



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

Νέες Τεχνολογίες και μη Επεμβατική Ιατρική

Ένα βήμα για την τεχνολογία, ένα μεγάλο βήμα για την
υγεία.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Παπαντωνάκης

Αλέξανδρος Περράκης

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

Νέες Τεχνολογίες και μη Επεμβατική Ιατρική

Ένα βήμα για την τεχνολογία, ένα μεγάλο βήμα για την
υγεία.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Παπαντωνάκης

Αλέξανδρος Περράκης

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Ιουνίου 2013.

.....
Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ανδριάνα Πρέντζα

Επ. Καθ. Παν/μίου Πειραιώς

Αθήνα, Ιούνιος 2013

.....

Γεώργιος Παπαντωνάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

.....

Αλέξανδρος Περράκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Παπαντωνάκης, Αλέξανδρος Περράκης, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 και έπειτα, οι εξελίξεις στον τομέα της χειρουργικής είναι ραγδαίες. Λίγο πριν το 2000 είχε ήδη καθιερωθεί η λαπαροσκοπική χειρουργική, τόσο πρακτικά όσο και θεωρητικά. Έτσι, άνοιξε ο δρόμος για την ελάχιστα επεμβατική χειρουργική παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της ιατρικής. Οι τεχνολογικές αυτές πρωτοπορίες, έφεραν στα χειρουργεία τα πρώτα ρομπότ, που στην αρχή έπαιξαν το ρόλο του βοηθού του γιατρού (Puma, Probot, κλπ) αλλά η επανάσταση στη χειρουργική έγινε με τη είσοδο του συστήματος da Vinci το οποίο και χρησιμοποιείται ευρύτατα ως και στις μέρες μας.

Τα πράγματα όμως δεν έχουν μείνει εκεί. Σύντομα αναπτύχθηκε μια νέα τεχνική χειρουργικής, η επονομαζόμενη NOTES, η οποία έχει δώσει άλλη διάσταση στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική. Η τεχνική αυτή προτείνει να εισέρχονται τα ενδοσκόπια αλλά και τα χειρουργικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται από τις φυσικές οπές του σώματος (στόμα πρωκτός κλπ). Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετοί τύποι ενδοσκοπίων που χρησιμοποιούν διαφορετικά εργαλεία. Με αφετηρία αυτά, έχουν εφευρεθεί και διάφοροι τύποι μικρο-ρομπότ από επιστημονικές ομάδες, τα οποία εισέρχονται στον οργανισμό με τον ίδιο τρόπο και μπορούν να εκτελέσουν διάφορες κινήσεις μέσα στο σώμα καθώς και βιοψίες και μικροεπεμβάσεις.

Τέλος, υπάρχει μια τάση στους επιστημονικούς κύκλους, η οποία αναπτύσσεται παράλληλα με τις εξελίξεις στον τομέα της νανοτεχνολογίας η οποία αναφέρεται στην νανοχειρουργική και την ανάπτυξη νανορομπότ με βιοαισθητήρες και ενεργοποιητές. Πρέπει να τονισθεί βέβαια ότι μπορεί ποτέ να μην επικρατήσει αυτή νέα τάση στην ιατρική, παρ' όλα αυτά οι συγγραφείς αυτής της εργασίας την υποστηρίζουν. Στο κλείσιμο υπάρχει η πρόταση του σχεδίου L.A.BY.R.IN.TH (Life Aided By Robotic Intrabdominal Therapists) το οποίο στοχεύει, στην παροχή στην επιστημονική κοινότητα μιας ολοκληρωμένης λύσης σε θέματα που αφορούν τη NOTES.

Λέξεις - κλειδιά

Λαπαροσκοπική χειρουργική, ελάχιστα επεμβατική χειρουργική, da Vinci, NOTES, ενδοσκόπια, μικρο-ρομπότ, νανοχειρουργική, βιοαισθητήρες, L.A.BY.R.IN.TH

Abstract

Since the mid-1980s and beyond, the progress in the field of surgery is rapid. Just before 2000, laparoscopic surgery had already been established both practically and theoretically. That, in contribution with the evolution of technology, prepared the way for minimally invasive surgery. Robots made their first appearance initially as doctor's assistants (Puma, Probot, etc); although the introduction of daVinci system which is widely used till date, made the revolution in surgery.

However, a new technique of surgery was soon developed, called NOTES, which gave another dimension in minimally invasive surgery. That technique recommends endoscope and other surgery tools to be inserted from natural holes of human body such as mouth and anus. For this reason there are many types of endoscopes which use different tools. Starting with these, various types of micro-robots have been invented, which are entering the body in the same way and moving into than even been able to do biopsies and minor operations.

Finally there is a trend in the scientific world, which is developed in parallel with the developments in the field of nanotechnology; the last is referred to nanosurgery and the development of nanorobots with biosensors and activators. However it is worth mentioning that this trend may never dominate in medicine, although the authors of this thesis support this trend. At the end, there is a proposal of L.A.BY.R.IN.TH (Life Aided By Robotic Intrabdominal Therapists) which aims at providing scientific community a complete solution in topics regarding NOTES.

Keywords

Laparoscopic surgery, minimally invasive surgery, daVinci, NOTES, endoscopes, micro-robots, nanosurgery, biosensors, L.A.BY.R.IN.TH

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Δημήτριο Κουτσούρη καθώς και τις οικογένειες μας, για την βοήθεια και την αμέριστη υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	13
Κεφάλαιο 2 Λαπαροσκοπική χειρουργική ή Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική	
2.1 Εισαγωγή στη Λαπαροσκοπική χειρουργική	17
2.2 Εξοπλισμός λαπαροσκοπικής αιθούσης - βασικά εργαλεία.....	18
2.3 Τεχνολογική υποστήριξη.....	20
2.4 Εφαρμογές.....	23
2.5 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα	28
2.5.1 Πλεονεκτήματα.....	28
2.5.2 Μειονεκτήματα	28
Κεφάλαιο 3 Ρομποτική χειρουργική	
3.1 Εισαγωγή στη Ρομποτική χειρουργική	39
3.2 Ιστορική αναδρομή της Ρομποτικής Χειρουργικής	40
3.3 Πεδία Εφαρμογών	46
3.4 Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα	46
3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	47
Κεφάλαιο 4 Το χειρουργικό σύστημα da Vinci	
4.1 Σύντομη παρουσίαση του συστήματος	53
4.2 Αναλυτική περιγραφή του χειρουργικού συστήματος da Vinci	54
4.2.1 Η κονσόλα του χειρουργού (Surgeon Console).....	54
4.2.2 Ο χειρουργικός πύργος (Surgical Cart)	56
4.2.3 Το σύστημα τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης Insite.....	57
4.2.4 Χειρουργικά εργαλεία EndoWrist (EndoWrist Instruments)	58
4.3 Οι εκδόσεις da Vinci SHD και da Vinci SiHD	62
4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	64
4.5 Επεμβάσεις που χρησιμοποιείται το da Vinci.....	65
4.6 Συνοπτικά οικονομικά μεγέθη	66
Κεφάλαιο 5 Ενδοσκοπική χειρουργική δια μέσω φυσικών οπών	
5.1 Εισαγωγή.....	69

5.2 Ιστορία της ενδοσκοπικής χειρουργικής δια μέσω φυσικών οπών	70
5.2.1 Η γέννηση της NOTES (2000)	70
5.2.2 Έναρξη της NOTES (2000-2004).....	72
5.2.3 Άνθηση της NOTES (2005-2008)	72
5.2.4 Η NOTES στην ιατρική (2009-2011)	74
5.2.5 Διακολλική επανάσταση στη NOTES	74
5.2.6 Επιτεύγματα στην επεμβατική ενδοσκόπηση.....	75
5.3 Εύκαμπτες ενδοσκοπικές πλατφόρμες	74
5.3.1 Πρωτότυπα Ενδοσκόπια	76
5.3.2 Περιορισμοί του εύκαμπτου ενδοσκοπίου.....	78
5.4 Προσπέλαση – Σύγκλιση	80
5.4.1 Μέθοδοι δημιουργίας οπής επί κοίλου σπλάχνου	80
5.4.1.1 Τεχνική διουρηθρικής/διακυστικής προσπέλασης	80
5.4.1.2 Τεχνική διακολλικής προσπέλασης	81
5.4.1.3 Τεχνική διαγαστρικής προσπέλασης	83
5.4.1.4 Τεχνική διακολλικής προσπέλασης	87
5.4.2 Σύγκλισης της οπής προσπέλασης	88
5.4.2.1 Μέθοδοι σύγκλισης οπής στην διουρηθρικής/διακυστικής προσπέλασης.....	88
5.4.2.2 Μέθοδοι σύγκλισης της οπής πρόσβασης επί του γαστρεντερικού σωλήνα	89
5.4.2.2.1 Συστήματα απλής συρραφής	90
5.4.2.2.2 Χρήση clips.....	97
5.4.2.2.3 Αυτόματες συσκευές συρραφής	102
5.4.2.2.4 Συστήματα μηχανικής παρεμπόδισης.....	103
5.4.2.2.5 Άλλα συστήματα σύγκλισης	104

Κεφάλαιο 6 Μικρο-ρομπότ στη NOTES

6.1 Γενικές πληροφορίες	109
6.2 In vivo μικρο-ρομπότ απεικόνισης σταθερής βάσης	113
6.2.1 1-DOF	113
6.2.2 In-vivo σύστημα απεικόνισης με 5 βαθμούς ελευθερίας.....	115
6.2.2.1 Δομή.....	116

6.3 In vivo κινητά μικρο-ρομπότ απεικόνισης.....	117
6.4 In vivo κινητά μικρο-ρομπότ βιοψίας.....	119
6.4.1 Απαιτήσεις σχεδιασμού	119
6.4.2 Το ρομπότ	119
6.4.3 Αποτελέσματα.....	120
6.5 In vivo κινητά ενδογαστρικά μικρο-ρομπότ	121
6.6 In vivo μικρο-ρομπότ συνεργασίας.....	126
6.7 In vivo "επιδέξια" μικρο-ρομπότ.....	128
6.7.1 Σχεδιασμός πρωτότυπου ρομπότ	129
6.7.2 Πλατφόρμα χειρισμών	130
6.8 Μελλοντική προοπτική της in vivo μικρορομποτικής.....	132
6.9 Τα οικονομικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση in vivo μικρο-ρομπότ.....	134

Κεφάλαιο 7 Νανορομποτική

7.1 Εισαγωγή.....	137
7.2 Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας.....	138
7.2.1 Τρόφιμα	139
7.2.2 Ιατρική	139
7.2.3 Παράδοση φαρμάκων	139
7.2.4 Νανοφάρμακα	140
7.2.5 Επιπτώσεις Νανοφαρμάκων	140
7.3 Νανορομπότ	140
7.3.1 Διακριτές ιδιότητες των νανορομπότ.....	141
7.3.2 Δενδριμερή.....	142
7.3.3 Quantum dots	142
7.3.4 Στοιχεία στήριξης – Cantilevers	142
7.3.5 Νανοκάψουλες – Nanoshells	143
7.3.6 Σχεδιασμός νανορομποτικών συστημάτων	143
7.4 Ο Οδηγός της Νανορομποτικής	143
7.4.1 Δοκιμές και διάγνωση.....	146
7.4.2 Τεχνολογία κατασκευής νανορομπότ	146
7.4.3 Χημικοί Αισθητήρες	146
7.4.4 Νανο χειρισμός – Εικονική πραγματικότητα	147

7.5 Ιατρικά νανορομπότ	148
7.5.1 Εφαρμογές των ιατρικών νανορομποτ.....	148
7.5.1.1 DNA βασισμένο σε νανορομποτ	149
7.5.1.2 Εφαρμογές των νανορομποτ στην διάγνωση νόσου	150
7.5.1.3 Νανορομπότ στη νόσο	150
7.5.1.4 Θεραπεία αρτηριακής απόφραξης	151
7.5.1.5 Χαρακτηριστικά της γρίπης.....	152
7.5.1.6 Νανορομποτ στην ανίχνευση καρκίνου και θεραπεία	153
7.5.1.7 Έλεγχος νανορομπότ για ανευρύσματα εγκεφάλου	154
7.6 Έλεγχος των νανορομποτικών συστημάτων	154
7.7 Ερευνητικά Πειράματα	156
7.7.1 Άμεση νανο-ένεση σε κύτταρο	156
7.7.2 Νανο μαχαίρι κοπής κυττάρου	159
7.8 Συμπέρασμα	164
Κεφάλαιο 8 LABYRINTH	
8.1 Εισαγωγή.....	167
8.2 Μέθοδοι.....	168
8.3 Περιγραφή Εργασιών (ΠΕ) – Work Packages (WP)	176
8.4 Αναμενόμενα αποτελέσματα.....	179
8.5 Ερευνητική ομάδα.....	180
8.6 Δυνητικός αντίκτυπος	181
8.7 Χρονοδιάγραμμα.....	182
8.8 Συμπέρασμα	183
Κεφάλαιο 9 Επίλογος.....	185
Βιβλιογραφία	191

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η εξέλιξη στον τομέα των επιστημών γενικότερα, όπως και στην ιατρική, γέννησαν την ανάγκη να μπορεί ο άνθρωπος να επεμβαίνει όλο και σε περισσότερα σημεία του σώματος με στόχο οι χειρουργικές επεμβάσεις να μπορούν να επιλύσουν όλο και πιο πολλά προβλήματα, σοβαρά και μη. Στο κοντινό παρελθόν ήταν διαδεδομένη η κλασσική χειρουργική κατά την οποία οι επεμβάσεις γίνονταν με ανοιχτό τρόπο, δηλαδή ο γιατρός-χειρουργός έκανε μεγάλες ανοιχτές τομές ώστε να μπορεί να έχει καλύτερη πρόσβαση αλλά και ορατότητα σε όσο το δυνατόν πιο πολλά σημεία γινόταν επιτρεπτό.

Αυτές οι κλασσικές μέθοδοι που μέχρι και πριν λίγα χρόνια ήταν τόσο διαδεδομένες, συσχετιζόνταν με αρκετά ζητήματα όπως μετεγχειρητικές επιπλοκές, αλλά και οικονομικά ζητήματα όπως πολυήμερη παραμονή σε νοσοκομείο στο μετεγχειρητικό στάδιο. Στο παρόν, αυτό το στάδιο έχει σχετικά ξεπεραστεί καθώς έχουν γίνει βήματα προόδου στην κατεύθυνση της επονομαζόμενης ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (Minimally Invasive Surgery), ουσιαστικά δηλαδή της λαπαροσκοπικής και ενδοσκοπικής χειρουργικής. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται αυτή η μέθοδος της λαπαροσκοπικής, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προέκυψαν σε σχέση με την κλασσική χειρουργική την οποία και αντικατέστησε σε μια σειρά επεμβάσεων. Σημειώνεται ότι αυτή η μέθοδος προτείνει τη χρήση εργαλείων που εισέρχονται στο σώμα μέσα από μικρές οπές (trocars), καθώς και χρήση κάμερας ώστε να μπορεί να απεικονιστεί το χειρουργικό πεδίο σε οθόνη. Είναι σχετικά γνωστό ότι οι περισσότερες επεμβάσεις σήμερα αντιμετωπίζονται με αυτή τη μέθοδο.

Η επανάσταση όμως στο χώρο της χειρουργικής, έγινε στο τέλος του 20ου και αρχές του 21ου αιώνα με τη ρομποτική χειρουργική. Πιο συγκεκριμένα, η ραγδαία ανάπτυξη υπολογιστικών αλλά και ρομποτικών συστημάτων έδωσε μια διαφορετική φιλοσοφία στη χειρουργική. Η πρώτη γενιά χειρουργικών ρομπότ χρησιμοποιείται σε αρκετά χειρουργεία σε όλο το κόσμο. Βέβαια αναφερόμαστε σε συστήματα τα οποία δε μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα, δηλαδή χωρίς την επίβλεψη ή τον χειρισμό από άνθρωπο. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια εκτενής παρουσίαση διαφόρων προτύπων και μη συστημάτων, που αναπτύχθηκαν σε πανεπιστημιακά εργαστήρια ή που χρησιμοποιήθηκαν ή και χρησιμοποιούνται καθημερινά σε επεμβάσεις.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο Κεφάλαιο 4 στο ρομποτικό σύστημα DaVinci το οποίο είναι το πιο σύγχρονο αυτή τη στιγμή, χειρουργικό εργαλείο για επεμβάσεις λαπαροσκοπικές κατά κύριο λόγο. Περιγράφεται αναλυτικά η δομή του αλλά και η λειτουργία των επιμέρους υποσυστημάτων του. Ακόμα γίνεται αναφορά στη διαδικασία που ακολουθείται κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης, όπως η προετοιμασία του χειρουργικού κρεβατιού, η ρύθμιση των βραχιόνων του ρομπότ με τα κατάλληλα εργαλεία, αλλά και εκτενής περιγραφή στη διαδραστική διαδικασία της επικοινωνίας του χειρουργού με την κονσόλα χειρισμού. Τέλος παρουσιάζονται στοιχεία οικονομικά αλλά και στατιστικά που έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια από τη χρήση του σε διάφορες κλινικές και νοσοκομεία. Τονίζονται ακόμα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν προκύψει.

Οι απαιτήσεις στο χώρο της σύγχρονης ιατρικής με βάση και την πρόοδο της τεχνολογίας δε σταματούν εδώ. Παρατηρείται ότι απαίτηση των γιατρών αλλά και των ασθενών, παρά τις όποιες αντιδράσεις, είναι να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέγιστο τα νέα επιστημονικά επιτεύγματα. Έτσι, τα τελευταία χρόνια ομάδες επιστημόνων προσπαθούν να εφεύρουν νέες μεθόδους χειρουργικής οι οποίες θα προσφέρουν ακόμα μεγαλύτερη ευελιξία στο γιατρό και θα μειώσουν στο ελάχιστο τις επιπλοκές.

Σ' αυτή τη βάση υπάρχει μια πρόταση που υποστηρίζει την κατάργηση εξωτερικών τομών με τις κλασσικές ως τώρα μεθόδους. Το ερώτημα του τρόπου εισόδου των ιατρικών εργαλείων στον οργανισμό, απαντάται με την είσοδό τους μέσω των φυσικών οπών του σώματος όπως η στοματική κοιλότητα, ο πρωκτός, η ουρήθρα αλλά και ο κόλπος στις γυναίκες. Η νέα αυτή προτεινόμενη μέθοδος ονομάζεται N.O.T.E.S (Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery). Η γενικότερη φιλοσοφία της είναι η αντικατάσταση των εξωτερικών τομών, από εσωτερικές τομές οι οποίες μπορούν να πραγματοποιηθούν στα κοίλα όργανα με στόχο την προσέγγιση της περιτοναϊκής κοιλότητας. Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αρχικά μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την γέννηση και την άνθηση της NOTES από το 2000 μέχρι το 2008. Έπειτα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα πρώτα αλλά και τα σημερινά ενδοσκοπία τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ή και προταθεί κατά τη διάρκεια αυτών των χρόνων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσπέλαση των κοίλων σπλάχνων όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Τέλος, αναλύονται οι τεχνικές σύγκλεισης των εσωτερικών τομών που χρησιμοποιούνται σε μια τέτοια διαδικασία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η χειρουργική NOTES είναι ίσως το πιο ενδιαφέρον επίτευγμα της χειρουργικής από τεχνικής πλευράς. Και αυτό γιατί εκτός από τα ενδοσκόπια που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι επιστήμονες έχουν μπει στη διαδικασία να αναπτύξουν ρομποτικά συστήματα, και ιδιαίτερα μικρό-ρομποτικά, με μεγάλο εύρος κινήσεων αλλά και ικανότητα επεξεργασίας σημάτων. Στο Κεφάλαιο 6 αναφερόμαστε αναλυτικά στα μικρό-ρομπότ που έχουν αναπτυχθεί αναδεικνύοντας τόσο τις τεχνικές, από πλευράς κατασκευής, λεπτομέρειες όσο και αυτές που σχετίζονται με το πόσο διευκολύνουν το ιατρικό προσωπικό να εκτελέσει την επέμβαση με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες. Από τη μελέτη μας διαπιστώσαμε ότι υπάρχουν διαφορετικές φιλοσοφίες στο πώς μπορεί μια τέτοια συσκευή να προσεγγίσει την επεμβατική διαδικασία. Παράλληλα καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι όλες οι επιστημονικές ομάδες που δουλεύουν στη βελτίωση κάθε αρχικής τους ιδέας φτάνουν σε εκπληκτικά αποτελέσματα, με γνώμονα πάντα την καλύτερη επαφή ανθρώπινου σώματος και τεχνολογίας. Έτσι παρατηρήσαμε συστήματα τα οποία κάνουν αξιόλογες προτάσεις στον τρόπο της στήριξης τους στα σπλάχνα, στο τρόπο τροφοδοσίας τους με μπαταρία ή καλώδιο (στο μέλλον ίσως και ασύρματα), αλλά και την οπτική ανατροφοδότηση και το χειρισμό τους από το γιατρό.

Η σκέψη όμως για την ιατρική του μέλλοντος δε σταματάει εδώ. Παρόλο που ακόμα και η NOTES είναι μια πρόταση μπορεί ποτέ να μην εδραιωθεί στον τομέα των επεμβάσεων, παρά την αντίθετη πεποίθησή μας, οι ερευνητικές ομάδες έχουν αναπτύξει ακόμα μια θεωρία για το πώς μπορεί να είναι μελλοντικά η χειρουργική. Ακόμα, πιο συγκεκριμένα πώς μπορεί να λυθεί κάποιο ζήτημα χωρίς να υπάρχει ανάγκη για χειρουργείο όπως το ξέρουμε μέχρι σήμερα. Η έλευση της νανοτεχνολογίας αναμένεται να επεκτείνει την αποτελεσματικότητα και την ταχύτητα των μελλοντικών ιατρικών θεραπειών ενώ παράλληλα θα μειωθεί σημαντικά το κόστος, που είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει εκτός από αυτό και όλα τα παραπάνω. Στο Κεφάλαιο 7 εισάγουμε την έννοια της Νανοχειρουργικής, στην οποία η έρευνα και η ανάπτυξη νανορομπότ με ενσωματωμένους βιοαισθητήρες και ενεργοποιητές θεωρείται μια νέα δυνατότητα. Παρουσιάζονται ρομπότ που αναμένεται να αναπτυχθούν όταν η τεχνολογία το επιτρέπει, τα οποία θα έχουν μεγάλη ικανότητα εκτός από τις επεμβάσεις, και στον έλεγχο της προεγχειρητικής και μετεγχειρητικής διαδικασίας.

Τελειώνοντας, στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται το σχέδιο L.A.BY.R.IN.TH (Life Aided By Robotic Intrabdominal Therapists) το οποίο στοχεύει στην προώθηση της

τελευταίας λέξης της τεχνολογίας και στην προσφορά μιας συνολικής και ολοκληρωμένης ανάλυσης των όλων προβλημάτων στην NOTES. Το εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, μέσα από πολυετή εμπειρία και προσπάθεια ανέπτυξε και παρουσίασε το εν λόγω σχέδιο που αποσκοπεί στην παροχή στην επιστημονική κοινότητα, μιας ολοκληρωμένης λύσης σε όλες τις σχετικές πτυχές και προσφέρει πλήρη παραδείγματα μελλοντικών εργασιών και εφαρμογών που μπορεί να βασιστεί. Επιπλέον αποσκοπεί στην ολοκληρωμένη ανάλυση και επεξεργασία όλων των σχετικών πτυχών που κυμαίνονται, από το υψηλό επίπεδο ανθρώπου-μηχανής-διεπαφή και την ανάπτυξη του συστήματος στην καθημερινή χειρουργική πρακτική, στο χαμηλό επίπεδο τεχνικών θεμάτων, όπως παρεμβολές μεταξύ των ασύρματων επικοινωνιών, συστημάτων ασύρματης ενέργειας και ενεργοποιητές.

Κεφάλαιο 2. Λαπαροσκοπική χειρουργική ή Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική

2.1 Εισαγωγή στη Λαπαροσκοπική χειρουργική

Η Λαπαροσκοπική χειρουργική ή ελάχιστα επεμβατική χειρουργική είναι τρόπος χειρουργικής επέμβασης. Πριν είκοσι χρόνια ξεκινούσε ένα πείραμα, η χειρουργική με λαπαροσκόπηση, οπτικές ίνες και βίντεο. Στόχος του πειράματος ήταν η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων χωρίς τραύμα. Η επιτυχία ήταν τόσο μεγάλη που έμελλε να αλλάξει την ιστορία της ιατρικής ανοίγοντας το κεφάλαιο της «ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής». Η ελάχιστα επεμβατική χειρουργική είναι η μέθοδος με την οποία η χειρουργική επέμβαση εκτελείται διαμέσου πολύ μικρών τομών δέρματος (μισού έως το πολύ δύο εκατοστών), αντί για τις μεγάλες και δύσμορφες χειρουργικές τομές (των 15 τουλάχιστον εκατοστών περίπου), που γίνονταν στην ανοικτή χειρουργική τεχνική παλιότερα.

Η ιδέα της χειρουργικής επέμβασης χωρίς την εκτέλεση τομών, είναι παλιά και διαχρονική πρόκληση στην χειρουργική επιστήμη. Η λαπαροσκόπηση εξελίχθηκε και καθιερώθηκε στα τέλη του 20ου αιώνα αποτελώντας την σημαντικότερη εξέλιξη της χειρουργικής επιστήμης. Η εξέλιξη της είναι παράλληλη της τεχνολογικής ανάπτυξης ενώ αναπτύσσεται με ιδιαίτερα υψηλούς ρυθμούς. Ήδη, τα τελευταία χρόνια έχουν καθιερωθεί νέες τεχνικές, όπως η λαπαροσκοπική μέθοδος SILS (Single Incision Lap-band Surgery) και φυσικά η ρομποτική χειρουργική. Η καθιέρωση πάντως των λαπαροσκοπικών επεμβάσεων και η εξέλιξη τους αρχίζει από το 1990 και μετά [2.1,2.2].



Εικόνα 2.1 Λαπαροσκοπική Χειρουργική

2.2 Εξοπλισμός λαπαροσκοπικής αιθούσης - βασικά εργαλεία

Η λαπαροσκοπική χειρουργική επέμβαση γίνεται μέσω μιας μικρής τομής στο κοιλιακό τοίχωμα, περίπου ενός εκατοστού, εισάγεται στην κοιλία μια τηλεσκοπική κάμερα, το λαπαροσκόπιο, ενώ ταυτόχρονα η κοιλιακή κοιλότητα φουσκώνει με διοξείδιο του άνθρακα. Στην συνέχεια γίνονται άλλες 2-4 τομές του μισού εκατοστού, από τις οποίες εισάγονται ειδικά λαπαροσκοπικά εργαλεία ανάλογα με το είδος της επέμβασης που πρόκειται να γίνει. Όλοι οι χειρουργικοί χειρισμοί κατά την διάρκεια της επέμβασης καταγράφονται από την κάμερα και προβάλλονται στο μόνιτορ.



Εικόνα 2.2 Λαπαροσκοπική Χειρουργική

Τα περισσότερα από τα εργαλεία που παρατίθενται χρησιμεύουν για τις συνήθεις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Επιπλέον εξειδικευμένα εργαλεία μπορεί να απαιτούνται κατά περίπτωση, ανάλογα με την εξειδικευμένη επέμβαση και τις προτιμήσεις του χειρουργού.

- Ηλεκτρικά ρυθμιζόμενο χειρουργικό τραπέζι (με τηλεχειρισμό κατά προτίμηση)
- 2 video monitors
- Συσκευή πλύσης-αναρρόφησης
- Ηλεκτροχειρουργική μονάδα/γεννήτρια (γείωση, οθόνη καταγραφής έντασης ρεύματος)
- Γεννήτρια υπερήχων
- Λαπαροσκοπικός εξοπλισμός (συνήθως φέρεται σε ειδικό φορμαμό με ρόδες - laparoscopic cart/tower)
 - i. Φωτεινή πηγή (Light source)
 - ii. Συσκευή εμφύσησης (Insufflator)
 - iii. Σύστημα καταγραφής Video
 - iv. Οθόνη (Monitor)
 - v. Μονάδα επεξεργασίας της camera (Camera processor unit)
 - vi. Έγχρωμος εκτυπωτής (προαιρετικό)
- Ακτινολογικό μηχάνημα (C-arm) με τηλεχειρισμό
- Τραπέζι Mayo με τα ακόλουθα εργαλεία:
 - i. Ράμματα
 - ii. Νυστέρια με λεπίδες No 11, 15

- iii. Ρουχολαβίδες
 - iv. Βελόνη Veress ή trocar Hasson
 - v. Σωλήνες παροχής αερίου με φίλτρο
 - vi. Καλώδιο οπτικών ινών (Fiberoptic cable)
 - vii. Video camera με το καλώδιό της
 - viii. Καλώδιο ηλεκτροδιαθερμίας με ποικίλα συνδετικά (Adaptors)
 - ix. Κυρτές αιμοστατικές λαβίδες
 - x. Μικρά άγκιστρα υποδορίου (για την υπομφάλιο τομή)
 - xi. Trocars (διαφόρων μεγεθών ανάλογα με τη εκτελούμενη επέμβαση)
 - xii. Λαπαροσκοπικά εργαλεία [ατραυματικές λαβίδες, οδοντωτές λαβίδες με μηχανισμό κλειδώματος, βελονοκάτοχα, λαβίδες διϊνίσεως (κυρτές, ευθείες, right-angle), λαβίδες συλλήψεως εντέρου, λαβίδες Babcock, ψαλίδια (Metzenbaum, hook, microtip), λαπαροσκοπικά άγκιστρα (δίκηνη βεντάλιας, αρθρωτά, κλπ.), λαβίδες βιοψίας]
 - xiii. Εργαλεία διϊνίσεως μονοπολικής διαθερμίας (διαφόρων σχημάτων, π.χ. δίκηνη αγκίστρου, σπάτουλας, κλπ.)
 - xiv. Εργαλεία υπερήχων (προαιρετικά) [μαχαιρίδιο, σφαίρα, άγκιστρου-hook, ψαλίδι διϊνίσεως]
- Καλάθι που περιέχει:
 - i. Εφαρμογείς clips (Clips applicators)
 - ii. Ενδοσκοπικό κοπτοράπτη (Endoscopic stapling devices)
 - iii. Συσκευή προώθησης χειρουργικών κόμπων

2.3 Τεχνολογική υποστήριξη

Το ενδοσκόπιο αποτελεί ένα σημαντικό και υψηλής τεχνολογίας οπτικής εξάρτημα που χρησιμεύει στην «έμμεση» επισκόπηση του χειρουργικού πεδίου, καθώς αποτελεί το «μάτι του χειρουργού». Αποτελείται από μεταλλικό σωλήνα με 2 κανάλια: ένα για τη μεταφορά του φωτός στο χειρουργικό πεδίο και ένα για τη μεταφορά της εικόνας του χειρουργικού πεδίου στην κάμερα. Τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται είναι: α) σύστημα αντικειμενικών φακών, β) σύμπλεγμα ραβδόμορφων φακών, γ) προσοφθάλμιος φακός, δ) σημείο σύνδεσης του καλωδίου της φωτεινής

πηγής και ε) κανάλι φωτός. Αν και διατίθεται μεγάλη ποικιλία ενδοσκοπίων (μονοπτικά, στερεοσκοπικά), διαφόρων μεγεθών (διαμέτρου 3-12mm), εύκαμπτα, ημιεύκαμπτα και διαφόρων γωνιών αντικειμενικού φακού (0,° 30°, 45°), τα κριτήρια ενός ποιοτικού ενδοσκοπίου είναι: α) η ικανότητα μετάδοσης καλού επιπέδου φωτεινότητας στο χειρουργικό πεδίο και ικανοποιητική μεταφορά εικόνας στην κάμερα, β) το μεγάλο βάθος πεδίου και η ελάχιστη αλλοίωση της εικόνας και γ) η αντοχή στη μηχανική και θερμική καταπόνηση της αποστείρωσης, και δ) η δυνατότητα προβολής της εικόνας σε ολόκληρη την οθόνη (full screen).

Η βίντεο-κάμερα συνιστά ίσως το πιο εξελιγμένο ηλεκτρονικά στοιχείο του λαπαροσκοπικού εξοπλισμού και αποτελείται από την κεφαλή (camera-head) και την μονάδα ελέγχου (camera-control unit). Η κεφαλή αποτελείται από: α) αισθητήρες CCD (coupled-charged device), β) φακό και δακτύλιο εστίασης, γ) μηχανισμό σύζευξης για το λαπαροσκόπιο, δ) αδιάβροχο περίβλημα και ε) καλώδιο. Η κεφαλή της κάμερα προσλαμβάνει την εικόνα που μεταδίδεται από το λαπαροσκόπιο και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, μέσω του CCD (charge-coupled device) αισθητήρα (sensor). Ο CCD-αισθητήρας χρησιμοποιεί τεχνολογία ημιαγωγών και ενσωματώνει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα φωτοευαίσθητων στοιχείων (photosites), κάθε ένα από τα οποία παράγει ένα σήμα για ένα και μοναδικό pixel (αποτελεί την ελάχιστη μονάδα της εικόνας). Η συνήθης ανάλυση της κάμερας για χειρουργική χρήση είναι 450.000 pixels και τελευταίως χρησιμοποιούνται κάμερες με σύστημα 3-CCD (ψηφιακό ή αναλογικό).

Οι οθόνες (Video monitors) που χρησιμοποιούνταν αρχικά στη χειρουργική ήταν εκδόσεις των 100Hz, CRT και TFT monitors, ενώ προσφάτως μπήκαν σε χρήση και χρησιμοποιούνται ευρέως οι οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD monitors). Το μέγεθός τους ποικίλει και μετράται με το μήκος της διαγωνίου τους (14, 17, 19, 25 inch). Η βέλτιστη απόσταση της οθόνης από τα μάτια του χειρουργού είναι 4-5 φορές το μήκος της διαγωνίου τους και σε γωνία 20° με ουραία κατεύθυνση από το στεφανιαίο επίπεδο που διέρχεται από τα μάτια. Για την επίτευξη της βέλτιστης ανάλυσης της παρεχόμενης εικόνας, η ανάλυση της οθόνης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην ανάλυση της κάμερας.

Οι συσκευές εμφύσησης αερίου (insufflators) έχουν στόχο: α) να εγκαταστήσουν το πνευμοπεριτόναιο, β) να διατηρήσουν το πνευμοπεριτόναιο κατά τη διάρκεια της επέμβασης, γ) να ελέγχουν την πίεση του πνευμοπεριτοναίου και δ) να ανανεώνουν περιοδικά το αέριο. Η διάθεση μηχανισμού θέρμανσης του αερίου είναι προαιρετική.

