βραχίονας ENDOASSIST

Εικόνα 2.15.Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται το σύστημα αντίχενωσης κίνησης που προσαρμόζεται στο κεφάλι του χειρουργού και το οποίο καθοδηγεί το λαπαροσκόπιο που συγκρατεί ο ρομποτικός βραχίονας.



Το ρομποτικό σύστημα ENDOARM χρησιμοποιείται επίσης για το χειρισμό της λαπαροσκοπικής κάμερας. Κατευθύνεται με ειδικό δακτύλιο(ring joystick) που τοποθετείται στο δείκτη του χεριού του χειρουργού. Το ρομποτικό σύστημα ENDOARM φαίνεται στην εικόνα 2.16.



Εικόνα 2.16.Ο ρομποτικός βραχίονας FIPS ENDOARM.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε την τάση για αποδέσμευση του ελέγχου της λαπαροσκοπικής κάμερας από οποιοδήποτε άλλο άτομο πέραν του χειρουργού ο οποίος έχει και το πλήρη χειρισμό του εκάστοτε ρομποτικού βραχίονα.

2.2.5 Ολοκληρωμένα συστήματα στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική

Η ανάπτυξη ρομποτικών βραχιόνων με δυνατότητα χειρισμού και κίνησης συνεχίστηκε και πέρα από το χειρισμό του ενδοσκοπίου. Η εισαγωγή ολοκληρωμένων ρομποτικών συστημάτων με δυνατότητα χειρισμού εργαλείων και μεταφοράς του ψηφιακού σήματος της ενδοσκοπικής εικόνας σε απομακρυσμένες περιοχές(πέρα από τα όρια του χειρουργείου) άνοιξε το δρόμο για απομακρυσμένη αλληλεπίδραση μεταξύ του χειρουργού και του ασθενή. Μια πρώτη απόπειρα έγινε στο Tubingen και τη Καρλσρούη της Γερμανίας με το ρομποτικό master-slave σύστημα ARTEMIS. Ο χειρουργός κινούσε ειδικά εργαλεία μέσω μιας κονσόλας που μετέφραζε τις κινήσεις των χεριών του σε κίνηση στο άκρο των λαπαροσκοπικών εργαλείων. Το ρομποτικό σύστημα ARTEMIS φαίνεται παρακάτω(εικόνα 2.17).



Εικόνα 2.17. Το ρομποτικό σύστημα ARTEMIS. Διακρίνεται η κονσόλα (master) και οι βραχίονες στο βάθος (slave).

Στις μέρες μας είναι διαθέσιμα δύο παρόμοια ρομποτικά συστήματα το DaVinci(Intuitive Surgical) και το Zeus(Computer Motion). Πρόκειται για ρομποτικά συστήματα που αποτελούνται από βραχίονες που χειρίζονται το ενδοσκόπιο ,τα χειρουργικά εργαλεία και το βραχίονα ακινητοποίησης της καρδιάς(Ο πρώτος καρδιακός σταθεροποιητής ήταν ο Octopus και παρείχε τη δυνατότητα εκτέλεσης αορτοστεφανιαίας παράκαμψης(bypass) χωρίς την ανάγκη παύσης της καρδιάς). Πιο συγκεκριμένα το ρομποτικό σύστημα Zeus αποτελείται από τρεις ρομποτικούς βραχίονες, δύο για το χειρισμό λαπαροσκοπικών εργαλείων(7- DOF's) και ένα για το χειρισμό του λαπαροσκοπίου(AESOP, 7 -DOF's). Ο χειρισμός των 2 βραχιόνων γίνεται μέσω ειδικής κονσόλας που μεταφράζει τις κινήσεις του γιατρού σε κίνηση στην άκρη του λαπαροσκοπικού εργαλείου με κλίμακα 1/10 εξαλείφοντας παράλληλα το φυσικό τρεμούλιασμα των χεριών δίνοντας ταυτόχρονα την αίσθηση των κινήσεων του άκρου. Δηλαδή η κίνηση των χεριών του χειρουργού δεν μεταφέρεται απλώς στα χειρουργικά εργαλεία αλλά φιλτράρεται και επεξεργάζεται από το ρομποτικό σύστημα. Ο χειρουργός παρατηρεί το ενδοσκοπικό πεδίο μέσω ειδικού monitor που βρίσκεται πάνω στην κονσόλα. Ο τρίτος βραχίονας ελέγχεται φωνητικά(voice control). Το ρομπότ DaVinci (Intuitive Surgical, Inc) είναι ένα παρόμοιο με το Zeus ρομποτικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται σε εγχειρίσεις καρδιάς(CABG, διαδικασίες επιδιόρθωσης και αντικατάστασης της βαλβίδας της καρδιάς). Τα ρομποτικά συστήματα Zeus και DaVinci(εικόνες 2.18 και 2.19 αντίστοιχα καθώς και Παράρτημα Α) αποτελούν πρόδρομο μιας σειράς ολοκληρωμένων χειρουργικών συστημάτων που αναμένεται να εισαχθούν τα επόμενα χρόνια στις χειρουργικές

διαδικασίες και να αλλάξουν θεμελιωδώς τη χειρουργική πρακτική αλλά και τη χειρουργική εκπαίδευση.

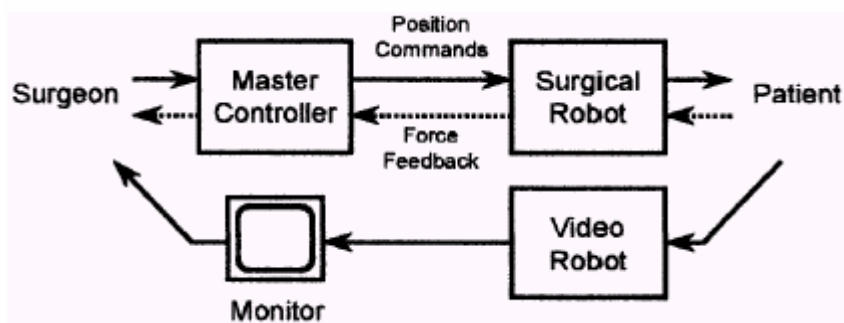


Εικόνα 2.18. Το ρομποτικό σύστημα *Zeus* της Computer Motion. Διακρίνεται και πάλι το σύστημα master-slave



Εικόνα 2.19. Το ρομποτικό σύστημα Da Vinci. Ο χειρουργός καθοδηγεί τους βραχίονες μέσα από ειδική κονσόλα όπως και στο Zeus. Η κονσόλα προσφέρει αίσθηση της αφής και της δύναμης (tactile feedback).

Παρακάτω ακολουθεί ένα σχήμα της ροής της πληροφορίας για ένα master-slave σύστημα ανθρώπου-ρομπότ καθώς και ένας συνοπτικός πίνακας με τα πιο διαδεδομένα ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας.



Σχήμα 2.1: Ροή της πληροφορίας στο σύστημα master-slave ανθρώπου-ρομπότ.

Ρομπότ	Κατάταξη	Χρήση	Περαιτέρω πληροφορία
Zeus	Master-slave telemanipulator	General, cardiothoracic, and gynaecological surgery	www.computermotion.com
DaVinci	Master-slave telemanipulator	General, cardiothoracic, and gynaecological surgery	www.intuitivesurgical.com
Inch-worm	Active autonomous	Colonoscopy	www.ntu.edu.sg/home/mrcas95/groups/crobot/locomoti.html
Probot	Active surgical	Resection of benign prostatic hyperplasia	www.me.ic.ac.uk/case/mim/projects/probot/
Robodoc	Active surgical	Prosthetic hip implantation	www.robodoc.com
CASPAR	Active surgical	Prosthetic knee implantation	www.ortomaquet.de/
Acrobot	Semi-active surgical (synergistic)	Prosthetic knee implantation	www.me.ic.ac.uk/case/mim/projects/
Minerva	Active surgical	Stereotactic neurosurgery	dmtwww.epfl.ch/
AESOP	Active camera	Minimal access surgery camera manipulation (voice controlled)	www.computermotion.com
FIPS ENDOARM	Active camera	Minimal access surgery camera manipulation (finger ring joystick controlled)	http://link.springer.de/link/service/journals/00464/bibs/0014004/00395.html
ENDOASSIST	Active camera	MAS camera manipulation (synchronised to surgeon's head movements)	www.armstrong-healthcare.com

2.3 Εφαρμογές της ρομποτικής στην Τηλεχειρουργική

Η έννοια της τηλεχειρουργικής σαν όρος παραπέμπει στην απομακρυσμένη χειρουργική επέμβαση ενός ασθενή από ένα χειρουργό με τη βοήθεια ενός κλειστού κυκλώματος που έχει δημιουργηθεί ανάμεσά τους. Σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο τηλεχειρουργικής ο χειρουργός βρίσκεται σε ειδική κονσόλα(η οποία προσομοιώνει το interface με τον ασθενή) και μέσω της οποίας προσλαμβάνει αισθητηριακή πληροφορία(εικόνα ,ήχος, αίσθηση της αφής),με τέτοιο τρόπο σαν να ήταν πραγματικά στη χειρουργική αίθουσα και δίπλα στον ασθενή. Μεταξύ χειρουργού και ασθενή μεσολαβούν μερικά μέτρα ή χιλιάδες χιλιόμετρα ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου. Ρομποτικοί βραχίονες είναι τότε εγκατεστημένοι κοντά στο χειρουργικό τραπέζι και δίπλα στον ασθενή και οι οποίοι μεταφράζουν τις κινήσεις και τις εντολές του χειρουργού σε κινήσεις των άκρων τους(π.χ. κίνηση κάποιου εργαλείου συγκράτησης που φέρει ένας βραχίονας, μετατόπιση του οπτικού πεδίου με κίνηση του λαπαροσκοπίου κ.λ.π.).Το κύριο πλεονέκτημα που παρέχουν οι ρομποτικοί βραχίονες είναι αφενός μεν η δυνατότητα τηλεχειρουργικής παρέμβασης σε περιοχές που είναι αντικειμενικά δυσπρόσιτες (όπως στο μέτωπο μιας πολεμικής επιχείρησης ,στο διάστημα, σε απομακρυσμένα νησιά, στον τόπο μιας φυσικής καταστροφής) και αφετέρου σε ανατομικές περιοχές δύσκολά προσπελάσιμες στο ανθρώπινο χέρι(όπως είναι η βάση του εγκεφάλου).

Ουσιαστικά η εφαρμογή της τηλεχειρουργικής ξεκινά ταυτόχρονα με την εφαρμογή της λαπαροσκοπικής χειρουργικής. Η τελευταία είναι κατά βάση τηλεχειρουργική παρέμβαση καθώς για πρώτη φορά ο χειρουργός αρχίζει να χρησιμοποιεί ισοδύναμα πληροφορίας(όπως η οθόνη του monitor) αντί για απευθείας όραση με το μάτι, αλλά και χειρουργικά εργαλεία την άκρη των οποίων βλέπει και πάλι από το monitor.Κατά τη λαπαροσκοπική χειρουργική η φυσική αίσθηση της αφής και η στερεοτακτική όραση εξαλείφονται.

Ρομποτικά συστήματα όπως το Zeus και το DaVinci επιτρέπουν την χειρουργική παρέμβαση από απόσταση, ωστόσο δεν εντάσσονται ουσιαστικά στην κατηγορία της Τηλεχειρουργικής καθώς ο χειρουργός βρίσκεται στην ίδια αίθουσα με τον ασθενή και σε περίπτωση βλάβης του συστήματος μπορεί εύκολα να ανακτήσει τον πλήρη έλεγχο, απομακρύνοντας εύκολα το εκάστοτε ρομποτικό σύστημα.

Είναι σημαντικό να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι σε εφαρμογές τηλεχειρουργικής σημαντικό παράγοντα αποτελεί ο χρόνος διάδοσης του σήματος. Ο χρόνος αυτός θα πρέπει να είναι πολύ μικρός ώστε να δίνεται η εντύπωση της επέμβασης σε “πραγματικό χρόνο”. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται ως “πραγματικό χρόνο” καθυστέρηση διάδοσης σήματος με μέγιστη τιμή τα 10msec. Μετά από πειράματα που έχει πραγματοποιήσει η NASA βγήκε το συμπέρασμα ότι υπάρχει η δυνατότητα χειρισμού εργαλείων σε απομακρυσμένη απόσταση με καθυστέρηση 100msec. Αυτή όμως η καθυστέρηση του σήματος δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνά το όριο των 200msec όπου τα πράγματα αρχίζουν και γίνονται επικίνδυνα. Αν ορίσουμε ως X το χρόνο διάδοσης του σήματος, όπου $X \leq 200\text{msec}$ παίρνουμε 350km ενσύρματου δικτύου και 50 km ασύρματου δικτύου. Αν και έχουν προταθεί πολλές λύσεις για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων (όπως η τεχνητή καθυστέρηση της κίνησης ώστε να συμβαδίζει με τη λήψη της) δεν έχει πραγματοποιηθεί ουσιαστικά τηλεχειρουργική επέμβαση (παρά μόνο σε πειραματικό στάδιο). Αντίθετα έχουν πραγματοποιηθεί επεμβάσεις από απόσταση κατά τις οποίες ένας έμπειρος χειρουργός εποπτεύει και καθοδηγεί ένα χειρουργό που βρίσκεται στην ίδια χειρουργική αίθουσα με τον ασθενή (teleconsultation, teleproctoring). Τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στη χειρουργική μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

Χειρουργική Τηλεσύσκεψη (Surgical Teleconsulting)

Πρόκειται για χειρουργική σύσκεψη από απόσταση που κάνει χρήση τεχνικών που χρησιμοποιούνται σε videoconference. Εικόνα από το εσωτερικό του ασθενή μεταδίδεται συνεχώς σε έμπειρο χειρουργό που βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή προκειμένου να συζητηθούν η δυσκολίες της εγχείρισης και να έλθει εις πέρας η τελευταία. Η αμφίπλευρη γραμμή επικοινωνίας ανάμεσα στους δύο “τερματικούς κόμβους” εξασφαλίζεται με τη χρήση δικτύου ISDN (Integrated Services Digital Network).

Χειρουργική Τηλεβοήθεια

Σε αυτή την περίπτωση παρέχεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου κάποιου χειρουργικού εργαλείου ή του λαπαροσκοπίου στον έμπειρο χειρουργό. Αυτή η διαδικασία απαιτεί τον συνδυασμό των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με τα

ρομποτικά συστήματα. Έτσι απλά ρομποτικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τοποθέτηση του λαπαροσκοπίου. Τα δεδομένα ελέγχου του ρομπότ μεταδίδονται και προς τις δύο κατευθύνσεις με τη χρήση γραμμών ISDN ή B-ISDN(Broadband ISDN) μαζί με τα δεδομένα εικόνας και ήχου.

Χειρουργική Τηλεκαθοδήγηση

Αυτή η διαδικασία χαρακτηρίζεται από τη φυσική απουσία του χειρουργού από το χειρουργείο. Χρησιμοποιείται σε ολόκληρη την εγχείριση ή σε μέρος αυτής. Η διαδικασία κάνει χρήση σύνθετων ρομποτικών συστημάτων που χρησιμοποιούν τη διάταξη master-slave. Η μονάδα master αντιπροσωπεύεται από μια χειρουργική κονσόλα που παίζει το ρόλο του χειρουργού (και την οποία κατευθύνει ο ίδιος) και η μονάδα slave είναι υπεύθυνη για τη μετάφραση των εντολών του χειρουργού σε πραγματικές χειρουργικές πράξεις. Η επικοινωνία και η μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των δύο μονάδων πραγματοποιείται στα πλαίσια τοπικού δικτύου(LAN) ή σε ασύγχρονο δίκτυο(ATM). Η χειρουργική καθοδήγηση μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές χειρουργικές διαδικασίες οι οποίες μπορεί να πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα μόνο κέντρα σε όλο τον κόσμο. Έτσι ο ασθενής δεν είναι αναγκασμένος να μεταβεί από το μέρος που βρίσκεται στο απομακρυσμένο κέντρο προκειμένου να τυγχάνει της αντίστοιχης χειρουργικής διαδικασίας.

Με τη βοήθεια ρομποτικών βραχιόνων πραγματοποιήθηκε το 1999 στη Σιγκαπούρη σε σύνδεση με το Νοσοκομείο John Hopkins, η πρώτη χειρουργικά τηλεκαθοδηγούμενη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή. Αυτή τη διαδικασία ακολούθησαν πολυάριθμες ακόμα μεταξύ Βαλτιμόρης των Η.Π.Α. και Ρώμης, Βαλτιμόρης και Χονολουλού, Χαβάη και Μάαστριχ. Σε αυτές τις διαδικασίες συμπεριλαμβάνονταν λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές, χολοκυστεκτομές και άλλα είδη λαπαροσκοπικών διαδικασιών.

2.4 Εκπαίδευση και προσομοίωση των λαπαροσκοπικών διαδικασιών

Τα ρομπότ βρίσκουν επίσης εφαρμογές στην χειρουργική εκπαίδευση και στην προσομοίωση, όπου παρέχουν ανάδραση της δύναμης με τη βοήθεια υπολογιστικών συστημάτων. Σε αυτά τα συστήματα οι χρήστες χειρίζονται τις λαβές των χειρουργικών εργαλείων οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ειδικά προσαρμοσμένους

ρομποτικούς χειριστές (εικόνα 2.20). Ένας υπολογιστής τότε μετατρέπει τις δυνάμεις που “αισθάνεται” από το χρήστη και τις μετατρέπει σε εντολές κίνησης του ρομπότ ώστε να παραχθούν αντίστοιχες δυνάμεις μεταξύ ιστού και εργαλείου όπως θα συνέβαινε στην πραγματικότητα. Ο υπολογιστής δημιουργεί επίσης εικόνες που προσομοιώνουν το χειρουργικό πεδίο. Αυτά τα συστήματα είναι παρόμοια με τα τηλεχειρουργικά συστήματα όπου ο χρήστης χειρουργεί μέσω του χειριστηρίου master, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ο υπολογιστής αντικαθιστά το πραγματικό χειρουργικό ρομπότ και τον ασθενή. Τέτοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί για πληθώρα ιατρικών διαδικασιών που ανάμεσα στις άλλες είναι και η λαπαροσκοπική χειρουργική.