Οι βασικές ενδείξεις που παρέχουν είναι: α) η κατάσταση πληρότητας της φιάλης του αερίου (CO₂), β) η πίεση του πνευμοπεριτοναίου, γ) η ροή αερίου προς το πνευμοπεριτόναιο, και δ) ο όγκος αερίου που έχει εμφυσηθεί στο πνευμοπεριτόναιο. Μια κατάλληλη για λαπαροσκοπική επέμβαση συσκευή εμφύσησης πρέπει να μπορεί να εξασφαλίζει ροή εμφύσησης 15-30 l/min.

Η φωτεινή πηγή (ψυχρού φωτισμού) χρησιμεύει στην παροχή φωτισμού του χειρουργικού πεδίου μέσω ενός καλωδίου συστήματος οπτικών ινών. Υπάρχουν δυο τύποι φωτεινών πηγών: αλογόνου και ξένου και η ισχύς τους κυμαίνεται από 100 έως 350 W. Το καλώδιο οπτικών ινών έχει μήκος συνήθως περί τα 1,5 έως 3 m, αποτελείται από δέσμη οπτικών ινών που κατασκευάζονται από πλαστικό ή γυαλί, έχουν διάμετρο 20-150 μm και μεταδίδουν τη φωτεινή ενέργεια χωρίς την παραγωγή θερμότητας.

Η μονάδα ηλεκτροδιαθερμίας αποτελείται από την γεννήτρια, το καλώδιο της ηλεκτροδιαθερμίας, τα ποικίλα συνδετικά (adaptors) και τα διάφορα χειρουργικά εργαλεία στα οποία προσαρμόζεται το καλώδιο. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στο φαινόμενο Joule, σύμφωνα με το οποίο η ιστική ηλεκτρική αντίσταση προκαλεί μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος δια των ιστών. Η δράση του ηλεκτρικού ρεύματος τους ιστούς καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του. Έτσι, το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, υψηλής έντασης και χαμηλής τάσης, προκαλεί ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών πάνω από 100°C, εξάτμιση του κυτταρικού υγρού και κυτταρική διάσπαση με επακόλουθο τη διατομή των ιστών. Αντίθετα, η εφαρμογή υψίσυχνου εναλλασσόμενου ρεύματος με χαμηλή ένταση προκαλεί μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών (60-80°C), με αποτέλεσμα τη μετουσίωση των ιστικών πρωτεϊνών, τη δημιουργία πρωτεϊνικού βύσματος και την αιμόσταση. Σήμερα στη λαπαροσκοπική χειρουργική χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές γεννήτριες έντασης 100-800 mA, τάσης 10-500 V και συχνότητας 50-300 KHz. Παρότι στη χειρουργική χρησιμοποιούνται τόσο η μονοπολική όσο και η διπολική διαθερμία, στη μεγάλη πλειοψηφία των λαπαροσκοπικών επεμβάσεων χρησιμοποιείται η μονοπολική διαθερμία, η οποία απαιτεί υψηλής ισχύος γεννήτρια για τη γεφύρωση της αντίστασης του μεγάλου χάσματος μεταξύ των δυο ηλεκτρικών πυλών, δηλαδή του σημείου εφαρμογής του ηλεκτρικού ρεύματος και της ηλεκτρικής γείωσης.

Η συσκευή Argon Plasma Coagulation (APC) αποτελείται από μια συσκευή παροχής υγρού αργού, μια πηγή υψίσυχνου ηλεκτρικού ρεύματος και ένα ηλεκτρόδιο

που καταλήγει σε ένα probe άλλοτε άλλης μορφής. Χρησιμοποιείται για αιμόσταση σε επιφάνειες που αιμορραγούν διάχυτα. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταφορά μονοπολικής δέσμης ρεύματος στον ιστό μέσω μιας δέσμης αέριου αργού. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του είναι η ομοιόμορφη καυτηρίαση και αιμόσταση των ιστών, το μικρό βάθος καυτηρίασης και η αποφυγή της ιστικής απανθράκωσης.

Οι συσκευές laser παρέχουν θερμότητα στους ιστούς χωρίς τη χρήση ηλεκτρισμού. Υπάρχουν 3 τύποι laser: 1) το Neodymium Yttrium Aluminium Garnet (Nd:YAG) laser με υπέρυθη ακτινοβολία, 2) το Potassium Titanyl Phosphate (KTP) laser με πράσινη ακτινοβολία και 3) το Argon laser με μπλε ακτινοβολία. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ικανότητα της φωτεινής ενέργειας να διεγείρει τα ιστικά μόρια προκαλώντας μια τοπική αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την ιστική αφυδάτωση, τη μετουσίωση και την πήξη των πρωτεϊνών.

Τα διάφορα συστήματα λαβίδων παρασκευής υπερήχων (ultrasonic dissectors) αποτελούνται από μια γεννήτρια (generator), ένα ακουστικό μετατροπέα (acoustic transducer) και ένα εργαλείο. Αποτελούν νέας γενιάς εργαλεία που προκαλούν αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας των ιστών μέσω μιας λεπίδας που πάλλεται με συχνότητα 25-55KHz, με τη βοήθεια ενός πιεζοηλεκτρικού συστήματος κρυστάλλων που βρίσκεται στον ακουστικό μετατροπέα και μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Βασικά πλεονεκτήματά τους αποτελούν η αποφυγή χρήσης ηλεκτρισμού, η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας τους σε σχέση με την ηλεκτροδιαθερμία, η αποφυγή της ιστικής απανθράκωσης και η χρήση εργαλείων πολλαπλών χρήσεων.

Η λαπαροσκοπική χειρουργική αποτελεί πεδίο εφαρμογής τεχνολογίας αιχμής, ενώ ο τεχνολογικός εξοπλισμός εξελίσσεται συνεχώς και πρέπει να βρίσκεται σε ιδανική ισορροπία και αλληλεπίδραση με τις γνώσεις και ικανότητες του χειρουργού για την επιτυχή ολοκλήρωση μιας λαπαροσκοπικής επέμβασης [2.3].

2.4 Εφαρμογές

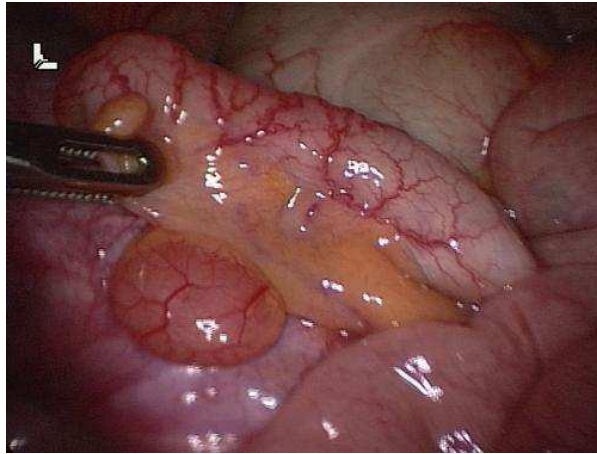
Οι σημερινές εφαρμογές της λαπαροσκοπικής χειρουργικής πέρα από την εδραιωμένη πλέον χολοκυστεκτομή, με την συνεχόμενη εκπαίδευση, τεχνολογική ανάπτυξη, απόκτηση σημαντικής διεθνούς και πανελληνίου εμπειρίας η οποία διασταυρώνεται και συνεχώς εμπλουτίζεται με τις διεθνείς εξελίξεις, συμπόσια και

συνέδρια, έχουν επεκταθεί σε ένα πλούτο επεμβάσεων άνω και κάτω κοιλίας περιλαμβάνοντας απλές και εξειδικευμένες επεμβάσεις όπως:

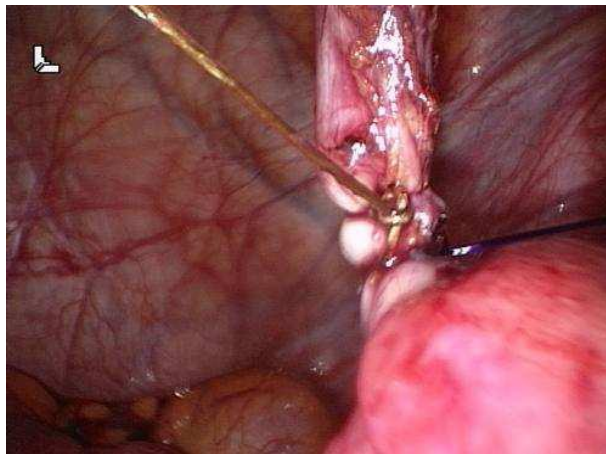
- Λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή με διερεύνηση του χοληδόχου πόρου σε συνδυασμό με διεγχειρητική χολαγγειογραφία, διεγχειρητική χοληδοχοσκόπηση και διεγχειρητική υπερηχοτομογραφία προς αντιμετώπιση περιπτώσεων χοληδοχολιθίασης και χολοκυστίτιδος.
- Λαπαροσκοπική αντιμετώπιση κήλης η οποία κατέχει πλέον την θέση της στο πάνθεον των επεμβάσεων επιδιόρθωσης της κήλης. Η εφαρμογή της λαπαροσκοπικής μεθόδου τα τελευταία 6 έτη έχει περάσει από διάφορες τεχνικές οι οποίες εγκαταλείφθηκαν, όπως plug repair και IPOM (ενδοπεριτοναϊκή τοποθέτηση πλέγματος), μέχρι την εδραίωση της τεχνικής TEP (Ολική εξωπεριτοναϊκή επιδιόρθωση), η οποία εφαρμόζεται πλέον διεθνώς με μεγάλη επιτυχία, ελάχιστες επιπλοκές και χαμηλό ποσοστό υποτροπών(<2%).
- Λαπαροσκοπική σκωληκοειδεκτομή η οποία αποτελεί καταξιωμένη μέθοδο αντιμετώπισης της οξείας σκωληκοειδίτιδος αφ' ενός και της διαφοροδιάγνωσης της παθολογίας χρονίζοντος πυελικού άλγους σε γυναίκες. Στις περιπτώσεις αυτές η λαπαροσκόπηση μπορεί να αποκαλύψει ή και να επιλύσει χειρουργικά προβλήματα όπως: πυελική φλεγμονή όπως σαλπινγίτιδα, καλοήθης πάθηση ωοθηκών (κύστη, συστροφή), εξωμήτριος κύηση, πυελικές συμφύσεις κλπ.
- Λαπαροσκοπική αντιμετώπιση γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης (ΓΟΠ) και διαφραγματοκήλης με την διενέργεια θολοπλαστικών λαπαροσκοπικά όπως Nissen, Nissen-Rosseti, Toupet κλπ., η οποία προαπαιτεί εξειδικευμένη αλλά ήδη υπάρχουσα και εδραιωμένη εμπειρία λαπαροενδοσκοπικής συρραφής. Απαραίτητος ο καλός προεγχειρητικός λειτουργικός έλεγχος του οισοφάγου (μανομετρία pHμετρία). Οι ενδείξεις για λαπαροσκοπική αντιπαλινδρομική επέμβαση είναι: α) Συνεχιζόμενα συμπτώματα παλινδρόμησης ή επιπλοκές της υπό θεραπεία, β) μη συνεργαζόμενοι ασθενείς (συχνά λόγω του κόστους φαρμάκων) γ) νέοι σε ηλικία ασθενείς που επιθυμούν χειρουργική αποκατάσταση αντί διά βίου φαρμακευτική/δietetική θεραπεία, δ) ασθενείς με επιπλοκές της ΓΟΠ όπως Barret οισοφάγο, στένωση, εισρόφηση, συνεχιζόμενη οισοφαγίτιδα.

- Λαπαροσκοπική (ή και θωρακοσκοπική) αντιμετώπιση της αχλασίας του οισοφάγου με πλεονεκτούσα την λαπαροσκοπική εφαρμογή καρδιομυοτομής κατά Heller. Η τεχνική αυτή έχει αποδειχθεί ασφαλής, αποτελεσματική (σε 85-90% των ασθενών) και με ελάχιστα μετεγχειρητικά προβλήματα. Η μεγεθυντική εικόνα προσφέρει ακριβή διαχωρισμό των μυϊκών ινών.
- Λαπαροσκοπικές επεμβάσεις για αντιμετώπιση της κακοήθους παχυσαρκίας. Ήδη είναι καθιερωμένες οι λαπαροσκοπικές τεχνικές τοποθέτησης γαστρικού ρυθμιζόμενου δακτυλίου (lapband), κάθετης διαμερισματοποίησης κατά Mason και γαστρικής παράκαμψης.
- Λαπαροσκοπική σπληνεκτομή σε επιλεγμένους ασθενείς, από εξειδικευμένη ομάδα, επέμβαση με συνεχώς αποκτώμενη εμπειρία διεθνώς και μελέτη του καθορισμού των ενδείξεων και αντενδείξεων αυτής.
- Λαπαροσκοπική αντιμετώπιση γαστροδωδεκαδακτυλικού έλκους. Ανάπτυξη εξειδικευμένων επεμβάσεων και εφαρμογή αυτών λαπαροσκοπικά όπως η υπερεκλεκτική βαγοτομή, η επέμβαση Taylor (οπισθία στελεχιαία και προσθία ορομυοτομή) κλπ, με πολύ καλά αποτελέσματα στην μείωση της γαστρικής οξύτητας και επούλωσης του χρονίου έλκους.
- Λαπαροσκοπική χειρουργική ήπατος: περιλαμβάνει εκτός από την εδραιωμένη πλέον βιοψία, την εκτομή καλοήθων όγκων, κύστεων και εχινοκόκκου κύστεως και την άτυπη ηπατεκτομή.
- Λαπαροσκοπική επινεφριδιεκτομή: αποτελεί πλέον καταξιωμένη και ασφαλή μέθοδο αντιμετώπιση ενός μεγάλου φάσματος ενδοκρινολογικών παθήσεων και επαρκώς αφαιρεί τον επινεφριδιακό ιστό σε όλες τις παθολογίες συμπεριλαμβανομένου του υποφυσιογενούς Cushing.
- Λαπαροσκοπική χειρουργική παγκρέατος: Όπου αναφέρονται ειδικές ή μεμονωμένες επεμβάσεις από λίαν εξειδικευμένες ομάδες και περιλαμβάνουν περιφερική παγκρεατεκτομή ή εκπυρήνιση ινσουλινωμάτων. Η θέση της λαπαροσκοπικής χειρουργικής στην παγκρεατοδωδεκαδακτυλεκτομή παραμένει αμφιλεγόμενη, πρώιμη και εν εξελίξει ενώ ενδείκνυται στην αντιμετώπιση των καλοήθων παθήσεων του παγκρέατος. Επίσης η διαγνωστική λαπαροσκόπηση προηγείται της λαπαροτομίας για έλεγχο μεταστάσεων.

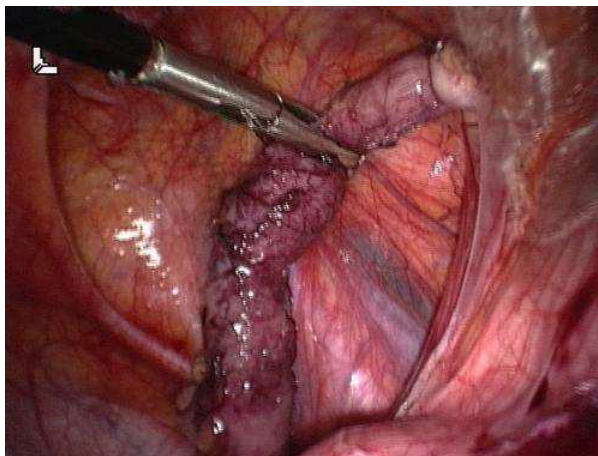
- Λαπαροσκοπική κολεκτομή η οποία συνήθως εκτελείται ως υποβοηθούμενη, εκτελείται σήμερα από εξειδικευμένη ομάδα χειρουργών, με υψηλό ποσοστό μετατροπής σε «ανοικτή» μέθοδο και μακρόχρονη καμπύλη εκπαίδευσης. Η λαπαροσκοπική μέθοδος έχει θέση σήμερα στην καλοήγη πάθηση του παχέος εντέρου και στον ιάσιμο καρκίνο της περιοχής.
- Λαπαροσκοπική πυελική λεμφαδενεκτομή η οποία αποτελεί την πλέον δημοφιλή εφαρμογή της λαπαροσκόπησης στην ουρολογία, με κατ'εξοχήν θέση στον καρκίνο του προστάτη, αλλά και στον καρκίνο της ουροδόχου κύστεως και του πέους.
- Λαπαροσκοπική αντιμετώπιση ακράτειας ούρων σε γυναίκες με κύριο στόχο την ανάρτηση του αυχένος της ουροδόχου κύστεως για αποκατάσταση της κυστεο-ουρηθρικής γωνίας (Burch).
- Λαπαροσκόπηση για σταδιοποίηση και παρηγορητική αντιμετώπιση νεοπλασιών του γαστρεντερικού συστήματος. Η ανωτέρω εφαρμογή αποτελεί μεγάλη προσφορά της μεθόδου σε ασθενείς με καρκίνο όσον αφορά το ελάχιστο επεμβατικό μέρος, διότι μπορεί να προσφέρει διάγνωση, λήψη βιοψιών - καλλιιεργειών υπό άμεση όραση αφενός αλλά και εφαρμογή παρηγορητικών επεμβάσεων (bypass συνήθως) με εξειδικευμένες τεχνικές όπως αναστομώσεις χοληφόρων - εντέρου, στομάχου - εντέρου, εντεροεντερικές, ειλεοστομία, νηστιδοστομία, κολοστομία αφετέρου.
- Λαπαροσκόπηση στην οξεία κοιλία και στο τραύμα. Η θέση της λαπαροσκόπησης στην οξεία κοιλία εφαρμόζεται σε εξειδικευμένα κέντρα και μπορεί να αποβεί θεραπευτική σε περιπτώσεις περιτονίτιδος, ενδοκοιλιακών αποστημάτων, αποφρακτικού ειλεού, διατρήσεων κοίλων σπλάχνων κλπ. Παρόλο που η λαπαροσκόπηση έχει εφαρμοσθεί στην εκτίμηση ασθενών με ενδοκοιλιακό τραύμα, η χρήση της περιορίζεται από την διαθεσιμότητα άλλων διαγνωστικών μέσων, ενώ αντεδεικνύεται σε ασθενείς με αιμοδυναμική αστάθεια και σε κρίσιμη κατάσταση [2.4].



Εικόνα 2.3α Οξεία Σκωλικοειδίτης



Εικόνα 2.3β Σκωληκοειδεκτομή απολινωθείσα



Εικόνα 2.3γ Σκωληκοειδεκτομή περατωθείσα

2.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

2.5.1 Πλεονεκτήματα

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των λαπαροσκοπικών επεμβάσεων είναι η μειωμένη ως και ελάχιστη ιστική βλάβη που προκαλείται στον οργανισμό. Αφού ο χειρουργός οδηγείται άμεσα στο προσβεβλημένο όργανο αποφεύγοντας τις μεγάλες χειρουργικές τομές της κλασικής χειρουργικής. Το πλεονέκτημα αυτό συνεπάγεται κυρίως τα ακόλουθα:

- Ελάχιστο μετεγχειρητικό πόνο, ταχεία μετεγχειρητική ανάρρωση και έξοδο από το νοσοκομείο την επόμενη μέρα του χειρουργείου.
- Σχεδόν εξάλειψη των επιπλοκών που σχετίζονται με το τραύμα, όπως ουλές, διαπύηση, μετεγχειρητική κήλη και χρόνιος πόνος.
- Μείωση των μετεγχειρητικών συμφύσεων και άρα της επιπλοκής του συμφυτικού ειλεού.
- Μειωμένη επιβάρυνση της νεφρικής, ηπατικής, αναπνευστικής και καρδιαγγειακής λειτουργίας των ασθενών. Με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η εκτέλεση δύσκολων επεμβάσεων σε επιβαρημένους ασθενείς.
- Μείωση του χρόνου της χειρουργικής επέμβασης και συνεπώς μείωση της διάρκειας της αναισθησίας [2.2].

2.5.2 Μειονεκτήματα

Η λαπαροσκοπική χειρουργική έχει όμως και μερικά μειονεκτήματα. Η πιο συνήθης επιπλοκή είναι ο τραυματισμός των αγγείων. Διεγχειρητικά, αιμορραγία μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε σημείο στη διάρκεια μιας λαπαροσκοπικής επέμβασης.

Σε μία ανοιχτή χειρουργική επέμβαση η αναγνώριση του σημείου της αιμορραγίας, αλλά και ο έλεγχός της, είναι σαφώς ευκολότερος σε σχέση με μία λαπαροσκοπική επέμβαση.

Η δεύτερη πιο συχνή επιπλοκή είναι η ανάγκη μετεγχειρητικής μετάγγισης αίματος. Ο τραυματισμός οργάνων, όπως του εντέρου, του ορθού, του σπληνός, του διαφράγματος, της χοληδόχου κύστης, του ήπατος, του παγκρέατος, του ουρητήρα,

αλλά και της ουροδόχου κύστης, αναφέρονται στις επιπλοκές της λαπαροσκοπικής χειρουργικής. Αν αναγνωριστεί μία τέτοια βλάβη σε ένα όργανο κατά τη διάρκεια του χειρουργείου, ο χειρουργός θα πρέπει να αποφασίσει αν θα την αποκαταστήσει λαπαροσκοπικά ή ανοιχτά. Η βλάβη μπορεί να περιοριστεί με την άμεση και κατάλληλη θεραπεία. Αντιθέτως, βλάβες που δεν ανιχνεύονται κατά τη διάρκεια του χειρουργείου είναι συνήθως περισσότερο οξείες και δείχνουν τα αποτελέσματά τους μετά από 2 ή 3 ημέρες. Μετεγχειρητικά, η εμφάνιση ειλεού παρατείνει τη νοσηλεία περισσότερο από 48 ώρες.

Φλεγμονή του τραύματος είναι συνήθης στις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις.

Στον πίνακα 2.1 βλέπουμε τις συνηθέστερες επιπλοκές στη λαπαροσκοπική ουρολογία κατά σειρά συχνότητας.

Πίνακας 2.1. Επιπλοκές στη λαπαροσκοπική χειρουργική
<i>ΕΓΧΕΙΡΗΤΙΚΕΣ</i>
Τραυματισμός αγγείων
<ul style="list-style-type: none"> • εντέρου • διαφράγματος • σπληνός • ουροδόχου κύστεως • χοληδόχου κύστεως • ήπατος • ορθού • ουρητήρα • παγκρέατος • νεύρου

<ul style="list-style-type: none"> • Εμφύσηση και πνευμοπεριτόναιο
<i>ΜΕΤΕΓΧΕΙΡΗΤΙΚΕΣ</i>
<i>Ουροποιητικό σύστημα</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Επίσχεση ούρων • Διαφυγή ούρων από την αναστόμωση - Ουρίνωμα • Λοίμωξη κατωτέρου ουροποιητικού • Παροδική αύξηση κρεατινίνης ορού • Επιδιδυμίτιδα • Απόφραξη ουρητήρα • Έμφρακτο όρχεος ή ισχαιμία
<i>Γαστρεντερικό σύστημα</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Ειλεός • Τραυματισμός εντέρου (δεν αναγνωρίστηκε διεγχειρητικά) • Τραυματισμός ορθού (δεν αναγνωρίστηκε διεγχειρητικά)
<i>Αναπνευστικό σύστημα</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Ατελεκτασία • Πνευμονία
<i>Καρδιαγγειακό σύστημα</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Πνευμονική εμβολή • Εν τω βάθει φλεβική θρόμβωση • Κολπική μαρμαρυγή • Έμφραγμα μυοκαρδίου

• Επιπολής θρομβοφλεβίτις
<i>Άλλα συστήματα</i>
• Μετεγχειρητική αιμορραγία – ανάγκη μετάγγισης
• Μόλυνση τραύματος
• Αιμάτωμα
• Νευρομυικός πόνος
• Συλλογή ορού
• Απόστημα
• Διάσπαση τραύματος
• Μετεγχειρητική κήλη
• Εσωτερική κήλη
• Λεμφοκήλη
• Ανεπάρκεια επινεφριδίων

Η συχνότητα των επιπλοκών που σχετίζονται με τη διαδικασία εισόδου κατά τη λαπαροσκοπική επέμβαση είναι περίπου 0.2%.

Η πλέον επικίνδυνη επιπλοκή είναι ο τραυματισμός των μεγάλων αγγείων. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να υπάρξει διεγχειρητικά έγκαιρη αναγνώριση ενός τραυματισμού. Μόλις εισαχθεί η κάμερα, θα πρέπει να γίνεται προσεκτικός έλεγχος της περιτοναϊκής κοιλότητας για την αναγνώριση ή τον αποκλεισμό ενός τραυματισμού.

Η πλειονότητα των τραυματισμών κατά την είσοδο στην περιτοναϊκή κοιλότητα (95%) οφείλεται στην είσοδο του πρώτου trocar. Άλλωστε, το δεύτερο trocar τοποθετείται υπό όραση και άρα η πιθανότητα τραυματισμού είναι ελάχιστη. Αν κατά την είσοδο της βελόνας Veress περιμένουμε τραυματισμό, τότε η βελόνα πρέπει να αποσυρθεί και να δημιουργηθεί εκ νέου πνευμοπεριτόναιο, είτε με την είσοδο σε άλλο σημείο της βελόνας, είτε με την ανοιχτή είσοδο καναλιού του Hasson. Η

εμπειρία του χειρουργού, η καλή γνώση ανατομίας, ο κατάλληλος εξοπλισμός, η επαρκής μυοχάλαση και η σωστή προεγχειρητική εκτίμηση του ασθενούς (π.χ.οργανομεγαλία, συμφύσεις) είναι παράμετροι που μπορούν να οδηγήσουν στην αποφυγή των τραυματισμών. Έτσι, οι ασθενείς που είναι παχύσαρκοι ή ιδιαίτερα λεπτόσωμοι ή που έχουν υποβληθεί στο παρελθόν σε χειρουργική επέμβαση στην κοιλιακή χώρα, έχουν αυξημένο κίνδυνο επιπλοκών κατά την είσοδο στην περιτοναϊκή κοιλότητα.

Η συχνότητα τραυματισμού των αγγείων κυμαίνεται από 1-2% και σαφώς αυξάνεται με τη δυσκολία της χειρουργικής επέμβασης και την απειρία του χειρουργού. Η αυξημένη προσοχή κατά τη διάρκεια της επέμβασης είναι σημαντική για την αναγνώριση των τραυματισμών των αγγείων, καθώς κάκωση μεγάλων αγγείων (π.χ. μεσεντέριων) δεν είναι πάντα ορατή.

Συχνά, ο τραυματισμός φλεβικών κλάδων δεν είναι εμφανής διεγχειρητικά, επειδή η πίεση από το CO₂ για τη δημιουργία του πνευμοπεριτοναίου, «συμπιέζει» τον τραυματισμένο φλεβικό κλάδο και έτσι αποκρύπτεται η αιμορραγία. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο είναι σημαντικός ο έλεγχος του χειρουργικού πεδίου μετά από την απελευθέρωση της πίεσης, προτού ολοκληρωθεί η λαπαροσκοπική επέμβαση. Η αντιμετώπιση της αιμορραγίας εξαρτάται από το είδος, τη βαρύτητά της, αλλά και από την εμπειρία του χειρουργού. Ο χειρουργός θα πρέπει να αποφασίσει ανάλογα με την κατάσταση που έχει να χειριστεί, την καλύτερη δυνατή λύση για την ασφάλεια του ασθενούς και τη διεκπεραίωση της χειρουργικής επέμβασης.

Σε τραυματισμό μικρού αγγείου, η απλή εφαρμογή πίεσης για λίγα λεπτά μπορεί να είναι αρκετή. Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι αιμοστατικοί παράγοντες. Η χρήση της διαθερμίας ή συνδετήρων (clips) μπορούν συχνά να ελέγξουν την αιμορραγία.

Σε τραυματισμό μεγάλου αγγείου, η απόφαση που πρέπει να λάβουμε είναι αν το αγγείο πρέπει να το διατηρήσουμε ή όχι. Αν όχι, τότε η απολίνωσή του είναι η λύση στο πρόβλημα. Αν αντιθέτως πρέπει να το διατηρήσουμε, τότε η αποκατάστασή του μπορεί να γίνει λαπαροσκοπικά στα χέρια ενός έμπειρου χειρουργού, αλλιώς η μετατροπή της επέμβασης σε ανοιχτή κρίνεται αναγκαία και η συμβουλή ενός αγγειοχειρουργού σκόπιμη.

Η συχνότητα τραυματισμού του εντέρου κυμαίνεται από 0.2-1.3%. Το λεπτό έντερο είναι αυτό που τραυματίζεται συχνότερα, μετά το παχύ και σπανιότερα το στομάχι. Ο τραυματισμός του δωδεκαδακτύλου στη λαπαροσκοπική χειρουργική

είναι ο σοβαρότερος τραυματισμός του εντέρου, γιατί σχετίζεται με υψηλή νοσηρότητα και θνητότητα. Τα 2/3 των τραυματισμών του εντέρου κατά τη διάρκεια της λαπαροσκοπικής επέμβασης αναγνωρίζονται μετεγχειρητικά και το ¼ των ασθενών στους οποίους καθυστερεί η αναγνώριση της κάκωσης πεθαίνουν από τις επιπλοκές. Η κάκωση μπορεί να προκληθεί από χειρισμούς, κυρίως απελευθέρωσης του εντέρου από συμφύσεις, από κάποιο λαπαροσκοπικό εργαλείο, αλλά το συνηθέστερο αίτιο είναι το θερμικό έγκαυμα από τη χρήση της διαθερμίας. Η βλάβη μπορεί να είναι ορατή άμεσα, είτε έμμεσα όταν αναγνωριστεί περιεχόμενο εντέρου στην περιτοναϊκή κοιλότητα ή οσμής κοπρανώδους υλικού από τα ανοιχτά σημεία εισόδου των trocars. Όταν υπάρξει υποψία κάκωσης του εντέρου, κρίνεται αναγκαίος ο προσεκτικός έλεγχος όλου του εντέρου. Οι κακώσεις που προκαλούνται από τη διαθερμία συχνά δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές, καθώς η καταστροφή του τοιχώματος του εντέρου καθυστερεί. Η συρραφή της ρήξης του λεπτού εντέρου μπορεί να γίνει σε ένα ή δυο στρώματα. Το παχύ έντερο και το ορθό πάντα θα πρέπει να συρράπτονται σε δύο στρώματα.

Σε θερμική βλάβη που γίνεται από τη διπολική διαθερμία, η εκτομή της και η συρραφή της είναι αρκετή αν η έκτασή της είναι μικρή. Σε βλάβη που καταλαμβάνει πάνω από το ήμισυ της περιφέρειας του εντέρου, η εκτομή του τμήματος αυτού και η τελική αναστόμωση είναι η σωστή αντιμετώπιση. Η μονοπολική διαθερμία προκαλεί βαρύτερες θερμικές κακώσεις και η εντερεκτομή θα πρέπει να γίνεται με όρια ασφαλείας αρκετών εκατοστών πριν την αναστόμωση. Συνιστάται επίσης ακόμα και οι απορογονοποιήσεις του εντέρου να αποκαθίστανται κατά τη διάρκεια της λαπαροσκοπικής επέμβασης, καθώς μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρές επιπλοκές αν δεν αντιμετωπιστούν άμεσα. Η κατάλληλη προετοιμασία του εντέρου του ασθενούς μειώνει την πιθανότητα κακώσεών του, επειδή υπάρχει περισσότερος χώρος ελεύθερος στην περιτοναϊκή κοιλότητα, ώστε να πραγματοποιηθούν λαπαροσκοπικοί χειρισμοί. Ο έλεγχος της διαθερμίας, προτού χρησιμοποιηθεί είναι σημαντικός. Συνιστάται επίσης η χρήση της διπολικής διαθερμίας, όπου είναι δυνατό. Η μονοπολική διαθερμία δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται στην αποκόλληση των συμφύσεων του εντέρου. Τέλος, η χρήση της διαθερμίας δεν θα πρέπει να γίνεται ποτέ τυφλά.

Η ουροδόχος κύστη υφίσταται κάκωση συνηθέστερα στις γυναικολογικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Ο θόλος της ουροδόχου κύστης είναι το συνηθέστερο σημείο τραυματισμού της. Η εμφάνιση αερίου ή αίματος στον ουρηθρικό καθετήρα

κατά τη διάρκεια μιας λαπαροσκοπικής επέμβασης πρέπει να οδηγήσει το χειρουργό στην ανεύρεση του σημείου της ρήξης. Η έγχυση ορού στον ουρηθρικό καθετήρα βοηθά στην αναγνώριση του σημείου της ρήξης. Η κάκωση μπορεί να αποφευχθεί σε μεγάλο βαθμό με την τοποθέτηση προεγχειρητικά ενός ουρηθρικού καθετήρα σε όλους τους ασθενείς που θα υποβληθούν σε λαπαροσκοπική επέμβαση. Σε περίπτωση ρήξης της κύστης, η συρραφή της με συνεχές απορροφήσιμο ράμμα σε ένα στρώμα είναι αρκετή. Ανάλογα βέβαια και με το μέγεθος της ρήξης, η παραμονή του καθετήρα για 10 μέρες βοηθά στην αποκατάσταση της ρήξης.

Η κάκωση του ουρητήρα γίνεται με διατομή, απολίνωση, ηλεκτροκαυτηρίαση και διακοπή της αγγείωσής του. Δυστυχώς, η πλειονότητα αυτών των βλαβών δεν αναγνωρίζεται διεγχειρητικά. Για να αναγνωριστεί η βλάβη, η ενδοφλέβια χορήγηση κυανού του μεθυλενίου είναι χρήσιμη. Η βλάβη στον ουρητήρα μπορεί να αντιμετωπιστεί λαπαροσκοπικά, ανάλογα και με την ικανότητα του χειρουργού. Ανάλογα με το σημείο της βλάβης και την έκτασή της μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι όλες οι βλάβες του ουρητήρα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται άμεσα, είτε λαπαροσκοπικά, είτε ανοιχτά και ένας αυτοσυγκρατούμενος ουρητηρικός καθετήρας θα πρέπει να μείνει για 2-6 εβδομάδες. Η καλή γνώση της ανατομίας, η αναγνώριση του ουρητήρα προτού διαταμούν ιστοί κοντά σ' αυτόν, η αποφυγή χρήσης διαθερμίας πλησίον του, η διατήρηση της αγγείωσής του, είναι μέτρα χρήσιμα για να αποφευχθούν οι κακώσεις του. Με βάση μελέτες, η τοποθέτηση προεγχειρητικά αυτοσυγκρατούμενου ουρητηρικού καθετήρα βοηθούν στην αναγνώριση διεγχειρητικά της κάκωσης του ουρητήρα, όμως δεν μειώνεται μ' αυτό τον τρόπο το ποσοστό των κακώσεων του ουρητήρα.