Αυτά τα εικονικά περιβάλλοντα έχουν ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων και δυνατοτήτων. Επειδή αυτά τα συστήματα καταμετρούν όλες τις παραμέτρους (όπως το χρόνο της “εγχείρισης” ή την άσκηση δυνάμεων πάνω σε κάποιο ιστό), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων και τον επιδόσεων κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας προσομοίωσης. Αυτό θα οδηγήσει στην ανάλυση της τεχνικής, στην αξιολόγηση του επιπέδου ικανοτήτων των υποψήφιων χειρουργών. Επίσης το περιβάλλον αυτό είναι μια αφορμή για την έρευνα και την ανάπτυξη καινούργιων χειρουργικών τεχνικών. Φορτώνοντας προεγχειρητικά δεδομένα (της κατάστασης του υποτιθέμενου ασθενή) στον υπολογιστή μπορεί να επαναλαμβάνεται συνεχώς η χειρουργική διαδικασία.



Εικόνα.2.20. Χειρουργική εκπαίδευση μέσω συστήματος προσομοίωσης για μια διαδικασία αναστόμωσης. (Αριστερή εικόνα) Χρησιμοποιώντας ειδική λαβίδα συγκράτησης της βελόνας και απλή λαβίδα συγκράτησης ο χρήστης μπορεί να συγκρατήσει, να αποσπάσει, να ράψει ελαστικά αγγεία. Οι λαβίδες που χειρίζεται ο χρήστης είναι τοποθετημένες σε ειδικές συσκευές δύναμης-ανάδρασης. (εικόνα πάνω δεξιά) Μια καθρεπτική διάταξη τοποθετεί από πάνω το τρισδιάστατο αντικείμενο του χειρουργικού πεδίου στη σωστή σχετική θέση ως προς τα χέρια του χειρουργού. (εικόνα κάτω δεξιά) Μηχανικά μοντέλα δημιουργούν δυνάμεις και αντικείμενα που μεταβάλλονται ρεαλιστικά και αποκρίνονται σε οποιοδήποτε άγγιγμα.

Κεφάλαιο 3

Ο ρομποτικός βραχίονας AESOP

3.1 Παθητικοί-ενεργοί τοποθετητές εργαλείων–Λαπαροσκοπική θέση-Ρομποτικός βραχίονας AESOP

Στη λαπαροσκοπική χειρουργική οι απαιτούμενες αντίστροφες κινήσεις του χεριού του χειρουργού(που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 1) όπως και η περιορισμένη αίσθηση της δύναμης εξαιτίας του απομακρυσμένου χειρουργικού πεδίου, σε συνδυασμό με την κουραστική όρθια στάση που διατηρεί ο χειρουργός κατά την διάρκεια της εγχείρισης, μειώνουν δραματικά τις ικανότητες και την ακρίβεια των κινήσεών του σε σχέση με την ανοικτή χειρουργική.

Αυτό έχει αποτελέσει ένα ισχυρό κίνητρο για ένα μεγάλο αριθμό ερευνητικών ομάδων ,όπως επίσης και βιομηχανικών εταιριών ([Andronic,Canada],[Computer Motion Inc.,USA],[Armstrong Projects Ltd.,UK],[Intuitive Surgical]),ώστε να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν διαφορετικούς τύπους εξωτερικών μηχανισμών που θα λειτουργούν βοηθητικά σε τέτοιου είδους εγχειρήσεις. Αυτές οι προσπάθειες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες:

Τ) Παθητικοί τοποθετητές εργαλείων(passive tool positioners):Πρόκειται για μηχανικούς σχεδιασμούς που αποτελούνται από βραχίονες οι οποίοι συνθέτονται από πολλούς σειριακούς συνδέσμους και οι οποίοι κινούνται χειροκίνητα από τους χειρουργούς. Οι πρισματικές ή περιστροφικές αρθρώσεις που υπάρχουν ανάμεσα στους συνδέσμους μπορούν να κλειδώνονται ανεξάρτητα(π.χ. από χειροκίνητες κλειδαριές), ή ταυτόχρονα(π.χ. πνευματικές ή υδραυλικές κλειδαριές).Η κύρια λειτουργία ενός τέτοιου τύπου βραχίονα είναι απλά να συγκρατεί τα χειρουργικά εργαλεία σε μια επιθυμητή θέση ή να χρησιμοποιείται κατά την εξαγωγή ιστών ή εσωτερικών οργάνων. Παρόλα αυτά η μοναδική εφαρμογή που τυγχάνουν τέτοιου είδους τοποθετητές περιορίζεται σε σταθερά εργαλεία (όπως είναι όργανα συγκράτησης των οργάνων του ανθρωπίνου σώματος(συλληπτικές λαβίδες, retractors) καθώς επίσης και το λαπαροσκόπιο),παρά σε κινούμενα εργαλεία(π.χ. σε

αρπάγη, σε ψαλίδι σε οδηγό ραψίματος) τα οποία κινούνται συνεχώς κατά τη διάρκεια μιας εγχείρισης και σταθεροποιούνται σε μια θέση μόνο όταν χρειάζεται.

II) Ενεργοί τοποθετητές εργαλείων (active tool positioners): Σε αυτόν τον τύπο, η ελεγχόμενη κίνηση του βραχίονα παρέχει πολλές ιδιαιτερότητες όπως την αυτόματη επανατοποθέτηση του εργαλείου σε προηγούμενες αποθηκευμένες θέσεις (π.χ. για την αλλαγή της γωνίας του λαπαροσκοπίου σε ένα προηγούμενα αποθηκευμένο προσανατολισμό. Έτσι λειτουργεί το AESOP) ή τον έλεγχο του λαπαροσκοπικού πεδίου με απλές κινήσεις του κεφαλιού του χειρουργού (π.χ. ο ρομποτικός βραχίονας EndoSista της Armstrong Projects). Παρόλα αυτά και οι ενεργοί τοποθετητές χρησιμοποιούνται σε περιορισμένες εφαρμογές όπως για παράδειγμα τη συγκράτηση και το χειρισμό του λαπαροσκοπίου.

Είναι αναγκαίο όμως σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι δύο τύποι τοποθετητών των εργαλείων που περιγράφηκαν παραπάνω έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες εφαρμογές (όπως για τη σταθερή συγκράτηση των λαπαροσκοπικών εργαλείων ή την αυτόματη επανατοποθέτηση του ενδοσκοπίου) και δεν καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις μιας λαπαροσκοπικής διαδικασίας. Στην παρούσα όμως εργασία καθώς θα μελετήσουμε μια συγκεκριμένη εφαρμογή του ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000 θα περιοριστούμε στο χώρο των αυτόματων ή αλλιώς ενεργών τοποθετητών.

Κινηματική σύνθεση

Ένας ρομποτικός βραχίονας όπως, είναι το AESOP, αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

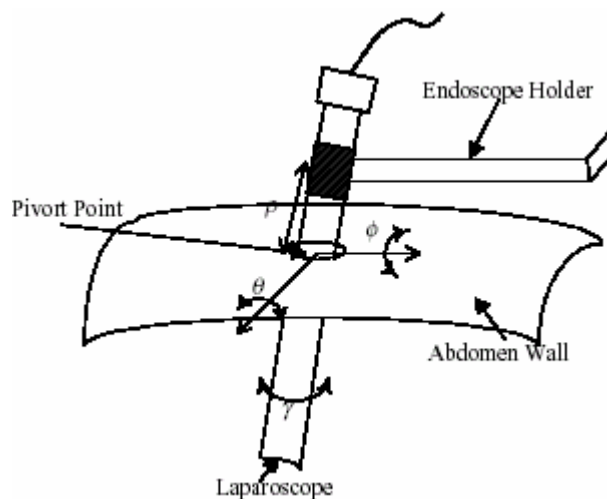
A) Τον καρπό(wrist) ,ο οποίος συγκρατεί το τελικό στοιχείο δράσης(end-effector) ,δηλαδή το λαπαροσκοπικό εργαλείο(που στην περίπτωση μας είναι το ενδοσκόπιο) και το μετακινεί μέσα από το σημείο της τομής, γύρω από το χειρουργικό πεδίο.

B) Τον τοποθετητή(positioner) ο οποίος μετακινεί το άκρο που συγκρατεί το εργαλείο πάνω από το σημείο της τομής.

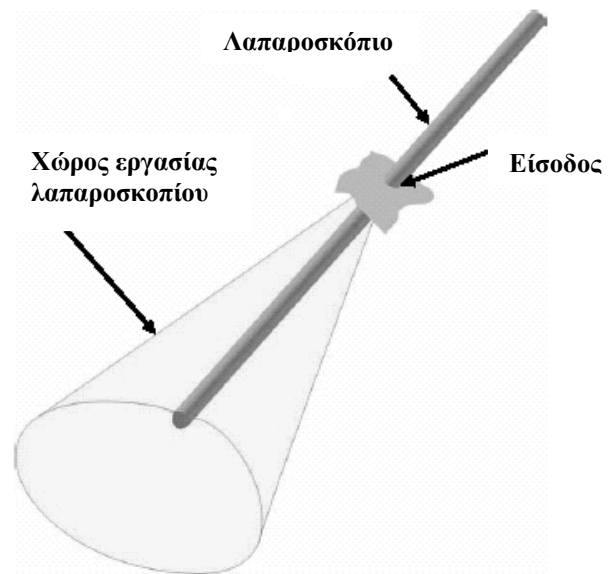
Η τοποθέτηση του βραχίονα πραγματοποιείται χειρωνακτικά πριν από την έναρξη της χειρουργικής διαδικασίας και μετά που θα γίνουν οι τομές στο σώμα του ασθενή. Ο προσανατολισμός όμως του καρπού ,σε συμφωνία πάντα με το λαπαροσκόπιο, πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της εγχείρισης. Αυτά τα δύο έργα είναι διαφορετικά ως προς τον τύπο της κίνησης και για αυτό το λόγο ο προσανατολισμός του άκρου θα πρέπει να επιτυγχάνεται μέσα από τις κινήσεις των αρθρώσεων του καρπού και η φάση της τοποθέτησης θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσα από τις κινήσεις των αρθρώσεων του βραχίονα. Για να επιτευχθεί όμως κάτι τέτοιο θα πρέπει οι μηχανισμοί τοποθέτησης του βραχίονα και οι μηχανισμοί προσανατολισμού και χειρισμού του άκρου, να είναι “ξεχωριστοί”. Αυτό πολύ απλά σημαίνει ότι κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος σχεδιάζεται και μελετάται ξεχωριστά ο καρπός όπως και ο βραχίονας/ τοποθετητής του(καθώς πρέπει να αντιμετωπιστούν διαφορετικοί περιορισμοί, για τους δύο μηχανισμούς) και στη συνέχεια συνενώνονται σε ένα ενιαίο κινηματικό σύστημα. Στις επόμενες παραγράφους μελετάμε ξεχωριστά τη σύνθεση του καρπού καθώς και του βραχίονα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια λαπαροσκοπική διαδικασία, συγκρίνοντάς τις ταυτόχρονα με αυτές του AESOP.

Σύνθεση του καρπού

Στη λαπαροσκοπική χειρουργική , το κοιλιακό τοίχωμα λειτουργεί ως κινηματικός περιορισμός και παρέχει ένα σημείο περιστροφής των λαπαροσκοπικών εργαλείων. Σε αυτό, τα σημεία τομής πραγματοποιούνται για να στηρίζονται οι πύλες εισόδου(trocars) μέσα από τις οποίες ο χειρουργός κινεί τα εργαλεία σε ένα κωνικό χώρο εργασίας ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 3.2 και με τους ακόλουθους βαθμούς τέσσερις βαθμούς ελευθερίας(σχήμα 3.1):



Σχήμα 3.1 Οι 4 βαθμοί ελευθερίας που διατηρούνται στο σημείο της τομής



Σχήμα 3.2 Ο κωνικός χώρος εργασίας του λαπαροσκοπίου

α) Δύο γωνιακοί-περιστροφικοί βαθμοί ελευθερίας (DOF) διατηρούνται στο σημείο της τομής και με εύρος κίνησης $\pm 70^\circ$ από τον κάθετο άξονα που διέρχεται από το σημείο της τομής. Αυτοί φαίνονται στο σχήμα όπου οι γωνίες σημειώνονται με ϕ (pitch) και θ (yaw).

β) Ένας περιστροφικός βαθμός ελευθερίας (DOF) γύρω από τον άξονα του εργαλείου με εύρος $\pm 180^\circ$. Στο σχήμα η αντίστοιχη γωνία περιστροφής σημειώνεται με γ (roll).

γ) Ένας γραμμικός βαθμός ελευθερίας μέσα και έξω από την κοιλιακή κοιλότητα.

Στην περίπτωση του ρομποτικού συστήματος AESOP οι δύο πρώτοι βαθμοί ελευθερίας χρησιμοποιούνται για να μπορεί να προσεγγίσει το ενδοσκόπιο όλο τον κωνικό χώρο εργασίας με αφετηρία τον κάθετο άξονα που διέρχεται από το σημείο τομής. Στην συνέχεια ο περιστροφικός βαθμός ελευθερίας χρησιμοποιείται για την περιστροφή του ενδοσκοπίου που συνεπάγεται την περιστροφή της λαπαροσκοπικής εικόνας στο monitor και ο τελευταίος βαθμός ελευθερίας χρησιμοποιείται για καλύτερη εστίαση (zooming) του εσωτερικού του ασθενή καθώς το λαπαροσκόπιο κινείται πιο κοντά ή πιο μακριά από τα ανθρώπινα όργανα.

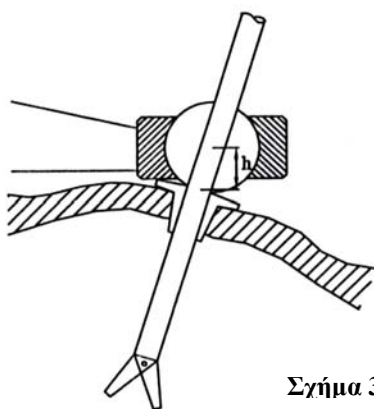
Ο κωνικός χώρος εργασίας δημιουργείται καθώς κινείται το εργαλείο γύρω από το σημείο της τομής, το οποίο είναι ο δομικός και βασικός κινηματικός περιορισμός της λαπαροσκοπικής χειρουργικής και έτσι οποιοσδήποτε σχεδιασμός του καρπού του

ρομπότ θα πρέπει να παρέχει όλους αυτούς τους απαιτούμενους βαθμούς ελευθερίας. Ως αποτέλεσμα ο καρπός θα πρέπει να έχει τους ίδιους βαθμούς ελευθερίας με μια σφαιρική άρθρωση στο σημείο της τομής και ταυτόχρονα δεν θα πρέπει να εμποδίζει τη γραμμική κίνηση του εργαλείου μέσα και έξω από το σημείο της τομής. Έτσι κατά το σχεδιασμό του καρπού(στη φάση της ανάλυσης και της σύνθεσης) περιοριζόμαστε μόνο σε εκείνους τους τύπους των μηχανισμών που μπορούν να παρέχουν τις απαραίτητες σφαιρικές κινήσεις. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να εισάγουμε τρεις τύπους σύνθεσης του καρπού οι οποίοι παρέχουν τις απαιτούμενες σφαιρικές κινήσεις αναλύοντας ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους .

Τύπος1-Σφαιρική άρθρωση: Πρόκειται για σφαιρική άρθρωση που υλοποιείται με μία σφαίρα –υποδοχή από το κέντρο της οποίας διέρχεται το λαπαροσκόπιο. Ο μηχανισμός αυτός φαίνεται στο σχήμα 3.3.

Πλεονεκτήματα: 1)Είναι μια συμπαγής σχεδίαση ,2)έχει μικρό αριθμό από κινούμενα μέρη, 3)είναι εύκολη στη σχεδίαση και στη κατασκευή.

Μειονεκτήματα: 1)Έχει μικρό εύρος κίνησης(πολύ μικρότερο από το απαιτούμενο $\pm 70^\circ$), 2) το κέντρο περιστροφής δεν βρίσκεται στο σημείο τομής αλλά σε ένα ύψος h από αυτό(σχήμα 3.3).Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δυσκολία περιστροφής του εργαλείου σαν σφαιρική άρθρωση γύρω από το σημείο της τομής, 3)στη περίπτωση που έχουμε ενεργό μηχανισμό κίνησης στον καρπό ,δεν είναι πολύ εύκολο να κινήσουμε την σφαίρα-υποδοχή γύρω από τους τρεις άξονες της άρθρωσης.



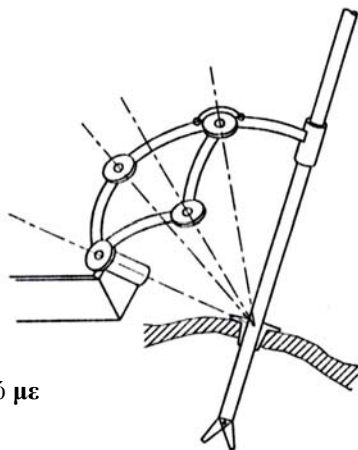
Σχήμα 3.3Καρπός με σφαιρική άρθρωση

Τύπος 2-Σφαιρικοί σύνδεσμοι: Σε αυτή τη σχεδίαση οι σύνδεσμοι σχηματίζουν κυκλικό τόξο και έχουν την ίδια ακτίνα, όπου όλοι οι άξονες περνάνε από ένα

κεντρικό σημείο π.χ. το σημείο της τομής. Για την παροχή των δύο περιστροφικών βαθμών ελευθερίας σχεδιάζουμε το σύστημα όπως φαίνεται στην σχήμα 3.4 και το οποίο αποτελείται από 5 ράβδους οι οποίοι κινούνται σφαιρικά μεταξύ τους.

Πλεονεκτήματα: **1)** Αυτή η σχεδίαση παρέχει ακριβώς τις απαιτούμενες σφαιρικές κινήσεις στο σημείο της τομής, **2)** έχει επαρκή εύρος γωνιακών κινήσεων ($\pm 70^\circ$).

Μειονεκτήματα: **1)** Δεν παρέχει μεγάλη σταθερότητα, ιδιαίτερα όταν ο μηχανισμός επεκτείνεται σε μεγάλες γωνίες, **2)** είναι δύσκολο στο χειρισμό εξαιτίας της απόστασης των αρθρώσεων οι οποίες προκαλούν λανθασμένη ευθυγράμμιση κάτω από την επίδραση μεγάλου βάρους, **3)** είναι μια ογκώδης στο σχεδιασμό σχεδίαση και απαιτεί βαρείς και ογκώδεις αρθρώσεις και συνδέσμους προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταθερότητα.

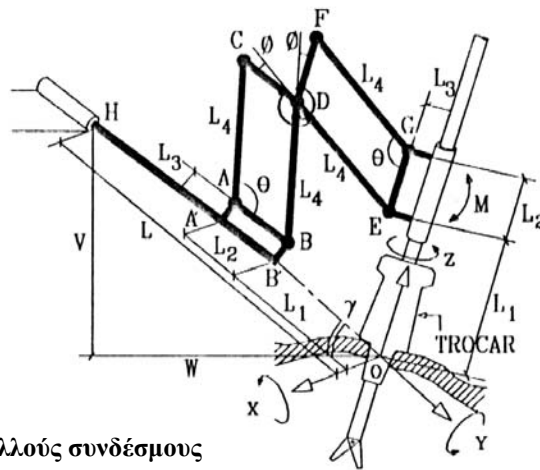


Σχήμα 3.4 Υλοποίηση καρπού με σφαιρικούς συνδέσμους.

Τύπος 3- Ομόκεντρη με πολλούς συνδέσμους σφαιρική άρθρωση: Αυτή η σχεδίαση αποτελείται από 6 συνδέσμους και 8 περιστροφικές αρθρώσεις οι οποίες προσομοιώνουν ακριβώς μια σφαιρική άρθρωση στο σημείο της τομής (σχήμα 3.5). Η συγκεκριμένη διάταξη επιτρέπει ένα μεγάλο εύρος γωνιακών κινήσεων σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Οι διαστάσεις των συνδέσμων και η θέση κάθε άρθρωσης ως προς τις άλλες τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε ο προσανατολισμός του εργαλείου (λαπαροσκόπιο) είναι πάντα προς την κατεύθυνση του ορισμένου σημείου Ο (σημείο τομής). Έτσι το εργαλείο μπορεί να προσαρμοστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να περιστρέφεται γύρω από το σημείο Ο και γύρω από τις τρεις διευθύνσεις (τους άξονες X, Y και Z) προσομοιώνοντας μια σφαιρική άρθρωση.

Πλεονεκτήματα: **1)** Η συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να πραγματοποιεί ακριβώς σφαιρικές κινήσεις γύρω από το σημείο της τομής, **2)** έχει ένα μεγάλο εύρος γωνιακών κινήσεις (περισσότερο από $\pm 70^\circ$), **3)** μπορεί να σχεδιαστεί ως μια συμπαγής σχεδίαση η οποία να μην καταλαμβάνει πολύ χώρο (ιδιαίτερα στο οριζόντιο επίπεδο πάνω από την κοιλιακή περιοχή) σε σχέση με το τύπο 2.

Μειονεκτήματα: **1)** Η έλλειψη μεγάλης σταθερότητας εξαιτίας του μεγάλου αριθμού αρθρώσεων, **2)** Αν δεν προσεχτεί η σχεδίαση, η όλη διάταξη θα καταλαμβάνει μεγάλο χώρο (εξαιτίας του μεγάλου αριθμού συνδέσμων) και θα εμποδίζει τη χειρουργική διαδικασία.



Σχήμα 3.5 Ομόκεντρη με πολλούς συνδέσμους σφαιρική άρθρωση

Εκτός όμως από τους παραπάνω τύπους σύνθεσης του καρπού υπάρχει ακόμα μία ρομποτική λύση για τη δημιουργία ενός κέντρου περιστροφικών κινήσεων στην είσοδο της τομής. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στον ταυτόχρονο έλεγχο των κινήσεων δύο ή περισσότερων αρθρώσεων του ρομποτικού βραχίονα, έτσι ώστε το σημείο επαφής του βραχίονα στο σημείο τομής της κοιλιάς να παραμένει σταθερό ενώ ταυτόχρονα θα διατηρεί τους τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (4 DOF) στην είσοδο της τομής. Με αυτό τον τρόπο λειτουργεί το AESOP και κινηματικά προσομοιώνει μια ψευδοσφαιρική άρθρωση σαν ένα απομακρυσμένο κέντρο περιστροφικών κινήσεων στην κοιλιά. Στην περίπτωση του ρομποτικού βραχίονα AESOP αυτή η προσομοίωση γίνεται κρατώντας τις περιστροφικές αρθρώσεις 4 και 5 παθητικές (δηλαδή χωρίς εσωτερικούς μηχανισμούς κίνησης). Η τρίτη περιστροφική άρθρωση (που περιστρέφει το λαπαροσκόπιο γύρω από το σημείο τομής και γύρω από τον άξονα του) πραγματοποιείται με ένα γρανάζι ενσωματωμένο στο μαγνητικό

collar. Τέλος η γραμμική κίνηση του λαπαροσκοπίου μέσα και έξω από την κοιλιά(για zooming της εικόνας) πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την κίνηση της πρισματικής άρθρωσης 1. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται οι σφαιρικές κινήσεις σαν συνδυασμός κινήσεων των επιμέρους αρθρώσεων. Αυτή η προσέγγιση θα μπορούσε να προκαλέσει πρόβλημα στο σημείο της τομής και τελικά τραυματισμό σε πιθανή περίπτωση βλάβης της ταυτόχρονης κίνησης των αρθρώσεων ή σε πιθανή βλάβη του λογισμικού του συστήματος. Παρόλα αυτά οι παθητικές αρθρώσεις σε συνδυασμό με το μαγνητικό collar (το οποίο αποσπάται εύκολα στην περίπτωση ανάπτυξης δυνάμεων >5 pounds(2.265kg)) και τη χαμηλή τιμή της μέγιστης ταχύτητας κίνησης που μπορεί να αναπτύξει ο βραχίονας ($U_{max} \leq 3$ ίντσες/sec), προστατεύουν με επιτυχία το σύστημα και εμποδίζουν τον τραυματισμό του ασθενή. Στην παραπάνω όμως προσέγγιση απαιτείται επιπλέον υπολογιστική ισχύς από τον controller ώστε να κινούνται ταυτόχρονα όλες οι αρθρώσεις και σε πραγματικό χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση ισχυρού υπολογιστικού συστήματος(controller) άρα και ακριβού, πράγμα το οποίο δικαιολογεί και την υψηλή τιμή του ρομποτικού συστήματος($\approx 65000\$$).

Κινηματικές εξισώσεις του καρπού

Σε αυτή τη μελέτη εξετάζουμε τους μετασχηματισμούς συντεταγμένων τις ψευδοσφαιρικής άρθρωσης του AESOP υποθέτοντας ότι το κέντρο περιστροφής βρίσκεται στο σημείο της τομής O. Πρέπει όμως να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι κατά το σχεδιασμό του συστήματος από την εταιρία(Computer Motion) υποτέθηκε ότι οι τρεις πρώτοι βαθμοί ελευθερίας (αρθρώσεις 1 ,2 και 3) χρησιμοποιούνται για τοποθέτηση(positioning) του συστήματος και οι τρεις τελευταίοι(αρθρώσεις 4 ,5 και 6) για τον προσανατολισμό του λαπαροσκοπίου(orientation) και έτσι με αυτό τον τρόπο υλοποιήθηκε το σύστημα, δηλαδή σαν ξεχωριστή μελέτη των δύο μηχανισμών. Άρα και εμείς κατά την επίλυση του ευθύ κινηματικού προβλήματος θα βασιστούμε σε αυτή την παραδοχή.

Μια συνήθης χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επιλογή σημείων αναφοράς σε ρομποτικές εφαρμογές είναι μέσω της σύμβασης Denavit-Hartenberg(ή D-

H).Βασισμένοι σε αυτή τη σύμβαση οι διάφοροι παράμετροι του συνδέσμου i μπορούν να οριστούν ως εξής:

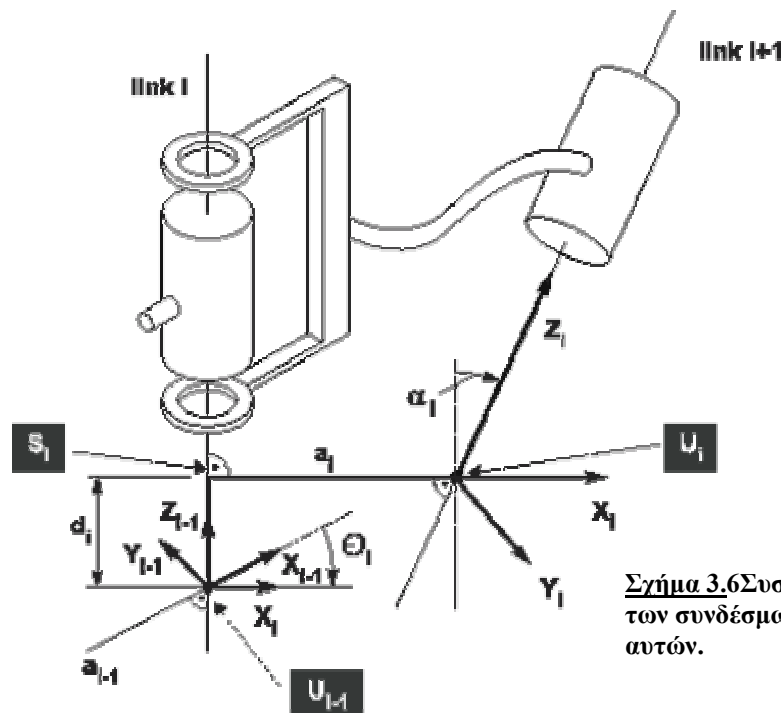
a_i = Μετατόπιση κατά μια απόσταση a_i κατά τη θετική φορά του άξονα $\hat{X}_i (= \hat{X}_{i-1})$ έτσι ώστε να συμπίσουν οι αρχές O_{i-1} και O_i των συστημάτων.

α_i = Περιστροφή κατά μια γωνία α_i (με τη δεξιόστροφη έννοια) γύρω από τον άξονα $\hat{X}_i (= \hat{X}_{i-1})$, έτσι ώστε ο \hat{Z}_{i-1} να συμπίσει με το \hat{Z}_i (και επομένως να συμπίσουν τα δύο συστήματα συντεταγμένων).

d_i = Μετατόπιση κατά μια απόσταση d_i κατά τη θετική φορά του άξονα \hat{Z}_{i-1} , έτσι ώστε οι άξονες \hat{X}_{i-1} και \hat{X}_i να γίνουν συγγραμμικοί.

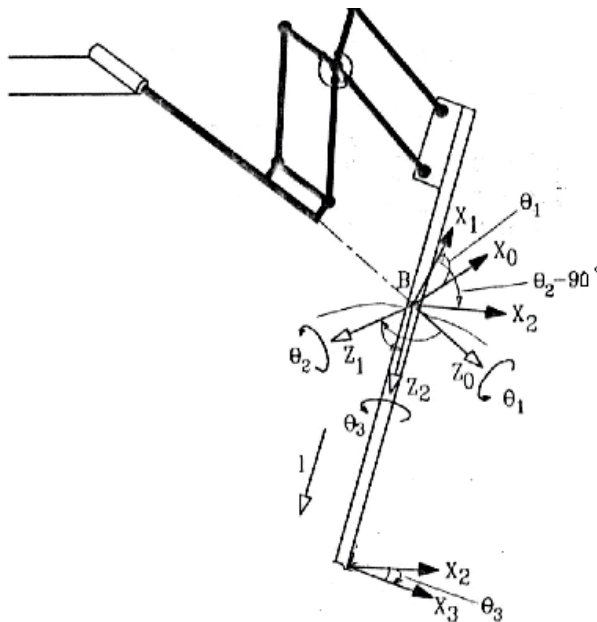
θ_i = Περιστροφή κατά μια γωνία θ_i (με τη δεξιόστροφη έννοια) γύρω από τον άξονα \hat{Z}_{i-1} , έτσι ώστε ο άξονας \hat{X}_{i-1} να γίνει παράλληλος με τον άξονα \hat{X}_i .

Οι παράμετροι αυτοί για τον i -οστό σύνδεσμο ενός χειριστή βασισμένοι στην σύμβαση Denavit-Hartenberg φαίνονται αναλυτικά στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Συστήματα συντεταγμένων των συνδέσμων και οι παράμετροι αυτών.

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε μια κινηματική αλυσίδα όπου δύο σύνδεσμοι συνδέονται μέσω μιας περιστροφικής άρθρωσης. Το σχήμα αυτό χρησιμοποιείται για να μας δείξει πως εξάγονται οι σταθερές παράμετροι ενός συνδέσμου. Από τη στιγμή που τα συστήματα συντεταγμένων έχουν τοποθετηθεί στις αρθρώσεις απαιτούνται τέσσερις βασικοί μετασχηματισμοί για τη συσχέτιση του συστήματος συντεταγμένων $\{i\}$ με το σύστημα $\{i+1\}$. Οι μετασχηματισμοί αυτοί εκφράζουν τις βασικές μετακινήσεις (μετατοπίσεις ή περιστροφές) γύρω από ή κατά μήκος κάποιου από τους άξονες των δύο συστημάτων προκειμένου το σύστημα $\{i\}$ να συμπέσει με το σύστημα $\{i+1\}$. Με άλλα λόγια θεωρείται ότι το σύστημα $\{i\}$ αποτελεί το αρχικό σύστημα ενώ το σύστημα $\{i+1\}$ το τελικό σύστημα στόχου. Έτσι ένα σύστημα το οποίο αρχικά ταυτίζεται με το $\{i\}$ πρέπει να εκτελέσει τις μετακινήσεις που φαίνονται στο σχήμα προκειμένου να συμπέσει με το σύστημα $\{i+1\}$. Αν η άρθρωση i είναι περιστροφική τότε μεταβάλλεται μόνο η γωνία θ_i και οι a_i , d_i και α_i είναι σταθερές παράμετροι που εξαρτώνται από τις γεωμετρικές ιδιότητες και το σχήμα του συνδέσμου i . Αν η άρθρωση i είναι πρισματική τότε μεταβάλλεται το d_i οι θ_i , a_i και α_i είναι σταθερές παράμετροι που εξαρτώνται από το σχήμα και τις γεωμετρικές ιδιότητες του συνδέσμου i .



Σχήμα 3.7 Συστήματα συντεταγμένων στο σημείο της τομής. Το σχήμα αυτό απεικονίζει τον καρπό του ρομπότ και τις αρθρώσεις αυτού.

Με αυτές τις παραδοχές και θεωρώντας $i=4,5,6$ παίρνουμε τις παραμέτρους d_i, θ_i, a_i και α_i για τον καρπό του ρομπότ (σχήμα 3.7) ο οποίος συγκρατεί το λαπαροσκόπιο και οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 1.

Link/Joint	α_i	a_i	d_i	θ_i
4	0	-90°	0	θ_1
5	0	90°	0	θ_2-90°
6	0	0	0	θ_3
7	0	0	l	0

Όπου για $i=7$ θεωρούμε τη μετατόπιση του συστήματος συντεταγμένων κατά l , το οποίο είναι το μήκος του λαπαροσκοπίου, προκειμένου να βρούμε τις συντεταγμένες στο άκρο του, ως προς αυτές του σημείου B.

Ο ομογενής μετασχηματισμός A_i της άρθρωσης $i-1$ ως προς την άρθρωση i υπολογίζεται ως εξής:

$$A(i-1,i)=\text{Trans}(z, d_i)\text{Rot}(z, \theta_i)\text{Trans}(x, \alpha_i)\text{Rot}(x, a_i)$$

ή αλλιώς

$$A_i = \begin{bmatrix} c(\theta_i) & -s(\theta_i)c(a_i) & -s(\theta_i)s(a_i) & a_i c(\theta_i) \\ s(\theta_i) & c(\theta_i)c(a_i) & -c(\theta_i)s(a_i) & a_i s(\theta_i) \\ 0 & s(a_i) & c(a_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Με αντικατάσταση των παραμέτρων για την κάθε άρθρωση από τον πίνακα 1 μπορούμε να εξάγουμε τους ακόλουθους μετασχηματισμένους πίνακες:

$$A_4 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_5 = \begin{bmatrix} S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ -C_2 & 0 & -S_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_6 = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & 0 \\ S_3 & C_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Έτσι λοιπόν οι συντεταγμένες του άκρου X_4 του λαπαροσκοπίου σε σχέση με τις συντεταγμένες της βάσης X_0 , στην είσοδο της τομής(σημείο B ,σχήμα 3.7) θα είναι:

$$X_0 = A_1 A_2 A_3 A_4 X_4 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} X_4$$

όπου

$$\begin{aligned} a_{11} &= C_1 S_2 C_3 - S_1 S_3 & a_{21} &= S_1 S_2 C_3 + C_1 S_3 \\ a_{12} &= -C_1 S_2 S_3 - S_1 C_3 & a_{22} &= -S_1 S_2 S_3 + C_1 C_3 \\ a_{13} &= -C_1 C_2 & a_{23} &= -S_1 C_2 \\ a_{14} &= -C_1 C_2 l & a_{24} &= -S_1 C_2 l \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{31} &= C_2 C_3 & a_{41} &= 0 \\ a_{32} &= -C_2 S_3 & a_{42} &= 0 \\ a_{33} &= S_2 & a_{43} &= 0 \\ a_{34} &= S_2 l & a_{44} &= 1 \end{aligned}$$

και C_i και S_i είναι οι συντομογραφία των $\cos\theta_i$ και $\sin\theta_i$ αντίστοιχα.

Η παραπάνω ευθύ κινηματική ανάλυση χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των συντεταγμένων του λαπαροσκοπικού άκρου σε σχέση με τις συντεταγμένες της βάσης X_0 για μια ορισμένη διάταξη και προσανατολισμό των αρθρώσεων. Ακολούθως για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων σημείων των ενδιάμεσων συνδέσμων/frames(π.χ.frames X_1 ως X_3) εξάγονται αντίστοιχα ως προς τη βάση X_0 . Τα παραπάνω υπολογίζονται απλά πολλαπλασιάζοντας του μετασχηματισμένους πίνακες $A_1 A_2 \dots A_n = A$ (όπου το n είναι ο τελευταίος ενδιάμεσος σύνδεσμος) ,και το αποτέλεσμα αυτού του πολλαπλασιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ευθύ κινηματική εξίσωση $X_0 = AX_n$.