Ο συνήθης μηχανισμός τραυματισμού του ήπατος στη λαπαροσκοπική χειρουργική γίνεται κατά τη διάρκεια εισόδου στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Επίσης, σε μια δυσχερή δεξιά νεφρεκτομή ή επινεφριδεκτομή, σε αποκόλληση των συμφύσεων του ήπατος ή απρόσεκτης έλξης του, μπορεί να οδηγηθούμε σε τραυματισμό του. Αν η αιμορραγία είναι τέτοια που δεν σταματά αυτόματα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για αιμόσταση διαθερμία με τη χρήση αργού ή και διάφορα άλλα αιμοστατικά υλικά και κόλλες. Σε μεγαλύτερες ακόμα κακώσεις, η βοήθεια ενός γενικού χειρουργού και η μετατροπή της επέμβασης σε ανοιχτή κρίνεται σκόπιμη.

Σε βλάβες της χοληδόχου κύστεως, όπως οι θερμικές, στις οποίες δεν προκαλείται διάτρησή της, μπορούν να αντιμετωπιστούν συντηρητικά με την τοποθέτηση παροχέτευσης τύπου κλειστής αναρρόφησης. Αντιθέτως, σε διατρήσεις της χοληδόχου κύστεως συνιστάται η διενέργεια χολοκυστεκτομής με τη βοήθεια ενός γενικού χειρουργού.

Όσον αφορά στο μηχανισμό τραυματισμού του σπληνός, είναι ίδιος όπως και του ήπατος. Η αντιμετώπιση επίσης δεν διαφέρει. Σε μεγάλες κακώσεις του σπληνός, η μετατροπή της επέμβασης σε ανοιχτή και η διενέργεια σπληνεκτομής είναι η ενδεδειγμένη λύση.

Ο τραυματισμός του παγκρέατος προκαλείται κατά την παρασκευή γειτονικών δομών σε μια αριστερή λαπαροσκοπική νεφρεκτομή και συχνά δεν αναγνωρίζεται διεγχειρητικά. Σε μια απλή κάκωση του παγκρέατος, που δεν υφίστανται βλάβη οι παγκρεατικοί πόροι, δεν χρειάζεται χειρουργική αποκατάσταση. Σε μεγαλύτερες βλάβες μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι ευθείς συνδετήρες ή και τα κατάλληλα αιμοστατικά υλικά. Συνιστάται επίσης σε κάθε παγκρεατικό τραυματισμό, η τοποθέτηση παροχέτευσης στον περιπαγκρεατικό χώρο.

Σε κάκωση του διαφράγματος, η αυξημένη ενδοκοιλιακή πίεση μπορεί να οδηγήσει σε είσοδο του CO₂ στη θωρακική κοιλότητα και άρα σε πνευμοθώρακα και πνευμομεσοθώρακιο. Συνήθως ο τραυματισμός προκαλείται κατά την παρασκευή του άνω πόλου του νεφρού. Η αντιμετώπιση συνίσταται στην αφαίρεση του αερίου από τη θωρακική κοιλότητα. Αν η αιμοδυναμική και αναπνευστική κατάσταση του ασθενούς το επιτρέπει, η λαπαροσκοπική επέμβαση συνεχίζεται με χαμηλότερες ενδοκοιλιακές πιέσεις, πράγμα που μας εξυπηρετεί να έχουμε καλύτερη απεικόνιση της βλάβης του διαφράγματος, μετά την ολοκλήρωση της χειρουργικής επέμβασης. Αν η βλάβη είναι εκτεταμένη, θα πρέπει προωθώντας το λαπαροσκόπιο μέσα στο έλλειμμα του διαφράγματος να ελέγξουμε και για πιθανή βλάβη του πνεύμονα. Τοποθετούμε μεμονωμένα ράμματα και πριν σφίξουμε τις ραφές μας, τοποθετούμε στη θωρακική κοιλότητα μια συσκευή αναρρόφησης, με σκοπό να αφαιρέσουμε το αέριο από τη θωρακική κοιλότητα. Πριν ασφαλίσουμε τα ράμματα, ο ασθενής πρέπει να πάρει μια βαθιά εισπνοή. Κάθε είδους χειρουργική επέμβαση έχει το δικό της χαρακτηριστικό προφίλ επιπλοκών.

Στη λαπαροσκοπική ριζική νεφρεκτομή οι πιο συχνές επιπλοκές σχετίζονται με τον τραυματισμό των γειτονικών οργάνων ή του διαφράγματος.

Στη λαπαροσκοπική πυελοπλαστική οι επιπλοκές σχετίζονται με τη διαφυγή ούρων, ενώ στη νεφροουρητηρεκτομή η πιο συχνή επιπλοκή είναι η μετεγχειρητική αιμορραγία.

Στη λαπαροσκοπική ριζική προστατεκτομή ο μετεγχειρητικός ειλεός είναι η συχνότερη επιπλοκή, η οποία σχετίζεται με τη διαφυγή ούρων από την αναστόμωση. Επίσης, στη μερική νεφρεκτομή ο μετεγχειρητικός ειλεός είναι η συχνότερη επιπλοκή.

Στη λαπαροσκοπική επινεφριδεκτομή οι ηλεκτρολυτικές διαταραχές είναι η συνηθέστερη επιπλοκή, ενώ στον οπισθοπεριτοναϊκό λεμφαδενικό καθαρισμό είναι η κάκωση των αγγείων.

Αν και ο συνολικός αριθμός των ουρολογικών λαπαροσκοπικών επεμβάσεων αυξάνεται ολοένα με το χρόνο, ο συνολικός αριθμός των επιπλοκών δεν αυξάνεται ανά έτος. Από το 1994 έως το 2004 οι ουρολογικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις αυξήθηκαν από 14 σε 539 και το συνολικό ποσοστό επιπλοκών ήταν 29.8% στις αρχές του 1990 και 17% το 2004. Το διεγχειρητικό και μετεγχειρητικό ποσοστό επιπλοκών ήταν 7.7% και 22.1% αντίστοιχα στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και 2.4% και 13.54% το 2004. Στη μελέτη των Kanoussi και συν. το 2007 τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 4.7% και 17.5%.

Μπορεί οι λαπαροσκοπικές επεμβάσεις να έχουν ελάχιστα επεμβατικό χαρακτήρα, όμως η λαπαροσκόπηση δεν θα πρέπει να θεωρείται σαν μικρό χειρουργείο με μικρές επιπλοκές. Οι αλλαγές που προσφέρει η λαπαροσκοπική χειρουργική έχουν σχέση με την πρόσβαση και το μέγεθος της χειρουργικής τομής. Συνεπώς, όλες οι πιθανότητες για επιπλοκές μετά από μια χειρουργική επέμβαση μπορούν επίσης να συμβούν και μετά από ένα λαπαροσκοπικό χειρουργείο. Αυτές εξαρτώνται αρχικά από τη δυσκολία της διαδικασίας και την εμπειρία του χειρουργού. Όπως και με άλλες χειρουργικές διαδικασίες, η καμπύλη εκμάθησης είναι εξίσου σημαντική και στη λαπαροσκόπηση.

Η λαπαροσκοπική χειρουργική θα πρέπει να πραγματοποιείται σε κέντρα που έχουν την απαιτούμενη εμπειρία με αυτή την τεχνική. Οι χειρουργοί θα πρέπει να προετοιμάζονται συστηματικά γι' αυτή την απαιτητική τεχνική σύμφωνα με ένα δομημένο πρόγραμμα, το οποίο περιλαμβάνει θεωρητική γνώση, χειρισμό των εργαλείων, εξάσκηση σε εξομοιωτή, λαπαροσκοπικές επεμβάσεις σε πειραματόζωα, βοηθός σε λαπαροσκοπικά χειρουργεία και χειρουργός κάτω από την επίβλεψη εμπειρότερων χειρουργών. Έτσι, με τη συστηματική γνώση της τεχνικής και με

μεθόδους που να αποτρέπονται οι επιπλοκές στη λαπαροσκοπική χειρουργική, καθώς και με τη βαθμιαία και κριτική επέκταση των ενδείξεων, οι επιπλοκές αυτής της ελάχιστα επεμβατικής μεθόδου μπορούν να παραμείνουν ελάχιστες.

Διαχρονικός σκοπός της χειρουργικής επιστήμης είναι η μείωση του ιστικού τραύματος στον οργανισμό και η στοχευόμενη αντιμετώπιση του χειρουργικού προβλήματος. Για τον σκοπό αυτό η λαπαροσκοπική τεχνική εξελίσσεται ακολουθώντας την αιχμή της τεχνολογικής προόδου. Σήμερα ήδη εφαρμόζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της ενδοκοιλιακής χώρας, η λαπαροσκοπική μέθοδος SILS (Single Incision Lap-band Surgery) και η ρομποτική χειρουργική ενώ πληθώρα εξελιγμένων λαπαροσκοπικών εργαλείων αντικαθιστούν τα παλαιότερα χρησιμοποιώντας τεχνολογία R-F και M-W. Η λαπαροσκόπηση θα πρέπει να συνεχίσει το μονοπάτι της ανάπτυξης τώρα και στο μέλλον [2.5].

Κεφάλαιο 3. Ρομποτική χειρουργική

3.1 Εισαγωγή στη Ρομποτική χειρουργική

Η ρομποτική χειρουργική είναι πραγματικότητα χάρη στη ρομποτική τεχνολογία και την τηλεχειρουργική. Η ψηφιακή ανάλυση έδωσε τη δυνατότητα να μεταφέρεται η πληροφορία σε μεγάλη απόσταση, δίνοντας ώθηση στην τηλεχειρουργική. Μέχρι σήμερα ήταν αδιανόητο να πραγματοποιηθεί επέμβαση από μακριά, χωρίς δηλαδή να συνυπάρχουν ο ασθενής και ο χειρουργός στον ίδιο χώρο. Αυτός ο περιορισμός οδήγησε τη NASA και το Στρατό να ξεκινήσουν έρευνες, ώστε να δημιουργηθεί ένας τρόπος να χειρουργούνται οι αστροναύτες από γιατρούς που βρίσκονταν στη Γη, και αντίστοιχα οι στρατιώτες, που κινδύνευε η ζωή τους στο πεδίο της μάχης, από γιατρούς που βρίσκονταν σε κάποιο απομακρυσμένο και ασφαλές σημείο.

Επιπλέον, με τη συντριπτική αποδοχή της από τη χειρουργική κοινότητα ήταν απαραίτητο να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της λαπαροσκοπικής χειρουργικής, όπως και συνέβη με την εξέλιξη της ρομποτικής χειρουργικής. Έτσι, η ρομποτική χειρουργική αναπτύχθηκε για να προσφέρει περισσότερο εύκαμπτα εργαλεία με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας στην κίνηση, πιο εργονομική θέση της χειρουργικής ομάδας και τρισδιάστατη και ακριβέστερη εικόνα του χειρουργικού πεδίου.

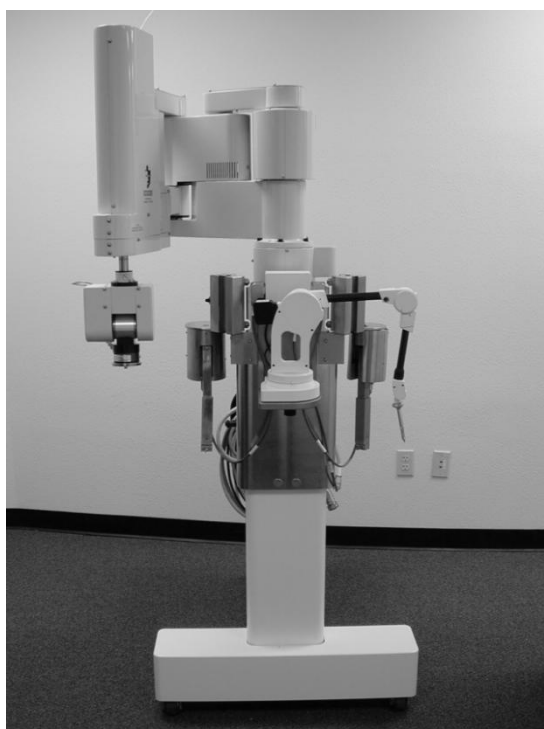
Η ρομποτική χειρουργική αναπτύχθηκε, τέλος, για να αρθούν οι περιορισμοί που υπήρχαν στην πραγματοποίηση επεμβάσεων σε μικροσκοπικά και περιορισμένα χειρουργικά πεδία, ανοίγοντας νέους ορίζοντες στη χειρουργική και την παιδοχειρουργική [3.1].



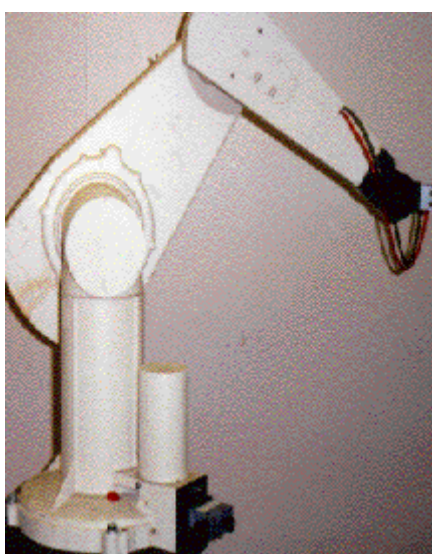
Εικόνα 3.1 Ρομποτική χειρουργική

3.2 Ιστορική αναδρομή της Ρομποτικής Χειρουργικής

Κατά τα τέλη του 20ού αιώνα η τεχνολογία της ρομποτικής έγινε ευρύτερα διαθέσιμη στις ιατρικές εφαρμογές. Ειδικότερα τη δεκαετία του 1980 οι ερευνητές μελέτησαν τις δυνατότητες της ρομποτικής στη χειρουργική. Οι τομείς της νευροχειρουργικής και ορθοπδικής προσφέρονταν περισσότερο για ανάπτυξη της χειρουργικής ρομποτικής. Η νευροχειρουργική αποδείχτηκε κατάλληλος κλάδος για τη δοκιμή των πρόωρων ρομποτικών συστημάτων επειδή το κρανίο είναι ένα άκαμπτο δοχείο με σταθερά ορόσημα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημεία δεδομένων. Έτσι, η ιστορία της ρομποτικής στη χειρουργική επέμβαση αρχίζει με το Puma 560, ένα ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε το 1985 από τον Kwoh και τους συνεργάτες του για να εκτελέσει νευροχειρουργικές βιοψίες με μεγαλύτερη ακρίβεια (εικόνα 3.2) [3.3]. Το ρομπότ Puma 200 χρησιμοποιήθηκε σε παιδιά για την εκτομή των όγκων του μεσεγκεφάλου [3.4]. Στην ορθοπδική, τα οστά επιτρέπουν τη σταθερή τοποθέτηση συσκευών λόγω της ακαμψίας τους. Έτσι, διάφορα ρομπότ έχουν δημιουργηθεί ώστε να εκτελέσουν ακριβή διεύρυνση και τομή των οστών με στόχο τη διευκόλυνση της εισαγωγής προσθετικών, όπως π.χ. το ROBODOC (Εικόνα 3.3) [3.5]. Το ρομπότ αυτό, που πρωτοεμφανίστηκε το 1992, σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε ολική αντικατάσταση ισχίου καθώς και σε ολική αντικατάσταση γόνατος. Επιτρέπει στους ορθοπδικούς χειρουργούς να προσχεδιάζουν τις ενέργειές τους προκειμένου να εκτελείται με μεγαλύτερη ακρίβεια η επέμβαση.



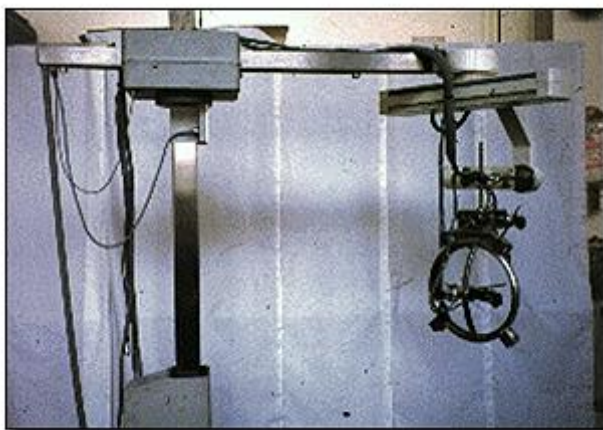
Εικόνα 3.2 Robot Puma



Εικόνα 3.3 Robodoc

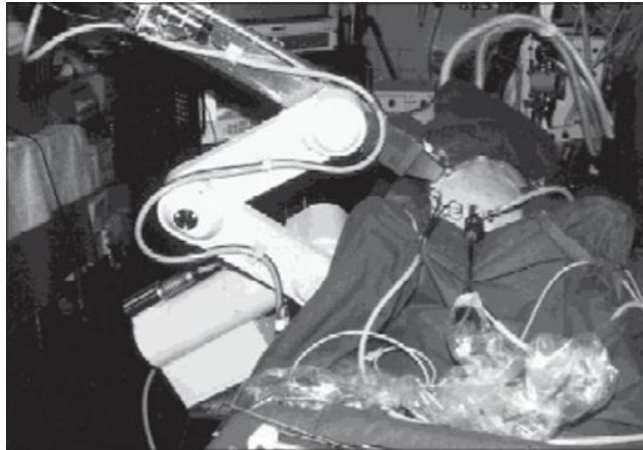
Το 1988, ο Davies και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν μια διουρηθρική προστατεκτομή με το Puma 560 [3.6]. Το σύστημα αυτό οδήγησε τελικά στην ανάπτυξη του PROBOT από έναν εκ των πρωτοπόρων της ρομποτικής χειρουργικής, τον John Wickham. Το PROBOT ήταν το πρώτο κλινικό ρομπότ στην ουρολογία και σχεδιάστηκε ειδικά για τη διουρηθρική προστατεκτομή (Εικόνα 3.4). Αν και ποτέ δεν

ήταν μαζική η παραγωγή του, το ρομπότ αυτό ήταν η πρώτη αληθινά αυτοματοποιημένη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στην πράξη, πριν από τα συστήματα «Κύριος-Υποτελής» που αναπτύχθηκαν μετά στις Ηνωμένες Πολιτείες.



Εικόνα 3.4 Probot

Τα συστήματα «Κύριος-Υποτελής» (master-slave) εμφανίστηκαν τη δεκαετία του '80 ως συστήματα τηλεπαρουσίασης και ήταν αποτέλεσμα συνεργασίας της NASA, η οποία ειδικευόταν στην εικονική πραγματικότητα, και του ερευνητικού κέντρου του Στάνφορντ με επικεφαλής τον Philip Green [3.7]. Πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι την επόμενη γενιά των ρομποτικών συσκευών. Ο Schurr και οι συνεργάτες του στο τμήμα μικροεπεμβατικής χειρουργικής του Πανεπιστημίου Eberhard Karls, ανέπτυξαν ένα σύστημα βραχίονα «Κύριος-Υποτελής» με την ονομασία ARTEMIS [3.8] (εικόνα 3.5). Το σύστημα αυτό αποτελείται από 2 ρομποτικούς βραχίονες που ελέγχονται από τον χειρουργό σε μια κονσόλα ελέγχου. Η εταιρεία Computer Motion πρωτοεισήγαγε το Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP) στα μέσα της δεκαετίας του '90 (εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.5 ARTEMIS

Το σύστημα αυτό ήταν το πρώτο εγκεκριμένο χειρουργικό ρομπότ από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μικροεπεμβατικές διαδικασίες.

Μία άλλη συσκευή ήταν το EndoAssist, ένας ανεξάρτητος βραχίονας λαπαροσκοπικής κάμερας που ελέγχεται από σήματα υπεράυθρων προερχόμενα από ένα ακουστικό που φοράει ο χειρουργός.



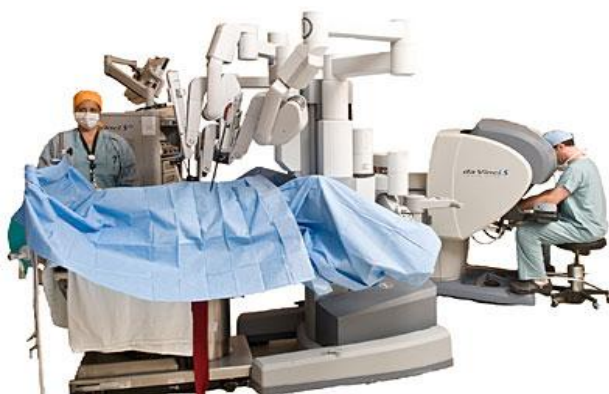
Εικόνα 3.6 AESOP

Είναι λιγότερο δαπανηρό από το AESOP, αλλά καταλαμβάνει περισσότερο χώρο στο χειρουργείο. Η Computer Motion ανέπτυξε επίσης το πρώτο σύστημα «Κύριος-Υποτελής», το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα ZEUS (εικόνα 3.7), το οποίο επέτρεπε στον χειρουργό να ελέγξει τα λαπαροσκοπικά εργαλεία από μία κονσόλα μακριά από το χειρουργικό τραπέζι. Εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε ανθρώπους το

1998 και το 2001 χρησιμοποιήθηκε από έναν χειρουργό στη Νέα Υόρκη για την εκτέλεση λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής σε έναν ασθενή στο Στρασβούργο, το πρώτο εμπομαζόμενο υπερατλαντικό τηλεχειρουργείο [3.9]. Το σύστημα ZEUS έχει ήδη καταργηθεί ως αποτέλεσμα της συγχώνευσης της εταιρείας Computer Motion με την Intuitive Surgical το 2003, ανοίγοντας το δρόμο για την ανάπτυξη των συστημάτων da Vinci (Master-Slave) (εικόνα 3.8) που κυριαρχούν σήμερα στο χώρο της υποβοηθούμενης ρομποτικής χειρουργικής.



Εικόνα 3.7 ZEUS

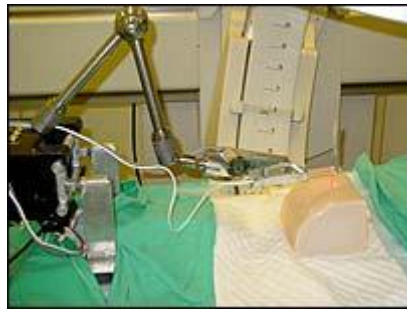


Εικόνα 3.8 Da Vinci

Προσφάτως, τα χειρουργικά ρομπότ εξελίχθηκαν σε τηλερομποτικές χειρουργικές πλατφόρμες που επιτρέπουν στο χειρουργό να πραγματοποιήσει την επέμβαση βρισκόμενος σε απομακρυσμένη θέση από τον ασθενή. Ο χειρουργός και το τηλερομπότ συνεργάζονται με βάση τη σχέση «Κύριος-Υποτελής». Μια ιταλική ομάδα με επικεφαλής τον καθηγητή Rovetta εκτέλεσε μια σειρά πειραμάτων ερευνώντας τις πιθανές εφαρμογές της τηλερομποτικής και φαίνεται ότι

πραγματοποίησε την πρώτη χειρουργική τηλερομποτική επέμβαση, μια βιοψία προστάτη [3.10]. Της τηλερομποτικής στον τομέα της ουρολογίας, ιδίως της διαδερμικής νεφρολιθοτομής (PCNL), ηγήθηκαν οι L.R. Kavoussi, D. Stoianovici και η ομάδα Urobotics στη Βαλτιμόρη. Το ρομπότ PAKY-RCM (εικόνα 3.9) αναπτύχθηκε αρχικά το 1996 και αντικαταστάθηκε από το Tracker το 2003. Αυτό το ρομπότ μπορεί να παρέχει μια ακριβή και αξιόπιστη μέθοδο εκτέλεσης του προκαταρκτικού βήματος στην PCNL ή στη βιοψία ιστού και μπορεί να ελεγχθεί με τηλεχειρισμό.

Η πρώτη ελεγχόμενη δοκιμή της υπερατλαντικής τηλερομποτικής έγινε μεταξύ των νοσοκομείων Guy και Johns Hopkins. Το ρομπότ χρειάστηκε περισσότερο χρόνο για την εκτέλεση της διαδικασίας, αλλά ήταν πολύ πιο ακριβές από τον άνθρωπο.



Εικόνα 3.9 PAKY-RCM

Το 2001 το σύστημα Zeus χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση μιας υπερατλαντικής ρομποτικής χειρουργικής επέμβασης μεταξύ Νέας Υόρκης και Στρασβούργου από τους Jacques Marescaux και Michele Gagner. Ο μεγαλύτερος περιορισμός της χειρουργικής εξ αποστάσεως επέμβασης είναι η καθυστέρηση η οποία δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 200 msec. Η τηλεκαθοδήγηση χρησιμοποίησε παρόμοια τεχνολογία για να δημιουργήσει μια εικονική αίθουσα ή ακόμα και ένα «εικονικό πανεπιστήμιο» [3.11]. Επιτρέπει σε έναν εξειδικευμένο χειρουργό που παραμένει στο δικό του/της νοσοκομείο, να δώσει οδηγίες σε έναν αρχάριο σε μια απομακρυσμένη περιοχή για το πώς θα εκτελέσει μία νέα χειρουργική επέμβαση ή θα χρησιμοποιήσει νέες χειρουργικές τεχνολογικές μεθόδους. Η ομάδα της Βαλτιμόρης έχει επίσης τηλεκαθοδηγήσει πολλές εγχειρήσεις ανά τον κόσμο [3.12].

3.3 Πεδία Εφαρμογών

Η ρομποτική χειρουργική βρίσκει εφαρμογή σε πολλές ειδικότητες της χειρουργικής, όπως τη γενική χειρουργική, τη χειρουργική κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας, την καρδιοχειρουργική και τη θωρακοχειρουργική, την αγγειοχειρουργική, την παιδιατρική χειρουργική, την ουρολογία, τη γυναικολογική χειρουργική, τη μεταμόσχευση νεφρού και τη χειρουργική ενδοκρινών αδένων.

Οι πιο συνηθισμένες λαπαροσκοπικές επεμβάσεις που γίνονται στις μέρες μας ρομποτικά, πολλαπλασιάζοντας έτσι τα σημαντικά πλεονεκτήματα που εξασφαλίζει η λαπαροσκοπική χειρουργική για τον ασθενή, είναι οι επεμβάσεις κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας, η χολοκυστεκτομή, η αντιμετώπιση των παθήσεων του παχέος εντέρου, η αποκατάσταση της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης, η χειρουργική αντιμετώπιση των γυναικολογικών παθήσεων, η χειρουργική του προστάτη, η νεφρεκτομή, η χειρουργική των ενδοκρινών αδένων και πολλές ακόμη [3.1].

3.4 Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα

Τα χειρουργικά ρομπότ δεν έχουν όλα την ίδια λειτουργικότητα. Η κύρια διαφορά μεταξύ των συστημάτων αφορά στο πόσο ενεργός πρέπει να είναι ο χειρουργός κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης. Ανάλογα με το βαθμό εμπλοκής του τελευταίου στην επέμβαση, τα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες :

- **Συστήματα ελεγχόμενα από επόπτη (Supervisory-controlled systems)**

Η χειρουργική διαδικασία σχεδιάζεται από πριν, καθώς ο χειρουργός προσδιορίζει εκ των προτέρων τις κινήσεις τις οποίες καλείται να εκτελέσει το ρομπότ. Το τελευταίο εκτελεί αυτόματα ακριβώς τις ίδιες κινήσεις κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ενώ ο ρόλος του χειρουργού περιορίζεται στη γενικότερη επίβλεψη της επέμβασης για την αποφυγή σφαλμάτων.

- **Συστήματα τηλεχειρουργικής (Telesurgical systems)**

Οι επεμβάσεις εκτελούνται από απόσταση με τη βοήθεια των εξελιγμένων αισθητήρων του συστήματος και την παροχή τρισδιάστατης εικόνας από το χειρουργικό πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Με τη βοήθεια ενός χειριστηρίου

ελέγχου με ανάδραση δύναμης, ο χειρουργός εκτελεί κινήσεις τις οποίες αντιγράφει και αναπαράγει με απόλυτη ακρίβεια το ρομποτικό σύστημα. Αυτή η υβριδική τεχνολογία έχει ήδη αρκετές πρακτικές εφαρμογές, με κυριότερο εκπρόσωπο το χειρουργικό σύστημα da Vinci, στο οποίο θα αναφερθούμε εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

- **Συστήματα μοιραζόμενου ελέγχου (shared-control systems)**

Η συγκεκριμένη τεχνολογία απαιτεί τη μεγαλύτερη συμμετοχή του χειρουργού. Η επέμβαση εκτελείται κατά κύριο λόγο από τον χειρουργό, ενώ ο ρόλος του ρομπότ περιορίζεται στην παροχή βοήθειας έτσι ώστε οι κινήσεις του χειρουργού να γίνονται πιο ακριβείς. Τα συστήματα αυτά βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο εξέλιξης.

Σε όλες βέβαια τις παραπάνω κατηγορίες, φαίνεται η φύση της σχέσης μεταξύ χειρουργού και ρομπότ, σχέση «Κύριος-Υποτελής» (master – slave), και όσο να υποβαθμιστεί ο ρόλος του χειρουργού, δεν αντικαθίσταται από το ρομπότ, αλλά λαμβάνει βοήθεια από αυτό.

3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής αλλάζει τα μέχρι σήμερα δεδομένα και μετατρέπει τις δύσκολες περιπτώσεις ανοιχτών επεμβάσεων σε εγχειρήσεις ρουτίνας. Η χειρουργική με τη βοήθεια ρομπότ είναι η πιο πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα της λαπαροσκοπικής και ελάχιστα τραυματικής χειρουργικής. Αποτελεί δε το μέλλον της χειρουργικής καθώς δίνει λύσεις στους περιορισμούς της λαπαροσκοπικής μεθόδου (δισδιάστατη, ασταθή εικόνα, εργονομικά προβλήματα, απώλεια βαθμών ελευθερίας και αίσθησης) προσφέροντας παράλληλα ασύγκριτα πλεονεκτήματα στους χειρουργούς:

- Παρέχει στο χειρουργό μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Σε αντίθεση με τη συνηθισμένη χειρουργική πρακτική, η ρομποτική χειρουργική επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιεί τις επεμβάσεις καθισμένος, μέσα σε ένα προσεκτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η φυσική κούραση του, το οποίο

αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δύσκολων και πολύωρων επεμβάσεων.

- Επιτυγχάνεται καλύτερος συντονισμός ανάμεσα στα μάτια και τα χέρια του χειρουργού.
- Του εξασφαλίζει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί δύσκολους χειρουργικούς χειρισμούς. Τα χειρουργικά εργαλεία των ρομποτικών βραχιόνων μπορούν να εκτελέσουν όλες τις κινήσεις που πραγματοποιεί το ανθρώπινο χέρι (επτά βαθμοί ελευθερίας στην κίνηση) με μεγαλύτερη δεξιότητα και ακρίβεια, ενώ περιστρέφονται σχεδόν 360° μέσα στο χειρουργικό πεδίο.
- Εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές κινήσεις. Καθώς οι χειρισμοί του χειρουργού στην κονσόλα μετατρέπονται σε κινήσεις των ρομποτικών βραχιόνων μέσω κατάλληλων ηλεκτρονικών και λογισμικών φίλτρων, ελαχιστοποιείται ο φυσιολογικός τρόμος των χεριών με αποτέλεσμα μία πρωτοφανή χειρουργική δεξιότητα. Τα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα κλιμακώνουν την κίνηση, έτσι ώστε οι απότομες κινήσεις στις χειρολαβές ελέγχου να μετατρέπονται σε μικρότερες κινήσεις μέσα στο χειρουργικό πεδίο.
- Επιτρέπει στο χειρουργό να έχει μία έγχρωμη, τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου σε πολύ μεγάλη μεγέθυνση, ακόμη και μεγαλύτερη από 15 φορές, δίνοντάς του έτσι την αίσθηση ότι τα μάτια και τα χέρια του βρίσκονται πάνω και μέσα στον ασθενή. Με τον τρόπο αυτό ο χειρουργός αποκτά αντίληψη του βάθους του χειρουργικού πεδίου.
- Ο χειρουργός βλέπει τώρα άριστα και σε σημεία στα οποία μέχρι σήμερα δεν είχε καμία οπτική πρόσβαση. Έτσι έχει τη δυνατότητα να χειρουργεί σε απρόσιτα σημεία με απόλυτη ασφάλεια και ακρίβεια (π.χ. εκτέλεση μικροαναστομώνσεων).
- Δίνει τη δυνατότητα στο χειρουργό να προετοιμάσει την επέμβαση στον ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιώντας τις εικόνες των εσωτερικών οργάνων του ασθενή, όπως αυτές προκύπτουν από τις εξετάσεις του (π.χ. τομογραφίες). Με τον τρόπο αυτό ο χειρουργός μπορεί κατά τη διάρκεια της επέμβασης να ανακαλέσει και να συμβουλευτεί χρήσιμες εικόνες της παθολογίας του ασθενούς στην οθόνη του.

- Ο χειρουργός εξακολουθεί να έχει τον πλήρη έλεγχο της επέμβασης, αφού το ρομποτικό σύστημα δρα συμπληρωματικά και κατ' επέκταση του πρώτου, ως συνεργάτης του.
- Η μέθοδος της ρομποτικής χειρουργικής έχει μικρότερη καμπύλη εκμάθησης από την αντίστοιχη λαπαροσκοπική μέθοδο.
- Είναι μία ελάχιστα επεμβατική και ελάχιστα τραυματική μέθοδος, εξαιτίας κυρίως της ακρίβειας με την οποία γίνονται οι κινήσεις του χειρουργού.
- Εξασφαλίζει ελάχιστη απώλεια αίματος.
- Εξασφαλίζει μεγάλη ελάττωση του μετεγχειρητικού πόνου και της δυσφορίας του ασθενούς.
- Ο ασθενής αισθάνεται λιγότερο φόβο σε σχέση με τις συμβατικές ανοικτές επεμβάσεις.
- Επιτρέπει μικρότερη διάρκεια αναισθησίας.
- Ελαχιστοποιεί την πιθανότητα ενδοεγχειρητικών και μετεγχειρητικών επιπλοκών που έχουν σχέση με το τραύμα (διαπύση, διάσπαση, κήλη, χρόνιο άλγος κ.λ.π.) και των μετεγχειρητικών συμφύσεων και των συνεπειών τους.
- Εξασφαλίζει λιγότερες αναπνευστικές και καρδιαγγειακές επιπλοκές.
- Επιτρέπει την ταχύτερη ανάρρωση και επάνοδο του ασθενούς στις καθημερινές του δραστηριότητες.
- Μειώνει σημαντικά το χρόνο παραμονής στο νοσοκομείο και κατ'επέκταση το κόστος νοσηλείας.
- Προσφέρει άρτιο αισθητικό αποτέλεσμα [3.13-3.15].

Παρόλο που η ρομποτική χειρουργική τεχνολογία γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, δεν έχει γίνει ακόμα εφικτό να ξεπεραστούν κάποιοι σημαντικοί περιορισμοί που τη χαρακτηρίζουν.

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής είναι το κόστος της. Δύο σχετικά πρόσφατες μελέτες κατέδειξαν ότι το αυξημένο κόστος των ρομποτικών επεμβάσεων σε σχέση με το αντίστοιχο των συμβατικών μεθόδων οφείλεται κυρίως στο αρχικό κόστος αγοράς των ρομποτικών συστημάτων (κυμαίνεται από 750.000 μέχρι 1.200.000 δολάρια περίπου) και την ετήσια συντήρησή τους (περίπου 100.000 δολάρια). Είναι αναμενόμενο, εντούτοις, ότι και τα δύο αυτά οικονομικά μεγέθη (αρχικό κόστος-συντήρηση) θα ελαττώνονται

σταδιακά καθώς τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα θα κερδίζουν ευρύτερη αποδοχή. Σε πρώτη φάση βέβαια, τα κόστη μπορεί να ανέβουν ακόμη υψηλότερα εξαιτίας των τεχνολογικών βελτιώσεων στα ρομποτικά συστήματα που αναπόφευκτα θα γίνουν στο μέλλον.

Ένα άλλο μειονέκτημα της ρομποτικής χειρουργικής είναι ο μεγάλος όγκος των συστημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Τόσο το σώμα του ρομπότ με τους βραχίονές του αλλά και η κεντρική κονσόλα του χειρουργού καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο μέσα στη χειρουργική αίθουσα. Οι χειρουργοί δεν αισθάνονται ιδιαίτερα άνετα όταν εργάζονται δίπλα σε ρομποτικά συστήματα που ξεπερνούν συνήθως τα δύο μέτρα σε ύψος και ζυγίζουν αρκετές δεκάδες κιλά. Τα μεγαλύτερα σε μέγεθος ρομπότ όμως εξασκούν συνήθως και μεγαλύτερες δυνάμεις, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό σε περίπτωση λανθασμένης ενέργειας.

Από άποψη αντίληψης και ελέγχου τα ρομπότ ελέγχονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, με συνέπεια να μοιράζονται πολλές από τις αδυναμίες αυτών, ιδιαίτερα σε θέματα που αφορούν αυτόνομες λειτουργίες. Ακολουθούν κυριολεκτικά οδηγίες και αυτό τα καθιστά εντελώς ανίκανα στο να ενσωματώνουν διαφορετικές πηγές πληροφοριών και να επιδεικνύουν ανεπτυγμένη συλλογιστική κρίση. Αν και μπορούν να επεξεργάζονται περίπλοκες τρισδιάστατες εικόνες πληροφοριών για την εκτέλεση μίας επέμβασης με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια, τα χειρουργικά ρομποτικά συστήματα έχουν περιορισμένη δυνατότητα χρήσης πληροφοριών από ανόμοιους αισθητήρες ώστε να ελέγχουν τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια αυτής.

Η έλλειψη συμβατού εξοπλισμού συγκαταλέγεται επίσης στα μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής. Η έλλειψη κάποιων συμβατών με το ρομποτικό σύστημα χειρουργικών οργάνων αυξάνει την εξάρτηση από βοηθητικό προσωπικό δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι. Ωστόσο αυτό φαίνεται να αποτελεί το λιγότερο σημαντικό μειονέκτημα καθώς νέες τεχνολογίες αναμένεται να δώσουν σύντομα λύσεις στο μέλλον.

Ένα ακόμη μεγάλο πρόβλημα για τον χειρουργό αποτελεί η έλλειψη αίσθησης της αφής (tactile feedback). Η απτική (haptics), ο τεχνολογικός εκείνος κλάδος δηλαδή ο οποίος ασχολείται με την ανάπτυξη συστημάτων ικανών να “αναπαράγουν” την αίσθηση των ανθρώπινων ιστών μέσω της ανάδρασης αφής, υπόσχεται λύσεις οι οποίες προς το παρόν παραμένουν σε πειραματικό μόνο στάδιο.

Είναι γεγονός πάντως ότι η ρομποτική χειρουργική αποτελεί μία νέα τεχνολογία της οποίας η αποτελεσματικότητα δεν έχει διασαφηνιστεί πλήρως. Τα περισσότερα

από τα μειονεκτήματά της αναμένονται να ξεπεραστούν με την πάροδο του χρόνου λόγω των μελλοντικών επανασχεδιασμών και των τεχνολογικών βελτιώσεων που θα υποστούν αναπόφευκτα τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα. Μόνο ο χρόνος μένει για να δείξει αν η χρήση των συστημάτων αυτών θα υπερκεράσει το σημερινό υψηλό κόστος απόκτησης και συντήρησής τους [3.13,3.14,3.16].

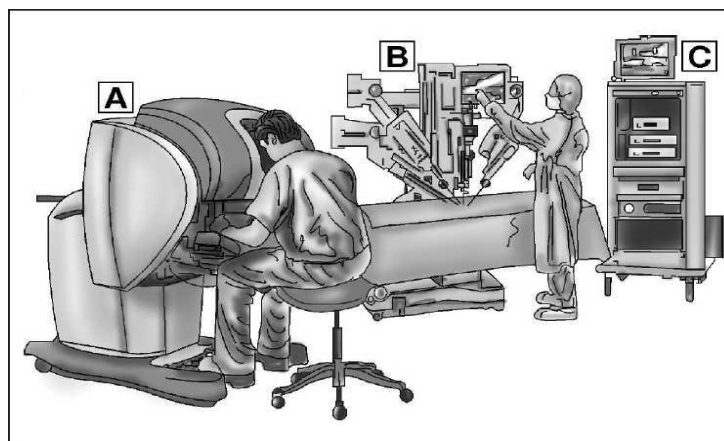
Κεφάλαιο 4. Το χειρουργικό σύστημα da Vinci

Το ρομποτικό σύστημα da Vinci δημιουργήθηκε από την εταιρία Intuitive Surgical Inc. το 1995, ώστε η χειρουργική ελάχιστης προσπέλασης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως και όχι μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς, και αποτελεί ένα μοναδικό, αυτή τη στιγμή, σύστημα ρομποτικής χειρουργικής στον κόσμο που πραγματοποιεί εγχειρήσεις με την ελάχιστα δυνατή επέμβαση στον οργανισμό του ασθενούς. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία που ανέπτυξε η IBM αλλά και το MIT, η εταιρία ανέπτυξε ρομποτικούς βραχίονες αλλά και εργαλεία ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν επεμβάσεις μέσω μικρών τομών [5.1]. Η ονομασία του οφείλεται εν μέρει στον Leonardo da Vinci, ο οποίος εφηύρε το πρώτο ρομπότ και ο οποίος χρησιμοποιούσε απaráμιλλη ακρίβεια ανατομικής και τρισδιάστατες λεπτομέρειες για να δίνει “ζωή” στα έργα του.

4.1 Σύντομη παρουσίαση του συστήματος

Χρησιμοποιώντας σύγχρονη τεχνολογία το σύστημα επιτρέπει στο χειριστή να εκτελεί επεμβάσεις μεγάλης ακρίβειας με επιδεξιότητα και έλεγχο. Το da Vinci αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- i. την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα του χειρουργού (surgeon's console),
- ii. τον χειρουργικό πύργο που βρίσκεται δίπλα στον ασθενή ,
- iii. το σύστημα τρισδιάστατης απεικόνισης InSite,
- iv. την ολοκληρωμένη σειρά πρωτοποριακών, αποσπώμενων χειρουργικών εργαλείων EndoWrist [5.3].



Εικόνα 4.1 Το ρομποτικό σύστημα DaVinci

4.2 Αναλυτική περιγραφή του χειρουργικού συστήματος da Vinci

4.2.1 Η κονσόλα του χειρουργού (Surgeon Console)

Ο χειρουργός εκτελεί την επέμβαση ενώ κάθεται άνετα στην κονσόλα αυτή, μακριά από το χειρουργικό τραπέζι. Κοιτώντας μία τρισδιάστατη και μεγεθυμένη εικόνα του χειρουργικού πεδίου στην οθόνη χειρίζεται με τα δάχτυλά του τους ειδικούς μοχλούς που βρίσκονται κάτω από αυτήν, ενώ τα χέρια του βρίσκονται τοποθετημένα σε φυσιολογική θέση σε σχέση με τα μάτια του. Η κονσόλα περιλαμβάνει τον κύριο υπολογιστή, ειδικούς μοχλούς, ποδοδιακόπτες και μια κονσόλα ελέγχου.

Ο χειριστής χειρίζεται με τα δάχτυλά του, τους ειδικούς μοχλούς που είναι τοποθετημένοι κάτω από την οθόνη ενώ κάθεται σε φυσιολογική θέση. Οι μοχλοί συνδέονται σειριακά και λειτουργούν σα συσκευές εισόδου υψηλής ανάλυσης, φιλτράροντας ανά πάσα στιγμή τις εντολές του χειριστή. Στη διάρκεια της επέμβασης έχουμε δειγματοληψία των κινήσεων του χειριστή με συχνότητα 1300 φορές το δευτερόλεπτο [5.1]. Η ευθυγράμμιση των κινήσεων του χειριστή στις κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων είναι οπτική και χωρική. Το σύστημα προεκβάλλει την εικόνα της χειρουργικής επέμβασης πάνω στα χέρια του χειρουργού, αποκαθιστώντας το συντονισμό ματιού και χεριού και παρέχεται με αυτόν τον τρόπο μια φυσική αντιστοιχία στις κινήσεις. Ο ελεγκτής τοποθετεί τη χωρική κίνηση των εργαλείων στο πλαίσιο αναφοράς της κάμερας έτσι ώστε ο χειρουργός να νιώθει τα χέρια του μέσα στο σώμα του ασθενούς [5.4]. Επίσης παρέχεται η λειτουργία σαν οθόνες αφής, μεταδίδοντας δυνάμεις και ροπές στο χειριστή.

Η κονσόλα αποτελείται επίσης από ποδοδιακόπτες και κουμπιά που επιτρέπουν στο χειριστή τον πλήρη έλεγχο καθ' όλη τη διάρκεια της επέμβασης. Ορισμένες από τις διεργασίες ελέγχου είναι ο χειρισμός του ενδοσκοπίου ή και η διαχείριση των χειρουργικών οργάνων στο χώρο.

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα να φιλτράρονται με φυσικό τρόπο οι κινήσεις των χεριών του χειριστή και να κλιμακώνονται ανάλογα οι κινήσεις του. Ενδεικτικά υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές κλιμάκωσης: 1:1, 1:3, 1:5 [5.3].



Εικόνα 4.2 Οι μοχλοί χειρισμού του συστήματος



Εικόνα 4.3 Η κονσόλα του χειρουργού



Εικόνα 4.4 Η οπτική του χειρουργού

4.2.2 Ο χειρουργικός πύργος (Surgical Cart)

Τοποθετείται δίπλα στον ασθενή κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο χειρουργικός πύργος αποτελείται από ένα κεντρικό πυλώνα και στηρίζει μέχρι τέσσερις ηλεκτρομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες, ανάλογα με την έκδοση του συστήματος. Στους δύο, ή τρεις, βραχίονες συνδέονται αποσπώμενα χειρουργικά εργαλεία, ενώ στον κεντρικό βραχίονα μία ενδοσκοπική κάμερα, η οποία επιτρέπει στο χειρουργό να έχει υψηλής ανάλυσης τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Καθένας από τους βραχίονες αυτούς εκτελεί τις εντολές του χειρουργού και μπορεί να χειριστεί ένα ευρύ φάσμα εργαλείων μέσα από τομές μήκους μόλις 1-2 cm στο σώμα του ασθενούς, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την πιθανότητα καταστροφής των ιστών. Ο χειρουργός έχει τη δυνατότητα να ελέγξει το μέγεθος της εφαρμοζόμενης δύναμης των ρομποτικών βραχιόνων, η οποία μπορεί να ποικίλλει από μερικά γραμμάρια μέχρι αρκετά κιλά.

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης τα υπόλοιπα μέλη της χειρουργικής ομάδας βοηθούν στην εγκατάσταση όλων των απαραίτητων οργάνων και εργαλείων, την προετοιμασία των μικροτομών στο σώμα του ασθενούς και έχουν τη γενικότερη επίβλεψη των ρομποτικών βραχιόνων. Με τη χορήγηση διοξειδίου του άνθρακα μέσα στη σωματική κοιλότητα του ασθενούς εξασφαλίζεται συνήθως αύξηση του διαθέσιμου χώρου για την ευκολότερη κίνηση των βραχιόνων. Τέλος να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση του πύργου δίπλα στον ασθενή και η προετοιμασία για την επέμβαση διαρκεί περίπου 15 λεπτά ενώ η απομάκρυνση των εργαλείων από το σώμα του ασθενούς διαρκεί μόλις λίγα δευτερόλεπτα [5.4].



Εικόνα 4.5 Ο χειρουργικός πύργος

4.2.3 Το σύστημα τρισδιάστατης (3D) απεικόνισης Insite

Το σύστημα αυτό παρέχει στο χειρουργό πραγματικές τρισδιάστατες εικόνες του χειρουργικού πεδίου, ευθυγράμμιση ματιού-χειριού-οργάνου και την απαραίτητη φυσική αντίληψη του βάθους για τον ακριβή χειρισμό των ιστών.

Περιλαμβάνει ένα ενδοσκόπιο υψηλής ανάλυσης το οποίο αποτελείται από έναν σωλήνα που στην άκρη του είναι τοποθετημένα κάμερα και φωτισμός. Ένα συνηθισμένο ενδοσκόπιο διπλών φακών συζευγμένο με δύο κάμερες τριών chips [5.4] εξασφαλίζει στο χειρουργό υψηλή, τρισδιάστατη ανάλυση. Εκτός από αυτό όμως, το παραπάνω ενδοσκόπιο, το οποίο δείχνει το εσωτερικό του ασθενή, ενσωματώνει και εξοπλισμό επεξεργασίας εικόνας, ο οποίος παρέχει πάνω από χίλια πλαίσια (καρέ) της θέσης του ενδοσκοπίου κάθε δευτερόλεπτο. Οι λαμβανόμενες εικόνες φιλτράρονται, μεγεθύνονται και βελτιστοποιούνται μέσω ενός επεξεργαστή βίντεο για τον περιορισμό του θορύβου. Η τελική εικόνα είναι φωτεινή, ζοηρή και καθαρή, με ενισχυμένο contrast, χωρίς φαινόμενα flickering ή cross-fading [5.2]. Η βελτιωμένη απεικόνιση βοηθά το χειρουργό να χειρίζεται με λεπτότητα τους ιστούς, αποφεύγοντας παράλληλα τον τραυματισμό των παρακείμενων φυσιολογικών δομών, όπως είναι, για παράδειγμα, η νευροαγγειακή δέσμη κοντά στον προστάτη.

Το ενδοσκόπιο είναι ειδικά προγραμματισμένο να ρυθμίζει τη θερμοκρασία στην άκρη του ώστε να αποφεύγεται η θόλωσή του κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο χειρουργός έχει τη δυνατότητα να εναλλάσσει τις όψεις του χειρουργικού πεδίου με τη βοήθεια πεντάλ ποδιού ή να κάνει zoom μετακινώντας τα χέρια του προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

Η εικόνα της επέμβασης μεταδίδεται στον χειρουργό από δυο οθόνες υψηλής ευκρίνειας, μια για κάθε μάτι. Ακριβής οπτικοποίηση είναι απαραίτητη καθώς οι οπτικές ενδείξεις χρησιμοποιούνται για να αντισταθμιστεί η απώλεια της ανάδρασης. Η μεγέθυνση κυμαίνεται από x2-x15 ώστε να επιτυγχάνεται χειρουργική ακρίβεια.

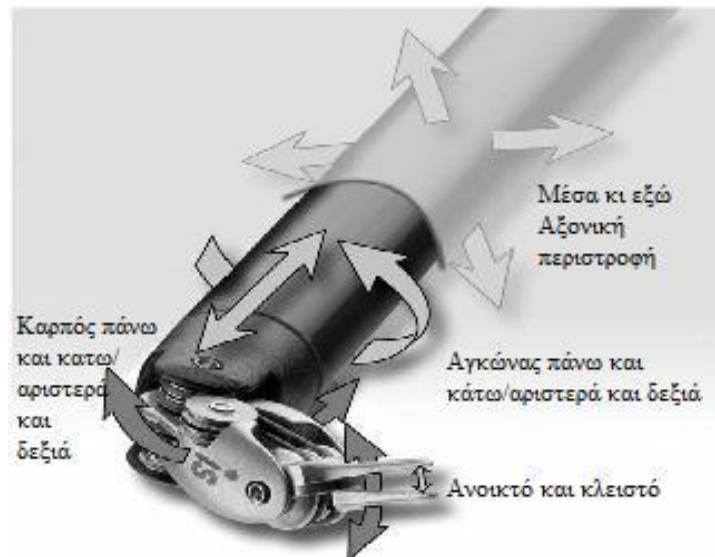
Εκτός από τον χειριστή, στην αίθουσα παραβρίσκονται βοηθοί ή και άλλοι γιατροί οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν την επέμβαση μέσω μιας μεγάλης οθόνης που μπορεί να τοποθετηθεί.



Εικόνα 4.6 Το σύστημα απεικόνισης μαζί με τον πύργο

4.2.4 Χειρουργικά εργαλεία EndoWrist (EndoWrist Instruments)

Η ολοκληρωμένη σειρά των αποκλειστικών εργαλείων EndoWrist της Intuitive Surgical είναι ειδικά σχεδιασμένη για να παρέχει στους χειρουργούς τη φυσική επιδεξιότητα και το φάσμα των κινήσεων εκείνων που απαιτούνται για την πραγματοποίηση λεπτών επεμβάσεων μέσα από μικρές τομές. Ακολουθώντας το μοντέλο του ανθρώπινου χεριού τα εργαλεία αυτά έχουν σχεδιαστεί με επτά βαθμούς ελευθερίας και αρθρώσεις των 90 μοιρών [5.5]. Οι βαθμοί ελευθερίας είναι: 1) αγκώνας πάνω-κάτω, 2) αγκώνας αριστερά-δεξιά, 3) μέσα κι έξω, 4) αξονική περιστροφή, 5) καρπός πάνω και κάτω, 6) καρπός αριστερά και δεξιά, 7) ανοιχτό-κλειστό. Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.7 Το εργαλείο EndoWrist

Τα εσωτερικά καλώδια των εργαλείων EndoWrist, παρόμοια με τους ανθρώπινους τένοντες, διακρίνονται για τη μέγιστη ανταποκρισιμότητά τους, επιτρέποντας έτσι γρήγορες και ακριβείς τομές, συρραφές και χειρισμούς των ιστών [5.1]. Η κίνηση των εργαλείων, που μοιάζει με εκείνη του ανθρώπινου καρπού, η ικανότητα άμεσης ανταπόκρισης και ο ρομποτικός έλεγχος του συστήματος da Vinci παρέχουν στους χειρουργούς μεγάλη επιδεξιότητα και απaráμιλλη ακρίβεια. Η συσκευή απομνημονεύει τη θέση των ρομποτικών βραχιόνων πριν την αντικατάσταση του εργαλείου, ώστε το δεύτερο εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί να επαναφερθεί στη θέση που ήταν το πρώτο. Τα πλεονεκτήματα αυτά εξασφαλίζουν καλύτερα αποτελέσματα όταν πρόκειται για επεμβάσεις στο περιορισμένο περιβάλλον της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά (όπως τα αναφέρει η εταιρία παραγωγής) οι κατηγορίες εργαλείων Endowrist που προσαρμόζονται στους βραχίονες του ρομποτικού συστήματος daVinci:

Energy instruments

Χρησιμοποιούνται για πήξη, κόψιμο και διαχωρισμό των ιστών. Περιλαμβάνονται τα μονοπολικά και διπολικά εργαλεία καυτηριασμού, το Harmonic ACE και το laser.



Εικόνα 4.8 Τα Energy instruments

Forceps (λαβίδες)

Χρησιμοποιούνται για το χειρισμό των ιστών μέσα στο σώμα του ασθενή, σε μια κλίμακα από μαλακούς ιστούς μέχρι και πιο σκληρούς και ινώδεις.



Εικόνα 4.9 Οι λαβίδες

Needle drivers

Εργαλεία που παρέχουν τη δυνατότητα συρραφής τομών διαθέτοντας μια μεγάλη ποικιλία από βελόνες για κάθε πάχος ιστού.



Εικόνα 4.10 Needle Drivers

Retractors

Εργαλεία που δίνουν τη δυνατότητα στο χειριστή να διαμορφώνει κατά τρόπο που τον βολεύει το χειρουργικό πεδίο μετακινώντας όργανα ιστούς κλπ.



Εικόνα 4.11 Retractors

Άλλα εργαλεία γενικής χρήσης



Εικόνα 4.12 Εργαλεία γενικής χρήσης (1)



Εικόνα 4.13 Εργαλεία γενικής χρήσης (2)

4.3 Οι εκδόσεις da Vinci S^{HD} και da Vinci Si^{HD}

Το da Vinci S^{HD} αποτελεί μία αρκετά βελτιωμένη έκδοση του ρομποτικού συστήματος da Vinci. Τα νέα χαρακτηριστικά που αυτό υιοθετεί σε σχέση με την αρχική έκδοση του συστήματος περιλαμβάνουν:

- Σύστημα απaráμιλλης τρισδιάστατης οπτικής απεικόνισης υψηλής ευκρίνειας (high definition) με διπλάσια ανάλυση, που παρέχει βελτιωμένη καθαρότητα και λεπτομερή απεικόνιση των επιπέδων των ιστών και της ανατομίας, και λόγω πανοραμικής θέασης 16:9 που προσφέρει 20% μεγαλύτερη περιοχή θέασης. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης δυνατότητα ψηφιακού zoom για την ελάττωση της παρεμβολής μεταξύ του ενδοσκοπίου και των εργαλείων και εμπλουτίζεται με ενδοσκόπια stereo 0° και 30°. Παρέχει δυνατότητα μεγέθυνσης του χειρουργικού πεδίου έως και 15 φορές (ενδεικτικά, τα αγγεία με μέγεθος χιλιοστού εμφανίζονται στο μέγεθος ενός μολυβιού).
- Βελτιωμένη επιδεξιότητα και ακρίβεια, χάρη στην τεχνολογία Intuitive Movement, για πιο ακριβή έλεγχο των EndoWrist εργαλείων με τις άκρες των δακτύλων και λεπτότερους, τηλεσκοπικούς βραχίονες εργαλείων που εξασφαλίζουν καλύτερη πρόσβαση στον ασθενή μέσω των μικροτομών στο σώμα του.

- Ανώτερη εργονομία για μεγαλύτερη άνεση στη στάση του χειρουργού και βέλτιστη ευθυγράμμιση των χεριών και των ματιών του.
- Γρήγορη και ασφαλή προετοιμασία του συστήματος πριν από την επέμβαση, με ταχύτερη και ελεγχόμενη πρόσβαση αυτού στον ασθενή και μηχανοκίνητο φορείο δίπλα στον ασθενή. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης σύνδεση οπτικής ίνας υψηλής ταχύτητας και αποστειρωμένους αντάπτορες μίας χρήσης.
- Υιοθέτηση τέταρτου ρομποτικού βραχίονα για απλούστευση της χειρουργικής επέμβασης (Solo Surgery).
- Νέο εξελιγμένο interface χρήστη που περιλαμβάνει ολοκληρωμένο monitor με οθόνη αφής, οθόνη τεχνολογίας TilePro πολλαπλών εισόδων για την παρουσίαση κρίσιμων πληροφοριών του ασθενούς, LED και εικονίδια κατάστασης, καθώς και εργαλεία telestration για βελτιωμένη εποπτεία και επικοινωνία της χειρουργικής ομάδας. Η οθόνη TilePro επιτρέπει στο χειρουργό και την υπόλοιπη ομάδα να βλέπουν τρισδιάστατο βίντεο του χειρουργικού πεδίου μαζί με δύο επιπρόσθετες πηγές βίντεο, όπως είναι π.χ. οι υπέρηχοι και το ηλεκτροκαρδιογράφημα (EKG) [5.3].

Τον Απρίλιο του 2009 πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση του νέου βελτιωμένου ρομποτικού συστήματος da Vinci Si^{HD} που αποτελεί την πιο πρόσφατη προσθήκη στη γραμμή προϊόντων της σειράς da Vinci. Η έκδοση αυτή υιοθετεί αρκετά νέα χαρακτηριστικά, διατηρώντας όμως παράλληλα τη βασική τεχνολογία των προηγούμενων εκδόσεων.

- Το σύστημα τρισδιάστατης απεικόνισης χρησιμοποιεί δύο ξεχωριστά οπτικά κανάλια υψηλής ευκρίνειας, τα οποία συγχωνεύονται μεταξύ τους για να αποδώσουν με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια την αντίληψη του βάθους.
- Μία ολοκληρωμένη κονσόλα αφής (touchpad) δίνει στο χειρουργό τη δυνατότητα να ελέγχει τις ρυθμίσεις του βίντεο, του ήχου και του συστήματος.
- Η κονσόλα του χειρουργού έχει αναβαθμιστεί εργονομικά, επιτρέποντάς του να ρυθμίζει κατά βούληση τέσσερις διαφορετικές παραμέτρους για επιπλέον άνεση κατά τη διάρκεια πολύωρων χειρουργικών επεμβάσεων.
- Υπάρχει προαιρετικά η δυνατότητα να προσαρτηθεί στο σύστημα και δεύτερη κονσόλα χειρουργού. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα σε δύο χειρουργούς να συνεργάζονται ή να επικοινωνούν κατά τη διάρκεια μίας επέμβασης ή πρακτικής εξάσκησης, ανταλλάσσοντας μεταξύ τους τον έλεγχο των ρομποτικών βραχιόνων (εργαλείων ή ενδοσκοπίου).
- Στο σύστημα όρασης έχει ενσωματωθεί η δυνατότητα ανάρτησης στο ταβάνι (ή σε έναν τοίχο) με σκοπό την εξοικονόμηση πολύτιμου χώρου μέσα στη χειρουργική αίθουσα.

- Η επεκτασιμότητα της αρχιτεκτονικής του συστήματος διασφαλίζει την αναβάθμιση και τη συμβατότητα με τη σύγχρονη και μελλοντική τεχνολογία της χειρουργικής αίθουσας [5.3].

4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Σημαντικές πρόοδοι έχουν επιτευχθεί με τη χρήση των χειρουργικών ρομπότ, όπως για παράδειγμα η τηλε-χειρουργική, η ελάχιστη επεμβατική χειρουργική και τα χειρουργεία με ελαχιστοποιημένο τον ανθρώπινο παράγοντα. Μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής είναι η ακρίβεια, η σμίκρυνση, οι μικρότερες τομές, η μειωμένη απώλεια αίματος, ο σαφώς λιγότερος πόνος, και η ταχύτερη ανάρρωση. Περαιτέρω πλεονεκτήματα είναι ο έλεγχος και το φιλτράρισμα των κανονικών κινήσεων του χειριστή και η τρισδιάστατη μεγέθυνση, με αποτέλεσμα βελτιωμένη εργονομία. Οι επεμβάσεις με τη βοήθεια ρομπότ επίσης σχετίζονται με μειωμένη διάρκεια της νοσοκομειακής νοσηλείας, λιγότερη απώλεια αίματος, τις μεταγγίσεις, και τη χρήση αναλγητικών φαρμάκων.

Με το κόστος του ρομπότ σε \$ 1.400.000 δολάρια και το διαθέσιμο κόστος εφοδιασμού των 1.500 δολαρίων ανά διαδικασία, το κόστος της διαδικασίας είναι υψηλότερο. Επιπλέον χειρουργική εκπαίδευση είναι απαραίτητη για να λειτουργήσει το σύστημα. Πολλές μελέτες σκοπιμότητας έχουν γίνει για να προσδιοριστεί αν η αγορά των εν λόγω συστημάτων αξίζει τον κόπο. Όπως έχουν τα πράγματα, οι απόψεις διαφέρουν δραματικά. Οι χειρουργοί αναφέρουν ότι, αν και οι κατασκευαστές των εν λόγω συστημάτων παρέχουν κατάρτιση σχετικά με αυτή τη νέα τεχνολογία, η φάση εκμάθησης είναι εντατική και οι χειρουργοί πρέπει να εκπαιδευτούν σε 12 με 18 ασθενείς πριν προσαρμοστούν. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της φάσης εκπαίδευσης, οι επεμβάσεις μπορεί να διαρκέσουν έως και δύο φορές περισσότερο από μια παραδοσιακή χειρουργική επέμβαση, με αποτέλεσμα την δέσμευση του χειρουργείου και τον αυξημένο κίνδυνο κρατώντας ασθενείς υπό αναισθησία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα [5.6].

4.5 Επεμβάσεις που χρησιμοποιείται το da Vinci

Το σύστημα da Vinci είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί από πολλές ειδικότητες της χειρουργικής, όπως [5.7]:

Γενική Χειρουργική για:

- Τοποθέτηση δακτυλίου στομάχου Lap Band ή γαστρικού bypass για νοσογόνο παχυσαρκία
- Διόρθωση διαφραγματοκήλης και γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης.
- Αποκατάσταση αχαλασίας οισοφάγου.
- Χολοκυστεκτομή, μετεγχειρητικές; κήλες, βουβωνοκήλες, κισσοκήλες.
- Διερεύνηση χοληδόχου πόρου.
- Εκτομές κύστεων ήπατος, νεφρού, παγκρέατος, σπληνός.
- Αφαίρεση παγκρέατος.
- Επινεφριδεκτομή.
- Αποκατάσταση βουβωνοκήλης και κοιλιοκήλης με πλέγμα.
- Κολεκτομή, σπληνεκτομία, παγκρεατεκτομή, ηπατεκτομή, γαστρεκτομή, σκωληκοειδεκτομή, λύση συμφύσεων κ.ά.

Καρδιοχειρουργική - Θωρακοχειρουργική για:

- Αντικατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας, by pass στεφανιαίας αρτηρίας
- Αποκατάσταση μεσοκοιλιακής επικοινωνίας, κ.α.

Ουρολογία για:

- Προστατεκτομή με διατήρηση των στυτικών νεύρων αποφεύγοντας έτσι την απώλεια της στυτικής λειτουργίας σε ποσοστό άνω του 95%, νεφρεκτομή κ.ά.
- Πυελοπλαστική,
- Αφαίρεση λίθων από τον ουρητήρα, λεμφαδένων, κύστεων νεφρού.
- Αποκατάσταση κισσοκήλης, κ.ά.

Γυναικολογία:

- Αφαίρεση κύστεων ωοθηκών, ινομυωμάτων, σαλπίνγων, εξωμητρίου κνήσεως.
- Λεμφαδενικό καθαρισμό, υστερεκτομή, κ.ά.

4.6 Συνοπτικά οικονομικά μεγέθη

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά στοιχεία που αφορούν το συνολικό κόστος αγοράς και συντήρησης του ρομποτικού συστήματος da Vinci καθώς και τις μεταβολές στα κόστη των χειρουργικών επεμβάσεων στεφανιαίας παράκαμψης που προκύπτουν από τη χρήση του, όπως αυτά είχαν δημοσιευτεί στο περιοδικό Journal of Healthcare Management Ιουλίου/Αυγούστου 2003 [5.8].

Κόστος αγοράς	\$1.000.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης	\$100.000
Κόστος εκπαίδευσης ιατρών	\$250.000
Συνολικό κόστος	\$1.350.000
Ημερήσιο κόστος νοσηλείας ανά ασθενή	\$2.000
Μείωση χρόνου νοσηλείας ανά ασθενή για επεμβάσεις καρδιάς (ημέρες)	4.5
Συνολική μείωση κόστους νοσηλείας ανά επέμβαση καρδιάς	\$9.000
Επιπλέον κόστος επέμβασης με το σύστημα da Vinci	\$2.000
Επιπλέον χειρουργική βοήθεια με τέταρτο ρομποτικό βραχίονα (ο ετήσιος μισθός μίας επιπλέον νοσοκόμας χειρουργείου είναι \$80.610)	\$175.000

Ακολουθούν παρακάτω κάποια στοιχεία για την παγκόσμια αγορά συστημάτων ρομποτικής χειρουργικής όπως αυτά είχαν δημοσιευτεί στο περιοδικό Journal of Healthcare Management Ιουλίου/Αυγούστου 2003 [5.8].

Σύστημα	Κόστος	Εταιρεία	Περιγραφή συστήματος
da Vinci	\$1,000,000	Intuitive Surgical	Τηλεχειρουργική Ρομπότ με βραχίονες & χειρουργικά εργαλεία
Zeus	\$975,000	Computer Motion	Τηλεχειρουργική Ρομπότ με βραχίονες & χειρουργικά εργαλεία
Aesop 3000	\$80,000	Computer Motion	Ρομπότ χειρισμού ενδοσκοπίου με δυνατότητα φωνητικού ελέγχου
Hermes	-	Computer Motion	Ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου για τη δικτύωση συσκευών σε ένα χειρουργείο
Socrates	-	Computer Motion	Σύστημα ρομποτικής τηλεσυνεργασίας για μοιραζόμενη χρήση του Aesop 3000

Κεφάλαιο 5. Ενδοσκοπική χειρουργική δια μέσω φυσικών οπών

5.1 Εισαγωγή

Η ενδοσκοπική χειρουργική δια μέσω φυσικών οπών, ή Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES), αποτελεί την πλέον σύγχρονη τεχνική ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής για παθήσεις της κοιλίας. Η τεχνική αυτή καταργεί τελείως τις τομές δέρματος, γιατί κατά την εισαγωγή των χειρουργικών εργαλείων χρησιμοποιεί φυσικές οπές του ανθρωπίνου σώματος, όπως του στόματος, του πρωκτού και του κόλπου της γυναίκας.

Είναι γνωστό πως εδώ και περίπου δέκα χρόνια η Λαπαροσκοπική Χειρουργική έχει πρακτικά αντικαταστήσει την κλασσική ανοικτή χειρουργική σε πολλές επεμβάσεις. Οι επιστήμονες σε αναζήτηση μιας ακόμη λιγότερο επεμβατικής τεχνικής εδώ και δυο χρόνια πραγματοποιούν ενδοκοιλιακές επεμβάσεις μέσω φυσικών οπών, με τη χρησιμοποίηση εύκαμπτων ενδοσκοπίων που προσεγγίζουν την περιτοναϊκή κοιλότητα μέσω τομής στο τοίχωμα του στομάχου, του κόλπου ή του εντέρου (ορθού). Μετά το τέλος της επέμβασης η οπή κλείνεται επίσης ενδοσκοπικά.