Δηλαδή έχουμε τώρα ένα τρόπο για να υπολογίσουμε τις συντεταγμένες του άκρου του λαπαροσκοπίου που είναι μέσα στην κοιλιά του ασθενή, σε σχέση με τις συντεταγμένες της βάσης η οποία βρίσκεται στο σημείο B, το οποίο είναι και το σημείο τομής από όπου εισέρχεται το λαπαροσκόπιο. Το σημείο B μπορούμε να υποθέσουμε ότι είναι γνωστό ή ότι τέλος πάντων μετριέται ως προς το χειρουργικό κρεβάτι το οποίο και θεωρούμε ως σημείο αναφοράς(επίπεδο αναφοράς).

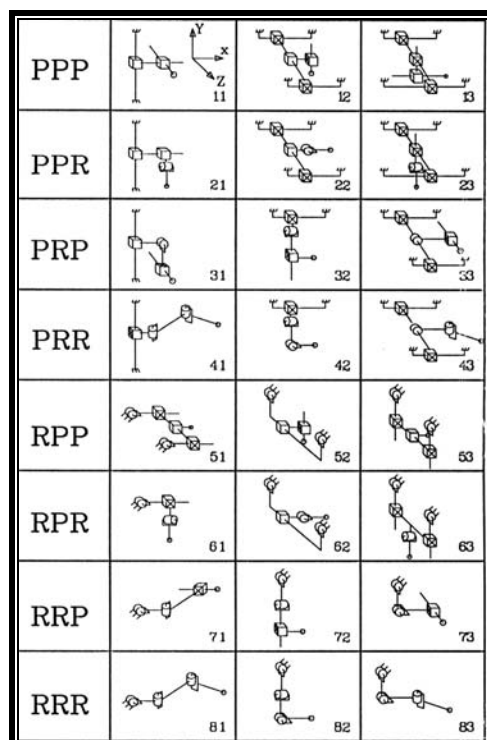
Σύνθεση του βραχίονα τοποθέτησης

Οι γενικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό του βραχίονα τοποθέτησης ως ένα μηχανικό σύστημα είναι: **α)** να είναι ένας στατικά ισορροπημένος μηχανισμός, **β)** να κινείται με ευκολία από το χέρι του χειρουργού, **γ)** να μπορεί να κλειδωθεί ,δηλαδή να σταθεροποιηθεί σε οποιαδήποτε θέση ,**δ)** να καταλαμβάνει περιορισμένο χώρο στο χειρουργικό πεδίο και να μην παρεμβάλλεται στο πεδίο των χειρουργικών διαδικασιών και **ε)** αν υλοποιηθεί σαν σύστημα με παραπάνω από ένα βραχίονες ,αυτοί να μην επενεργούν ο ένας στον άλλο.

Υπάρχουν πολλές σχεδιαστικές προτάσεις στη βιβλιογραφία για βραχίονες τοποθέτησης εργαλείων και χειριστές όπως για παράδειγμα ο HISAR. Σε αυτό το χειρουργικό ρομπότ υπάρχουν πλεονάζοντες άξονες οι οποίοι έχουν ενσωματωθεί στο σχεδιασμό του ρομπότ. Αυτός ο τρόπος σχεδιασμού παρέχει μεγαλύτερη ευλυγισία και περισσότερους βαθμούς ελευθερίας στην κίνηση του βραχίονα. Από την άλλη μεριά οποιοσδήποτε πλεονάζων άξονας μπορεί να κάνει το σύστημα βαρύτερο, πιο ογκώδες και δύσκολο στο χειρισμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι επιπλέον άξονες απαιτούν πιο δυνατές αρθρώσεις και πιο ογκώδεις συνδέσμους οι οποίοι θα προηγούνται αυτών των αξόνων. Έτσι οδηγούμαστε λογικά σε μεγαλύτερη αδράνεια του συστήματος, μεγαλύτερο όγκο άρα και ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις και δυνάμεις τριβής. Το πλέον λογικό λοιπόν συμπέρασμα που προκύπτει είναι να κρατήσουμε τον αριθμό των αξόνων όσο το δυνατό μικρότερο και οποιοιδήποτε επιπλέον άξονες να παραλειφθούν.

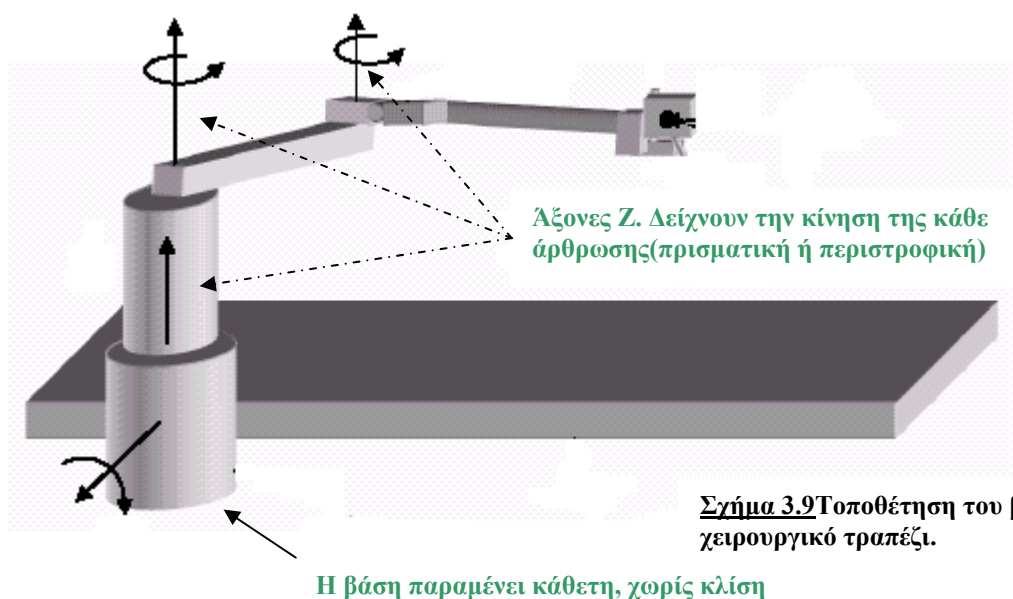
Για τη τοποθέτηση του άκρου του χειριστή /ρομπότ στον τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται τουλάχιστον τρεις βαθμοί ελευθερίας. Στην εικόνα 3.5 παρατηρούμε τη σχηματική απεικόνιση 3-αξονικών βραχιόνων(δηλαδή τριών βαθμών ελευθερίας) με περιστροφικές ή πρισματικές αρθρώσεις ή συνδυασμό και των δύο.

Βασισμένοι στις παραπάνω απαιτήσεις, υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί στο σχήμα 3.8 οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν υποψήφιοι για του βραχίονα τοποθέτησης όπως είναι για παράδειγμα το Νο. 12 ή το Νο. 13 ,ακόμα και το Νο. 41.Τα Νο 12 και 13 είναι διαφορετικοί σχηματισμοί από τρεις πρισματικές αρθρώσεις(PPP) όπου οι διευθύνσεις των X και Y είναι στο οριζόντιο επίπεδο. Για αυτό λόγο το σύστημα μπορεί να κινηθεί εύκολα αφού οι βαρυτικές δυνάμεις δεν επενεργούν σε αυτές τις διευθύνσεις. Επιπλέον ο άξονας Y μπορεί να εξισορροπηθεί χρησιμοποιώντας συστήματα όπως βαρυτική τροχαλία, πνευματικό βαρυτικό αντισταθμιστή, ηλεκτρικό μοτέρ ισορρόπησης. Το μειονέκτημα όμως του Νο.12 και 13 είναι ότι η πρισματικές αρθρώσεις μπορεί να είναι πολύ ογκώδεις/ βαριές προκαλώντας έτσι μεγαλύτερες δυνάμεις τριβής και αδράνεια από ότι η περιστροφικές αρθρώσεις. Επιπλέον και τα δύο σχέδια είναι κατακόρυφα υπερυψωμένα πράγμα το οποίο τα κάνει λιγότερο ελκυστικά από την άποψη της μεταφερσιμότητας ,της εύκολης εγκατάστασης και τέλος της συντήρησης.



Σχήμα 3.8 Σχηματικές απεικονίσεις βραχιόνων με τρεις βαθμούς ελευθερίας(3 DOF).

Το σχέδιο όμως του No .41 είναι (PRR) ένας σχηματισμός SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) όπου οι δύο περιστροφικές αρθρώσεις είναι παράλληλες ως προς τον άξονα Y. Ο βραχίονας είναι φυσικά ισορροπημένος και μπορεί να κινηθεί σε οριζόντιο επίπεδο παράλληλο προς την επιφάνεια του χειρουργικού τραπεζιού. Οι σύνδεσμοι του βραχίονα μπορούν να επιλεγούν να είναι σχετικά μικροί με χαμηλής τριβής περιστροφικές αρθρώσεις ώστε να μπορούν να κινηθούν και χειροκίνητα. Όλα αυτά κάνουν το σχηματισμό SCARA πολύ ελκυστικό, η οποία σύνθεση είναι και αυτή η οποία επιλέχτηκε στο σχεδιασμό του βραχίονα τοποθέτησης του AESOP (Βέβαια στην περίπτωση του AESOP ο σύνδεσμος 3 μπορεί και να περιστρέφεται γύρω από μια παθητική άρθρωση η οποία για λόγους απλούστευσης της μοντελοποίησης του συστήματος μεταφέρθηκε στον καρπό). Έτσι η πρισματική άρθρωση (joint 1) μεταβάλλει το σύνδεσμο 1 στο διάστημα από 10,795cm ως 38,1cm. Ο σύνδεσμος 2 είναι 45,72 cm ενώ ο σύνδεσμος 3 είναι 35.56cm. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο σύνδεσμος 0(βάση στήριξης) είναι συνολικά 53,34 cm αλλά μόνο τα 26,67cm βρίσκονται πάνω από το επίπεδο του τραπεζιού(επίπεδο αναφοράς). Οι διαστάσεις αυτές επιτρέπουν την άνετη κίνηση του βραχίονα σε επίπεδα παράλληλα προς το χειρουργικό κρεβάτι καθώς και τη τοποθέτησή του σε διάφορα σημεία στήριξης ανάλογα με το είδος της επέμβασης όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9. Θεωρούμε επίσης ότι η βάση του βραχίονα παραμένει κάθετη (δηλαδή δεν παρουσιάζει κλίση(tilt)) καθότι στη λαπαροσκοπική νεφρεκτομή αυτή είναι η σωστή του τοποθέτηση.



Σχήμα 3.9 Τοποθέτηση του βραχίονα στο χειρουργικό τραπέζι.

Έτσι μελετώντας τις κινηματικές εξισώσεις για τον τοποθετητή θέσης εξάγουμε τα παρακάτω:

Καταρχήν εισάγουμε σε ένα πίνακα τις τιμές των παραμέτρων των συνδέσμων και των αρθρώσεων του βραχίονα. Έτσι στην πρώτη άρθρωση η οποία είναι πρισματική μεταβάλλεται το μήκος d που όπως προαναφέραμε παίρνει τιμές στο διάστημα από 10,795cm ως 38,1cm. Οι υπόλοιπες αρθρώσεις είναι περιστροφικές και έτσι μεταβάλλονται μόνο οι γωνίες θ_i , δηλαδή η γωνία μεταξύ των αξόνων X_i και X_{i-1} μετρούμενη ως προς τον Z_{i-1} . Οι υπόλοιπες παράμετροι για την κάθε περίπτωση άρθρωσης (πρισματική ή περιστροφική) είναι σταθερές και εξαρτώνται από τις γεωμετρικές ιδιότητες του εκάστοτε συνδέσμου i . Σύμφωνα με τα παραπάνω και βασισμένοι στο σχήμα 2 εξάγουμε τον ακόλουθο πίνακα, χρησιμοποιώντας και πάλι τη σύμβαση Denavit-Hartenberg:

Link	d_i	a_i	α_i	θ_i
1	d^*	0	0	0
2	0	d_1	0	θ_1^*
3	0	d_2	0	θ_2^*

Όπου το (*) στον πίνακα δηλώνει ότι τα d , θ_1 και θ_2 μεταβάλλονται. Οι υπόλοιπες ποσότητες στον πίνακα παραμένουν σταθερές, όπου d_1 , d_2 είναι τα μήκη των συνδέσμων 2 και 3 αντίστοιχα. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιώντας το συνολικό πίνακα μετασχηματισμού που μεταφέρει το σύστημα $\{i-1\}$ στο σύστημα i , παίρνουμε τους παρακάτω μετασχηματισμούς A_i της κάθε άρθρωσης $i-1$ ως προς την άρθρωση i :

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & C_1 d_1 \\ S_1 & C_1 & 0 & S_1 d_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & C_2 d_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & S_2 d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Άρα} \quad T_0^3 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} C_{12} & -S_{12} & 0 & d_1 C_1 + d_2 C_{12} \\ S_{12} & C_{12} & 0 & d_1 S_1 + d_2 S_{12} \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2), \quad S_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2), \quad C_1 = \cos\theta_1, \quad S_1 = \sin\theta_1, \quad C_2 = \cos\theta_2, \quad S_2 = \sin\theta_2$$

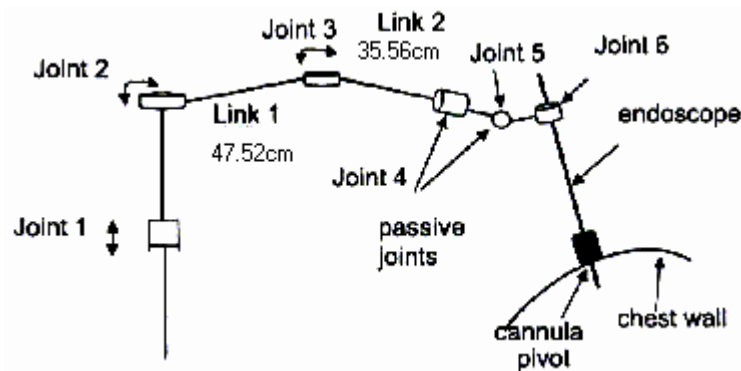
Παρατηρώντας την τελευταία στήλη του μετασχηματισμένου πίνακα, του άκρου του βραχίονα ως προς τη βάση μπορούμε να βρούμε τις συντεταγμένες X, Y και Z αυτού του σημείου. Οι συντεταγμένες αυτές ως προς τις συντεταγμένες της βάσης (επίπεδο 0, σημείο αναφοράς) είναι:

$$X = d_1 C_1 + d_2 C_{12}$$

$$Y = d_1 S_1 + d_2 S_{12}$$

$$Z = d$$

Παρακάτω παρατηρούμε αναλυτικά τη σύνθεση του ρομποτικού βραχίονα AESOP στον οποίο έχει προσαρτηθεί το λαπαροσκόπιο το οποίο και εισέρχεται στο στομάχι.



Μπορούμε επίσης να βρούμε τις συντεταγμένες του άκρου του λαπαροσκοπίου σε σχέση με τις συντεταγμένες της βάσης του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τους δύο πίνακες –αποτελέσματα που εξάγαμε κατά την ανάλυση του καρπού και την ανάλυση του τοποθετητή θέσης.

Άρα σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε:

$$T_0^7 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 =$$

$$= \begin{bmatrix} C_{12} & -S_{12} & 0 & d_1 C_1 + d_2 C_{12} \\ S_{12} & C_{12} & 0 & d_1 S_1 + d_2 S_{12} \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 S_2 C_3 - S_1 S_3 & -C_1 S_2 S_3 - S_1 C_3 & -C_1 C_2 & -C_1 C_2 l \\ -S_1 S_2 C_3 + C_1 S_3 & -S_1 S_2 S_3 + C_1 C_3 & -S_1 C_2 & -S_1 C_2 l \\ C_1 C_3 & -C_2 S_3 & S_2 & S_2 l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

όπου

$$a_{11} = C_{12}(C_1 S_2 C_3 - S_1 S_3) - S_{12}(S_1 S_2 C_3 + C_1 S_3)$$

$$a_{12} = C_{12}(-C_1 S_2 S_3 - S_1 C_3) - S_{12}(-S_1 S_2 S_3 + C_1 C_3)$$

$$a_{13} = C_{12}(-C_1 C_2) + S_{12} S_1 C_2$$

$$a_{14} = C_{12}(-C_1 C_2 l) + S_{12} S_1 C_2 l + d_1 C_1 + d_2 C_{12}$$

$$a_{21} = S_{12}(C_1 S_2 C_3 - S_1 S_3) - C_{12}(-S_1 S_2 C_3 + C_1 S_3)$$

$$a_{22} = S_{12}(-C_1 S_2 S_3 - S_1 C_3) - C_{12}(S_1 S_2 S_3 + C_1 C_3)$$

$$a_{23} = S_{12}(-C_1 C_2) - C_{12} S_1 C_2$$

$$a_{24} = S_{12}(-C_1 C_2 l) - C_{12} S_1 C_2 l$$

$$a_{31} = C_2 C_3$$

$$a_{41} = 0$$

$$a_{32} = -C_2 S_3 \quad \text{και}$$

$$a_{42} = 0$$

$$a_{33} = S_2$$

$$a_{43} = 0$$

$$a_{34} = S_2 l + d$$

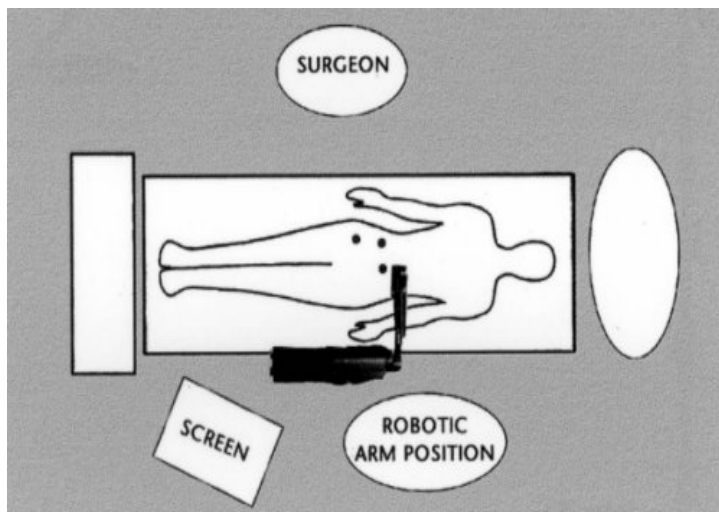
$$a_{44} = 1$$

3.2 Λειτουργική περιγραφή του συστήματος

Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζεται η τοποθέτηση του βραχίονα στο χειρουργικό κρεβάτι για την πραγματοποίηση μιας λαπαροσκοπικής διαδικασίας. Το βασικό ρομποτικό σύστημα AESOP 1000 αποτελείται από μία κεντρική μονάδα (controller) , το βραχίονα ,το σύστημα συγκράτησης του λαπαροσκοπίου(collar) ,το

τηλεχειριστήριο(hand control) και τον ποδοδιακόπτη(foot control). Ο ρομποτικός βραχίονας φέρεται σε ειδικό καρότσι(AESOP cart, εικόνα 3.11) μαζί με την κεντρική μονάδα. Πριν από την έναρξη μιας λαπαροσκοπικής διαδικασίας αποσπάται από αυτό και τοποθετείται στη ράγα του χειρουργικού κρεβατιού σε κατάλληλη θέση ανάλογα με το είδος της εγχείρησης .