Τα πιθανά οφέλη για τον ασθενή από την νέα τεχνική NOTES είναι πολλά, εκτός από το άριστο κοσμητικό αποτέλεσμα. Καταρχήν υπάρχει μία σημαντική μείωση του μετεγχειρητικού πόνου επειδή δεν υπάρχουν τομές στο κοιλιακό τοίχωμα. Επίσης η ποσότητα γενικής αναισθησίας που χορηγείται είναι σημαντικά μειωμένη ακόμη και σε σύγκριση με την λαπαροσκόπηση. Αναμένεται επίσης να είναι κατά πολύ μικρότερη και η καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος που παρατηρείται μετά την επέμβαση. Όλα αυτά συνεπάγονται ελαττωμένη χρήση μετεγχειρητικών παυσίπων, γρηγορότερη ανάνηψη αμέσως μετά την επέμβαση και ταχύτερη ανάρρωση από το χειρουργείο.

Με την τεχνική αυτή είναι πιθανόν στο μέλλον πολλές επεμβάσεις να γίνονται σε εξωτερική βάση, χωρίς ανάγκη νοσηλείας με χορήγηση μικρών δόσεων αναισθητικών φαρμάκων και σε ένα ειδικά διαμορφωμένο χώρο που θα θυμίζει μία εξελιγμένη αίθουσα ενδοσκοπήσεων.

Η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας θα είναι καθοριστική για την εφαρμογή της χειρουργικής NOTES στους ανθρώπους. Όπως την τελευταία δεκαετία η λαπαροσκοπική χειρουργική αποτέλεσε την επανάσταση στην γενική χειρουργική,

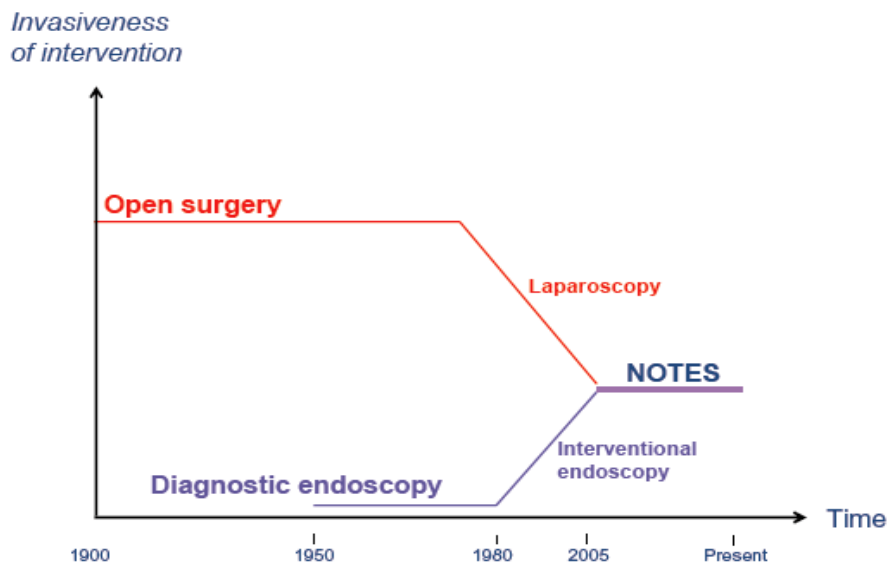
σήμερα είναι πιθανόν να βλέπουμε την ανατολή μιας νέας εποχής, της χειρουργικής NOTES, της «χειρουργικής χωρίς τομές» [5.1].

5.2 Ιστορία της ενδοσκοπικής χειρουργικής δια μέσω φυσικών οπών

5.2.1 Η γέννηση της NOTES (2000)

Οι ευέλικτες ενδοσκοπικές διαδικασίες έχουν γίνει όλο και πιο επεμβατικές τις τελευταίες δεκαετίες. Από το τέλος του 20^{ου} αιώνα, η ενδοσκοπική διάγνωση είναι δυνατή σε όλο το μήκος του πεπτικού σωλήνα αλλά και των κύριων οργάνων [5.2]. Η απεικόνιση και η δειγματοληψία των οργάνων έχει καταστεί δυνατή από την EUS-FNA (Endoscopic Ultrasound (EUS)/Fine Needle Aspiration (FNA)). Το πιο πρόσφατο βήμα ήταν η δυνατότητα παραβίασης της ακεραιότητας του πεπτικού τοιχώματος, ώστε να υπάρξει πρόσβαση και θεραπεία στο οπισθοπεριτοναϊκό χώρο [5.3]. Αντίθετα, η χειρουργική γίνεται όλο και λιγότερο επεμβατική. Το απόσπασμα του Dr Hunter, το 1762, έγραφε «Η χειρουργική, κερδίζοντας από τη γενική πρόοδο της γνώσης, θα καταστεί χωρίς μαχαίρι και αναίμακτη», το οποίο ήταν πολύ μπροστά από την εποχή του. Στο τέλος του 20^{ου} αιώνα, η λαπαροσκοπική έχει αποδειχθεί ασφαλής και οικονομικά αποδοτική, σε ένα ευρύ φάσμα χειρουργικών εφαρμογών στην κοιλιακή χώρα, στην περιοχή πυέλου και στο θώρακα. Έχει γίνει πλήρως αποδεκτή από την ιατρική και χειρουργική κοινότητα. Ως εκ τούτου έχει κερδίσει την ικανοποίηση των ασθενών όλα αυτά τα χρόνια και έχει καθιερωθεί για πολλές παθήσεις. Μερικές από τις τελευταίες εξελίξεις της, είναι η δυνατότητα για την πρόσβαση και τη θεραπεία μέσω των φυσικών οπών (ως επί το πλείστον μέσω του κόλπου) ή και μέσω μιας μικρής τομής (όπως προτείνεται στη χειρουργική μέθοδος λαπαροσκοπικών επεμβάσεων χωρίς εμφανή τομή, SILS).

Η NOTES γεννιέται από την συμβολή των δύο αυτών τάσεων (εικόνα 5.1). Ο Anthony Kalloo και η ομάδα του από το The Johns Hopkins Hospital (Baltimore, USA) (εικόνα 5.2), εφάρμοσαν την πρώτη NOTES επέμβαση σε ένα χοίρο, κατά την έκδοση 2000 της εβδομάδας πεπτικών νοσημάτων-DDW (Digestive Disease Week). Σε αυτή την αρχική προσέγγιση, η οποία δημοσιεύτηκε το 2004 [5.4], η πρόσβαση στην περιτοναϊκή κοιλότητα επιτεύχθηκε με ένα εύκαμπτο βίντεο-ενδοσκόπιο (γαστροσκόπιο) από το στόμα, την χρήση ειδικού νυστεριού και με την διαστολή του πρόσθιου τοιχώματος του στομάχου με μπαλόνι.

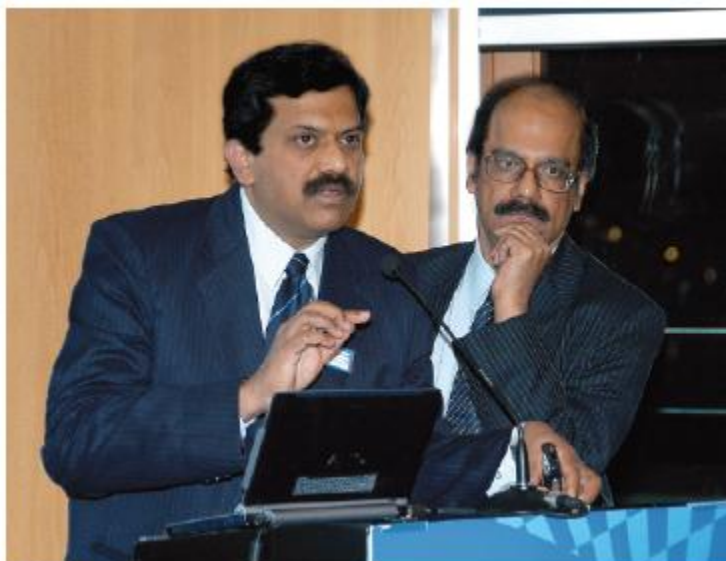


Εικόνα 5.1 Από την κλασσική ανοικτή χειρουργική και την διαγνωστική ενδοσκοπία, στην γέννηση της NOTES



Εικόνα 5.2 Sergey V. Kantsevov, Sanjay B. Jagannath, Anthony N. Kalloo and Hu Bing

Δύο χρόνια αργότερα, οι Dr G.V. Rao και Dr D.N.Reddy (Hyderabad, India), αναφέρθηκαν στην πρώτη ανθρώπινη περίπτωση σκωληκοειδεκτομής σε ένα βίντεο σε DDW συνέδριο (εικόνα 5.3) [5.5].



Εικόνα 5.3 Dr G.V.Rao και Dr D.N.Reddy

5.2.2 Έναρξη της NOTES (2000-2004)

Μετά την αρχική περιγραφή της μεθόδου, λίγες ερευνητικές ομάδες έδειξαν ενδιαφέρον. Σε αυτό το πρώιμο στάδιο, πολύ δουλειά είχε γίνει έξω από την δημόσια θέα. Αναπτυξιακές μελέτες είχαν αναπτυχθεί με στόχο να δημιουργήσουν εύκαμπτα ενδοσκόπια και βοηθητικά μέσα κατάλληλα για ασφαλή πρόσβαση στις χειρουργικές επεμβάσεις. Πρωτότυπα ενδοσκόπια και overtubes μελετήθηκαν και σχεδιάστηκαν με μεγαλύτερα κανάλια, αυξημένη δύναμη ώθησης, ευρύτερη ελευθερία κινήσεων και μεταβλητή ακαμψία [5.6]. Επίσης, αναπτύχθηκαν η προσέγγιση και όργανα ραψίματος. Μεταξύ άλλων, η ομάδα του Paul Swain (London, United Kingdom), ήταν εξαιρετικά ενεργή σε αυτό το θέμα [5.7]. Μαζί με αυτές τις προόδους στο σχεδιασμό των μέσων, πρώιμες επεμβάσεις πραγματοποιούνταν σε πειραματόζωα, όπως αφαίρεση οργάνων και αναστόμωση, οδηγώντας στις πρώτες περιγραφές της NOTES, των χειρουργικών επεμβάσεων Γαστρεντεροαναστόμωσης, απολίνωσης φαλοπιανών σαλπίγγων, υστερεκτομής, και χολοκυστεκτομής [5.8-5.11].

5.2.3 Ανθιση της NOTES (2005-2008)

Τον Ιούλιο του 2005, οι ηγέτες των ΗΠΑ στους τομείς της γαστρεντερικής ενδοσκόπησης, συναντήθηκαν στην σύνοδο κορυφής στην Νέα Υόρκη, ιδρύοντας την Natural Orifice Surgery Consortium for Assessment and Research (NOSCAR) ομάδα,

μα κοινή πρωτοβουλία υποστηριζόμενη από την Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) (εικόνα 5.4). Από αυτή τη συνάντηση, η NOSCART δημοσίευσε την πρώτη «Λευκή Βίβλο» (White Paper), με στόχο την σωστή καθοδήγηση της έρευνας πάνω στη NOTES [5.12]. Η ομάδα εκκλήθηκε για ενεργή συμμετοχή στις βιομηχανίες της ενδοσκόπησης και της χειρουργικής.



Εικόνα 5.4 Ομάδα NOSCART, Ιούλιος 2005

Η πρώτη συνεδρίαση με το όνομα NOSCART διεξάγεται στη Βοστώνη το 2006. Άλλες διεθνείς ομάδες με παρόμοιους στόχους ακολούθησαν σε όλο τον κόσμο. Το 2007, πραγματοποιήθηκε στην Σουηδία, η πρώτη κοινή συνεδρίαση της European Association for Endoscopic Surgery (EAES) και της European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) με θέμα την NOTES (EuroNOTES).

Από τις πρώτες αναφορές ήταν αναμενόμενο για την NOTES η προσφορά της σε ένα ευρύ φάσμα διαγνωστικών και θεραπευτικών διαδικασιών. Κάτω από την καθοδήγηση των NOTES κοινοτήτων και με την χρηματοδότηση τους σε πολλές περιπτώσεις, πολυάριθμες επεμβάσεις και εργαλεία αναπτύχθηκαν σε αυτό το χρονικό διάστημα σε εργαστήρια. Οι περισσότερες επεμβάσεις επιχειρήθηκαν σε χοίρους, ενώ σπανιότερα σε σκύλους και ανθρώπινα πτώματα.

Πρώιμες διαγαστρικές πειραματικές επεμβάσεις περιλαμβάνονταν στη δημιουργία αναστόμωσης [5.11,5.13,5.14], γυναικολογικές επεμβάσεις [5.9,5.11,5.15,5.16] και χολοκυστεκτομή [5.17]. Η διαγαστρική NOTES συνδυάστηκε με άλλες καινοτόμες

τεχνικές, όπως η EUS (endoscopic ultrasonography) , η ενδοσκόπηση υψηλής ευκρίνειας και ρομποτ. Άλλες διαδρομές πρόσβασης προς την περιτοναϊκή κοιλότητα αξιολογήθηκαν, όπως παρουσιάστηκαν σε αναφορές σχετικά με την διαγαστρική περιτοναϊκή ενδοσκόπηση, την κήλη, την χολοκυστεκτομή, την θωρακοσκόπηση και τις διοισοφαγικές επεμβάσεις [5.18-5.29].

5.2.4 Η NOTES στην ιατρική (2009-2011)

Παρά το γεγονός ότι τα περισσότερα από τα παραπάνω αναφέρονται σε πειράματα σε ζώα τα οποία στέφθηκαν με επιτυχία, οι περισσότερες ήταν κουραστικές με αποτέλεσμα να μην επιτραπούν σε κλινική πρακτική. Από την αρχική αναφορά της διαγαστρικής NOTES από τον Dr G.V. Rao και Dr D.N.Reddy, το 2002 [5.5], λίγες κλινικές εκθέσεις έχουν δημοσιευτεί. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η λαπαροσκοπική βοήθεια κρίθηκε απαραίτητη από τους χειρουργούς και τις επιτροπές δεοντολογίας. Laparoscopy - assisted transgastric diagnostic flexible peritoneoscopy, έχει πραγματοποιηθεί λίγες φορές κατά την διάρκεια ογκολογικής επέμβασης [5.30] ή χειρουργικής επέμβασης παχυσαρκίας [5.31]. Μόνο λίγες καθάρες NOTES έχουν πραγματοποιηθεί σε ανθρώπους [5.32].

5.2.5 Διακολπική επανάσταση στη NOTES

Βασισμένη στην μεγάλη εμπειρία πάνω στην Διακολπική Λαπαροσκόπηση, η διακολπική διαδρομή συνάντησε τις περισσότερες προσδοκίες των χειρουργών για μια ασφαλή και αξιόπιστη πρόσβαση στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Παρά το γεγονός ότι αποκλείει τους άρρηνες ασθενείς, οι περισσότεροι χειρουργοί συμμετέχουν στην ανάπτυξη της μεθόδου με την έναρξη διακολπικών προσεγγίσεων.

Η χολοκυστεκτομή θεωρήθηκε ότι ήταν μια τυπική χειρουργική διαδικασία που θα μπορούσε εύκολα να πραγματοποιηθεί. Η πρώτες επεμβάσεις ήταν υποβοηθούμενες λαπαροσκοπικά , ar-assisted (hybridNOTES). Τολμηροί χειρουργοί από την Νότια Αμερική πήραν την πρωτιά. Το 2007 ο Dr. Ricardo Zorron (Rio de Janeiro, Brazil) δημοσίευσε την έκθεση του πάνω στη πρώτη διακολπική χολοκυστεκτομή (εικόνα 5.5) [5.33].



Εικόνα 5.5 Η ομάδα του Dr. Ricardo Zorron

Ο Dr. Jacques Marescaux από το Στρασβούργο, ακολουθούμενος από τον Dr. Mark Bessler, από την Νέα Υόρκη, παρουσίασαν την πρώτη χολοκυστεκτομή χωρίς καμία λαπαροσκοπική βοήθεια, γνωστή ως «pure NOTES». Αυτά τα μεγάλα επιτεύγματα έλαβαν μεγάλη απήχηση στα μέσα ενημέρωσης, ευνοώντας περαιτέρω ανάπτυξη και αξιολόγηση της τεχνικής.

Οι πρώτες διακολπικές υβριδικές NOTES χολοκυστεκτομές δημοσιεύτηκαν το 2008 [5.34-5.36]. Πληροφορίες από Γερμανικά NOTES μητρώα έχουν επιβεβαιώσει ότι διακολπικές υβριδικές NOTES ήταν μια ασφαλής εναλλακτική λύση στην λαπαροσκοπική προσέγγιση. Αν και δεν συγκρίνεται με την λαπαροσκοπική, η NOTES αξιολογήθηκε θετικά στους 551 ασθενείς (συμπεριλαμβανομένων 470 χολοκυστεκτομών), με ένα ποσοστό επιπλοκών 3,1% και μετατροπή από λαπαροσκοπική ή ανοικτή χειρουργική επέμβαση σε 4,9% [5.37]. Η NOSCAR έχει ξεκινήσει μελέτη που συγκρίνει την NOTES χολοκυστεκτομή με τη συμβατική χολοκυστεκτομή στις ΗΠΑ.

5.2.6 Επιτεύγματα στην επεμβατική ενδοσκόπηση

Η ανάπτυξη καινοτόμων συσκευών για την πρόσβαση και το κλείσιμο κατά την διάρκεια της NOTES επέμβασης, έχει προσφέρει νέες δυνατότητες για την θεραπευτική ενδοσκόπηση. Μία από τις πρώτες προτάσεις ήταν η ανάπτυξη μιας ασφαλούς πρόσβασης στο μεσοθωράκιο και στην περιτοναϊκή κοιλότητα, δημιουργώντας μια σήραγγα ενδοσκοπικά στο υποβλεννογόνιο στρώμα του πεπτικού

συστήματος. Με αυτή την τεχνική δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης στα γύρω όργανα και χρησιμοποιώντας ένα mucosal flap, γίνεται κάλυψη της σήραγγας με στόχο να μειωθεί ο κίνδυνος μόλυνσης [5.29,5.38-5.40]. Η έρευνα για την NOTES έδωσε επίσης νέα εργαλεία για την πλήρη ενδοσκοπική αφαίρεση όγκων και για την θεραπεία ενδοσκοπικών διατρήσεων.

5.3 Εύκαμπτες ενδοσκοπικές πλατφόρμες

5.3.1 Πρωτότυπα Ενδοσκόπια

Το εύκαμπτο ενδοσκόπιο είναι το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιείται στην ελάχιστα επεμβατική μέθοδο. Ένα τυπικό ενδοσκόπιο είναι 10mm σε διάμετρο και 70-180mm σε μήκος. Εισάγονται εντός του κοίλου οργάνου/κοιλότητα για εξετάσεις ή θεραπευτική αγωγή. Ο Degani [5.48] ανέπτυξε ένα 12mm(διάμετρο) x 300mm(μήκος) ενδοσκόπιο “φίδι”, με ονομασία ρομπότ “HARP”. Αποτελείται από ένα εσωτερικό και εξωτερικό “φίδι” κατασκευασμένο από άκαμπτους κυλινδρικούς συνδέσμους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Με το τράβηγμα ή χαλάρωση των καλωδίων, το ενδοσκόπιο μπορεί να γίνει άκαμπτο ή εύκαμπτο, το οποίο είναι παρόμοιο με την ShapeLock τεχνολογία. Πειράματα σε χοίρους με το πρωτότυπο ενδοσκόπιο έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος, να κλειδωθεί το εξωτερικό “φίδι” και να αντικατασταθεί το εσωτερικό “φίδι” με την λαβίδα κολονοσκοπίου. Ο Abbott [5.49] ανέπτυξε δύο γενιές των συστημάτων ViaCath για ενδοαυλική τηλεχειρουργική. Το ενδοαυλικό μέσο αποτελείται από μία υποδοχή, ένα εύκαμπτο άξονα και μια άρθρωση με ενεργοποιούμενο άκρο. Η δεύτερη γενιά, είναι 120cm σε μήκος, 7.2mm σε διάμετρο με ενιαίο αυλό για τα καλώδια ενεργοποίησης παρέχοντας 9 βαθμούς ελευθερίας. Οι μηχανικές ιδιότητες του πρωτότυπου έχουν αξιολογηθεί, αλλά χρειάζονται ακόμα έλεγχοι καταλληλότητας σε ομοιώματα και ζωικά μοντέλα.

Συγκριτικά, οι εύκαμπτες ενδοσκοπικές πλατφόρμες για την NOTES πρέπει να είναι ισχυρότερες και περισσότερο άκαμπτες για την διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων. Τα περισσότερα πρωτότυπα έχουν τροποποιηθεί με βάση τα θεραπευτικά ενδοσκόπια αυξάνοντας τον αριθμό και την διάμετρο των διαύλων. Ο Swanstrom, ο οποίος συνεργάζεται με την USGI Ιατρική, ανέπτυξε μια πολυαυλική πλατφόρμα για την NOTES [5.50,5.51]. Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.6, η συσκευή

πρόσβασης είναι 16mm, με τέσσερις μεγάλους διαύλους εργασίας, ένας για ένα τυπικό 6mm ενδοσκόπιο, και τρεις για μεγάλης διαμέτρου όργανα. Υιοθετεί την ShapeLock σχεδίαση, η οποία επιτρέπει την ανεξάρτητη κίνηση του άκρου και έπειτα κλειδώνει στην επιθυμητή τοποθεσία. Τα μεγάλα κανάλια των 4mm και 6mm επιτρέπουν την διέλευση ισχυρότερων και ευέλικτων χειρουργικών εργαλείων. Η δύναμη στήριξης στο άκρο μπορεί να φτάσει τα 0.89 kg και δύναμη εφαρμογής του οργάνου στα 0.1 kg [5.52].



Εικόνα 5.6 USGI Medical Ενδοσκόπιο

Ο τριγωνισμός είναι μία από τις βασικότερες έννοιες στην λαπαροσκόπηση, το οποίο σημαίνει διαχωρισμός των εργατικών “χεριών”, ο ένας από τον άλλο, και να έχουν ένα “μάτι” μεταξύ των δύο “χεριών” (εικόνα 5.7). Η USGI Ιατρική ανέπτυξε ένα πρωτότυπο που ονομάζεται “Cobra” [5.51], το οποίο έχει τρία ανεξάρτητα “χέρια” ελεγχόμενα από μία ρομποτική διασύνδεση (εικόνα 5.8).

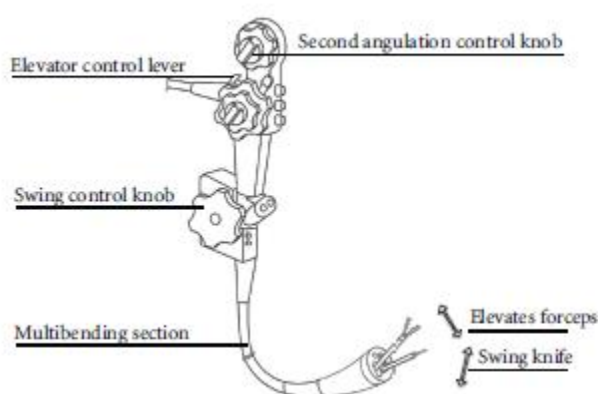


Εικόνα 5.7 Η τεχνική της Τριγωνοποίησης



Εικόνα 5.8 Το Cobra Ενδοσκόπιο

Η Olympus κατασκεύασε ένα πρότυπο διπλού καναλιού θεραπευτικό ενδοσκόπιο, με την ονομασία το “R” ενδοσκόπιο για NOTES [5.53] επιτρέποντας του να τοποθετηθεί κοντά στην περιοχή του στόχου και στην συνέχεια να ασφαλιστεί. Η συσκευή διαθέτει 2 κινητά κανάλια 3.8mm, από τα οποία το ένα κινείται κάθετα και το άλλο οριζόντια, προσφέροντας μια λογική προσομοίωση τριγωνοποίησης (εικόνα 5.9). Τα 2 όργανα μπορούν να ελεγχθούν κατά την διάρκεια λειτουργίας τους, από μία λαβή και ένα μοχλό που περιβάλλουν τα κουμπιά ελέγχου γωνίας του “R” ενδοσκοπίου.



Εικόνα 5.9 Το R Ενδοσκόπιο (Olympus Medical Systems)

5.3.2 Περιορισμοί του εύκαμπτου ενδοσκοπίου

Τα βελτιωμένα ευέλικτα ενδοσκόπια είναι χρήσιμα για κάποιες ορθόδρομες ενδοκοιλιακές διαδικασίες. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα αδυναμίες λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών τους. Ένα σημαντικό σημείο είναι ότι η ευελιξία τους τα καθιστά δύσκολα στον χειρισμό των ιστών. Λόγω του μικρού μεγέθους των καναλιών των ενδοσκοπίων, οι τελικοί τελεστές των περισσοτέρων οργάνων είναι μικροί και αδύναμοι. Μεγαλύτερο μέγεθος και περισσότερα κανάλια επιτρέπουν κάποιο βαθμό τριγωνισμού αλλά εξακολουθεί να είναι ανεπαρκής. Ορισμένα μέσα απαιτούν την αφαίρεση της συσκευής για την αλλαγή εργαλείων και στην συνέχεια εκ νέου. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των συσκευών δεν επιτρέπει μια ομαλή και ελεγχόμενη κίνηση του άκρου και συνεπώς του οργάνου στο άκρο που εκτελεί ακριβείς ελιγμούς.

Οι κυριότεροι περιορισμοί του παρόντος εύκαμπτου ενδοσκοπίου και των απαιτήσεων των μέσων που χρησιμοποιούνται στην NOTES αναφέρονται ως εξής [5.54-5.56]:

- i. Σταθερότητα πλατφόρμας: Η ευελιξία των τωρινών ενδοσκοπίων εμποδίζει την επίτευξη σταθερής λειτουργίας στη NOTES. Το ιδανικό εργαλείο θα είναι ικανό για ατραυματική εισαγωγή και τοποθέτηση, αλλά στην συνέχεια να είναι σε θέση να χειριστεί ο χειρουργός πολλαπλά μέσα.
- ii. Ανάκληση: Η έλλειψη ακαμψίας περιορίζει το ενδοσκόπιο να αποσύρει ιστούς και να εφαρμόσει ισχυρά ράμματα ή κλιπς. Νέες μέθοδοι πρέπει να αναπτυχθούν ώστε να επιτρέπεται η έντονη έλξη.
- iii. Τριγωνισμός: Μια κρίσιμη έννοια στην λαπαροσκόπηση, που σημαίνει διαχωρισμό των εργατικών “χεριών” και “μάτι” ενδιάμεσα των δύο χεριών. Αυτή η περίπτωση δεν είναι για το εύκαμπτο ενδοσκόπιο με ενσωματωμένα όργανα και οπτική. Ανεξάρτητη κίνηση των πολλαπλών θεραπευτικών μέσων είναι επιθυμητή.
- iv. Μέγεθος: Τα εύκαμπτα ενδοσκόπια έχουν συνήθως διάμετρο από 5mm έως 15mm, η οποία περιορίζει το μέγεθος των χειρουργικών εργαλείων, τους ελιγμούς και την ικανότητα για τριγωνοποίηση. Η συσκευή για NOTES πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 2 διαύλους εκτός του τμήματος απεικόνισης, για μεγέθυνση του εύρους κίνησης και αύξηση των βαθμών ελευθερίας.
- v. Εικόνα: Η ποιότητα της εικόνας των σημερινών εύκαμπτων ενδοσκοπίων είναι συγκρίσιμο με τα λαπαροσκόπια. Ωστόσο, υπάρχει ένα πρόβλημα προσανατολισμού όταν η εργασία είναι σε κυρτή θέση. Ένα “orthophoric” σύστημα απεικόνισης με επαρκή φωτισμό είναι αναγκαίο για να γίνει διάκριση διαφορετικών ανατομικών δομών στον ενδοπεριτοναϊκό χώρο.

Επί του παρόντος τα εύκαμπτα ενδοσκόπια δεν εφαρμόζονται για λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις. Υπάρχει ανάγκη σημαντικών βελτιώσεων των μέσων για τη NOTES. Τα προβλήματα που αναφέρονται παραπάνω μπορούν να επιλυθούν σε κάποιο βαθμό με την τεχνογνωσία στο πεδίο χειρισμού. Όμως, μία μακροπρόθεσμη

λύση είναι η επανασχεδίαση των ενδοσκοπικών βοηθημάτων και η διεξαγωγή των ενεργειών με εντελώς νέο τρόπο.

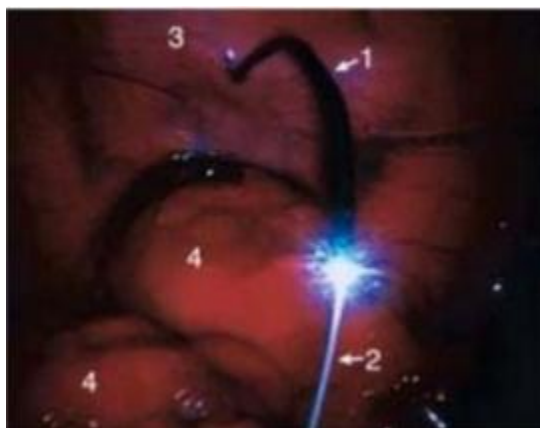
5.4 Προσπέλαση - Σύγκλιση

Η χειρουργική NOTES βασίζεται στην είσοδο εύκαμπτων γαστροσκοπίων στην περιτοναϊκή κοιλότητα δια μέσου του στομάχου, της ουροδόχου κύστης, του κόλπου και του εντέρου. Έρευνες γίνονται με στόχο την ανεύρεση της, ιδανικότερης διόδου στην περιτοναϊκή κοιλότητα, που περιλαμβάνει το όργανο στο οποίο δημιουργείται η οπή που εξασφαλίζει την πρόσβαση, το ακριβές σημείο διενέργειας της οπής επί του οργάνου, που μπορεί να διαφέρει αναλόγως του είδους της χειρουργική επέμβαση και της ενδοκοιλιακής εντόπισης του χειρουργικού πεδίου, και τέλος την καταλληλότερη τεχνική διενέργειας της οπής. Επίσης, της καταλληλότερης μεθόδου, σύγκλισης της οπής μετά το πέρας της χειρουργικής επέμβασης, που θα διασφαλίζει σχεδόν 100% ασφάλεια και αξιοπιστία, και της μεθόδου πρόληψης διασποράς μικροβίων από το όργανο μέσω του οποίου διενεργείται η οπή πρόσβασης προς την περιτοναϊκή κοιλότητα, που μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ενδοκοιλιακών φλεγμονωδών επιπλοκών. Αυτές οδηγούν στην κατασκευή σύγχρονων ενδοσκοπικών εργαλείων, που περιλαμβάνουν αξιόπιστες συσκευές συρραφής και αναστόμωσης κοίλων οργάνων, στην ανάπτυξη καταλλήλων μεθόδων και ενδοσκοπικών συσκευών για την αποφυγή απώλειας προσανατολισμού της χειρουργικής ομάδας κατά την διενέργεια της χειρουργικής επέμβασης, και στην ανάπτυξη της ιδανικής πλατφόρμας εργασίας [5.57].

5.4.1 Μέθοδοι δημιουργίας οπής επί κοίλου σπλάχνου

5.4.1.1 Τεχνική διουρηθρικής/διακυστικής προσπέλασης

Η τεχνική της διουρηθρικής / διακυστικής NOTES βασίζεται στην τεχνική Seldinger. Ένα ουρητηροσκόπιο διεκβάλλεται δια της ουρήθρας εντός της ουροδόχου κύστεως, η οποία και διατείνεται με χρήση CO₂, αφού πρώτα αδειαστεί από τα προϋπάρχοντα ούρα. Πραγματοποιείται τομή στην περιοχή του θόλου της ουροδόχου κύστεως.



Εικόνα 5.10 Προσπέλαση δια της ουροδόχου κύστης

Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται μία τομή στον βλεννογόνο με χρήση ενδοσκοπικού ψαλιδιού, και ,ακολουθώς, ένας ουρητηρικός καθετήρας διαμέτρου 5 Fr διεκβάλλεται, μέσω της τομής, εντός της περιτοναϊκής κοιλότητας. Ένας οδηγός διαμέτρου 0,0035 ιντσών, με εύκαμπτο άκρο, εισάγεται στην περιτοναϊκή κοιλότητα δια του αυλού του ουρητηρικού καθετήρα. Με την χρήση του οδηγού, η τομή διευρύνεται με την πλήρωση καταλλήλου διαστολέα, που διαθέτει το ουρητηροσκόπιο, και χρησιμοποιείται ως κανάλι για την εισαγωγή μίας ενδοσκοπικής πλατφόρμας, διαμέτρου 5,5 mm. Μέσω της πλατφόρμας, το ουρητηροσκόπιο εισάγεται στην περιτοναϊκή κοιλότητα και επιτρέπει την δημιουργία πνευμοπεριτοναίου CO₂, ελεγχόμενης πίεσης. Μετά την ολοκλήρωση την επέμβασης αφαιρείται το CO₂ από την περιτοναϊκή κοιλότητα, ακολουθούμενο από απόσυρση του ουρητηροσκοπίου και είσοδο ενός ουρηθρικού καθετήρα Foley, που παραμένει, συνήθως, για τρεις με τέσσερις ημέρες [5.58, 5.59].

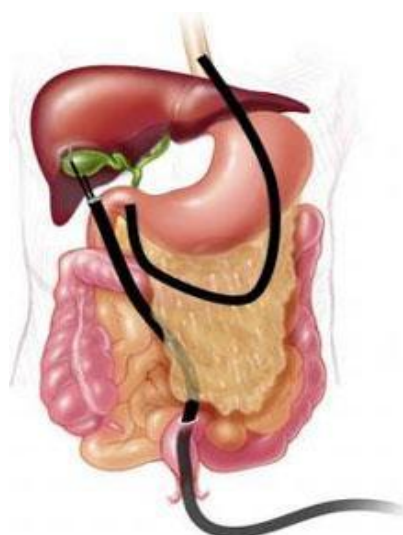
5.4.1.2 Τεχνική διακολικής προσπέλασης

Η επιλογή του κατάλληλου σημείου για την διενέργεια της τομής στο πρόσθιο, αντιμεσεντερικό, χείλος του παχέος εντέρου μπορεί να πραγματοποιηθεί, είτε, με ψηλάφηση του κοιλιακού τοιχώματος υπερηβικά, είτε, αντίθετα προς την λιμνάζουσα συλλογή υγρού ενδοαυτικά. Οι περισσότεροι συγγραφείς χρησιμοποιούν το ενδοσκοπικό νυστέρι για την διενέργεια μίας μικρής τομής (2-3 mm) στο τοίχωμα του παχέος εντέρου [5.60, 5.61, 5.62, 5.63]. Αφού το νυστέρι διέλθει δια του τοιχώματος

του παχέος, διεκβάλλεται εύκολα το ενδοσκόπιο και προκαλεί επακόλουθη διαστολή της οπής.