Η κεντρική μονάδα του συστήματος αποτελείται από τον κύριο υπολογιστή (μονάδα ελέγχου), γενικό διακόπτη on/off ,δύο led με τις ενδείξεις ready και system error. Στην κεντρική μονάδα συνδέονται ο βραχίονας και τα χειριστήρια. Η κεντρική αυτή μονάδα είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή των εντολών του χρήστη σε κινήσεις του βραχίονα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με την βοήθεια ειδικού προγράμματος που είναι μόνιμα αποθηκευμένο σε μνήμη ROM(read only memory) και έτσι δεν χρειάζεται φόρτωση κατά την εκκίνηση του συστήματος και προφανώς δεν χάνεται κατά το άνοιγμα και τερματισμό.



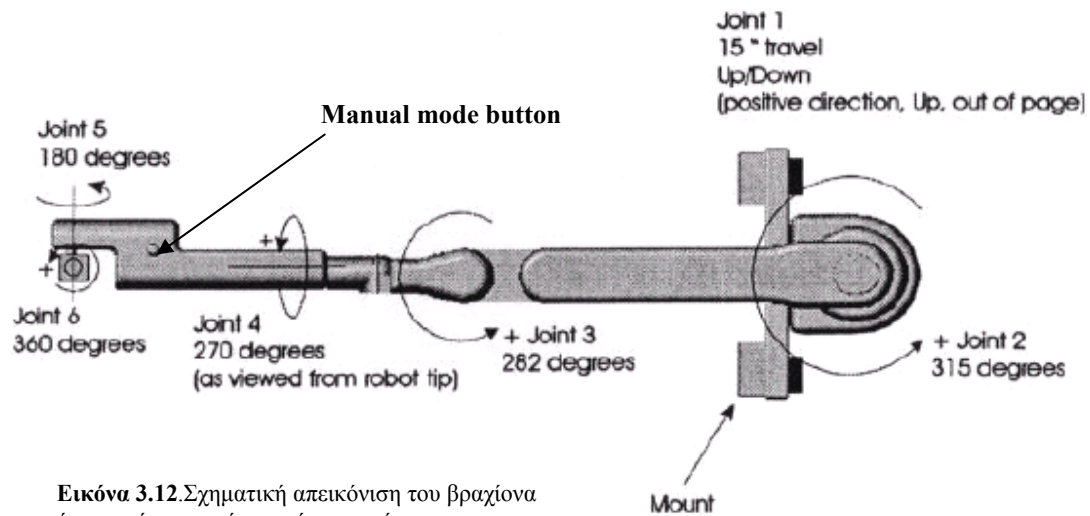
Σχήμα 3.10 Τοποθέτηση του βραχίονα στη ράγα του χειρουργικού τραπεζιού για τη πραγματοποίηση μιας λαπαροσκοπικής εγχείρησης.



Εικόνα 3.11. AESOP cart και ο ρομποτικός βραχίονας AESOP.

Ο σκελετός του βραχίονα είναι κατασκευασμένος από επεξεργασμένο αλουμίνιο ενώ οι αρθρώσεις περιλαμβάνουν μέρη από χάλυβα και πλαστικό. Ο ρομποτικός βραχίονας είναι τύπου SCARA και αποτελείται από 6 αρθρώσεις με εύρος κινήσεων 180° ως 360° (σχήμα 3.12). Έχει μέγιστη διάμετρο 15cm(στο σημείο προσαρμογής στο χειρουργικό τραπέζι) και ελάχιστη 3cm (στο σημείο συγκράτησης του λαπαροσκοπίου).Ο ρομποτικός βραχίονας ελέγχεται συνήθως από το χειρουργό και μπορεί να κινηθεί σε εικονικό χώρο όπως φαίνεται στο σχήμα. Αρχική θέση του

βραχίονα μπορεί να θεωρηθεί η θέση κατά την οποία οι αρθρώσεις 2 και 3 (joint 2,3) είναι



Εικόνα 3.12. Σχηματική απεικόνιση του βραχίονα όπως φαίνεται από την πάνω μεριά.

άκαμπτες. Ο σύνδεσμος(link) 2 τότε είναι σε ορισμένο ύψος από το χειρουργικό τραπέζι και ο 1 καθώς και η βάση(link 0)κάθετος προς αυτό. Πατώντας το πλήκτρο manual mode button, που βρίσκεται στο σύνδεσμο 3, ο βραχίονας μετατρέπεται σε παθητικό και μπορεί να τοποθετηθεί στην επιθυμητή θέση όπου και το λαπαροσκόπιο εισέρχεται μέσα από το αντίστοιχο trocar πριν από την αρχή της χειρουργικής διαδικασίας. Ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να κινηθεί κατά τρεις διαφορετικούς τρόπους: 1)Με το τηλεχειριστήριο(hand control) ,2)με τον ποδοδιακόπτη (foot control) και 3)με αναγνώριση φωνής(voice control, την οποία υποστηρίζουν μόνο τα μοντέλα AESOP 2000 και AESOP 3000).Τα χαρακτηριστικά(specifications) του ρομποτικού συστήματος AESOP 1000 είναι τα παρακάτω:

Προδιαγραφές του ρομποτικού συστήματος AESOP 1000

1. Βάρη των επιμέρους μερών του ρομποτικού συστήματος

Βραχίονας τοποθέτησης θέσης(Positioning arm)	17,214kg
Κεντρική μονάδα ελέγχου(Controller)	8,607kg
Ποδοχειριστήριο(Foot control)	2,265kg
Χειριστήριο χειρός(Hand control)	0,453kg

2. Διαστάσεις των επιμέρους μερών του ρομποτικού συστήματος

Κεντρική μονάδα ελέγχου	(45,72cm)x(38,1cm)x(16,51cm)
Ποδοχειριστήριο	(25,4cm)x(31,75cm)x(6,35cm)
Χειριστήριο χειρός	(12,7cm)x(5,08cm)x(2,54)

3. Απαιτήσεις τροφοδοσίας εισόδου του συστήματος

Τάση	90-250 VAC
Συχνότητα	50-60 Hz
Ρεύμα	2Amps

4. Χαρακτηριστικά της κινούμενης βάσης μεταφοράς(cart) του AESOP

Βάρος	63,42kg
Διαστάσεις	(63,5cm)x(45,72cm)x(102,87cm)

Αρχικά ο βραχίονας τοποθετείται στη επιθυμητή θέση πατώντας το πλήκτρο manual mode button το οποίο επιτρέπει την παθητική λειτουργία των αρθρώσεων του. Με την απελευθέρωση του πλήκτρου ο βραχίονας ακινητοποιείται και παραμένει σταθερός. Στις περιπτώσεις 1 και 2 το χειριστήριο και ο ποδοδιακόπτης είναι πλήρως ενεργοποιημένα και επιτρέπουν στο χειρουργό να κινεί το λαπαροσκόπιο για την ανάκτηση της ενδοσκοπικής εικόνας στις παρακάτω κατευθύνσεις: εμπρός, πίσω, πάνω, κάτω, δεξιά και αριστερά πατώντας τα αντίστοιχα πλήκτρα. Η πίεση κάποιων πλήκτρων για παράδειγμα πάνω και δεξιά έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του βραχίονα ακριβώς προς αυτή την συνδυασμένη κατεύθυνση. Όσο μεγαλύτερη πίεση εφαρμόζεται στα πλήκτρα του τηλεχειριστηρίου ή στο ποδοδιακόπτη τόσο μεγαλύτερη ταχύτητα αποκτά ο βραχίονας με ανώτερο το όριο των 3 ιντσών/sec. Το τηλεχειριστήριο όπως και ο ποδοδιακόπτης διαθέτουν τη δυνατότητα αποθήκευσης κάποιων επιθυμητών σημείων(βασισμένα στην τεχνολογία ReViewTM). Παρέχουν δηλαδή την δυνατότητα στο χειρουργό να αποθηκεύσει στον controller σημεία στα οποία θέλει να επιστρέψει κατά τη διάρκεια της επέμβασης ,π.χ. σημεία συχνής αναφοράς. Έτσι με το πάτημα ενός κουμπιού(ενός από τα τέσσερα που διαθέτει το τηλεχειριστήριο ή από τα δύο του ποδοδιακόπτη, δηλαδή έξι θέσεις μνήμης) η λαπαροσκοπική εικόνα επιστρέφει σε μια προηγούμενη αποθηκευμένη επιθυμητή θέση. Για να αποθηκευτεί μια θέση στη μνήμη αρκεί το πάτημα ενός κουμπιού για 2-3 sec και η απόκριση του controller ότι η θέση αποθηκεύτηκε(“position saved”).

Στους ρομποτικούς βραχίονες AESOP 2000 και AESOP 3000 παρέχεται η δυνατότητα της φωνητικής καθοδήγησης του λαπαροσκοπίου(voice control). Ο βραχίονας AESOP 2000 έχει ενσωματωμένο λογισμικό όπου με τη βοήθεια ειδικού controller αναγνωρίζει ένα σετ 23 περίπου σύντομων εντολών που εκφωνούνται από μικρόφωνο που συγκρατείται στο κεφάλι του χειρουργού. Το μικρόφωνο

τοποθετείται στη γωνία του στόματος και όχι μακρύτερα από 13mm. Ο χειρουργός θα πρέπει πρωτίτερα να έχει δημιουργήσει μια δική του προσωπική κάρτα(PVC) την οποία και εισάγει στον controller πριν από τη έναρξη της εγχείρισης. Ο βραχίονας αναγνωρίζοντας διαφορετικές φωνές και προφορά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί διαδοχικά από πολλούς χειρουργούς ακόμη και στο θορυβοδέστερο χειρουργικό περιβάλλον καθώς απομονώνει τη φωνή και τις εντολές του χειρουργού αγνοώντας τους υπόλοιπους ήχους στη χειρουργική αίθουσα. Το σετ των φωνητικών εντολών που υποστηρίζει ο βραχίονας φαίνεται στο πίνακα 3.13. Και σε αυτή την περίπτωση της φωνητικής καθοδήγησης όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.13 προσφέρεται η δυνατότητα της αποθήκευσης θέσεων. Το ρομποτικό σύστημα AESOP 3000 παρέχει τη δυνατότητα της συνεχούς κίνησης που το AESOP 2000 δεν διαθέτει. Έτσι με τη εκφώνηση της εντολής ‘‘move’’ ο βραχίονας κινείται συνεχώς μέχρι την εκφώνηση της εντολής ‘‘ stop’’ όπου και σταματά.

AESOP 2000 voice Trainer Chart

<i><u>Voice commands(φωνητικές εντολές)</u></i>	<i><u>Επεξήγηση</u></i>
AESOP	Αναγνωριστική προσφώνηση του συστήματος πριν από την πρώτη εντολή ή μετά από την εντολή Quit.
Quit	Τερματισμός του συστήματος
Stop	Τερματισμός της κίνησης
In	Κίνηση του λαπαροσκοπίου προς τα μέσα
Back	Κίνηση του λαπαροσκοπίου προς τα πίσω
Up	Κίνηση του λαπαροσκοπίου προς τα πάνω
Down	Κίνηση του λαπαροσκοπίου προς τα κάτω
Left	Κίνηση του λαπαροσκοπίου προς τα αριστερά
Right	Κίνηση του λαπαροσκοπίου προς τα δεξιά
Move in	Συνεχόμενη κίνηση προς τα μέσα
Move back	Συνεχόμενη κίνηση προς τα πίσω
Move up	Συνεχόμενη κίνηση προς τα πάνω

Move down	Συνεχόμενη κίνηση προς τα κάτω
Move left	Συνεχόμενη κίνηση προς τα αριστερά
Move right	Συνεχόμενη κίνηση προς τα δεξιά
Save one	Αποθήκευση πρώτης θέσης
Save two	Αποθήκευση δεύτερης θέσης
Save three	Αποθήκευση τρίτης θέσης
Return one	Επιστροφή του βραχίονα στην πρώτη αποθηκευμένη θέση
Return two	Επιστροφή του βραχίονα στην δεύτερη αποθηκευμένη θέση
Return three	Επιστροφή του βραχίονα στην Τρίτη αποθηκευμένη θέση
Set lower limit	Καθορισμός του κατώτατου ορίου
Clear lower limit	Σβήσιμο του κατώτατου ορίου

Πίνακας 3.13. Σετ φωνητικών εντολών που υποστηρίζει το ρομποτικό σύστημα AESOP 2000 κάρτα (PVC) θα πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

Καταρχήν θα πρέπει να υπάρχει μία κάρτα “εκπαίδευσης” του συστήματος(training card) καθώς και η προσωπική κάρτα που θα χρησιμοποιείται στις εγχειρίσεις(Personal Voice Card , PVC).Ο γιατρός θα πρέπει να φοράει τη χειρουργική μάσκα κατά τη φωνητική εκπαίδευση για να αποθηκευτεί η προφορά του όπως κατά την διάρκεια της εγχείρισης και το μικρόφωνο να είναι ρυθμισμένο όπως προαναφέρθηκε παραπάνω. Οι φωνητικές εντολές θα πρέπει να προφέρονται χωρίς κενά ανάμεσα στις λέξεις. Οι εντολές αυτές επαληθεύονται με επανάληψη και θα πρέπει να διατηρείται σταθερός τόνος και ρυθμός της προφοράς τους. Τέλος κατά τη φωνητική εκπαίδευση του συστήματος ο γιατρός θα πρέπει να βρίσκεται σε αντίστοιχη θέση με αυτή κατά τη διάρκεια της εγχείρισης. Ακολουθούνται τώρα τα παρακάτω βήματα:

1.Φωνητικά δείγματα (voice sampling)

- Άνοιγμα του συστήματος.
- Πάτημα του κουμπιού με αριθμό 1(#1).
- Το σύστημα τώρα προτρέπει το χρήστη για εισαγωγή της κάρτας εκπαίδευσης(training card).

- Το σύστημα προτρέπει το χρήστη να επαναλάβει κάθε εντολή που προφέρει.
- Για διακοπή κατά τη διάρκεια της φωνητικής εκπαίδευσης πατάμε το κουμπί 2(#2).
- Όταν το φωνητικό μοντέλο ολοκληρωθεί το σύστημα προτρέπει το χρήστη να απομακρύνει την κάρτα εκπαίδευσης και να εισάγει την προσωπική κάρτα (PVC). Στη συνέχεια το σύστημα αυτόματα αντιγράφει το φωνητικό μοντέλο στην PVC και η κάρτα είναι έτοιμη για χρήση. Κατά τη διάρκεια της εγχείρισης το σύστημα συγκρίνει τις εντολές του χειρουργού με τις αντίστοιχες του φωνητικού μοντέλου στην PVC και ανάλογα κινεί το βραχίονα.

2. Επαλήθευση της Προσωπικής φωνητικής κάρτας(PVC)

- Με την PVC μέσα στον controller,πατάμε το κουμπί με αριθμό 3 (#3).
- Ο χρήστης δίνει τώρα εντολές που επαληθεύονται με κείμενο στην οθόνη του controller.
- Ο χρήστης θα πρέπει να θυμηθεί να ενεργοποιήσει το σύστημα με το αναγνωριστικό ‘‘AESOP’’ πριν την πρώτη εντολή ή μετά από την εντολή Quit.

3. Αντιγραφή /Μορφοποίηση(reformat) της PVC

- Πάτημα του κουμπιού με αριθμό 4(#4).
- Ο χρήστης εισάγει την PVC που θέλει να αντιγράψει(Σε περίπτωση μορφοποίησης της PVC θα πρέπει να εισαχθεί η κάρτα Master Blank)
- Ο χρήστης εισάγει τώρα την κάρτα στην οποία θέλει να αντιγράψει το φωνητικό μοντέλο(κάρτα προορισμού),η οποία σε περίπτωση που δεν είναι άδεια σβήνεται και επανεγράφεται.

3.3 Ασφάλεια του συστήματος

Είναι απαραίτητο σε κάθε σύστημα να μελετάται η ασφάλειά του προκειμένου να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του και τελικά το σύστημα να δουλεύει κάτω από τις προδιαγραφές του. Ιδιαίτερα σε συστήματα τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο και χρησιμοποιούνται για παράδειγμα σε χειρουργικές εφαρμογές ,όπως είναι το ρομποτικό σύστημα AESOP, ο παράγοντας ασφάλεια είναι κρίσιμης

σημασίας. Ο βραχίονας φέρει ενσωματωμένο λογισμικό και μηχανισμούς που ελέγχουν και εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του. Καθώς ο βραχίονας έχει κατασκευασθεί μόνο για το χειρισμό του λαπαροσκοπίου, έχει προκαθοριστεί από τη κατασκευαστική εταιρία(Computer Motion) ο ενεργός χώρος κίνησής του. Οποιαδήποτε προσπάθεια για κίνηση έξω από αυτή την περιοχή είναι αδύνατη. Το σύστημα μάλιστα προειδοποιεί με χαρακτηριστικό ήχο σε περίπτωση προσέγγισης των σημείων αυτών(π.χ. elbow limit). Σημαντικό σημείο στην ασφάλεια του βραχίονα αποτελεί ο ορισμός του ‘**κατώτερου σημείου**’ που μπορεί να φτάσει το λαπαροσκόπιο(lower limit) εντός του κοιλιακού τοιχώματος. Το σημείο αυτό ορίζεται πριν από την έναρξη της χειρουργικής διαδικασίας και κατή την διάρκειά της δεν μπορεί να ξεπεραστεί. Για λόγους ασφαλείας επίσης η ελεγχόμενη λειτουργία του βραχίονα διακόπτεται και μεταπίπτει σε παθητική λειτουργία ενώ ταυτόχρονα διαγράφεται από τη μνήμη κάθε αποθηκευμένη θέση, κάθε φορά που ανιχνεύεται κίνηση του ασθενή ,προσπάθεια βίαιης μετακίνησης ή συναντάται εμπόδιο στην κίνηση του βραχίονα ή ακόμα και απόσπασης του λαπαροσκοπίου από το ειδικό κολάρο συγκράτησης(collar holder).Μάλιστα το λαπαροσκόπιο συγκρατείται με μαγνητικό μηχανισμό πάνω στο collar holder και έτσι σε περίπτωση που αυτό συναντήσει κάποια αντίσταση(μεγαλύτερη από 7lb) αποσπάται εύκολα χωρίς να τραυματιστεί ο ασθενής. Σημαντικό στοιχείο στην ασφαλή λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα αποτελούν οι 2 από τις 6 αρθρώσεις του οι οποίες είναι παθητικές(δεν κινούνται από κινητήρες αλλά χειροκίνητα ή σε συνδυασμό με τις άλλες αρθρώσεις) και οι οποίες εμποδίζουν την ανάπτυξη πλευρικών δυνάμεων στο κοιλιακό τοίχωμα κατά το χειρισμό της κάμερας. Το ρομποτικό σύστημα AESOP μπορεί να απενεργοποιηθεί εύκολα(με κλείσιμο του κεντρικού διακόπτη τροφοδοσίας on/ff) και να απομακρυνθεί από το χειρουργικό περιβάλλον σε περίπτωση που η λειτουργία του δεν είναι επιθυμητή. Σημαντικό επίσης στοιχείο στην ασφάλεια του συστήματος είναι η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα που μπορεί να προσεγγίσει ο βραχίονας η οποία περιορίζεται από το ανώτερο όριο των 3 ιντσών/sec, όπως αναφέρθηκε πρωτότερα. Αυτό επιτρέπει την ασφαλή κίνηση του λαπαροσκοπίου και την αποφυγή βίαιων κινήσεων και μεγάλων ταχυτήτων που μπορούν να επιφέρουν τραυματισμό στον ασθενή. Το όριο αυτό όπως και οι υπόλοιπες κινήσεις του βραχίονα ελέγχονται από ενσωματωμένο λογισμικό στον controller του συστήματος.

Κεφάλαιο 4^ο

Λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές υποβοηθούμενες από ρομποτικό βραχίονα.

4.1 Από τη διάγνωση στη εφαρμογή και τη θεραπεία

4.1.1 Μια σύντομη εισαγωγή για την βιοϊατρική τεχνολογία

Η εκρηκτική άνοδος της ιατρικής τεχνολογίας και συγκεκριμένα της βιοϊατρικής τεχνολογίας έχει συμβάλλει τα μέγιστα, τα τελευταία χρόνια, στην εξέλιξη της ιατρικής καθώς και τη βελτίωση της ποιότητας της υγείας του ανθρώπου. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την ανάπτυξη αποτέλεσαν και οι γνώσεις που απεκτήθησαν κυρίως κατά την τελευταία τριακονταετία και αφορούν τη μοριακή βιολογία καθώς και πληροφορίες για τη σύνθεση του DNA. Αυτές οι ειδικές γνώσεις οδηγούν στη ταχεία διάγνωση των ασθενειών.

Η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν διαγνωστικές εξετάσεις σε στερεομετρικό δεδομένο, δηλαδή εικόνες σε τρία επίπεδα (3-D), οδηγεί στο να μπορούν οι γιατροί να προσδιορίσουν τη βλάβη του οργάνου, με ακρίβεια ελαχίστων χιλιοστών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα εκ των προτέρων και η γνώση, για τον αν αυτή η βλάβη εξαιρείται η όχι.

Σημαντικό ρόλο τα τελευταία χρόνια έχει αποτελέσει η ανάπτυξη της υπολογιστικής τομογραφίας η οποία προσφέρει στερεομετρικές λήψεις του σώματος και των οργάνων με τομές του 1 mm και με μεγάλη ταχύτητα (Dalton), ούτως ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της καταγραφής όλης τη δομή του οργάνου από ανατομικής απόψεως. Η ταχύτητα με την οποία λαμβάνονται οι τομές μας επιτρέπει να καταγράφουμε ακόμη και τη ροή του αίματος μέσα στα αγγεία.

Προκειμένου όμως να αποφευχθεί ο κίνδυνος της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στην υπολογιστική τομογραφία, χρησιμοποιούνται μηχανήματα τα οποία εκπέμπουν υπερήχους και έτσι η χρήση των υπερήχων έχει καταστεί ένα αναγκαίο και χρήσιμο εργαλείο για τη διάγνωση πολλών ασθενειών κυρίως χωροκατακτητικού τύπου (π.χ.

όγκος ,πέτρα, διεύρυνση αγγείων κ.λ.π.).Ο τρόπος λειτουργίας των υπερηχολογικών μηχανημάτων εκτελείται με τη εκπομπή υπερήχων μέσω ενός ηχοβολέα. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην ιατρική διαγνωστική είναι της τάξης των 1-10εκατ. Hz ή Megahertz (MHz).Η παραγωγή των υπερήχων γίνεται με βάση το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε άλλη). Στην προκειμένη περίπτωση γίνεται στον ηχοβολέα μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανικά ηχοκύματα. Το όργανο το οποίο θα βρεθεί μέσα στα υπερηχητικά κύματα διαπερνάται από αυτά ανάλογα με την πυκνότητα των στοιχείων από τα οποία αποτελείται και κατά αυτόν τον τρόπο απεικονίζεται σε μια οθόνη ανάλογα με τις διαφορετικές συχνότητες με τις οποίες διέρχονται τα υπερηχητικά κύματα. Έτσι λοιπόν διακρίνονται οι διάφορες περιοχές του οργάνου ως υπόηχες, ισόηχες ή υπέρηχες. Στις μεν υπόηχες περιοχές έχουμε μειωμένη αντανάκλαστικότητα (είναι πιο σκούρες αυτές οι περιοχές), δηλαδή τόσο πιο εύκολα διαπεράται το ηχητικό σήμα , ενώ οι υπέρηχες περιοχές εμφανίζονται πιο φωτεινές με μεγαλύτερη αντανάκλαστικότητα και στην περίπτωση αυτή τα ηχητικά κύματα δεν περνούν εύκολα ή δεν περνούν καθόλου. Οι ισόηχες περιοχές αντικατοπτρίζουν τη κατάσταση ενός υγιούς οργάνου.

Σημαντικοί τομείς της βιοϊατρικής τεχνολογίας οι οποίοι βοηθούν στην διάγνωση είναι και το MRI καθώς και το σπινθηρογράφημα οστών. Η απεικόνιση μαγνητικής αντήχησης (MRI, Magnetic Resonance Imaging) είναι μια τεχνική απεικόνισης που χρησιμοποιείται πρώτιστα στις ιατρικές διαδικασίες για να παραγάγει υψηλής ποιότητας εικόνες του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος. Το MRI είναι βασισμένο στις αρχές της πυρηνικής μαγνητικής αντήχησης (NMR, Nuclear Magnetic Resonance), μιας φασματοσκοπικής τεχνικής που χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες για να λάβει τις μικροσκοπικές χημικές και φυσικές πληροφορίες για τα μόρια. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό όγκων που έχουν εμφανιστεί στο ανθρώπινο σώμα .

Τέλος το σπινθηρογράφημα οστών χρησιμοποιείται για την απεικόνιση όλων των οστών. Γίνεται σάρωση ολοκλήρου του σώματος η οποία όταν χρειαστεί συμπληρώνεται με εντοπισμένες στατικές μεγενθυμένες λήψεις ή με τομογραφική μελέτη της περιοχής ενδιαφέροντος. Η εξέταση γίνεται 3-4 ώρες μετά την ενδοφλέβια χορήγηση του ραδιοφαρμάκου και διαρκεί περίπου μισή ώρα. Κατά τη διαδικασία

αυτή ελέγχονται οστικές μεταστάσεις , πρωτοπαθείς κακοήθειες, καλοήθειες όγκοι οστών. Γίνεται επίσης εντόπιση και έκταση αρθροπαθειών, λειτουργική κατάσταση προσθετικών αρθρώσεων (φλεγμονή, χαλάρωση, έκτοπη οστεοποίηση) , αυτόματα κατάγματα (stress fractures), και προσδιορίζονται μεταβολικές παθήσεις των οστών.

Εκτός όμως από τη διαγνωστική βοήθεια την οποία παρέχει η βιοϊατρική τεχνολογία προσφέρει επίσης και εξαιρετικά σπουδαίες θεραπευτικές πράξεις δηλαδή βοηθά σημαντικά στη θεραπευτική των ασθενών .

Μέχρι πρότινος οι ασθενείς οι οποίοι υποβάλλονταν σε χειρουργικές πράξεις ήταν αναγκασμένοι να υφίστανται μεγάλες τομές και να υποφέρουν από ισχυρούς πόνους με παράλληλη τη μεγάλη απώλεια αίματος. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να παραμένουν για αρκετό διάστημα μέσα στα νοσοκομεία και στις κλινικές και να επανεντάσσονται στο κοινωνικό σύνολο πολύ αργά.

Σήμερα όμως η βιοϊατρική τεχνολογία βοηθάει στα μέγιστα δημιουργώντας εργαλεία για να καταργηθούν οι μεγάλες τομές χρησιμοποιώντας μικρές τρύπες στο σώμα διαμέσου των οποίων εισέρχονται εργαλεία(όπως ψαλίδι, λαβίδες συλληπτικές, ράμματα διαθερμίες κ.λ.π.) καθώς και ειδική κάμερα(λααπροσκόπιο) για την εσωτερική απεικόνιση του ανθρωπίνου σώματος ούτως ώστε να επιτυγχάνεται το ίδιο χειρουργικό αποτέλεσμα χωρίς να τέμνεται ιδιαίτερα ο ασθενής.

Έτσι λοιπόν αναπτύσσοντας τέτοιου τύπου εργαλεία λύνονται τα χέρια των χειρουργών με αποτέλεσμα την τελευταία δεκαετία να τείνουν να καταργηθούν σχεδόν όλες οι χειρουργικές επεμβάσεις ανοικτού τύπου και να αντικαθιστάται έτσι η ανοιχτή χειρουργική με την κλειστού τύπου χειρουργική και τη λαπαροσκοπική χειρουργική.

Για να μπορεί όμως να βλέπει ο χειρουργός το εσωτερικό του σώματος και να χειρουργεί μέσω των εργαλείων χρησιμοποιούνται ειδικές κάμερες(τηλεσκόπιο, λαπαροσκόπιο) υψηλής τεχνολογίας με πρισματικούς κρυστάλλους και ειδικές οπτικές ίνες το οποίο συνδέεται με ένα ειδικό monitor από το οποίο βλέπει ο γιατρός το εσωτερικό του σώματος.

Ένα κομμάτι της βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι η ρομποτική η οποία δημιουργώντας εργαλεία τύπου ρομπότ χειρίζεται τα εργαλεία και την κάμερα εκτελώντας εντολές των χειρουργών ,δηλαδή είναι υπό την καθοδήγηση των χειρουργών.

Η χρήση των ρομπότ δημιουργεί σταδιακά την αναγκαιότητα για ρομποτική χειρουργική καθώς οδηγεί και θα οδηγήσει στην εκτέλεση της χειρουργικής πράξης **α)**σε συντομότερο χρόνο **β)**σε χειρουργική ακρίβεια ώστε να μειώνονται τα χειρουργικά λάθη **γ)**σε μείωση της έκθεσης τόσο των ασθενών όσο και των χειρουργών σε έκθεση μεταδοτικών λοιμωδών νοσημάτων **δ)**σε αντικατάσταση οργάνων με ρομποτικές προσθέσεις.

4.2 Πραγματοποίηση Λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής με τη μέθοδο Hand-Assisted, υποβοηθούμενη από το ρομποτικό βραχίονα AESOP 1000TS.

Μία από τις περιοχές που μπορεί να εφαρμοστεί η ρομποτική χειρουργική είναι και η ουρολογία. Έτσι την τελευταία τριετία έχουν αρχίσει να εκτελούνται επεμβάσεις τύπου νεφρεκτομής με τη χρήση ρομπότ. Ο αριθμός των επεμβάσεων είναι σχετικά μικρός καθώς η εμπειρία δεν είναι πολύ μεγάλη παγκοσμίως διότι η καμπύλη εκπαίδευσης για τέτοιου είδους επεμβάσεις ,που είναι εξαιρετικά δύσκολες, είναι μακροχρόνια (πάνω από δέκα έτη).

Εμείς ξεκινήσαμε τη χρήση της ρομποτικής στο νοσοκομείο Χανίων με το AESOP 1000TS για να εκτελέσουμε μια νεφρεκτομή όπου και προβήκαμε στα παρακάτω εγχειρητικά στάδια:

Η διάγνωση του ασθενούς για την έλλειψη της λειτουργικότητας του νεφρού του έγινε με τις εξής απεικονιστικές μεθόδους: **1)**Με την ενδοφλέβιο ουρογραφία (πυελογραφία) **2)**με τη αξονική τομογραφία **3)**με το ραδιενεργό νεφρόγραμμα από όπου και διαπιστώθηκε ότι πράγματι ο νεφρός δεν λειτουργούσε και παράλληλα δημιουργούσε υπέρταση στον ασθενή οπότε αποφασίστηκε να γίνει νεφρεκτομή.

Μετά την απόφαση για νεφρεκτομή έγινε πλήρης εργαστηριακός και βιοχημικός προεγχειρητικός έλεγχος του ασθενούς προκειμένου να διαπιστωθεί αν μπορούσε να δεχθεί την επέμβαση ο οποίος έδειξε ότι ήταν ικανός.

Στη συνέχεια καθορίστηκε συγκεκριμένη ημερομηνία για το χειρουργείο και τόσο ο ασθενής όσο και οι συγγενείς ενημερώθηκαν ενδελεχώς και εκτεταμένα για το είδος της επέμβασης και τη μέθοδο με την οποία θα γινόταν η εγχείρηση. Ο ασθενής συναίνεσε για τα παραπάνω αναφερόμενα.

Κατά την χειρουργική μέρα του συγκεκριμένου ασθενούς είχε ενημερωθεί και το προσωπικό του χειρουργείου και είχαν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα αποστείρωσης του ρομπότ και του χειρουργικού χώρου όπου θα χρησιμοποιούταν. Συγκεκριμένα για το ρομποτικό βραχίονα AESOP 1000TS είχαν ληφθεί τα παρακάτω μέτρα.:

Α)Είχε σταλεί το collar για ειδική αποστείρωση με το τοξικό αέριο, οξείδιο του Αιθυλενίου, σε ειδικό κλίβανο αερίου στη κεντρική αποστείρωση του νοσοκομείου για ένα 24ωρο.

Β)Χρησιμοποιήθηκαν ειδικά αποστειρωμένα καλύμματα τόσο για το βραχίονα όσο και για το υπόλοιπο μέρος του ρομπότ όπως τηλεχειριστήριο(hand control) ,ποδοχειριστήριο(foot control) κ.λ.π.

Γ)Ο ασθενής τοποθετήθηκε σε θέση πλάγια (θέση flank) πάνω στο χειρουργικό τραπέζι και περιδέθηκε με ειδικές ταινίες ασφαλείας (ιμάντες) για να υφίσταται οποιαδήποτε κίνηση κατά τη διάρκεια της χειρουργικής πράξης(κίνηση κυκλική ανοδική- καθοδική, πλάγια και ευθεία του τραπέζιου), προκειμένου να συντονιστεί με το ρομποτικό βραχίονα όσο και με την τοποθέτηση των εργαλείων και τις απαιτήσεις της εγχείρησης.

Στο χώρο του χειρουργείου υπήρχαν για τις ανάγκες της εγχείρησης οι παρακάτω κατηγορίες γιατρών και βοηθών :3 χειρουργοί, 3 αναισθησιολόγοι, 3 νοσοκόμες και 2 Ηλεκτρονικοί Μηχανικοί για τη ρομποτική υποστήριξη του βραχίονα καθώς και ένας τεχνικός του νοσοκομείου ο οποίος επέβλεπε για τη χρήση του ηλεκτρονικού

εξοπλισμού ,όπως για παράδειγμα τη φωτεινότητα του monitor, την εγγραφή της εγχειρητικής διαδικασίας σε video, τις σωστές συνδέσεις των καλωδίων, κ.α.

Αφού ο ασθενής αποστειρώθηκε διαμέσου των συνήθων αποστειρωτικών μεθόδων (betadine surgical scrub) και εισήλθε στην περιοχή της ναρκώσεως ξεκίνησε η χειρουργική διαδικασία για τη λαπαροσκοπική ρομποτική νεφρεκτομή η οποία περιελάμβανε τα εξής:

- A)** Δημιουργία πνευμοπεριτόναιου.
- B)** Τοποθέτηση των trocars (πύλες εισόδου).
- Γ)** Σχηματισμός μικρής τομής 6cm από την οποία θα έβγαινε ο νεφρός.
- Δ)** Τοποθέτηση του ρομποτικού βραχίονα στην αναγκαία θέση.
- Ε)** Σχηματισμός των διαφόρων τμημάτων του pneumosleeve

4.2.1 Αναλυτική περιγραφή των σταδίων της χειρουργικής διαδικασίας

► **A)** Προκειμένου να δημιουργηθεί το πνευμοπεριτόναιο εισάγεται στην κοιλιά, στη περιοχή του ομφαλού η δίπλα από τον ομφαλό, μια ειδική βελόνα η οποία ονομάζεται verress και μέσω αυτής γεμίζει ο κοιλιακός χώρος με CO₂ μέχρις ότου το κοιλιακό τοίχωμα να αποκτήσει την εικόνα του τυμπανισμού η οποία αποκτάται αφού χορηγηθούν περίπου 6 lt CO₂ . Η ενδοκοιλιακή τότε πίεση είναι περίπου 14-15mmHg

► **B)** Στη συνέχεια δημιουργούνται 3 πύλες εισόδου (για τα trocar) από τις οποίες θα εισέλθουν τα διάφορα λαπαροσκοπικά εργαλεία όπως κάμερα, ψαλίδι , λαβίδα, διαθερμία, τολύπια παρασκευής ιστών κ.λ.π. και οι οποίες τρύπες έχουν μέγιστη διάμετρο περίπου 1cm. Οι θέσεις που τοποθετούνται τα trocars είναι :

1) Το ένα trocar δέχεται τη λαπαροσκοπική κάμερα η οποία συγκρατείται από τον ρομποτικό βραχίονα AESOP. Σχηματίζεται στο πλάι του ορθού κοιλιακού μυός στο ύψος του ομφαλού και είναι διαμέτρου 12mm. Το λαπαροσκόπιο τοποθετείται χειρωνακτικά ,δηλαδή ο χειρουργός πατώντας το κουμπί manual mode button

απενεργοποιεί τις κλειδώσεις του AESOP και εισάγει το λαπαροσκόπιο στο συγκεκριμένο trocar.