Εικόνα 5.11 Διακολική προσπέλαση



Εικόνα 5.12 Διακολική Προσπέλαση – Χολοκυστεκτομή

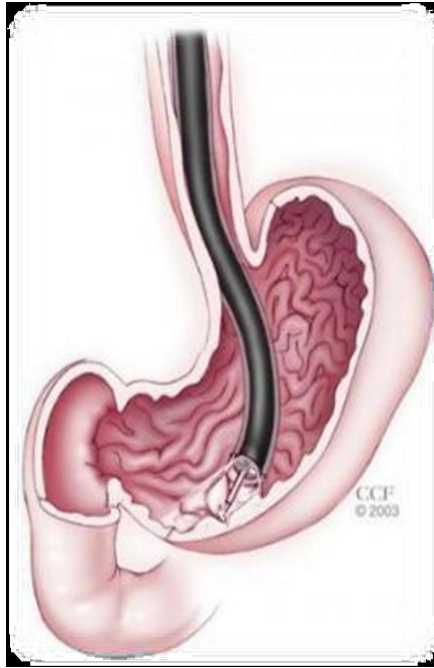
Σε αντιδιαστολή με την διαγαστρική προσπέλαση, λόγω του λεπτότερου πάχους του τοιχώματος του παχέος εντέρου, δεν απαιτείται η χρήση αυτοεκπτυσσόμενου διαστολέα. Σε μελέτη του Fong και των συνεργατών του [5.60], πριν την διενέργεια της κολοτομής, τρία αυτόματα συστήματα συγκράτησης σχήματος T (T-tags), με προσαρμοσμένα ράμματα επάνω τους, τοποθετήθηκαν σε τρίγωνο σχηματισμό, επιτυγχάνοντας συμπλησίαση του εγγύς και άπω άκρου της μελλοντικής τομής, που έχει επιλεγεί ως πύλη εισόδου. Μετά το πέρας της χειρουργικής επέμβασης, αυτά τα

T-tags χρησιμοποιήθηκαν για να επιτευχθεί αναστροφή των άκρων της τομής και να διευκολύνουν την σύγκλειση αυτής με χρήση endoloops και endoclips.

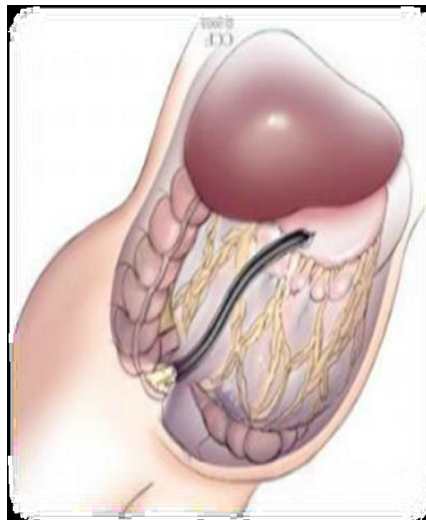
Ο Wilhem και οι συνεργάτες του [5.61] προχώρησαν στην επινόηση μίας ασφαλούς και στείρας μικροβίων τεχνικής πρόσβασης στην περιτοναϊκή κοιλότητα μέσω του σιγμοειδούς [ISSA (Innovative Safe and Sterile Sigmoid Access)]. Μετά την δημιουργία του πνευμοπεριτοναίου, με την χρήση μίας βελόνας Verress διεκβαλλομένης δια του ομφαλού, με την βοήθεια διορθικού υπερηχογραφήματος, εντοπίζεται ένα σημείο του προσθίου τοιχώματος της ορθοσιγμοειδικής καμπής σε απόσταση ασφαλείας από το λεπτό έντερο και τα μεγάλα αγγεία. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σε 8 πειραματόζωα.

5.4.1.3 Τεχνική διαγαστρικής προσπέλασης

Σημαντικός όγκος της σχετικής βιβλιογραφίας, περίπου 45%, αφορά την πολλά υποσχόμενη διαγαστρική προσπέλαση, ενώ μόλις το 30% την διακολπική και το 15% την διουρηθρική/διακυστική, που παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της δυνατότητας καθολικής εφαρμογής και στα δύο φύλα, ενώ συγκριτικά με την διακολπική, σχετίζεται με μικρότερο κίνδυνο μεταφοράς μικροβίων στην περιτοναϊκή κοιλότητα και ταχύτερη επούλωση [5.64]. Έτσι, απαραίτητη κρίνεται η ανάπτυξη και επιτυχής κλινική εφαρμογή μίας ασφαλούς μεθόδου σύγκλεισης της οπής του γαστρεντερικού συστήματος, που χρησιμοποιείται ως οδός προσπέλασης στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Η τεχνική διαδερμικής ενδοσκοπικής γαστροστομίας είναι μία καθιερωμένη και ασφαλής τεχνική σε ανθρώπους, με εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά κάκωσης ενδοκοιλιακών οργάνων ή ενδοκοιλιακών επιπλοκών [5.65], που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πειραματικά μοντέλα.



Εικόνα 5.13.α Είσοδος ενδοσκοπίου από τον οισοφάγο στο στομάχι



Εικόνα 5.13.β Διάτρηση στομάχου και είσοδος στην περιτοναϊκή κοιλότητα

Με την βοήθεια ψηλάφησης της ανώτερης κοιλιακής χώρας, και υπό ενδοσκοπική καθοδήγηση, αναγνωρίζεται ένα τμήμα του γαστρικού τοιχώματος που έρχεται σε άμεση επαφή με το περιτόναιο αντίστοιχα προς το πρόσθιο κοιλιακό τοίχωμα. Με την βοήθεια μίας διαδερμικής ένεσης με μία μεγάλο εύρους βελόνα, ένας οδηγός διεκβάλλεται, μέσω αυτής, εντός του αυλού του στομάχου, υπό ενδοσκοπικό έλεγχο. Με την χρήση ενός ειδικά σχεδιασμένου ενδοσκοπικού νυστεριού, με δυνατότητα ταυτόχρονης διατομής και ηλεκτροκαυτηρίασης ιστών, διατέμνεται, ενδοαυλικά, το τοίχωμα του στομάχου, ευρισκομένου πλησίον του οδηγού, σε όλο του το πάχος, και

μήκος 3mm. Με την χρήση ενός αυτοεκπτυσσόμενου διαστολέα διαμέτρου 18 με 20 mm, καθοδηγούμενου από τον οδηγό, προκαλείται διαστολή της οπής επί του στομάχου από 3 mm σε 12 mm διάμετρο, κυκλοτερώς [5.66].

Μία ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική, περιλαμβάνει την χρήση του οδηγού που εισάγεται, κατευθείαν, ενδοσκοπικά στην περιτοναϊκή κοιλότητα, με ικανοποιητική ασφάλεια σε μελέτες σε ανθρώπους [5.67].

Το μεγαλύτερο ποσοστό των διαγαστρικών προσπελάσεων γίνεται μέσω του προσθίου γαστρικού τοιχώματος, αντίστοιχα προς το μείζον τόξο του στομάχου, λόγω της τεκμηριωμένης, από την τοποθέτηση διαδερμικής ενδοσκοπικής γαστροστομίας, ασφάλειας που παρέχει η περιοχή. Η συχνότητα και το είδος των κακώσεων που μπορούν να προκληθούν κατά την δημιουργία της γαστροτομής μελετήθηκε από τον Sohn και τους συνεργάτες του [5.68] σε 76 χοίρους. Μείζονες κακώσεις παρατηρήθηκαν σε 10 από αυτούς (13,2%), που περιλάμβαναν 4 κακώσεις σπληνός, μία τρώση μεσεντερίου αρτηρίας και μία θανάσιμη τρώση διαφράγματος. Μικρότερης βαρύτητας επιπλοκές καταγράφηκαν σε 4 χοίρους (5,3%), που περιλάμβαναν τρεις κακώσεις του κοιλιακού τοιχώματος και ελαφρότερες κακώσεις στο σημείο της γαστροτομής. Η , υπό λαπαροσκοπικό έλεγχο, δημιουργία της γαστροστομίας σε 18 από τους 76 χοίρους, είχε σαν συνέπεια μόνο μία κάκωση (1/18, ποσοστό 5,5%), έναντι 9/58, ποσοστό 15,5%, μη στατιστικώς σημαντική διαφορά. Επιπροσθέτως, στους χοίρους, όταν η γαστροτομή πραγματοποιηθεί κατά μήκος του μείζονος τόξου του στομάχου, υπάρχει σημαντικός κίνδυνος κάκωσης του ευμεγέθους σπληνός τους , ενώ στον άνθρωπο του εγκαρσίου κόλου.

Ωστόσο, σύμφωνα με νεότερη μελέτη του Nau και των συνεργατών του [5.69], σε 20 ασθενείς που υποβλήθηκαν σε διαγαστρική επισκόπηση της περιτοναϊκής κοιλότητας, η χρήση λαπαροσκοπικής υποβοήθησης για την δημιουργία της οπής προσπέλασης επί του στομάχου δεν σχετίζεται με στατιστικώς σημαντικότερη μείωση του κινδύνου κάκωσης παρακείμενων οργάνων, συγκριτικά με την τυφλή, και χωρίς προηγούμενη δημιουργία πνευμοπεριτοναίου, μέθοδο. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης ταυτίζονται με εκείνα της μελέτης των Gauderer και Ponsky [5.70].

Η προσπέλαση, δια του προσθίου γαστρικού τοιχώματος, αντίστοιχα προς το μείζον τόξο, δεν παρέχει πρόσβαση σε ανατομικές περιοχές, όπως η ανώτερη περιτοναϊκή χώρα ή το οπίσθιο περιτόναιο [5.71]. Μία μέθοδος που μπορεί να συμβάλλει στην ασφαλή προσπέλαση μέσω άλλων περιοχών του στομάχου ή του

ορθού είναι η χρήση του ενδοσκοπικού υπερηχογραφήματος [EUS (Endoscopic Ultrasound)], όπως έχει καταδειχτεί σε σειρά μελετών [5.71, 5.72].

Πιο συγκεκριμένα, σε μελέτη του Elmunzer και των συνεργατών του [5.73], καταγράφηκε η ασφάλεια χρήσης της τεχνικής για προσπέλαση μέσω του γαστρικού άντρου, του οπισθίου γαστρικού τοιχώματος και του ορθού, σε πειραματόζωα. Οι παρακείμενες δομές, που δύναται να υποστούν κάκωση κατά την δημιουργία της οπής προσπέλασης, είναι το ήπαρ και το χοληφόρο δέντρο για την πρόσβαση μέσω γαστρικού άντρου, οι οπισθοπεριτοναϊκές δομές για την πρόσβαση μέσω οπισθίου γαστρικού τοιχώματος και το ουρογεννητικό σύστημα για την διορθική προσπέλαση. Πιθανότητα κάκωσης αγγειακών δομών υπάρχει και για τις τρεις οδούς προσπέλασης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η καθοδηγούμενη από EUS προσπέλαση μέσω γαστρικού άντρου, σε 5 πειραματόζωα, ήταν απόλυτα ασφαλής, ενώ, αντιθέτως, με την τυφλή προσπέλαση, σε 6 πειραματόζωα, εμφανίστηκαν σημαντικές κακώσεις του συστήματος ήπατος-χοληφόρων, που περιλάμβαναν :

αιμορραγούσα επιφανειακή κάκωση ήπατος μέχρι 10 mm, υποκάψιο αιμάτωμα ήπατος μέχρι 3 mm, αιμορραγούσα επιφανειακή κάκωση σπληνός μέχρι 10 mm, τρώση τοιχώματος χοληδόχου κύστεως με αιμορραγία και χολόρροια, τρώση της πυλαίας φλέβας με μαζική αιμορραγία.

Η καθοδηγούμενη από EUS προσπέλαση μέσω του οπισθίου γαστρικού τοιχώματος, σε 5 πειραματόζωα, ήταν απόλυτα ασφαλής, ενώ, αντιθέτως, με την τυφλή προσπέλαση, σε 4 πειραματόζωα, εμφανίστηκαν σημαντικές κακώσεις, όπως κάκωση παγκρέατος, τρώση της περιτονίας του Gerota, αιμορραγούσα κάκωση σπληνός, κάκωση αποχετευτικού συστήματος νεφρού. Τέλος, η καθοδηγούμενη από EUS, διορθική προσπέλαση, σε 6 πειραματόζωα, ήταν απόλυτα επιτυχής στα 3 από αυτά. Αντίθετα, στα άλλα 3 παρατηρήθηκαν επιπλοκές ποικίλης βαρύτητας. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε τρώση τοιχώματος λεπτού εντέρου, κάκωση σάλπιγγας, χωρίς, όμως, εμφάνιση αιμορραγίας, και κάκωση μυών του πλαγίου πυελικού εδάφους, χωρίς, όμως, εμφάνιση αιμορραγίας. Η τυφλή διορθική προσπέλαση, σε 6 πειραματόζωα, σχετίστηκε με σοβαρές επιπλοκές, και στα 6, που περιλάμβαναν : κάκωση ουροδόχου κύστεως με διαφυγή ούρων στην περιτοναϊκή κοιλότητα (σε 4 από τα 6 πειραματόζωα), κάκωση σαλπίγγων, κάκωση έξω λαγόνιας αρτηρίας (με αποτέλεσμα την εμφάνιση μαζικής αιμορραγίας), τυχαία είσοδος οδηγού στο οπίσθιο περιτόναιο.

Από την ανωτέρω σημαντική μελέτη, και από τα αποτελέσματα της, διαφαίνεται η χρησιμότητα του ενδοσκοπικού υπερηχογραφήματος (σε συνδυασμό με τοποθέτηση του ασθενούς σε κατάλληλη θέση, για μετατόπιση των εξωαυλικών δομών, με την χρήση της βαρύτητας, μακριά από την πύλη εισόδου) στην πρόληψη μείζονων κακώσεων παρακειμένων, προς την περιοχή της οπής προσπέλασης, δομών.

Ωστόσο η χρήση του ενδοσκοπικού υπερηχογραφήματος, παρότι προφυλάσσει από κάκωση ενδοκοιλιακού σπλάχνου και αγγείου, δεν μπορεί με αξιοπιστία να αναγνωρίσει την παρουσία μίας πτύχωσης του μεσεντερίου, ενώ ενδέχεται να συναντήσει σημαντικές δυσκολίες σε περίπτωση παραλλαγών της φυσιολογικής ανατομίας του λεπτού εντέρου ή παρουσία έντονα πυκνών συμφύσεων. Μόνο η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας ασκτικού υγρού μπορεί να αυξήσει την ακρίβεια και την ευαισθησία του ενδοσκοπικού υπερηχογραφήματος.

5.4.1.4 Τεχνική διακολπικής προσπέλασης

Η εμπειρία των γυναικολόγων από τις διακολπικές επεμβάσεις οδήγησε στη διενέργεια διακολπικής προσπέλασης στη NOTES με δυνατότητα σχετικά εύκολης σύγκλισης της κολπεκτομής με τις συνήθεις χειρουργικές μεθόδους.

Τα μειονεκτήματα της είναι ότι απευθύνετε μόνο στο γυναικείο πληθυσμό και φέρει κινδύνους τραυματισμού του ορθού και μετεγχειρητικής δυσπαρευνίας.



Εικόνα 5.14 Διακολπική προσπέλαση- Είσοδος του ενδοσκοπίου όπισθεν της μήτρας

5.4.2 Σύγκλεισης της οπής προσπέλασης

Η ιδανική συσκευή σύγκλεισης θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από εύκολο χειρισμό και εφαρμογή, δυνατότητα ανατροφοδότησης της συσκευής με αναλώσιμα, χωρίς την ανάγκη εξαγωγή της από το στομάχι, χαμηλό κόστος και υψηλή διαθεσιμότητα στην αγορά. Πρέπει να διασφαλίζεται η αποφυγή κάκωσης παρακείμενων οργάνων και ,το πιο σημαντικό, θα πρέπει να παρέχει την δυνατότητα πλήρους σύγκλεισης των χειλών της οπής, παρόμοιας ασφάλειας με την παραδοσιακή χειρουργική σύγκλειση σε δύο στρώματα, βλεννογόνου και ορογόνου χιτώνα.

5.4.2.1 Μέθοδοι σύγκλεισης οπής στην διουρηθρικής/διακυστικής προσπέλασης

Η σύγκλειση της οπής 5 mm στο τοίχωμα της ουροδόχου κύστεως, που χρησιμοποιείται ως πύλη εισόδου, δεν είναι αναγκαία, όπως έχει καταδειχτεί και από τον Lima και τους συνεργάτες του [5.58], με την προϋπόθεση της ολιγοήμερης κένωσης της ουροδόχου κύστεως με χρήση ουρηθρικού καθετήρα. Ωστόσο, όπως και με την διαγαστρική και διακολική προσπέλαση, η καθιέρωση μίας ευρέως αποδεκτής από την επιστημονική κοινότητα μεθόδου σύγκλεισης της πύλης εισόδου θα βοηθήσει στην ευρύτερη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου προσπέλασης.

Ο Lima και οι συνεργάτες του [5.74] χρησιμοποίησαν μία ενδοσκοπική τεχνική με την βοήθεια μίας ομάδας εργαλείων ενδοσκοπικής συρραφής, την οποία δοκίμασαν, με επιτυχή αποτελέσματα, σε πειραματόζωα.

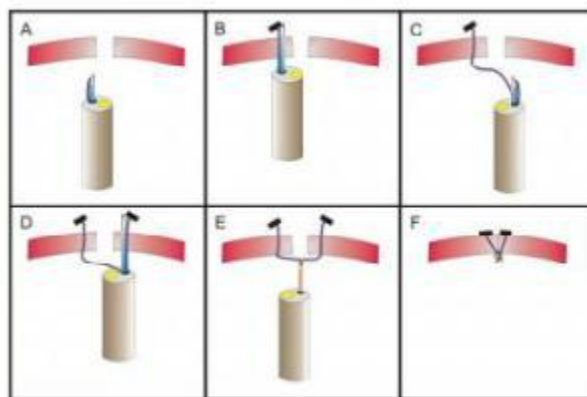
Τρία βήματα περιλαμβάνονται σε αυτή την τεχνική :

- i. Με τα πειραματόζωα σε θέση Trendelenburg, μία βελόνα διέρχεται από την άκρη της οπής (βελόνα 19- gauge, που φέρει ράμμα 3.0 violet Monocryl, μήκους 90-cm και προσαρμοσμένο ένα μεταλλικό σύστημα σχήματος T, που προωθείται μέσω του καναλιού εργασίας του κυστεοσκοπίου τοποθετούμενο στο ένα άκρο της οπής, συλλαμβάνοντας όλο το πάχος του τοιχώματος της ουροδόχου κύστης). Μετά την τοποθέτηση και την προώθηση της βελόνας ανοίγεται το σύστημα Tag και το ράμμα απελευθερώνεται από την βελόνα, διατηρούμενο στην εξωτερική επιφάνεια της ουροδόχου κύστεως,
- ii. η βελόνα συλλαμβάνει το αντίθετο άκρο της οπής, ακολουθούμενη από παρόμοια απελευθέρωση του συστήματος Tag,

- iii. με την χρήση μηχανικού συστήματος επιτυγχάνεται το δέσιμο των ραμμάτων και η κοπή αυτών. Η οπή συγκλείνεται με την έλξη των ραμμάτων και από τα δύο άκρα μέχρι να περιληφθούν στο σύστημα σύλληψης, οπότε κόβονται και αφαιρούνται οι ραφές.

Με αυτή την τεχνική επιτυγχάνεται ασφαλής σύγκλειση της οπής, χωρίς ανάγκη για μετεγχειρητική παραμονή ουρηθρικού καθετήρα. Όλα τα πειραματόζωα υποβλήθηκαν σε νεκροψία, την 15η μετεγχειρητική ημέρα, που ανέδειξε πλήρη επούλωση της οπής επί του τοιχώματος της ουροδόχου κύστης, χωρίς ανάπτυξη ενδοκοιλιακής επιπλοκής.

Πιο πρόσφατα, ο Metzelder και οι συνεργάτες του [5.75], μετά από διουρηθρική / διακυστική νεφρεκτομή σε 5 πειραματόζωα, προέβει σε επιτυχή σύγκλειση της οδού προσπέλασης με χρήση endoloop, το οποίο εισήγαγε μέσω trocar 15 mm στην περιτοναϊκή κοιλότητα, με ταυτόχρονη χρήση ενός διουρηθρικού ενδοσκοπικού clamp 2 mm.



Εικόνα 5.15 T-tags τεχνική σύγκλεισης

5.4.2.2 Μέθοδοι σύγκλεισης της οπής πρόσβασης επί του γαστρεντερικού σωλήνα

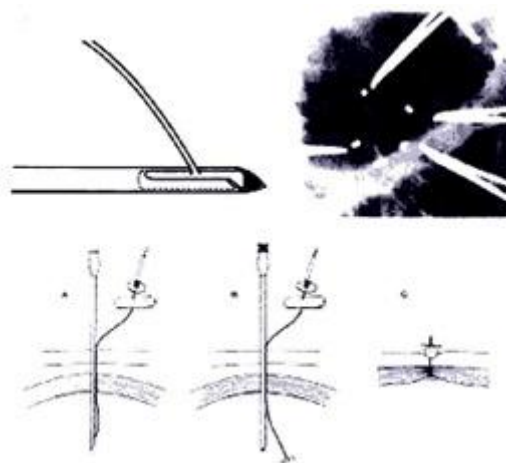
Λόγω της πρωταρχικής σημασίας που διαδραματίζει η εύκολη, γρήγορη και ασφαλής σύγκλειση της οπής προσπέλασης στην έρευνα και επιστημονική προσπάθεια καθιέρωσης των NOTES τεχνικών, είναι σκόπιμο οι διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι σήμερα, με ποικίλα αποτελέσματα, να περιγραφούν εκτενέστερα. Διακρίνονται, αδρά, σε τέσσερις κατηγορίες : τα

συστήματα απλής συρραφής, αυτόματων συρραπτικών συσκευών, χρήσης clips και μηχανικής παρεμπόδισης [5.76, 5.77].

5.4.2.2.1 Συστήματα απλής συρραφής

Σύστημα T – Fastener

Τα συστήματα T-Fastener περιλαμβάνουν μία ραφή, από μη απορροφήσιμο υλικό (monofilament), προσαρμοσμένη σε ένα μεταλλικό σύστημα συγκράτησης σχήματος T (T-tag), που φέρει στην άκρη της μία μακριά, κενή περιεχομένου, βελόνα, με προσαρμοσμένο το σύστημα αυτόματης απελευθέρωσης του συστήματος σύγκλεισης. Το σύστημα εισάγεται μέσω του ενδοσκοπικού καναλιού και η βελόνα διεκβάλλεται μέσω των χειλών της εντεροτομής, κάτω από ενδοσκοπικό έλεγχο. Με την έλξη του ράμματος, που διέρχεται μέσω της βελόνας, ενεργοποιείται ,και απελευθερώνεται, ο μηχανισμός σύγκλεισης T-tag από την πλευρά του ορογόνου χιτώνα. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και στην άλλη άκρη των χειλών του τραύματος. Ακολούθως οι ραφές έλκονται και δένονται με χρήση αυτόματου μηχανισμού περίδεσης ραμμάτων, που διεκβάλλεται μέσω του καναλιού εργασίας (Ethicon, Cook). Ένα παραπλήσιο σύστημα, από την Olympus, απαιτεί την διεκβολή βελόνων και από τα δύο κανάλια εργασίας και ανατροφοδότηση της συσκευής ,μετά από εξαγωγή της από το σώμα του ασθενούς (χρονοβόρος διαδικασία) [5.78].



Εικόνα 5.16 T-Fastener

Το σύστημα T-Fastener εξασφαλίζει ολικού πάχους σύγκλειση της οπής προσπέλασης του στομάχου ή του παχέος εντέρου, με ικανοποιητική ασφάλεια και

ταχύτητα, όπως καταδείχτηκε σε σειρά μελετών [5.79, 5.80, 5.81, 5.82, 5.83], ακόμα και σε οπές παχέος εντέρου μέχρι και μήκους 5 εκατοστών [5.83].

Ένα, ακόμα, από τα πλεονεκτήματα της τεχνικής ,δεδομένου ότι η σύγκλειση της οπής προσπέλασης, όταν τα τοιχώματα του στομάχου και του παχέος εντέρου έχουν συμπέσει, λόγω διαφυγής αέρα από το σημείο της οπής ,γίνεται πολύ δυσκολότερη, είναι ότι η τοποθέτηση της συσκευής πραγματοποιείται πριν την δημιουργία της οπής προσπέλασης. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε περίπτωση ολοτοιχωματικής εξαίρεσης τμήματος στομάχου ή παχέος [endoscopic full thickness wall resection (EFTR)]. Περιπτώσεις ασφαλούς σύγκλεισης μετά από EFTR έχουν καταγραφεί [5.81].

Ωστόσο, ένα μειονέκτημα της τεχνικής κατά την απελευθέρωση του συστήματος συγκράτησης T-tag, λόγω έλλειψης λαπαροσκοπικού ελέγχου που θα διασφάλιζε την ασφάλειά της, είναι ο κίνδυνος ιατρογενούς κάκωσης παρακείμενου οργάνου [5.84]. Γι' αυτό, σε υβριδικές τεχνικές, που χρησιμοποιείται και δεύτερη πύλη προσπέλασης, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Ακόμα ένα μειονέκτημα της τεχνικής είναι ότι, παρότι επιτυγχάνει ολοτοιχωματική σύγκλειση, δεν προβλέπει συμπλησίαση του ορογόνου χιτώνα των δύο άκρων της οπής, όπως προβλέπουν οι παραδοσιακές αρχές της χειρουργικής.

Σύμφωνα με μελέτη του Matthews και των συνεργατών του [5.85] το T-tag, σε συνδυασμό με χρήση κρημονού επίπλουν, εξασφαλίζει ικανοποιητικότερη σύγκλειση, για διαγαστρική προσπέλαση, έναντι άλλων τεχνικών.

Άλλες εφαρμογές της τεχνικής περιλαμβάνουν ενδοσκοπική διενέργεια πυλωροπλαστικής, διαγαστρικής γαστροδωδεκαδακτυλοστομίας, διαγαστρικής λεμφαδενεκτομής, διαγαστρικής γαστροπηξίας και αποκατάσταση ευθείας βουβωνοκήλης [5.80, 5.86, 5.87].

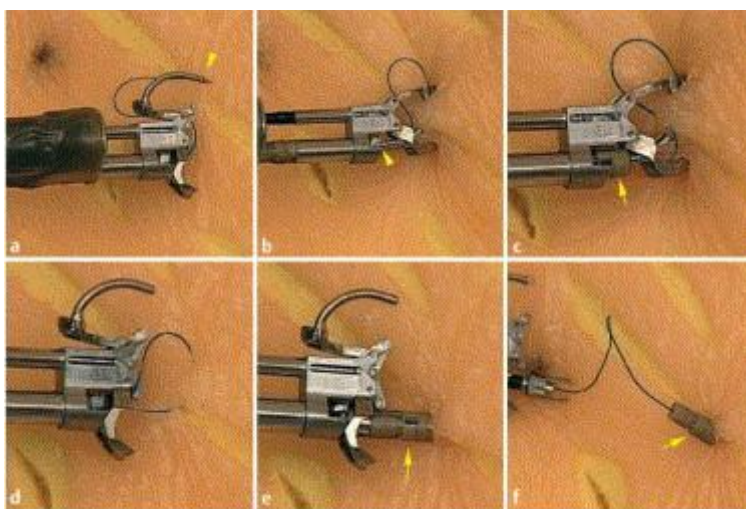
Το σύστημα Eagle Claw

Η ενδοσκοπική συσκευή συρραφής Eagle Claw, από την Olympus Medical Systems, σε συνεργασία με την Apollo Group, αποτέλεσε την πρώτη συσκευή, ενδοαυλικής εφαρμογής, που επιτύγχανει ολικού πάχους σύγκλειση των χειλών της οπής προσπέλασης.

Ο μηχανισμός χρησιμοποιεί δύο αντιπαράλληλα σαγόνια (σε απόσταση 23mm), που κινούνται ταχύτατα και ταυτόχρονα, το ένα, για να συγκρατεί τον ιστό, ενώ, το

άλλο, αποτελούμενο από ένα μη απορροφήσιμο ράμμα νάilon 3-0 με αποσπώμενη βελόνα προσαρμοσμένη σε μία κυρτή υποδοχή, διεκβάλλεται στον ιστό με την ένωση των δύο σαγονιών. Ακολούθως, η βελόνα παγιδεύεται στην πλαστική υποδοχή στο δεύτερο σαγόني και ο κόμπος ολοκληρώνεται με το δέσιμο του ράμματος, φέρνοντας σε επαφή την πλαστική υποδοχή με τον βλεννογόνο. Η διάμετρος του απαιτούμενου καναλιού για την διεκβολή της συσκευής είναι, μόλις, 2cm [5.88].

Τα παλαιότερα μοντέλα της συσκευής παρουσίαζαν σημαντικά προβλήματα χειρισμού και ασφαλούς σύγκλεισης της οπής προσπέλασης [5.88]. Γι' αυτό το τελευταίο μοντέλο της εταιρίας (Eagle Claw VII) ελέγχθηκε, στα πλαίσια προοπτικής μελέτης σε πειραματόζωα, για την ασφαλή και αξιόπιστη σύγκλειση της γαστροτομής, μετά την διενέργεια διαγαστρική απολίνωση σαλίγγων άμφω [5.89]. Σε όλες τις γαστροτομές η σύγκλειση ήταν επιτυχής και σχετικά γρήγορη (μέση διάρκεια 25 λεπτά), με την χρήση τριών, μόνο, ενδοσκοπικών ραμμάτων. Εκτός από την ανωτέρω χρήση του, έχει χρησιμοποιηθεί και για την απολίνωση αιμορραγούντων αγγείων, αντιμετώπιση κηλών, δημιουργία γαστροδωδεκαδακτυλικών αναστομώνσεων και την τοποθέτηση γαστρικού δακτυλίου [5.90].



Εικόνα 5.17 Eagle Claw VII

Το σύστημα NDO Plicator

Το NDO Plicator (NDO Surgical, Mansfield, MA, USA) είναι μία επαναχρησιμοποιούμενη ενδοσκοπική συσκευή σύγκλεισης οπών κοίλων σπλάγχων. Αρχικά, προορίζονταν για την ενδοσκοπική αντιμετώπιση της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης, μέσω πτύχωση της γαστροοισοφαγικής γωνίας του His, με την χρήση ραμμάτων ολικού πάχους [5.91, 5.92].

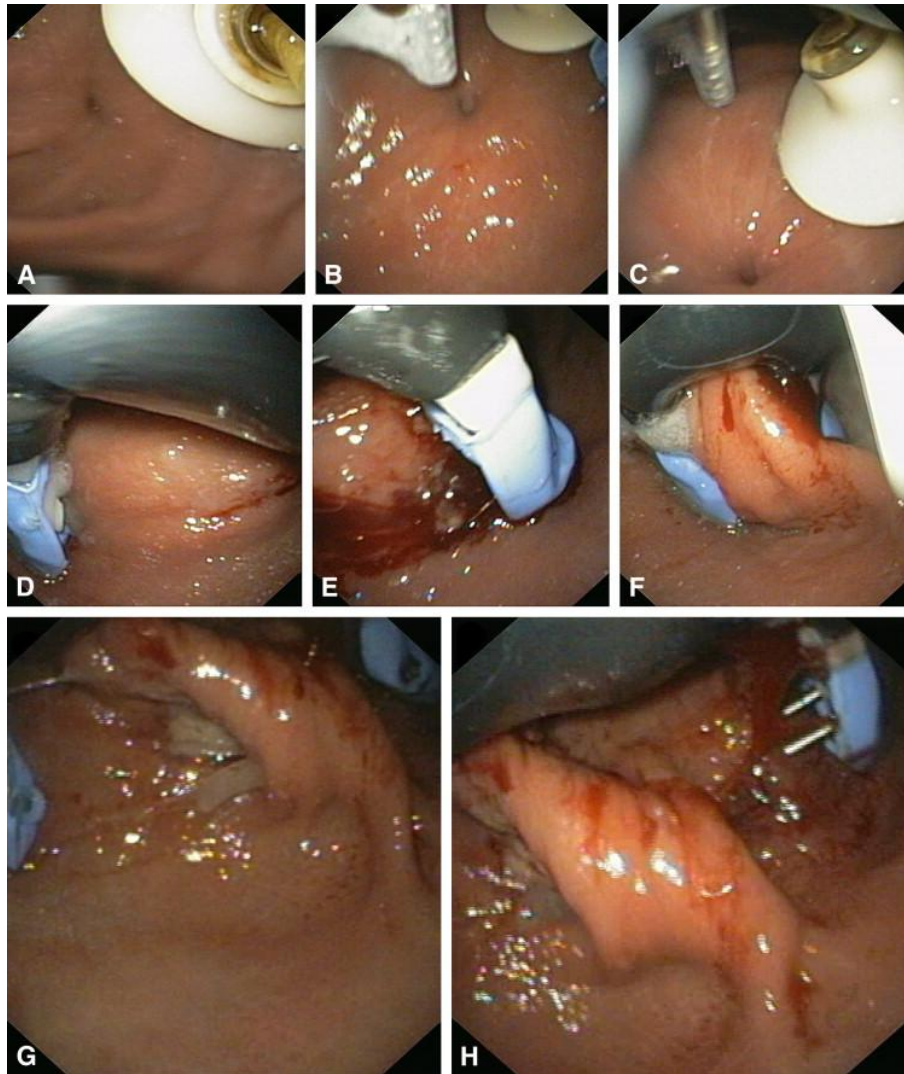
Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους σύγκλεισης της οπής προσπέλασης, η NDO plicator εξασφαλίζει ολικού πάχους σύγκλειση και του ορογόνου χιτώνα των χειλών αυτής, συμβάλλοντας σημαντικά στην στεγανότητά της [5.93]. Η συσκευή αποτελείται από δύο κυρτά σαγόνια και ένα άκρο ειδικά σχεδιασμένο για την συγκράτηση και, ακολούθως, έλξη του επιθυμητού ιστού, που εισέρχονται μαζί με ένα λεπτό ενδοσκόπιο, από ένα κανάλι της συσκευής. Τα αναλώσιμα της συσκευής, μίας χρήσης, τοποθετούνται στα σαγόνια της συσκευής, πριν αυτή εισέλθει εντός του στομάχου. Αποτελούνται από δύο ραφές πολυτετραφλουοροαιθυλενίου (polytetrafluoroethylene, ePTFE), που μετά την απελευθέρωσή τους αποκτούν σχήμα U, με δύο, ήδη δεμένα, ράμματα πολυπροπυλενίου, καθώς και δύο γέφυρες τιτανίου που παρέχουν αντοχή στην πίεση. Μετά την είσοδο της συσκευής στον αυλό του στομάχου, το ενδοσκόπιο καθοδηγεί την συσκευή στην περιοχή της γαστροτομής. Το ειδικό σχεδιασμένο άκρο συλλαμβάνει τα άκρα της γαστροτομής και τα έλκει ανάμεσα στα σαγόνια της συσκευής αυτόματης συρραφής. Τα σαγόνια κλείνουν και η συσκευή πυροδοτείται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί ικανοποιητική σύγκλειση.