2) Η δεύτερη είσοδος σχηματίζεται επί της πρόσθιας μασχαλικής γραμμής, λίγο πάνω από το ύψος της λαγωνίου ακάνθης και έχει διάμετρο 12mm.

3) Η τρίτη είσοδος σχηματίζεται επί της πρόσθιας μασχαλικής γραμμής στο ύψος κάτω από το πλευρικό τόξο και έχει διάμετρο 5mm.

Οι τρεις αυτές πόρτες σχηματίζουν ένα τρίγωνο και μαζί με το σημείο επικέντρωσης στο οποίο βρίσκεται το όργανο σχηματίζουν τριεδρη πυραμίδα.

► **Γ)** Στη συνέχεια δημιουργείται τομή μήκους 6cm περίπου η οποία αντιστοιχεί προσεγγιστικά στη μέγιστη διάμετρο του άκρου του χεριού του χειρουργού, ούτως ώστε δια μέσου της τομής αυτής να χωράει να εισέλθει το κύριο χέρι (το οποίο χρησιμοποιείται σε αυτή τη διαδικασία) εφαρμοστά.

Η τομή αυτή γίνεται στη μύτη της δωδεκάτης πλευράς και κατά τον άξονα αυτής και επεκτείνεται με κατεύθυνση προς τον ομφαλό, δεξιά ή αριστερά ανάλογα με το όργανο που θα εξαιρεθεί δηλαδή το δεξιό ή τον αριστερό νεφρό.

► **Δ)** Αφού λοιπόν τοποθετηθεί το χέρι μέσω της τομής και καλυπτόμενο από το γάντι δημιουργείται εκ νέου από τα τρία trocar πνευμοπεριτόναιο μέχρι το επίπεδο τυμπανισμού της κοιλιάς και έτσι πλέον από τα τρία trocar εισάγονται τα αναγκαία εργαλεία. Από τα δύο πλάγια trocar τοποθετείται ψαλίδι και λαβίδα, ενώ από το κεντρικό trocar εισάγεται κάμερα η οποία συγκρατείται από το ρομποτικό βραχίονα AESOP. Ο ρομποτικός βραχίονας, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατευθύνει την κάμερα μέσα –έξω (zooming) ,δεξιά –αριστερά δημιουργώντας ένα κωνικό οπτικό πεδίο. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα περιστροφής του λαπαροσκοπίου γύρω από τον άξονά του ώστε η εικόνα στο monitor να μπορεί να περιστραφεί, ώστε να έχει το σωστό προσανατολισμό. Έτσι το οπτικό πεδίο κατευθύνεται στα κρίσιμα σημεία που ο χειρουργός θέλει να παρασκευάσει και να απολινώσει τους ιστούς και τα αγγεία.

Η κίνηση του βραχίονα είναι ελεγχόμενη από το χειρουργό μέσω ποδοδιακόπτη, χειριστήριο χειρός η και μέσω φωνής εφόσον έχουν προγραμματιστεί πρωτότερα οι

φωνητικές κάρτες(PVC). (→Για την περίπτωση όμως της φωνητικής αναγνώρισης απαιτούνται τα μοντέλα AESOP 2000 και AESOP 3000, που υποστηρίζουν το σύστημα αυτό). Έτσι εφόσον χρειάζεται ευκρίνεια και μεγέθυνση της εικόνας, το λαπαροσκόπιο πλησιάζει από κοντά τον ιστό-στόχο ,ενώ όταν ο χειρουργός θέλει να δει στερεομετρικά το χώρο απομακρύνεται από τον ιστό ή το όργανο στόχο ,ώστε να έχει σφαιρική εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Εφόσον ο χειρουργός θέλει να δει εικόνες προηγούμενης παρασκευής των ιστών καθώς και άλλες χειρουργικές πράξεις, πατώντας τα κουμπιά επαναφοράς μνήμης στο εκάστοτε χειριστήριο, επιστρέφει σε αποθηκευμένες θέσεις όπου πραγματοποιήθηκαν οι πράξεις αυτές. Αυτή η δυνατότητα προσφέρεται καθώς ο βραχίονας έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης έξη χωρικών συντεταγμένων(X, Y, Z) του άκρου του λαπαροσκοπίου(τέσσερις από το χειριστήριο χερός και δύο από τον ποδοδιακόπτη), πράγμα που μεταφράζεται αυτομάτως, σε έξη πιθανές λαπαροσκοπικές εικόνες. Ανάλογα βέβαια με τα στάδια που βρίσκεται η εγχείριση αποθηκεύονται και οι θέσεις, δηλαδή μπορεί να σβηστεί από την μνήμη κάποια θέση στην οποία έχει ολοκληρωθεί για παράδειγμα η παρασκευή των ιστών.

► Ε)Αφού δημιουργηθεί η τομή αυτή ,μέσω της οποίας όπως προηγούμενα αναφέρθηκε εισέρχεται το χέρι, προκειμένου να μην υπάρχουν διαφυγές του αερίου(CO₂) τοποθετείται το ειδικό γάντι (pneumosleeve) το οποίο απαρτίζεται από τρία τμήματα.

Το 1^ο τμήμα είναι ένα γάντι από νάιλον, αδιάβροχο και αεροστεγές το οποίο εκτείνεται μέχρι τον αγκώνα του χεριού του χειρουργού. Το 2^ο τμήμα είναι μια κυκλική αυτοκόλλητη βάση η οποία εφαρμόζεται περιφερειακά της τομής και μέσω της οποίας εισέρχεται το χέρι το οποίο εφαρμόζει στην επιφάνεια του γαντιού. Το 3^ο τμήμα είναι ένας πλαστικός κύλινδρος ο οποίος φέρει δύο δακτυλίους. Ο κατώτερος εκ των δύο δακτυλίων εφαρμόζει ενδοκοιλιακά στη βάση ενώ ο άνω δακτύλιος εφαρμόζει στο γάντι. Με αυτόν τον τρόπο στεγανοποιείται η τομή και δεν υπάρχει διαφυγή του ενδοκοιλιακού αερίου.

Αφού τοποθετηθεί το χέρι με το αντίστοιχο γάντι(pneumosleeve) καθώς και τα τρία trocar στις αντίστοιχες θέσεις, όπως περιγράφηκαν προωύτερα και έχει δημιουργηθεί το πνευμοπεριτόναιο με ενδοκοιλιακή πίεση περίπου 14-15mmHg ,ξεκινάει η εγχείριση τοποθετώντας την κάμερα-λαπαροσκόπιο 0⁰ στο βραχίονα του ρομπότ και η

οποία εισέρχεται δια μέσου του παρομφαλικού trocar ,12mm.Στη συνέχεια τοποθετείται από τα trocar ,από το υποχόνδριο και αυτό της πρόσθιας άνω λαγονίου ακάνθης, ψαλίδι από το ένα και συλληπτική λαβίδα από το άλλο, τα οποία εργαλεία έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται με ηλεκτρικές διαθερμίες ,μέσω των οποίων μπορεί να γίνει ηλεκτροκαυτηρίαση των αιμοραγούντων μικρών αγγείων και έτσι να μην έχουμε αιμορραγίες. Το μήκος το εργαλείων αυτών και της κάμερας είναι μεταξύ 30-60 cm ,ούτως ώστε να μπορούν να φτάσουν σε οποιοδήποτε επιθυμητό βάθος του κοιλιακού χώρου. Τα μήκη των εργαλείων επιλέγονται ανάλογα με το όργανο στόχο που θέλουν να προσεγγίσουν.

Μετά την τοποθέτηση των εργαλείων δια μέσου των trocar, ξεκινάει η χειρουργική διαδικασία για να επιτευχθεί η νεφρεκτομή ακολουθώντας τα εξής στάδια:

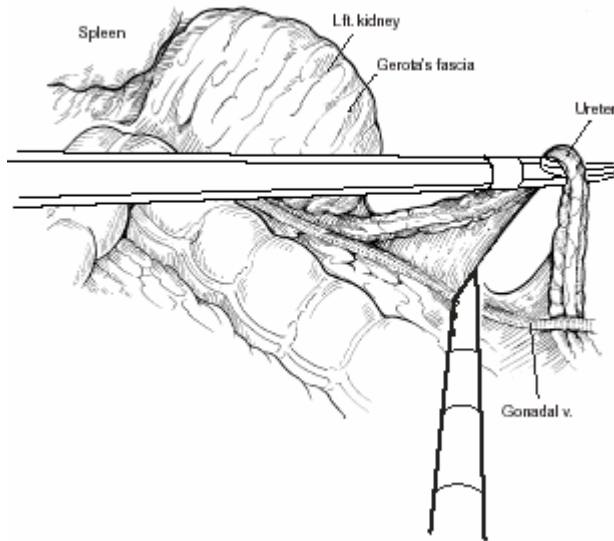
A)Παρασκευή του ουρητήρα

B)Παρασκευή του αγγειακού μίσχου και του κάτω πόλου του νεφρού.

Γ)Περιφερική αποκόλληση του νεφρού και του επινεφριδίου από τους γειτονικούς ιστούς.

Ανάλυση 1^{ου} σταδίου

Με την καθοδήγηση της ρομποτικής κάμερας προσεγγίζεται η περιτονία του Toldt η οποία συλλαμβάνεται και παρασκευάζεται κόβοντας τη από το ύψος λίγο πιο πάνω από τα λαγόνια αγγεία μέχρι πολύ κοντά στο ήπαρ(συκώτι). Κατά αυτόν τον τρόπο αποκολλάται η κολική καμπή και το ανιόν κόλον και κατασπάζοντας τη εισερχόμαστε στο οπισθοπεριτοναϊκό χώρο. Αφού εισέλθουμε σε αυτόν το χώρο κινούμαστε μετατοπίζοντας ένα ουρητικό καθετήρα ο οποίος έχει τοποθετηθεί προεγχειρητικά στο δεξιό ουρητήρα, για να μπορέσουμε έτσι να ανιχνεύσουμε με το περισταλτισμό και την κίνηση του ουρητήρα, το όργανο αυτό. Αναγνωρίζοντας τον ουρητήρα λοιπόν τον συλλαμβάνουμε με τη χειρουργική λαβίδα και τον αποκολλάμε με το ψαλίδι από τον υπόλοιπο ιστό.(σχήμα 4.1).

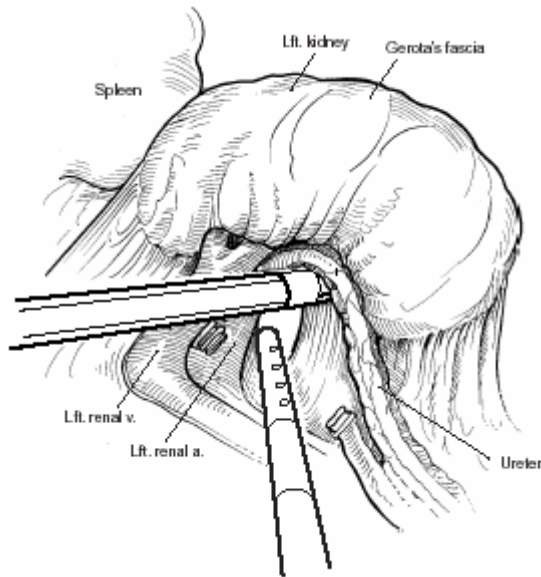


Σχήμα 4.1. Ανύψωση του ουρητήρα με το χειρουργικό ψαλίδι και αποκόλληση του από τον υπόλοιπο ιστό.

Στην συνέχεια τον κρεμάμε δια μέσω ενός ράμματος σε μία αιωρούμενη θέση για να προχωρήσουμε την παρασκευή στον κάτω πόλο του νεφρού. Τα διάφορα αιμορραγούντα αγγεία περιφερικά του ουρητήρα καίγονται και απολινώνονται μέσω της διαθερμίας. Σε όλη τη διάρκεια της πράξης αυτής, η ρομποτική κάμερα κατευθύνει με σταθερότητα τις χειρουργικές πράξεις. Καθώς ο χειρουργός παρακολουθεί συνεχώς στερεομετρικά την εικόνα δια μέσου του μόνιτορ, η ρομποτική κάμερα συμβάλλει στην ευκρίνεια της εικόνας είτε πλησιάζοντας πολύ κοντά στο όργανο-στόχο ,είτε κάνοντας περιστροφικές κινήσεις ,κυκλικές ή σφαιρικές γύρω από τον επιδιωκόμενο στόχο.

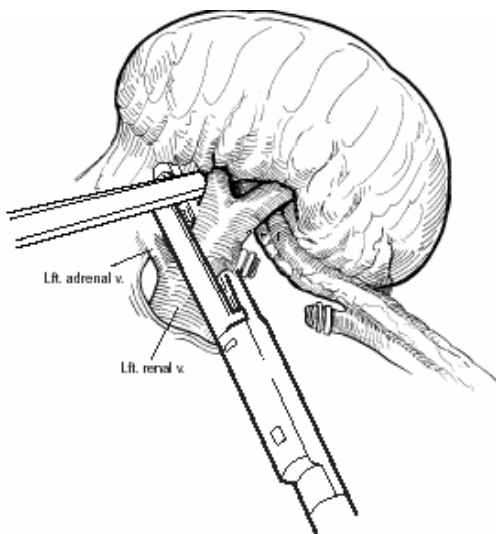
Ανάλυση του 2^{ου} σταδίου(παρασκευή του κάτω πόλου και του αγγειακού μίσχου)

Αφού ολοκληρωθεί η παρασκευή του ουρητήρα και προσεγγιστεί η πύλη του νεφρού, στη συνέχεια παρασκευάζεται η πύελος από το περιπυελικό λίπος το οποίο αποκολλάται από την επιφάνεια της και καίγεται από το χειρουργό. Σηκώνοντας με τη βοήθεια της λαβίδας τον κάτω πόλο του νεφρού, αφού έχει πρωτύτερα παρασκευαστεί (σχήμα 4.2), εισερχόμαστε στο νεφρικό κόλπο στον οποίο εισέρχονται τα αγγεία του νεφρικού μίσχου. Με τον κάτω πόλο αναρτημένο και σε έλξη παρασκευάζεται πρώτα η νεφρική φλέβα την οποία αναγνωρίζουμε πρώτη και στη συνέχεια η νεφρική αρτηρία. Αφού παρασκευάσουμε τα αγγεία αυτά τότε τοποθετούμε ένα ειδικό εργαλείο το οποίο καλείται μισχοτόμος (EndoGIA) το οποίο περιβάλλει ξεχωριστά τη φλέβα και τη αρτηρία επειδή φέρει στο πέρας του δύο σιαγόνες .Αφού τοποθετηθούν οι σιαγόνες του EndoGIA πρώτα από την αρτηρία και



Σχήμα 4.2. Είσοδος στο νεφρικό κόλπο αφού πρώτα έχει σηκωθεί και παρασκευαστεί με τη βοήθεια λαβίδας ο κάτω πόλος του νεφρού.

μετά στην φλέβα, οι σιαγόνες συνθλίβουν τα αγγεία του μίσχου και με ένα ειδικό μηχανισμό κόβουν τα παραπάνω αγγεία, αφού πρώτα έχουν συνθλίψει τον αυλό τους μέσα σε clips τιτανίου(σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3.Κόψιμο των αγγείων του μίσχου με τη βοήθεια του εργαλείου EndoGIA.

Ανάλυση 3^{ου} σταδίου

Αφού έχουμε αποκόψει τον αγγειακό μίσχο ,στην συνέχεια παρασκευάζουμε περιφερικά το νεφρό και το επινεφρίδιο από τους γειτονικούς ιστούς και τον αποκολλάμε από τον οπισθοπεριτοναϊκό χώρο μαζί με τον ουρητήρα ,όπου στη συνέχεια το παρασκεύασμα εξέρχεται όλο μαζί δια μέσου της μικρής τομής η οποία έχει σχηματιστεί στην αρχή της επέμβασης, και το στέλνουμε στο παθοανατομικό εργαστήριο για εξέταση. Στην εικόνα 4.1 φαίνεται ο ρομποτικός βραχίονας AESOP

1000TS ο οποίος βοήθησε σημαντικά στη διαδικασία της λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής.



Εικόνα 4.1. Ο ρομποτικός βραχίονας AESOP 1000TS που χρησιμοποιήθηκε στις λαπαροσκοπικές νεφρεκτομές.

Στην συνέχεια ελέγχουμε εκ νέου όλο το χειρουργικό χώρο επισταμένα με τη ρομποτική κάμερα προκειμένου να σταματήσουμε οποιαδήποτε μικροτριχοειδική αιμορραγία ελέγχοντας εκ νέου και τον αγγειακό μίσχο. Στην εικόνα 4.2 διακρίνεται ο ρομποτικός βραχίονας τοποθετημένος στο σώμα του ασθενή καθώς και μια άποψη του χειρουργείου.



Εικόνα 4.2. Έλεγχος του ασθενούς για την ανίχνευση κάποιας αιμορραγίας με το AESOP. Το χέρι του χειρουργού βρίσκεται συνεχώς μέσα στο σώμα του ασθενούς.

Αφού ελεγχθεί ο χειρουργικός χώρος για την διαπίστωση οποιασδήποτε αιμορραγίας αφαιρείται το πνευμοπεριτόναιο από την κοιλιά του ασθενούς ,απομακρύνεται ο ρομποτικός βραχίονας και τα εργαλεία μαζί με τα trocars. Τότε στην κοιλιά μένει μόνο το χέρι(εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3. Αφού ελεγχθεί ο ασθενής για την ύπαρξη οποιασδήποτε αιμορραγίας αφαιρείται το πνευμοπεριτόναιο, απομακρύνεται το AESOP και τα εργαλεία και μένει μόνο το χέρι στην κοιλιά.