Εικόνα 5.18 NDO Plicator

Η συσκευή έχει δοκιμαστεί από δύο ομάδες ιατρών σε πειραματόζωα για 5 είδη χειρουργικών επεμβάσεων [5.94, 5.95]. Με μία, μόνο, εξαίρεση, σε όλα τα πειραματόζωα η σύγκλειση ήταν επιτυχής, μετά από μετεγχειρητικό έλεγχο στεγανότητας, με την διενέργεια φλουροσκοπικής διπλής αντίθεσης του ανώτερου γαστρεντερικού, με μέση διάρκεια σύγκλεισης τα 17 λεπτά και ανάγκη 2-3 πυροδοτήσεων της συσκευής. Επιπλέον, ο McGee και οι συνεργάτες [5.95] του δοκίμασαν την μέθοδο σε δέκα χοίρους για την διενέργεια διαγαστρικής επισκόπησης της περιτοναϊκής κοιλότητας με απόλυτη επιτυχία.

Μειονέκτημα τη τεχνικής αποτελεί η πιθανότητα κάκωσης παρακείμενου οργάνου, λόγω της ‘‘τυφλής’’ εφαρμογής των ραφών επί του τοιχώματος της σπής.



Εικόνα 5.19 Χρήση του συστήματος NDO Plicator

Η βελόνα USGI G-Prox

Μία ακόμα πιο πολλά υποσχόμενη συσκευή, ειδικά σχεδιασμένη για την σύγκλειση οπών κοίλων οργάνων, είναι η βελόνα USGI G-Prox (San Capistrano, CA, USA), διαμέτρου μόλις 4,5mm η αξιοπιστία της οποίας ελέγχθηκε από τον Lee Swanstrom και τους συνεργάτες του [5.96]. Η τεχνική περιλαμβάνει την σύλληψη των δύο άκρων της οπής με μία βελόνα 19- gauge (με την βοήθεια ενός οδοντωτού εργαλείου σύλληψης) στα άκρα της οποίας είναι προσαρμοσμένα, με την χρήση μη απορροφήσιμων ραμμάτων, δύο αυτοεκπτυσσόμενα πλέγματα. Μόλις απελευθερωθούν και τα δύο, η έλξη ενός άκρου του ράμματος προκαλεί συμπλησίαση των πλεγμάτων, ακολουθούμενη από συμπλησίαση των χειλών της

εντεροτομής. Η επανατροφοδότηση της συσκευής μπορεί να γίνει χωρίς την εξαγωγή της από το χειρουργικό πεδίο. Σε δοκιμές εργαστηρίων τα αποτελέσματα της σύγκλειση τομών επί του γαστρικού τοιχώματος, ήταν εφάμιλλα, με εκείνα της σύγκλεισης δια χειρός [5.77].



Εικόνα 5.20 Η βελόνα USGI G-Prox

Το LSI ράμμα περίπαρσης

Πρόσφατα, αυτή η νέα συσκευή (LSI Solutions, Victor, NY) χρησιμοποιήθηκε από την ομάδα του Thompson και των συνεργατών του [5.97]. Περιλαμβάνει την αυτόματη απελευθέρωση και τοποθέτηση περίπαρσης επί της οπής και, ακολούθως, την διενέργεια μίας κεντρικής τομής. Αρχικά, το γαστρικό τοίχωμα αναρροφάται και έλκεται μέσα σε έναν μικρό επιμήκη θάλαμο, εντός του οποίου μία λεπίδα 3mm χρησιμοποιείται για την διενέργεια μίας γαστροτομής, μήκους 2,5cm. Μετά την απελευθέρωση των ραφών, μία άλλη συσκευή χρησιμοποιείται για το ασφαλές δέσιμο της περίπαρσης, με χρήση ενός κόμπου τιτανίου.



Εικόνα 5.21 LSI ράμμα περίπαρσης

Σε πειράματα σε εργαστήριο, στο στομάχι 8 χοίρων, τόσο η διενέργεια, όσο και η σύγκλειση της γαστροτομής, απαιτούν λιγότερο από 5 λεπτά. Σε μελέτη σε ζώντα πειραματόζωα (4 χοίρους), η δημιουργία και σύγκλειση της τομής επί του παχέος εντέρου ήταν ,εξίσου, επιτυχής. Όλα τα πειραματόζωα επέζησαν για δύο εβδομάδες χωρίς την εμφάνιση μετεγχειρητικών επιπλοκών, ενώ η νεκροψία, μετά το πέρας αυτών, ανέδειξε πλήρη επούλωση της τομής επί του παχέος εντέρου [5.96].

Ένας πιθανός περιορισμός, ωστόσο, αφορά το μήκος της οπής επί του στομάχου ή του παχέος, που δεν μπορεί να ξεπερνά τα 2,5cm.

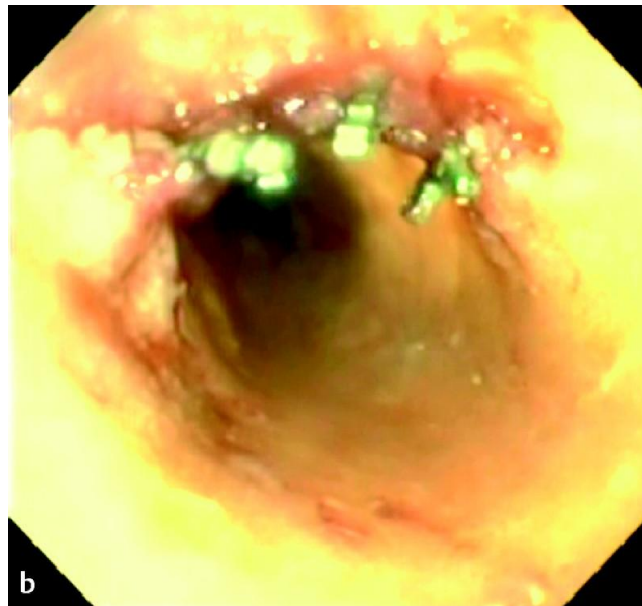
5.4.2.2.2 Χρήση clips

Τα Jumbo endoclips

Στην πρώτη προσπάθεια για διενέργεια χειρουργικής επέμβασης με την χρήση της τεχνικής NOTES, σε 5 χοίρους, από τον Kalloo, το 2004 [5.98], η προσπάθεια σύγκλεισης της γαστροτομής πραγματοποιήθηκε με χρήση jumbo clips (Endoclips, Olympus Optical Co. Ltd, Tokyo, Japan). Η τοποθέτηση των clips άρχιζε και από τα δύο άκρα της γαστροτομής και προοδευτικά, κατευθύνονταν προς το κέντρο αυτής. Απαιτούνταν η χρήση 4-6 clips ανά τομή. Στην νεκροψία, που διενεργήθηκε 2 εβδομάδες μετά την χειρουργική επέμβαση, στα πρώτα δύο πειραματόζωα ανευρέθηκαν ενδοπεριτοναϊκά αποστήματα, που αποδόθηκαν στην έλλειψη προεγχειρητικής ετοιμασίας του στομάχου με κατάλληλα διαλύματα έκπλυσης. Δεν ανευρέθηκε διαφυγή ή άλλη αλλοίωση στην περιοχή της γαστροτομής. Ωστόσο άλλοι

συγγραφείς ανέφεραν σημαντική δυσκολία στην χρήση της τεχνικής, καθώς και σκεπτικισμό δεδομένου ότι επιτυγχάνεται μόνο σύγκλειση στο επίπεδο του βλεννογόνου [5.99]. Έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διαθεσιμότητας στην αγορά, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για μικρού μήκους τομές, παρέχοντας μόνο επιφανειακή, βλεννογονική συμπλησίαση. Για την αντιμετώπιση αυτού ακριβώς του προβλήματος επινοήθηκε η τεχνική δημιουργίας ενός υποβλεννογόνιου συριγγίου, μήκους, τουλάχιστον, 8 εκατοστών από την οπή στον βλεννογόνο μέχρι την είσοδο στην περιτοναϊκή κοιλότητα, που βελτίωσε σημαντικά την στεγανότητα της σύγκλεισης [5.99].

Μία νέα γενιά endoclips, τα IMCA, χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά, επιτυγχάνοντας σύγκλειση ολικού πάχους, αλλά η χρήση τους απαιτεί λαπαροσκοπική επισκόπηση [5.81].

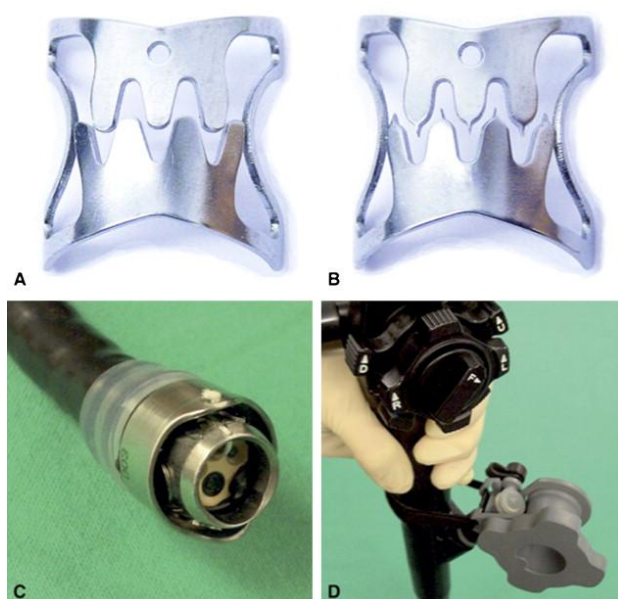


Εικόνα 5.22 IMCA endoclips

Τα Over-the-scope clip [Gastric Closure (OTSC OC), Ovesco GmbH, Tuebingen, Germany]

Ο αρχικός της σχεδιασμός ήταν για να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση ιατρογενών κακώσεων και ελέγχου αιμορραγίας του ανωτέρου και κατωτέρου τμήματος του γαστρεντερικού σωλήνα [5.100].

Τα clip είναι κατασκευασμένα από Nitinol, ένα υλικό με σημαντική ελαστικότητα, που μπορεί να συμπλησιάσει τα χείλη σημαντικών ελλειμμάτων. Αμέσως μετά την απελευθέρωση της από την συσκευή, και την εφαρμογή της πάνω στο έλλειμμα, επιστρέφουν στο αρχικό τους μέγεθος και σχήμα, ασκώντας σημαντική ελκτική ισχύ, και συμπλησιάζοντας αυτόματα τα χείλη της οπής. Σε πειράματα σε πειραματόζωα, για την διενέργεια διαγαστρικής χολοκυστεκτομής, η εφαρμογή της συσκευής ήταν επιτυχής [5.101, 5.102, 5.103, 5.104].



Εικόνα 5.23 OTSC system: (A) “Atraumatic” OTSC. (B) “Traumatic” OTSC

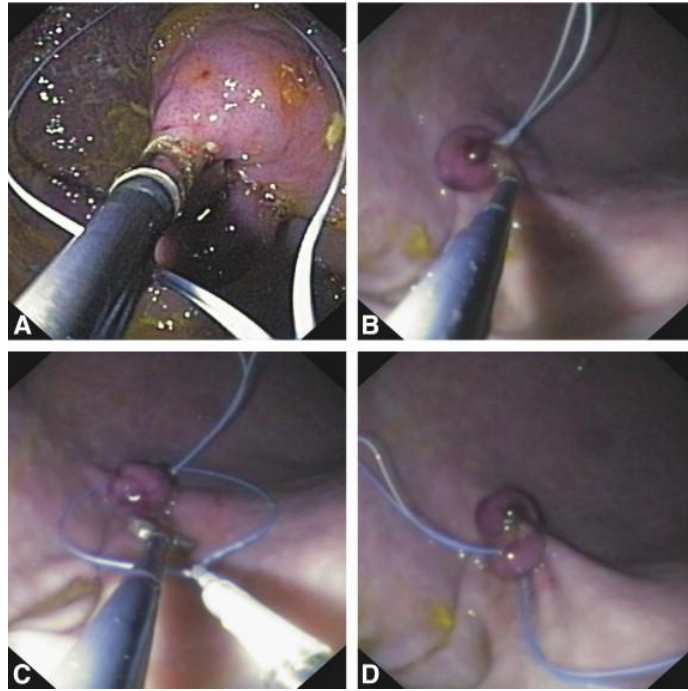
Σε μελέτη του Rolanda και των συνεργατών του [5.101], η επιτυχία της τεχνικής για σύγκλειση οπής επί του στομάχου έφτασε το 90% (18/20 πειραματόζωα). Ακόμα, με την βοήθεια ενός εργαλείου έλξης ιστών, μπορεί να προκαλέσει συμπλησίαση και του ορομυώδους χιτώνα. Σε πρόσφατη διπλή τυφλή τυχαιοποιημένη πειραματική δοκιμή, σε 36 χοίρους, του von Renteln και των συνεργατών του [5.105], συγκρίθηκε η χρήση του συστήματος over the-scope clip (OTSC) (Ovesco Endoscopy AG, Tubingen, Germany) για την σύγκλειση οπής προσπέλασης επί του προσθίου γαστρικού τοιχώματος (για την δημιουργία της οποίας χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του αυτοεκπτυσσομένου διαστολέα) με την δια χειρός σύγκλειση σε δύο στρώματα, με την βοήθεια διακεκομμένων ραφών (οξύς πειραματισμός). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειραματικού μοντέλου, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις πιέσεις αντοχής της σύγκλεισης

ανάμεσα στις δύο ομάδες ,σε in vivo και ex vivo έλεγχο μετά την θανάτωση των πειραματοζώων. Στα 17 από τα 18 πειραματοζώα απαιτήθηκε η χρήση ενός ,μόνο, OTSC για την πλήρη σύγκλειση της οπής, ενώ σε ένα, μόνο κρίθηκε απαραίτητη η χρήση και δεύτερου OTSC.

Ωστόσο, όπως αναφέρει και ο συγγραφέας, η αντοχή της μηχανικής σύγκλεισης, μετά το πέρας του οξέος πειράματος, σε πιέσεις αέρα ακόμα και μεγαλύτερες από την δια χειρός σύγκλειση, δεν εγγυάται την μακροχρόνια επιτυχία αυτής. Για παράδειγμα, η υπερβολική τάση στην περιοχή της σύγκλεισης, μπορεί στον οξύ πειραματισμό να οδηγήσει σε μεγαλύτερη αντοχή της στην πίεση, αλλά μακροπρόθεσμα, μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη ισχαιμικών αλλοιώσεων και ρήξη της αναστόμωσης των χειλών του τραύματος.

Endoloops

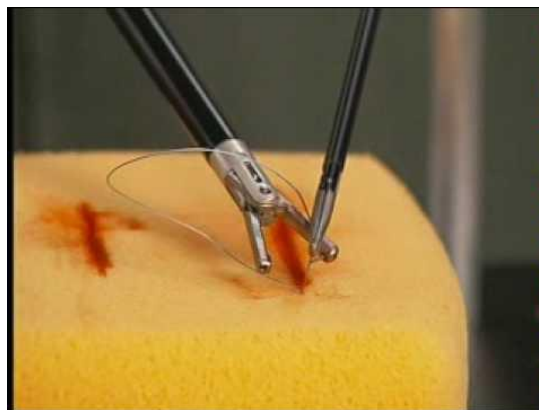
Η χρήση endoloops για την σύγκλειση οπής επί του παχέος εντέρου έχει αναφερθεί από τον Fong και τους συνεργάτες του [5.106]. Με την χρήση λαβίδας, έλκονται τα χείλη της οπής εντός του ράμματος, ακολουθούμενη από έλξη και σύμπτωση αυτών, μία διαδικασία χρονοβόρα και, τεχνικά, δύσκολη. Τα πειραματοζώα επέζησαν ,χωρίς αναφερόμενες επιπλοκές, για 2 εβδομάδες, και κατά την επακόλουθη νεκροψία, η περιοχή της οπής προσπέλασης είχε επουλωθεί ικανοποιητικά. Σύμφωνα με μελέτη του Matthews και των συνεργατών του [5.107], τα endoloops εξασφαλίζουν ικανοποιητική σύγκλειση έναντι άλλων τεχνικών, για την διακολική προσπέλαση [5.108]. Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνικής σε μεγάλο μήκος τομή, επί του παχέος εντέρου ή του στομάχου, είναι εξαιρετικά αμφίβολη.



Εικόνα 5.24 Endoloops

Εύκαμπτα Endostitch (Covidien, North Haven, CT)

Η συσκευή, παραλλαγή της γνωστής λαπαροσκοπικής συσκευής, παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στην κλινική της εφαρμογή, λόγω δυσκολίας χειρισμού και μεγάλης διαμέτρου.



Εικόνα 5.25 Εύκαμπτα Endostitch

5.4.2.2.3 Αυτόματες συσκευές συρραφής

Το σύστημα PMI SurgASSIST

Τα ευθέα αυτόματα συρραπτικά μηχανήματα, κατάλληλα για χρήση και από εύκαμπτα ενδοσκόπια, βασίζονται στις ίδιες αρχές με τα αντίστοιχα της ανοιχτής και λαπαροσκοπικής χειρουργικής. Η πυροδότηση της συσκευής είναι σχετικά εύκολη, ωστόσο ο απαιτούμενος χειρισμός των ιστών, για την σωστή τοποθέτηση τους ανάμεσα στα σκέλη της συσκευής, είναι εξαιρετικά δύσκολος και δυνητικά χρονοβόρος.

Σε ex vivo πειραματική εφαρμογή του Thompson και των συνεργατών του [5.108], η αντίστοιχη συσκευής της εταιρίας Power Medical Interventions (Langhorne, PA), μήκους 60 cm και διαμέτρου 1,2 cm, η οποία χρησιμοποιεί μίας χρήσης αναλώσιμα συρραφής μήκους 6 cm, συγκρίθηκε, για σύγκλιση οπών προσπέλασης, με την διαχειρός σύγκλιση, με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Εξίσου επιτυχής ήταν και η ex vivo και in vivo, σε 5 πειραματόζωα, δοκιμή της τεχνικής από τον Sherwinter και τους συνεργάτες του [5.109]. Ακολούθως, χρησιμοποιήθηκε και με επιτυχία για ολικού πάχους σύγκλιση του τοιχώματος διαγαστρικής προσπέλασης σε ανθρώπους [5.110].



Εικόνα 5.26 PMI SurgASSIST

5.4.2.2.4 Συστήματα μηχανικής παρεμπόδισης

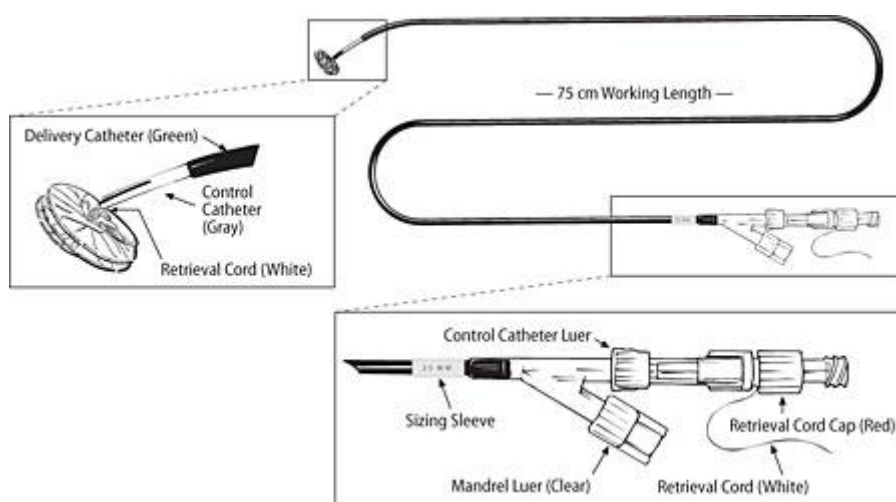
Nitinol cardiac septal occluder (Occlutech, GmbH, Jena, Germany)

Η ιατρική ομάδα IRCAD του Στρασβούργου [5.77], μετά από εκτενείς δοκιμές πληθώρας μεθόδων, συμπέρανε ότι η εν λόγω συσκευή, που η κύρια χρήση της είναι να λειτουργεί ως φυσικός φραγμός για την αντιμετώπιση ελλειμμάτων του μεσοκοιλιακού διαφράγματος, είναι η ιδανικότερη, επί του παρόντος, επιλογή για την σύγκλειση του γαστρικού ελλείμματος μετά από διαγαστρική προσπέλαση.

Αποτελείται από μία συσκευή με ικανότητα αυτόματης διάνοιξης, σχήματος ομπρέλας, με δύο στρώματα, ένα για την έσω και ένα για την έξω επιφάνεια αποκλεισμού της επικοινωνίας (διαμέτρου 23 mm και 25 mm, αντίστοιχα), κατασκευασμένη από nitinol, εν είδει δικτυωτού πλέγματος, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται μία μικρότερης διαμέτρου δομή, εν είδει συνδετικού κρίκου. Για την πρόληψη ενδεχόμενης διαφυγής, η δομή σχήματος ομπρέλας διαθέτει ενίσχυση από ειδικό μη-διαπερατό υλικό [polyethylene terephthalate (PET)]. Μπορεί να εισέλθει μέσω καναλιού του ενδοσκοπίου και να τοποθετηθεί στην περιοχή της οπής του

στομάχου. Μετά την διεκβολή της, διανοίγεται αυτόματα, με τα δύο τμήματα της ομπρέλας να αποφράσσουν από την μία πλευρά το βλεννογονικό-έσω τμήμα της οπής και από την άλλη το ορογονικό-έξω τμήμα αυτής.

Έξι χοίροι, θήλεος φύλου, υποβλήθηκαν σε διαγαστρική χολοκυστεκτομή δια μίας τομής μήκους 1,5 cm στο πρόσθιο τοίχωμα του στομάχου. Ακολούθως, χρησιμοποιήθηκε η ανωτέρω συσκευή για την σύγκλειση της τομής (η διάμετρος της συσκευής, σε πλήρη διάνοιξη, κυμαίνονταν από 2,7 cm μέχρι 3 cm). Μετά το πείραμα, η νεκροψία που διενεργήθηκε την δωδέκατη μετεγχειρητική ημέρα δεν ανέδειξε διαφυγή από την οπή επί του στομάχου [5.77].



Εικόνα 5.27 Nitinol cardiac septal occluder

5.4.2.2.5 Άλλα συστήματα σύγκλεισης

Τεχνική σύγκλεισης παραλλαγή της τεχνικής τοποθέτησης διαδερμικής ενδοσκοπικής γαστροστομίας (PEG)

Με την βοήθεια ψηλάφησης του προσθίου κοιλιακού τοιχώματος, επιλέγεται ένα κατάλληλο σημείο του στομάχου, όπως κατά την τεχνική διενέργειας διαδερμικής ενδοσκοπικής γαστροστομίας. Υπό ενδοσκοπικό έλεγχο, ένας οδηγός εισάγεται διαδερμικά στον αυλό του στομάχου. Ο οδηγός προωθείται ως την στοματική κοιλότητα και καθοδηγεί την, εκ νέου, εισαγωγή του ενδοσκοπίου. Η δημιουργία της κατάλληλης οπής επί του στομάχου πραγματοποιείται με την χρήση ενδοσκοπικού νυστεριού και την καθοδήγηση του ενδοσκοπίου, ακολουθούμενη αποδιεύρυνση της

τομής με την βοήθεια αυτοεκπτυσσομένου διαστολέα, διεκβαλλομένου μέσω του οδηγού. Μετά το πέρας της χειρουργικής επέμβασης, τοποθετείται διά της οπής κανονικός σωλήνας γαστροστομίας. Αυτή η τεχνική έχει δοκιμαστεί σε πειραματόζωα, ως μοντέλο διαχείρισης χειρουργικών παθήσεων στις ΜΕΘ [5.111]. Η παραλλαγή της ανωτέρω τεχνικής περιλαμβάνει την χρήση ενός απλού βελονοκατόχου, με την βοήθεια του οποίου διεκβάλλονται διαδερμικά τρεις ραφές συλλαμβάνοντας όλα τα στρώματα του τοιχώματος του στομάχου, σε τρίγωνο σχηματισμό, υπό ενδοσκοπικό έλεγχο. Στο κέντρο του τριγώνου σχηματισμού διεκβάλλεται, δια του στομάχου, ο οδηγός που είχε εισαχθεί υπό ενδοσκοπική καθοδήγηση, και συλλαμβάνεται από τον βελονοκάτοχο. Μετά από καθήλωση των δύο άκρων του οδηγού, εντός του στομάχου και εκτός του σώματος, δημιουργείται η κατάλληλη οπή επί του στομάχου με την χρήση ενδοσκοπικού νυστεριού και υπό ενδοσκοπική καθοδήγηση, και ακολουθεί διεύρυνση της οπής με την βοήθεια αυτοεκπτυσσομένου διαστολέα, που διεκβάλλεται μέσω του οδηγού. Μετά το πέρας της χειρουργικής επέμβασης πραγματοποιείται καθήλωση του στομάχου επί του κοιλιακού τοιχώματος με την χρήση των τριών διαδερμικών ραμμάτων, με αποτέλεσμα της γαστροπηξίας, την σύγκλειση της γαστροτομής.

Σε πειραματικό μοντέλο, 9 από τις 10 γαστροτομές επουλώθηκαν πλήρως σε 2-4 εβδομάδες [5.76]. Ο θάνατος ενός πειραματόζώου, λόγω διαφυγής από την γαστροτομή αποδόθηκε σε μη συμμετρική τοποθέτηση των ραφών. Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το εξαιρετικά χαμηλό κόστος της και η ευκολία στην εφαρμογή της.

Τεχνικές σύγκλεισης “Submucosal endoscopy with mucosal flap safety valve (SELF)” και “Self-approximating transluminal access (STAT)”

Σύμφωνα με την SELF τεχνική, μετά από ένεση υψηλής πίεσης CO₂ στον υποβλεννογόνο χιτώνα του στομάχου δια του ενδοσκοπίου, πραγματοποιείται μία τομή, με την χρήση ενδοσκοπικού νυστεριού, επί του βλεννογόνου, στο ύψος του εγγύς άκρου έγερσης του υποβλεννογονίου. Ένα ενδοσκόπιο, με την άκρη του να φέρει κατάλληλη κεφαλή EMR (Endoscopic Mucosal Resection), εισάγεται στο υποβλεννογόνο διάστημα, και προωθείται με ταυτόχρονη συνεχή παρασκευή του υποβλεννογονίου με χρήση διαστολέα. Αντιδιαμετρικά προς την οπή επί του βλεννογόνου χιτώνα, πραγματοποιείται τομή επί την μυϊκού χιτώνα, με την βοήθεια της κεφαλής EMR, και είσοδος του ενδοσκοπίου στην περιτοναϊκή

κοιλότητα. Μετά το πέρας της χειρουργικής επέμβασης, η τομή επί του βλεννογόνου συγκλείνεται με χρήση endoclips ή T-Fastener.

Σε μία μελέτη σε πειραματόζωα [5.112] για την διενέργεια διαγαστρικής χολοκυστεκτομής, η χρήση της τεχνικής ήταν επιτυχής μόνο στα 2 από τα 6 πειραματόζωα, ενώ, αντίθετα, σε προσπάθεια διοισοφαγικής προσπέλασης στο μεσοθωράκειο στα 3 από τα 4 [5.113].

Η STAT τεχνική, παραλλαγή της ανωτέρω τεχνικής, ανεπτύχθη από την ομάδα Penn State [5.114] και περιλαμβάνει την δημιουργία ενός υποβλεννογόνιου συριγγίου μήκους, τουλάχιστον, 5 cm, με χρήση ενδοσκοπικού νυστεριού, ψαλιδιού και τυφλής διήνησης με την άκρη του ενδοσκοπίου, αφού προηγηθεί ένεση μεφουσιολογικό ορό, για έγερση του βλεννογόνου, και τομή 1-1,5 cm επί του αυτού, συνήθως με χρήση ενδοσκοπικού νυστεριού 4 mm. Μετά από επαρκή διήνηση και απομάκρυνση από το σημείο της οπής επί του γαστρικού βλεννογόνου διενεργείται τρώση του μυϊκού και του ορογόνου χιτώνα και είσοδος στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Μετά την ολοκλήρωση της χειρουργικής επέμβασης, αποσύρεται το ενδοσκόπιο και συρράπτεται μόνο ο βλεννογόνος.

Υπάρχουν θετικά αποτελέσματα σε πειραματικά μοντέλα για την σύγκλειση διαγαστρικής προσπέλασης [5.76], αλλά όχι και διακολικής, λόγω του λεπτότερου κολικού τοιχώματος, που ευνοεί ιατρογενή πολλαπλή διάτρηση κατά την παρασκευή του συριγγίου. Το 2010 δοκιμάστηκε για την διενέργεια διαγαστρικής επισκόπησης της περιτοναϊκής κοιλότητας σε 14 χοίρους από τον Pauli και τους συνεργάτες του, με επιτυχή αποτελέσματα στους 12 εξ αυτών. Ο ίδιος συγγραφέας δοκίμασε την τεχνική και για διοισοφάγια προσπέλαση, για διενέργεια μυοτομής κατά Heller σε χοίρους, με την ίδια επιτυχία [5.76].

Τοποθέτηση και καθήλωση τμήματος μείζονος επίπλου επί της οπής του κοίλου οργάνου

Σε διπλή τυφλή τυχαιοποιημένη πειραματική δοκιμή του Dray και των συνεργατών του [5.115] σε 9 χοίρους, δοκιμάστηκε η τοποθέτηση εντός της γαστρικής οπής και, ακολούθως, η καθήλωση, με την χρήση 2-5 clips επί του παρακείμενου γαστρικού βλεννογόνου, κρημνού μείζονος επίπλου 3-5 cm, που έλκεται ευχερώς από την περιτοναϊκή κοιλότητα. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται ώστε ο κρημνός του επίπλου να μην είναι

προσκολλημένος σε παρακείμενα όργανα, ιδίως, την γαστροεπιλοϊκή αρτηρία και τους μείζονες κλάδους αυτής, καθώς και την αριστερή και δεξιά κολική καμπή ή τον σπλήνα. Κατά την νεκροψία, μετά την πάροδο 15 ημερών, η περιοχή της γαστρικής οπής, στα πειραματόζωα που εφαρμόστηκε αυτή η τεχνική, είχε πλήρως επουλωθεί και δεν ανευρίσκονταν σημεία ενδοκοιλιακής φλεγμονής, εκτός από ένα πειραματόζωο, που εμφάνισε ένα απόστημα στην περιοχή του επιλοϊκού κρημνού διαμέτρου 18 mm, που αντιμετωπίστηκε, επιτυχώς, συντηρητικά. [5.57].

Κεφάλαιο 6. Μικρο-ρομπότ στη NOTES

6.1 Γενικές πληροφορίες

Η εξέλιξη των μικρο-ηλεκτρο-μηχανικών συστημάτων (Micro Electro Mechanical Systems ή MEMS) στα τέλη του 20ου αιώνα έδωσαν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν ρομπότ με πολύ μικρό μέγεθος (μικρότερα από ένα εκατοστό) τα οποία ονομάστηκαν Μικρό-Ρομπότ. Η δημιουργία μικροσκοπικών αυτοματοποιημένων διατάξεων δημιούργησε νέες επαναστατικές εξελίξεις στην βιολογία, την ιατρική και τη βιομηχανία. Ωστόσο όταν δουλεύουμε στην κλίμακα των μικρό-ρομπότ ερχόμαστε αντιμέτωποι με διαφορετικού είδους φυσικά και χημικά φαινόμενα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν και να ελεγχθούν από ειδικό λογισμικό [6.1]. Επίσης πολλά από τα συστήματα που σχεδιάζονται στα μικρό-ρομπότ είναι πιθανό να αλληλεπιδρούν με τα βιολογικά συστήματα, τα κύτταρα και τους ιστούς. Έτσι είναι απαραίτητο να κατανοούμε καλύτερα τον μικρόκοσμο και να αναπτύσσουμε νέα εργαλεία και στρατηγικές για την αναγνώριση και τη θεραπεία των νοσημάτων.

Λόγω του πολύ μικρού μεγέθους που μπορούν να έχουν τα μικρό-ρομπότ το κόστος τους μπορεί να κυμανθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Ταυτόχρονα μπορεί να φτιαχτεί μεγάλος αριθμός όμοιων μικρό-ρομπότ (ρομποτικά σμήνη – swarm robotics) τα οποία όλα μαζί να επιτελούν μία συγκεκριμένη λειτουργία [6.2]. Ωστόσο κατά τη σχεδίαση των μικρό-ρομπότ υπάρχουν ορισμένα σοβαρά προβλήματα τα οποία αφορούν κυρίως τα θέματα εξασφάλισης της ενέργειας που απαιτείται για βασικές λειτουργίες του ρομπότ, όπως η κίνηση του. Στόχος είναι η κατανάλωση μικρών ποσοτήτων ενέργειας. Συνήθως τα μικρό-ρομπότ χρησιμοποιούν μικρές και ελαφριές μπαταρίες για να εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ενέργεια, ενώ μπορούν να αξιοποιήσουν και εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως το φώς και η δόνηση. Τα μικρο-ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορους τύπους κινητήρων που συχνά μιμούνται αυτούς που χρησιμοποιούν διάφοροι οργανισμοί, όπως τα μαστίγια της *Serratia Marcescens* ή μπορούν να παράγουν χημική ενέργεια από κατάλληλα υγρά που να βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο. Τα βίο-ρομπότ είναι δυνατόν να ελεγχθούν από ερεθίσματα όπως η χημειότητα ή η γαλβανότητα [6.3].

Η λειτουργία των ρομπότ εστιάζεται στην περιτοναϊκή κοιλότητα που βρίσκεται κάτω ακριβώς από το διάφραγμα. Η διαδικασία της αναπνοής μπορεί να προκαλέσει

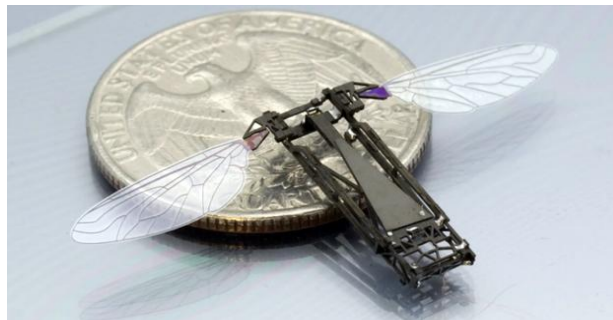
μείωση της ορατότητας του χειρουργικού πεδίου χωρίς απαραίτητα να επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των ρομπότ.