Χρησιμοποιώντας το χέρι ράβονται τα μικρά κοιλιακά ανοίγματα των trocars για να μην δημιουργηθούν μετεγχειρητικές κοίλες. Στη συνέχεια αφαιρείται το χέρι και το γάντι συγχρόνως και γίνεται και εκεί συρραφή κατά στρώματα τις μικρής τομής(εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4. Οι θέσεις όπου πραγματοποιήθηκαν οι τομές στο σώμα του ασθενή μερικές μέρες μετά την εγχείριση.

Το πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησεως του ρομποτικού βραχίονα AESOP, που διαπιστώθηκαν με το πέρας της νεφρεκτομής, τόσο για τον ασθενή όσο και για τον χειρουργό ,είναι:

1. Επιτρέπει στο χειρουργό να μειώσει σημαντικά και στο ελάχιστο τη διεγχειρητική αιμορραγία χρησιμοποιώντας εικόνες υψηλής ευκρίνειας που του παρέχει το ρομπότ λόγω της σταθερότητας και της ακρίβειας με την οποία κινείται.
2. Μειώνει επίσης τις διεγχειρητικές επιπλοκές λόγω του εκ των προτέρων καθορισμού του βάθους στο οποίο μπορεί να κινηθεί η κάμερα(Με τον ορισμό του lower limit που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο).
3. Μειώνει το διεγχειρητικό χρόνο νοσηλείας αλλά και το μετεγχειρητικό χρόνο νοσηλείας λόγω του ότι λιγοστεύει την αιμορραγία και τις διεγχειρητικές επιπλοκές.
4. Ένα από τα πιο σπουδαία πλεονεκτήματα της εφαρμογής του συγκεκριμένου βραχίονα είναι ότι μπορεί να καταγραφούν εικόνες-θέσεις προσανατολισμού του λαπαροσκοπίου στην μνήμη του ρομπότ και έτσι ο χειρουργός να μπορεί να επιστρέψει σε αυτές ανά πάσα στιγμή σε κάποια κρίσιμα χειρουργικά σημεία που αυτός έχει επιλέξει για αποθήκευση.
5. Ο χειρουργός είναι σε θέση να κινεί το βραχίονα στις επιθυμητές θέσεις έχοντας ταυτόχρονα και τα δύο του χέρια ελεύθερα. Το λαπαροσκόπιο τότε παραμένει σταθερό άρα και η εικόνα του εσωτερικού του ασθενή, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για συνεχείς οδηγίες σε ένα βοηθό-χειριστή της κάμερας.

Ο συνολικός χρόνος της διαδικασίας της λαπαροσκοπικής hand-assisted νεφρεκτομής με τη χρήση του ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000TS, ήταν περίπου 250 λεπτά. Αυτός ο χειρουργικός χρόνος σε σύγκριση με τον αντίστοιχο μιας κλασσικής λαπαροσκοπικής νεφρεκτομής(περίπου 360 λεπτά) δείχνει την αισθητή διαφορά στην χρονική έκβαση των δύο διαδικασιών. Στη μείωση του εγχειρητικού χρόνου συνέβαλλε αποκλειστικά η σταθερότητα των κινήσεων του βραχίονα. Αυτό το σημείο έχει δύο παραμέτρους. Την ελαχιστοποίηση των φορών που βγήκε το λαπαροσκόπιο για καθαρισμό(οι ακριβές κινήσεις δεν προκαλούσαν συχνά το θάμπωμα των φακών) και την εξάλειψη των επαναλαμβανόμενων οδηγιών σε βοηθό-χειριστή που προκαλεί ασυνεννοησία και εκνευρισμό στο χειρουργείο, καταστάσεις που παρατείνουν την έκβαση της εγχείρισης.

Την παραπάνω διαδικασία της νεφρεκτομής ακολούθησαν άλλες τρεις νεφρεκτομές, την ίδια χρονική περίοδο(Νοσοκομείο Χανίων, Απρίλιος 2003-Μάιος 2003) χρησιμοποιώντας τα ίδια μέσα και μεθόδους(ρομποτικός βραχίονας AESOP και τεχνική Hand-assisted) οι οποίες στέφθηκαν με απόλυτη επιτυχία. Οι εγχειρητικοί χρόνοι ήταν παρόμοιοι με τον αρχικό και κυμάνθηκαν περίπου από 240-280 λεπτά. Έκτοτε ο ρομποτικός βραχίονας αποτέλεσε απαραίτητο στοιχείο για την έκβαση τέτοιων διαδικασιών, καθώς συντελεί στην μείωση της εγχειρητικής διαδικασίας, στην σταθερή και ακριβή πλοήγηση της κάμερας στο εσωτερικού του ασθενή καθώς και στην μεγαλύτερη ασφάλεια του.

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα

Ο ρομποτικός βραχίονας AESOP βρίσκεται σε κλινική χρήση τα τελευταία χρόνια σε νοσοκομεία των Η.Π.Α. και της Ευρώπης. Από το 1994 που εγκρίθηκε από την FDA(Food and Drug Administration) των Η.Π.Α. έχει συμμετάσχει σε περίπου 300.000 απλές και σύνθετες εγχειρίσεις. Στην χώρα μας αυτή η προσπάθεια ξεκίνησε πρόσφατα με την πραγματοποίηση τριών λαπαροσκοπικών hand-assisted νεφρεκτομών με τη χρήση του AESOP 1000TS. Τα αποτελέσματα αυτών των επεμβάσεων απέδειξαν τις δυνατότητες του συστήματος που αν και στην αρχική του μορφή, καθώς διέθετε μόνο υποστήριξη από χειριστήριο χειρός και ποδοδιακόπτη, ελαχιστοποίησε το χειρουργικό χρόνο της διαδικασίας σε 254 λεπτά(από τα περίπου 360 λεπτά που απαιτεί η συνήθης διαδικασία).

Η εύκολη τοποθέτηση του συστήματος στο χειρουργικό τραπέζι σε συνδυασμό με τις μηδαμινές απαιτήσεις εγκατάστασης, η συνεχής σταθερότητα της λαπαροσκοπικής εικόνας, η δυνατότητα αποθήκευσης θέσεων στη μνήμη ,καθώς και τα οφέλη που αποκομίζει ο ασθενής, κάνουν το σύστημα πολύ προσιτό στις λαπαροσκοπικές διαδικασίες. Το ρομποτικό σύστημα AESOP συμβάλλει στην ασφαλέστερη διεξαγωγή των χειρουργικών διαδικασιών ,καθώς εξαλείφει την ανάγκη για βοηθό-χειριστή της κάμερας, οδηγώντας έτσι σε περισσότερη αποτελεσματικότητα για το νοσοκομείο και λιγότερη κούραση για το χειρουργό και το προσωπικό. Με το AESOP ο συνωστισμός στο χειρουργείο εξαλείφεται ,παράγοντας πολύ σημαντικός για την επικράτηση άνετων συνθηκών εργασίας για το χειρουργό. Σε πιο απλές χειρουργικές διαδικασίες, όπως για παράδειγμα στη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή , ο γιατρός μπορεί να χειρουργήσει μόνος του(solo surgery).Σε αυτή την περίπτωση η μονοπρόσωπη χειρουργική ομάδα ,συνεπάγεται τη σχετική μείωση του κόστους της εγχείρισης, παράγοντας ιδιαίτερα σημαντικός σε μια εποχή που το κόστος Υγείας είναι ιδιαίτερα αυξημένο.

Το AESOP είναι απλό και ασφαλές σύστημα που όμως περιορίζεται στο χειρισμό της λαπαροσκοπικής κάμερας κατά την έκβαση λαπαροσκοπικών διαδικασιών. Ωστόσο, η χρήση των ρομποτικών συστημάτων που αναμένεται να εδραιωθεί και να

αυξάνεται τα επόμενα χρόνια ,επιβάλλει τόσο τη συστηματική εξοικείωση των νέων χειρουργών με την νέα τεχνολογία όσο και την συνεχή μελέτη και ασφαλή ανάπτυξη των συστημάτων αυτών από τη μεριά των Μηχανικών. Με αυτό τον τρόπο θα βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα ζωής του ανθρώπου και οι παρεχόμενες υπηρεσίες υγείας.

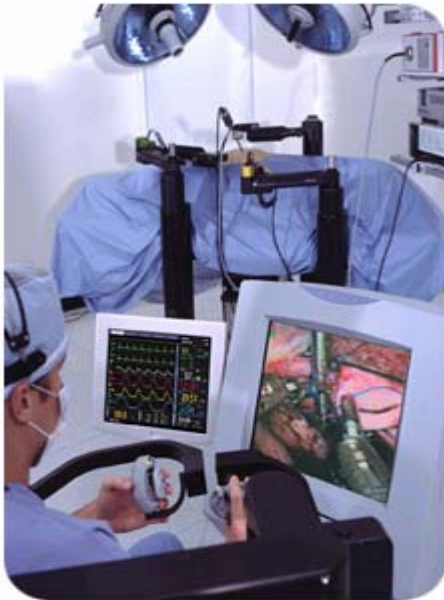
Βιβλιογραφία

- [1]. Ali Faraz and Shahram Payandeh.” Engineering Approaches to mechanical and Robotic design for Minimally Invasive Surgery”.
- [2]. John J. Craig, ”Introduction to Robotics, Mechanics and Control” Second Edition
- [3]. K. S. Fu, R. C Gonzalez, C. S. G. Lee, “Robotics, Control, Sensing, Vision and Intelligence”
- [4]. Wolfram Stadler, ”Analytical Robotics and Mechatronics”
- [5]. Jadran Lenarcic and Bahram Ravani “Advances in Robot Kinematics and Computational Geometry”
- [6]. Σπύρος Γ. Τζαφέστας ,”Ρομποτική”, Τόμος Ι, Ανάλυση και Έλεγχος, Ε.Μ.Π.
- [7]. Δημήτριος Μ. Εμίρης ,” Ρομποτική”, Πολυτεχνείο Κρήτης,1999
- [8]. Computer Motion Inc.,130 Cremona Dr., Goleta, CA 93117,USA.
- [9]. AESOP: Automated Endoscopic System for Optimal Positioning
- [10]. Faraz and S. Payandeh., ”A robotic case study: Optimal design for laparoscopic stands” *In Proceedings of IEEE International conference on Robotics and Automation (ICRA '97)*, volume 2, pages 1553-1560, April 1997.
- [11]. A.L.Gaspari and N. Di Lorenzo, “State of the Art of Robotics in General Surgery”.
- [12]. W. Peter Geis, Paul C. McAfee, Edward J. Brennan, H. Charles Kim, “Robotic Arm Enhancement to Accommodate Improved Efficiency and Decreased Resource Utilization in Complex Minimally Invasive Surgical Procedures”.1996
- [13]. Yuan-Fang Wang, Darrin R. Uecker, Yulun Wang, “A New Framework for Vision and Robotically-Assisted Minimally Invasive Surgery”.
- [14]. Krupa, M. de Mathelin, C.Doignon, J.Gangloff, G.Morel, L.Soler, J.Leroy and J. Marescaux, ”Automatic Positioning of Surgical Instruments During Laparoscopic Surgery with Robots Using Automatic Visual Feedback”,2002.
- [15]. G. Dushemin, E. Dombre, F. Pierrot, E. Degoulange, ”SCALPP: A 6-DOF Robot with A Non-Spherical Wrist for surgical Applications”.
- [16]. ”Robotect: Serial-link Manipulator design software for Modeling, Visualization and Performance analysis”,<http://www.ophirtech.com>.
- [17]. NASA TechBriefs, “Robotics For Safer Surgery”.
- [18]. Jay T.Bishoff, Louis R Kavoussi, ”Laparoscopic Surgery of the Kidney”.

- [19]. Marc O.Schurr, Alberto Arezzo, Gerhard F.Buess, "Robotics and systems technology for advanced endoscopic procedures: experiences in general surgery".
- [20]. J.Stuart Wolf, "Hand-assisted laparoscopy:Pro", 2001 Elsevier Science Inc.
- [21]. Michael A. Jenkins, J. Jason Crane and Larry C. Munch, "Bilateral Hand-assisted Laparoscopic Nephrectomy fro autosomal dominant polycystic kidney disease using a single midline handport incision", 2002 Elsevier Science Inc.
- [22]. Michael Stifelman and Alan M.Nieder, "Prospective Comparison of Hand-assisted Laparoscopic Devices", 2002 Elsevier Science Inc.

Παράρτημα Α

Σε αυτό το παράρτημα παρατίθενται μερικές εικόνες που παρουσιάζουν τον τρόπο χρήσης των ρομπότ σε χειρουργικές διαδικασίες.



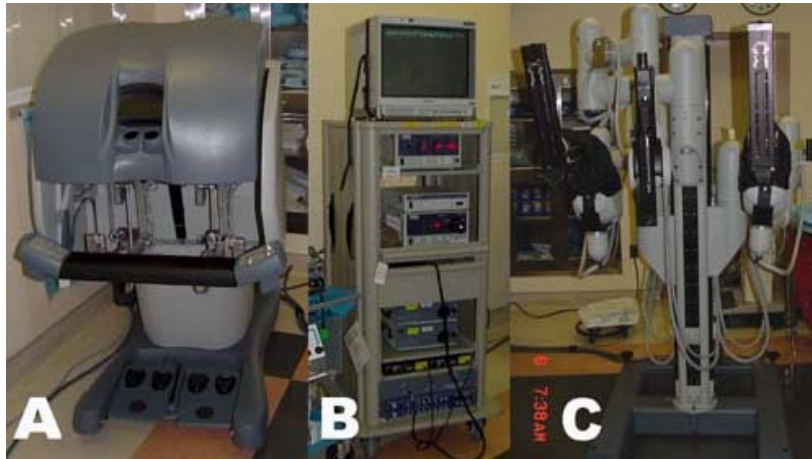
Σχήμα1.Α Κονσόλα με χειριστήριο για εγχείριση από απόσταση και μόνιτορ



Σχήμα2.Α. Ρομποτικοί βραχίονες του Zeus



Σχήμα3.Α.
Ρομποτικοί βραχίονες του Zeus και ο χειρισμός τους από εργονομική κονσόλα.



Σχήμα1.4 Το τηλερομποτικό σύστημα Da-Vinci αποτελείται από 3 μέρη α)Κονσόλα του χειρουργού β)Τον ηλεκτρονικό πίνακα με το μόνιτορ και γ)Το ρομποτικό σύστημα υποστηρίζει 3 βραχίονες



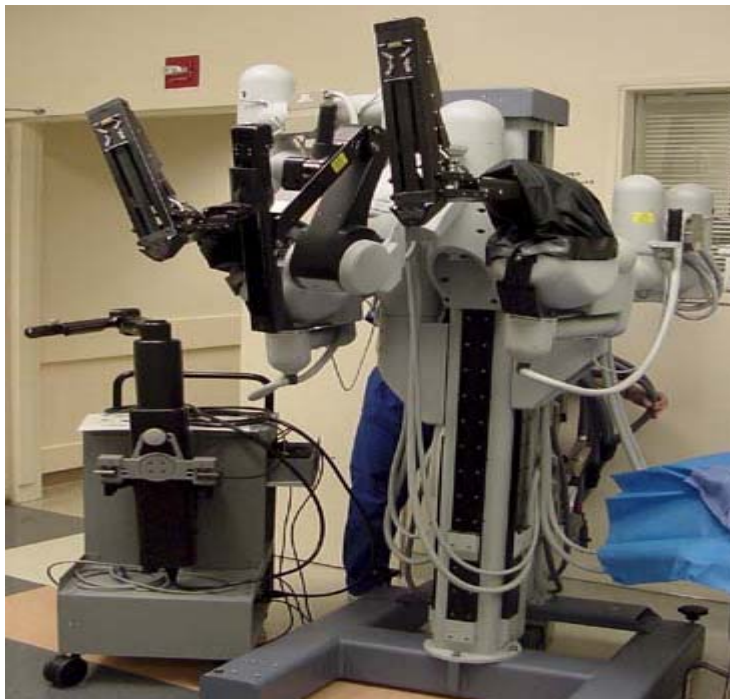
Σχήμα1.5 Ο Γιατρός κάθεται στην κονσόλα του computer. Παρατηρεί ένα εικονικό πεδίο μέσω διοπτρικού τρισδιάστατου συστήματος. Η θέση του είναι εργονομική και τα χέρια του στηρίζονται. Με πεντάλ ποδιού κατευθύνει τις κινήσεις του ρομπότ.



Σχήμα1.6 Η κονσόλα χειρισμού του



Σχήμα1.7ΑΟ γιατρός τοποθετεί τα χέρια του σε ειδικές εσοχές που μεταφράζουν τις κινήσεις του σε κινήσεις στους βραχίονες του ρομπότ. Ο γιατρός και το ρομπότ έχουν μια σχέση master-slave



Σχήμα1.8ΑΤο σύστημα υποστηρίζει 3 ρομποτικούς βραχίονες .Η διπλανή φωτογραφία δείχνει το ρομπότ Da-vinci και δίπλα του το AESOP 3000 που χρησιμεύει για να κρατάει την κάμερα σε εγχειρίσεις.



Σχήμα1.9Α. Ρομποτικοί βραχίονες του Zeus



Σχήμα1.10ΑΤο ρομπότ μετακινείται δίπλα στο χειρουργικό κρεβάτι



Σχήμα1.11ΑΟι ρομποτικοί βραχίονες συγκρατούν δύο χειρουργικά εργαλεία και μία κάμερα. Τα εργαλεία έχουν 7 βαθμούς ελευθερίας και 2 περιστροφικής κίνησης. Το



Σχήμα1.12ΑΤα τρία ρομποτικά εργαλεία εισέρχονται στην κοιλιά του ασθενή μέσω των λαπαροσκοπικών trocars. Στην κοιλιά του ασθενή εμφυσάτε CO₂ για να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την επέμβαση. Τα trocars έχουν βαλβίδες που εμποδίζουν τη διαφυγή του CO₂.



Σχήμα1.13ΑΟι ρομποτικοί βραχίονες στη συνέχεια εισέρχονται στην κοιλιά του ασθενή μέσω των trocas



Σχήμα1.14ΑΗ εικόνα αυτή δείχνει τη σύνδεση του βραχίονα με το μεταλλικό trocar μέσω του οποίου ο βραχίονας εισέρχεται στη κοιλιά του ασθενή



Σχήμα1.15ΑΗ εικόνα αυτή δείχνει τη σύνδεση τη συνολικό σχηματισμό του χειρουργείου με το σύστημα master-slave.