Εικόνα 6.1 Μικρο-ρομπότ (1)



Εικόνα 6.2 Σμήνος μικρο-ρομπότ

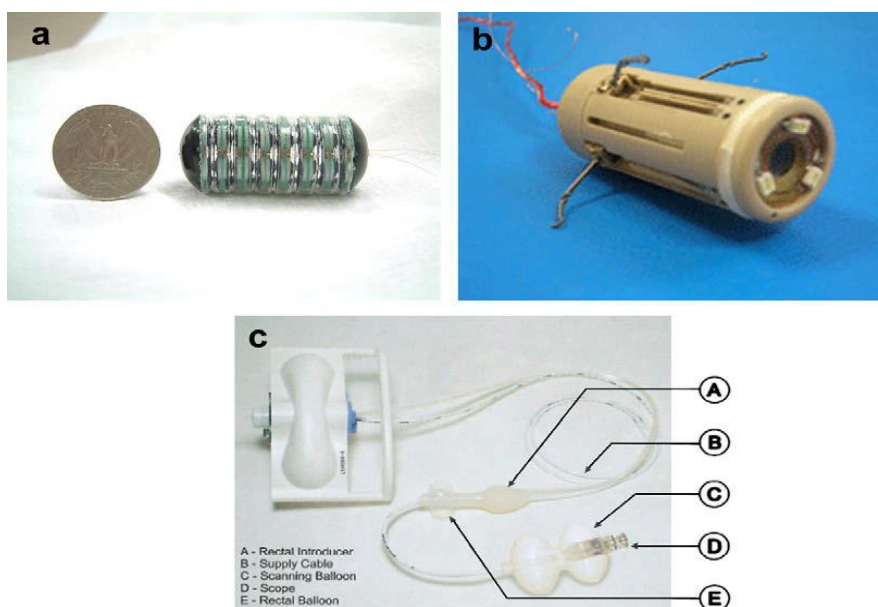


Εικόνα 6.3: Μικρο-ρομπότ (2)

Οι πρώτες εμπειρίες από τα *in vivo* μικρο-ρομπότ προήλθαν από την ανάπτυξη των τεχνολογιών για τη βελτίωση της ενδοσκοπικής διαδικασίας στο γαστρεντερικό σωλήνα. Τυπικά, το ενδοσκόπιο αποτελείται από την κεφαλή που ενσωματώνει την κάμερα, και από τον άξονα που επιτρέπει τη διέλευση του οργάνου. Με το σπρώξιμο και το τράβηγμα της συσκευής, επιτυγχάνεται η κίνηση του ενδοσκοπίου μέσα στην κοιλότητα, ωστόσο αυτές οι ενέργειες τεντώνουν το παχύ έντερο και είναι η αιτία των

περισσότερου πόνου που υφίσταται κάποιος κατά τη διάρκεια μιας ενδοσκοπικής εξέτασης. Οι ερευνητές έχουν σκεφτεί έξυπνα να χωρίσουν το σύστημα και να κάνουν το ενεργό μέρος του ενδοσκοπίου (κάμερα, φως), να μπορεί να πλοηγείται μόνο του στο εσωτερικό των κοιλοτήτων, ενώ ο έλεγχος και ο μηχανισμός ενέργειας έχουν αφαιρεθεί έξω από το σώμα αποφεύγοντας έτσι το τέντωμα του παχέος εντέρου ώστε τελικά να περιοριστεί το κοιλιακό άλγος. Πολλές από αυτές τις ανακαλύψεις είναι εμπνευσμένες από τη βιολογία αλλά και τον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών [6.4]. Για παράδειγμα υπάρχουν συστήματα όπως για παράδειγμα κάποιο που έχει σχήμα σκόληκα και διαθέτει πολλαπλά πόδια .

Στόχος των μικρο-ρομπότ είναι η μείωση του πόνου και η υψηλής ποιότητας εξέταση.



Εικόνα 6.4 a,b,c Τα πρώτα μικρο-ρομπότ που κατασκευάστηκαν

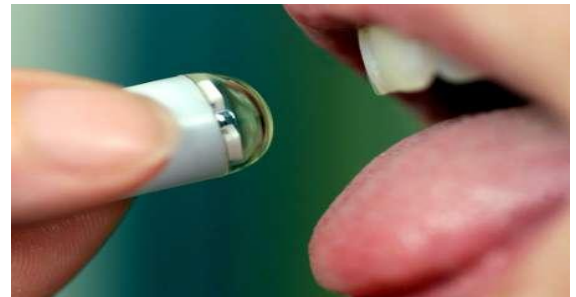
Ένα πιο προχωρημένο ρομποτικό σύστημα για την εξερεύνηση in vivo της γαστρεντερικής οδού αντιπροσωπεύεται από μια ασύρματη φωτογραφική μηχανή σε μορφή χαπιού που μπορεί να καταποθεί και φυσικά κινείται μέσα στον γαστρεντερικό σωλήνα. Αυτή η εμπορικά διαθέσιμη συσκευή που ονομάζεται PillCam SB είναι μια κάψουλα βίντεο διαστάσεων 1x26 χιλιοστών και ζυγίζει λιγότερο από 4 γρ. [6.5].

Περιέχει μία συσκευή απεικόνισης και μια φωτεινή πηγή στη μία πλευρά και μεταδίδει εικόνες με ρυθμό 2 εικόνες ανά δευτερόλεπτο. Αυτό παράγει περισσότερες από 50.000 εικόνες κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 8 h. Οι εικόνες αποστέλλονται

από την κάψουλα ασύρματα σε ένα μικρό φορητό καταγραφέας στοιχείων που είναι προσαρμοσμένος στον ασθενή καθ' όλη την διάρκεια της εξέτασης. Εικόνες από τη γαστρεντερική κοιλότητα μπορούν να αναλυθούν τόσο σε πραγματικό χρόνο για άμεσο εντοπισμό της PillCam ή μεταγενέστερα για λεπτομερή διάγνωση. Η συσκευή έχει δείξει ότι είναι αποτελεσματική στη διάγνωση διαφόρων κοινών γαστρεντερικών διαταραχών, ιδίως για τη διάγνωση ή την προέλευση κάποιων "σκοτεινών" σημείων ή την αιμορραγία στα κόπρανα. Τα τελευταία χρόνια αρκετές βελτιωμένες εκδόσεις της συσκευής έχουν αναπτυχθεί με σκοπό να ξεπεραστούν ορισμένοι από τους αρχικούς περιορισμούς της, (όπως να αποκτήσουν ευρύτερο οπτικό πεδίο, καλύτερο φωτισμό και βελτιωμένη επεξεργασία εικόνας) και να επεκταθούν και σε άλλες κλινικές εφαρμογές (π.χ. διπλή φωτογραφική μηχανή) [6.6]. Προς το παρόν ο κύριος περιορισμός του συστήματος εντοπίζεται στην ανικανότητα να κατευθυνθεί το χάπι προς την κατεύθυνση συγκεκριμένων στόχων και την έλλειψη δυνατότητας για κάθε πιθανό χειρισμό ή βιοψία.



Εικόνα 6.5: Pillcam σε 2 εκδόσεις



Εικόνα 6.6: Τρόπος κατάποσης



Εικόνα 6.7: Η Pillcam στο παχύ έντερο

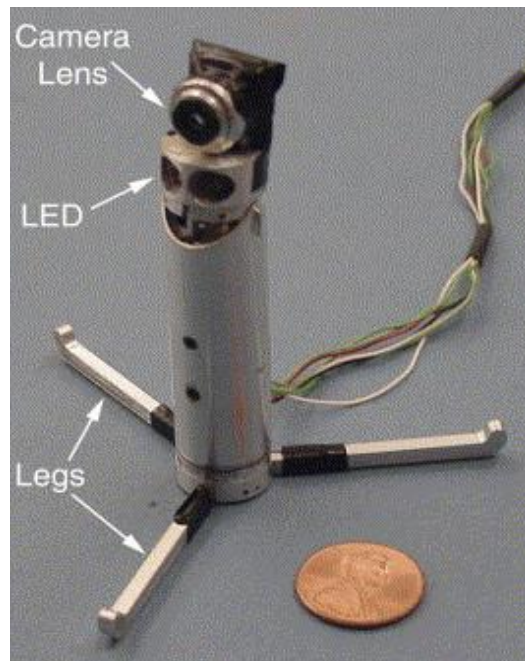
6.2 In vivo μικρο-ρομπότ απεικόνισης σταθερής βάσης

6.2.1 1-DOF

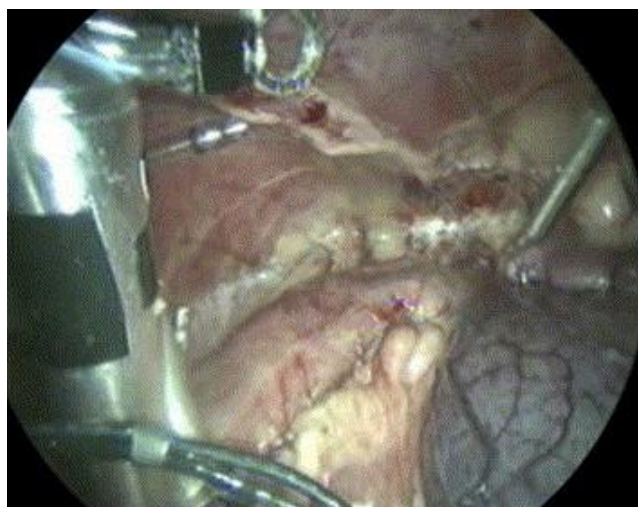
Τα μικρο-ρομπότ σταθερής βάσης είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να παραμένουν στον τόπο της ανάπτυξής τους χωρίς να έχουν την δυνατότητα να αυτο-πλοηγηθούν. Η χρήση των in vivo μικρο-ρομπότ, τα οποία μπορούν να εισέλθουν στην περιτοναϊκή κοιλότητα κατά τη διάρκεια του χειρουργείου αντιπροσωπεύουν μία βασική κατεύθυνση στη ρομποτική χειρουργική. Ο καθηγητής Dimitri Oleynikov από το πανεπιστήμιο της Nebraska και η ομάδα του, ήταν οι πρωτοπόροι που δούλεψαν προς αυτή την κατεύθυνση. Οι μηχανικοί από την ομάδα του, ανέπτυξαν πρώτοι μια εξοπλισμένη με τρεις άξονες πλατφόρμα την ονομαζόμενη ως 1-DOF, η οποία έχει 15mm διάμετρο και ύψος 60mm και περιβάλλεται από κάλυμμα αλουμινίου. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα DC κινητήρα μόνιμου μαγνήτη ο οποίος χρησιμοποιείται για να μεταδώσει την κίνηση στον μηχανισμό ανάκλησης και ελέγχεται από το χειρουργό εξωτερικά με διακόπτες. Η πλατφόρμα με τους 3 άξονες επιτρέπει στο ρομπότ να εισέρχεται και να εξέρχεται εύκολα από την περιτοναϊκή κοιλότητα από μια μικρή τρύπα σαν αυτή των trocar.

Το σύστημα μπορεί να περιστρέφεται σε δυο άξονες και έχει τη δυνατότητα αλλαγής οπτικής γωνίας κατά 360° και κλίσης κατά 45° . Αυτό επιτρέπει στον χειρουργό, την σε βάθος οπτική της περιτοναϊκής κοιλότητας για τις ανάγκες της επέμβασης. Ειδικά LEDs παρέχουν φωτισμό ενώ το αρχικό πρωτότυπο διέθετε

καλώδιο για την παρεχόμενη ισχύ. Το ρομπότ είναι δυνατό να αποδώσει καλύτερη απεικόνιση του χειρουργικού περιβάλλοντος παρέχοντας επιπλέον γωνίες προβολής και πλαίσια αναφοράς σε συνδυασμό με ένα λαπαροσκόπιο. Ωστόσο, το πρώτο πρωτότυπο είχε ένα καθορισμένο μήκος εστίασης στο φακό της κάμερας και έτσι προέκυψαν θέματα μειωμένης ικανότητας προσαρμογής σε διάφορες αποστάσεις στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Ένας ρυθμιζόμενος φακός εστίασης προστέθηκε στην επόμενη γενιά αυτού του μικρο-ρομπότ. Τα μελλοντικά σχέδια εξέλιξης περιλαμβάνουν ασύρματη επικοινωνία και παροχή ενέργειας από μπαταρίες [6.7],[6.8].



Εικόνα 6.8 Το ρομπότ 1-DOF



Εικόνα 6.9 Το 1-DOF μέσα στον οργανισμό

6.2.2 In-vivo σύστημα απεικόνισης με 5 βαθμούς ελευθερίας

Μία ερευνητική ομάδα του Columbia University, NY αποτελούμενη από τους A. Miller, P. Allen και D. Fowler ανέπτυξε μία in-vivo στερεοσκοπική πλατφόρμα απεικόνισης με 5 βαθμούς ελευθερίας. Σχεδιάστηκε μία νέα στερεοσκοπική 3D συσκευή απεικόνισης με 5 DOF και τηλεχειριστήριο που μπορεί να εισάγεται και να στερεώνεται σε κοιλότητες του σώματος. Η συσκευή, που περιέχεται μέσα σε ένα 11/16'' σωλήνα, περιλαμβάνει δύο μικροσκοπικές κάμερες και πέντε μικρούς κινητήρες οι οποίοι τοποθετούν τις κάμερες για να παραχθεί μία στερεοσκοπική άποψη του χειρουργικού πεδίου.

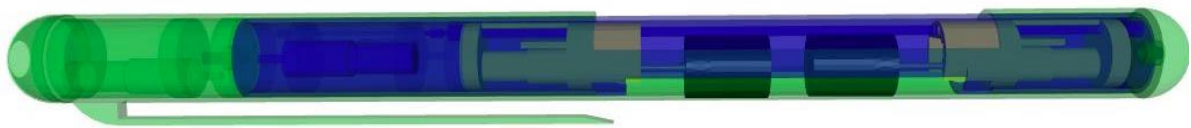
Όταν εισάγεται στον οργανισμό, οι κάμερες ανασύρονται και προστατεύονται από ένα εξωτερικό κέλυφος. Αφού η συσκευή στερεώνεται μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα, ένας κινητήρας περιστρέφει ένα εσωτερικό κέλυφος για να εκθέσει τις κάμερες. Μόλις συμβεί αυτό οι κάμερες μπορεί να πάρουν κλίση σε συνδυασμό, να κινηθούν ανεξάρτητα κατά μήκος του άξονα και σε διαφορετικές οπτικές γωνίες.

Το λογισμικό ελέγχει τις κάμερες για τη δημιουργία νέων προβολών για το χειρουργό, ώστε να μπορεί να κινείται κατά μήκος του ρυθμιζόμενου επιπέδου αναφοράς, να ρυθμίζει για επίτευξη στερεοσκοπικής προβολής και να παρακολουθεί ενδεχομένως κινούμενα όργανα.

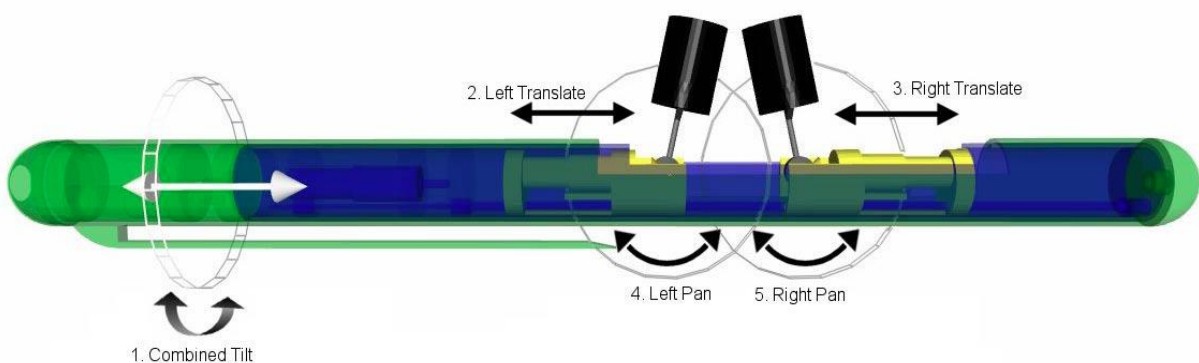
Η παραπάνω πλατφόρμα βρίσκεται στο στάδιο της δημιουργίας ενός φυσικού πρωτοτύπου, που μόλις ολοκληρωθεί, θα ξεκινήσουν δοκιμές σε χειρουργική μακέτα ακολουθούμενη από ζώα και κλινικές δομές.

6.2.2.1 Δομή

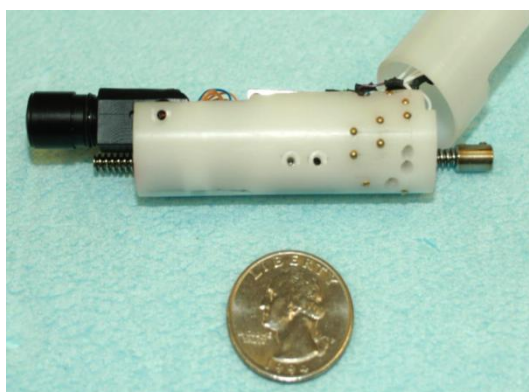
Το εξωτερικό κέλυφος της συσκευής είναι ένας σωλήνας που είναι 9/16'' σε διάμετρο και 7,8'' μήκος και έχει ένα πάχος τοιχώματος 0.028''. Τρέχουσα μέθοδος για την προσάρτηση της συσκευής στο κοιλιακό τοίχωμα είναι να χρησιμοποιηθεί μία μικροσκοπική μακριά ράβδος, 1x3 mm τοποθετημένη όπως ένα κλιπ τσέπης ενός στυλό, που θα εισαχθεί εντός των προπεριτοναϊκών στρωμάτων [6.9].



Εικόνα 6.10 Το μικρο-ρομπότ του Columbia University



Εικόνα 6.11 Οι κινητήρες του ρομπότ, και ο τρόπος κίνησης του



Εικόνα 6.12 Το μικρο-ρομπότ του Columbia

6.3 In vivo κινητά μικρο-ρομπότ απεικόνισης

Τα κινητά in vivo μικρο-ρομπότ αναπτύχθηκαν για να παρέχουν μια κινητή πλατφόρμα για οπτική ανατροφοδότηση και βοήθεια στη διαδικασία των χειρουργικών επεμβάσεων αλλά και των διαγνώσεων.

Η ομάδα του πανεπιστημίου της Nebraska εκτός από το 1-DOF, σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα που ονομάστηκε NEEMO 9 ανέπτυξε και ένα άλλο ρομποτικό σύστημα. Αυτά τα ρομπότ έχουν δύο ανεξάρτητους κινητήρες που 'οδηγούν' ξεχωριστά τον κάθε τροχό, οι οποίοι παρέχουν στο ρομπότ δυνατότητα κίνησης προς τα εμπρός, προς τα πίσω, αλλά και την ικανότητα της στροφής. Η κατασκευή των τροχών αναπτύχθηκε έτσι, ώστε αυτά τα ρομπότ μπορούν να διασχίσουν τα κοιλιακά όργανα χωρίς να προκαλούν βλάβες στους ιστούς. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι 75 mm σε μήκος και 15 mm σε διάμετρο. Αυτό το ρομπότ ελέγχεται από το χειριστή του χρησιμοποιώντας ένα joystick. Τόσο το 1-DOF, όσο και το παρών σύστημα από το

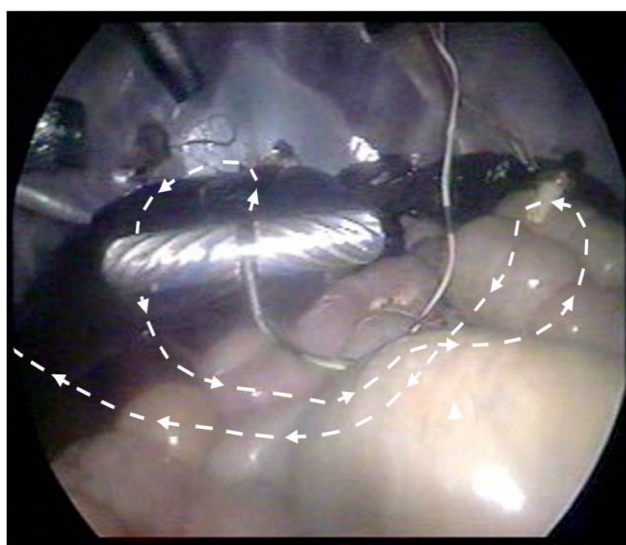
πρόγραμμα NEEMO 9 έχει μια ενσωματωμένη, ρυθμιζόμενης εστίασης κάμερα που παρέχει οπτική ανάδραση.

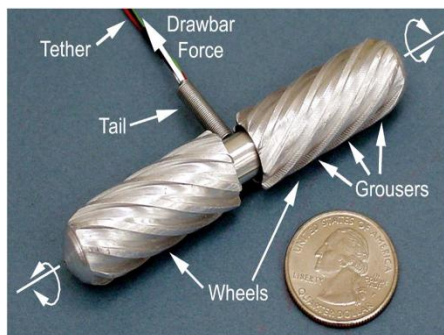
Ο μηχανισμός εστίασης οδηγείται από έναν κινητήρα και μια σειρά εργαλείων που αλλάζουν τη θέση της σχετικής απεικόνισης στο φακό. Ένα τέτοιο ρομπότ, είχε χρησιμοποιηθεί για να παρέχει οπτική ανάδραση σε ένα χειρουργό κατά τη διάρκεια της χολοκυστεκτομής ενός χοίρου όταν ακόμα το πρόγραμμα βρισκόταν σε πειραματικό στάδιο [6.7].

Η δεύτερη γενιά του παραπάνω ρομπότ έχει διαφορετικές διαστάσεις, 110 mm μήκος και 20 mm διάμετρο, και διαθέτει επίσης μια ενσωματωμένη κάμερα ρυθμιζόμενης εστίασης. Επιπλέον η κατασκευή των τροχών σε αυτό το ρομπότ είναι ελαφρώς διαφοροποιημένη από αυτό της 1ης γενιάς ώστε να διευκολύνεται η μετακίνηση στα κοιλιακά τοιχώματα. Ακόμα αυτή η έκδοση διαθέτει και ουρά, η οποία βοηθάει στην κατευθυντικότητα αλλά και στην αποφυγή αντίθετης περιστροφής.

Μετά από την εισαγωγή του συστήματος από μία τροποποιημένη λαπαροσκοπική είσοδο, μπορεί να περιηγηθεί με ασφάλεια στα κοιλιακά όργανα παρέχοντας μια οπτική στο χειρουργό. Αξίζει να σημειωθεί ότι με τη χρήση αυτού του συστήματος στις χειρουργικές επεμβάσεις, περιορίζεται η ανάγκη για μία επιπλέον λαπαροσκοπική είσοδο, για κάμερα.

Τέλος, η τελευταία έκδοση του παραπάνω, διαθέτει μηχανισμό με τον οποίο ο χειριστής μπορεί να το κατευθύνει ασύρματα [6.8].





Εικόνα 6.13 Το μικρο-ρομπότ απεικόνισης της Nebraska

6.4 In vivo κινητά μικρο-ρομπότ βιοψίας

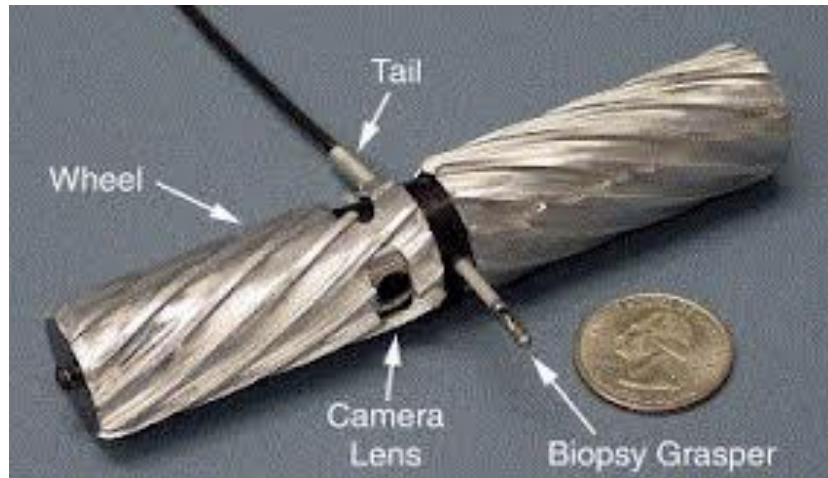
6.4.1 Απαιτήσεις σχεδιασμού

Αρχικά, υπάρχουν τρεις στόχοι όσον αφορά το σχεδιασμό για το ρομπότ βιοψίας. Πρώτον, το ρομπότ θα πρέπει να έχει επαρκείς δυνάμεις σύσφιξης ώστε να είναι ικανό να κόψει τον προς αφαίρεση ιστό. Στη συνέχεια, το ρομπότ θα πρέπει να έχει επαρκή πρόσφυση όχι μόνο για να διασχίσει την κοιλιακή κοιλότητα, αλλά επίσης αρκετή για να τραβήξει το δείγμα σε περίπτωση που δεν έχει εντελώς αποκοπεί. Τέλος, το ρομπότ θα πρέπει να παρέχει αποτελεσματική οπτική ανάδραση από την κοιλιακή εξερεύνηση και ειδικά κατά τη διάρκεια των διαδικασιών βιοψίας.

Το σύστημα κάμερας για αυτό το ρομπότ βασίζεται σε προηγούμενα μοντέλα που αναπτύχθηκαν παραπάνω.

6.4.2 Το ρομπότ

Με βάση την απαιτούμενη δύναμη σύσφιξης και τη δύναμη εξαγωγής του δείγματος, μια επιτυχημένη πλατφόρμα ρομπότ βιοψίας σχεδιάστηκε, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Οπτικά αλλά και ουσιαστικά έχει πολλές ομοιότητες με τα παραπάνω μοντέλα. Παρέχει μια κινητή πλατφόρμα για την οπτική ανατροφοδότηση και την αποτελεσματική δειγματοληψία ιστού. Οι τροχοί ελέγχονται ανεξάρτητα από DC κινητήρα για να καταστεί δυνατή η προς τα εμπρός, πίσω και περιστροφής κίνηση. Μια σύνδεση χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει τη λαβίδα βιοψίας και τον μηχανισμό για την κάμερα. Η λαβίδα του ρομπότ έχει 2,4 mm πλάτος και μπορεί να ανοίξει με 120° [6.10].



Εικόνα 6.14 Το μικρο-ρομπότ βιοψίας της Nebraska



Εικόνα 6.15 Το μικρο-ρομπότ βιοψίας παίρνει δείγμα από ιστό

6.4.3 Αποτελέσματα

Κατά τις δοκιμές με αυτό και άλλα παρόμοια ρομπότ, φαίνεται ότι μια τέτοια σχεδίαση των τροχών παράγει επαρκείς δυνάμεις έλξης για ελιγμούς μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Πρόσφατες δοκιμές in vivo, σε χοίρο έδειξαν ότι ο ελικοειδής σχεδιασμός τροχού επιτρέπει στο ρομπότ να διασχίσει όλα τα κοιλιακά όργανα (ήπαρ, σπλήνα, λεπτό και παχύ έντερο), καθώς και να υπερπηδήσει όργανα δύο έως τρεις φορές μεγαλύτερα από το μέγεθός του. Αυτές οι δοκιμές εκτελέστηκαν χωρίς να προκαλούν καμία ορατή βλάβη ιστού. Το ρομπότ έχει δοκιμαστεί με επιτυχία in vivo σε ένα μοντέλο χοίρου.

Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για να εξερευνηθεί το κοιλιακό περιβάλλον, παρέχοντας παράλληλα οπτική ανάδραση για τη χειρουργική ομάδα. Μετά την εξερεύνηση της κοιλιακού περιβάλλοντος, ο μηχανισμός βιοψίας χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση τριών δειγμάτων ηπατικού ιστού από το ήπαρ του ζώου. Αυτό το ρομπότ παρέχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της βοήθειας χειρουργικών εργασιών σε σύγκριση με το προηγούμενο κινητό ρομπότ απεικόνισης που παρέχει αποκλειστικά βοήθεια οπτικοποίησης κατά τη διάρκεια της εγχείρηση στην κοιλιακή χώρα.

6.5 In vivo κινητά ενδογαστρικά μικρο-ρομπότ

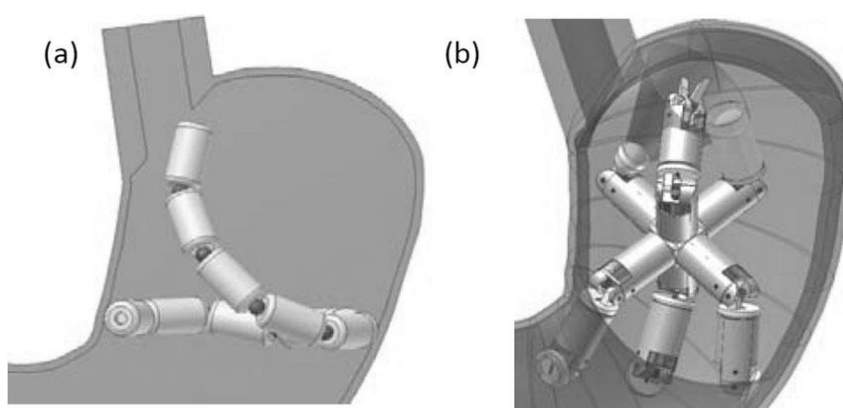
Μία ομάδα επιστημόνων από την Αυστραλία, την Αμερική, την Ιταλία και την Ελβετία κατασκεύασαν μικρορομπότ που αποτελούνταν από υπομονάδες μικρού μεγέθους και μπορούσαν να καταποθούν. Οι υπομονάδες αυτές συναρμολογούνταν μέσα στον γαστρεντερολογικό σωλήνα και σχημάτιζαν μεγαλύτερα αρθρωτά μικρορομπότ που είχαν επιθυμητές λειτουργίες (Modular Robots). Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε Assembling Reconfigurable Endo-luminal Surgical System (**ARES**) και υποστηρίχτηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια του προγράμματος NEST .

Η αρθρωτή αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας επιλέχθηκε για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της ενδοσκόπησης με κάψουλα καθώς επιτρέπει τη μεταφορά περισσότερων συστατικών στο ανθρώπινο σώμα με διαφορετικές ή παρόμοιες λειτουργίες. Με βάση αυτή την ιδέα ο ασθενής καταπίνει μερικές μονάδες κάψουλας οι οποίες έχουν διαρθρωτικές λειτουργίες με διαγνωστικά ή και επεμβατικά χαρακτηριστικά. Οι μονάδες για τη διάγνωση είναι εξοπλισμένες με μία κάμερα ή ένα βιοχημικό αισθητήρα, ενώ οι επεμβατικές μονάδες φέρουν χειρουργικά εργαλεία όπως λαβίδες. Μία ασύρματη κάμερα, όπως εκείνη που χρησιμοποιείται για εμπορικές κάψουλες, μπορεί να ενσωματωθεί σε μία λειτουργική μονάδα για να παρέχει εικόνα τόσο για τη διάγνωση όσο για την παρέμβαση.

Χρησιμοποιώντας προεγχειριστικά δεδομένα απεικόνισης, ο χώρος εργασίας για το ρομπότ μέσα στον γαστρεντερικό σωλήνα ορίζεται, και η τμηματική συναρμολόγηση του υπολογίζεται. Η συναρμολόγηση, η ρομποτική διαμόρφωση, και οι χειρουργικές εργασίες ελέγχονται δια μέσου ασύρματης αμφίδρομης επικοινωνίας με εξωτερική κονσόλα που χειρίζεται ο χειρουργός. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών το

ρομπότ αποσυναρμολογείται σε επιμέρους μονάδες ή αναδιαμορφώνεται σε άλλο σχήμα που είναι επαρκώς μικρό για να περάσει μέσα από φυσικά στόμια και τελικά να βγει από το σώμα.

Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο χειρουργικό σύστημα είναι αρκετά ιδιόμορφο, αναπτύσσονται και διερευνώνται παράλληλα δύο ρομποτικά συστήματα. Ανεξάρτητα σε ποιά αναφερόμαστε και τα δύο συστήματα έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε κάθε λειτουργική μονάδα να περιέχει έναν ή δύο κινητήρες, έναν πίνακα ελέγχου και μία μπαταρία.



Εικόνα 6.16 a) Το ομοιογενές σύστημα b) το ετερογενές σύστημα

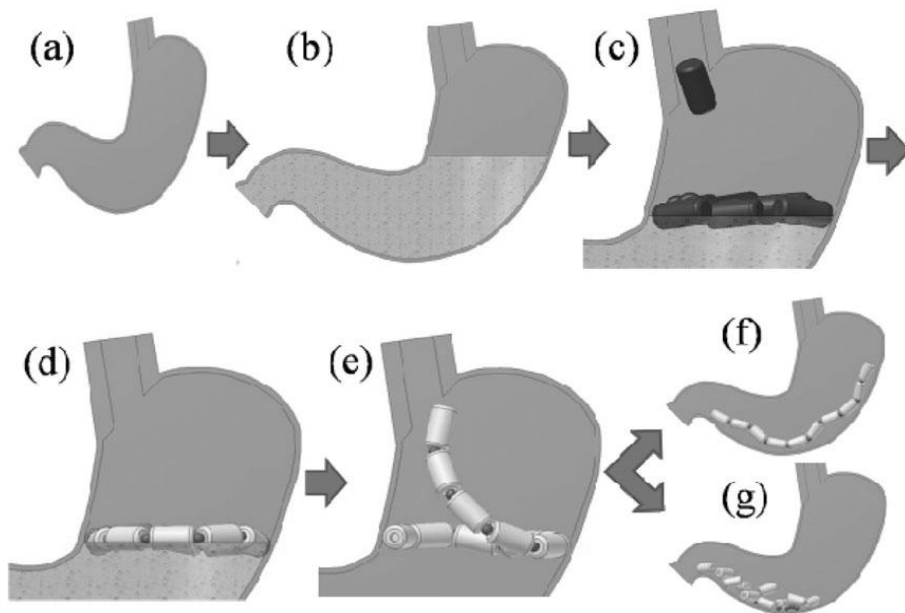
Το πρώτο, είναι αυτό με το ομοιογενές σχήμα όπου όλες οι μονάδες είναι πανομοιότυπες εκτός από μία ή δύο χειρουργικές ή διαγνωστικές μονάδες. Σ' αυτό το σύστημα η συνδεσμολογία δεν είναι κρίσιμης σημασίας επειδή οι μονάδες μπορούν να συνδεθούν χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο διαδοχικός συνδυασμός ή ο προσανατολισμός. Επειδή η τοπολογία του ρομπότ σε αυτό το ομοιογενές σύστημα περιορίζεται σε μία σειριακή αλυσίδα, ο σχεδιασμός και ο έλεγχος είναι λιγότερο περίπλοκος. Αντίθετα, αυτό το σύστημα είναι κατάλληλο μόνο για ένα απλό χειρουργικό έργο. Έτσι, το πλεονέκτημά του είναι η απλότητα στη συναρμολόγηση καθώς και στη μέθοδο ελέγχου. Η κύρια αδυναμία του είναι ότι είναι αποτελεσματικό μόνο για απλές εργασίες.

Το δεύτερο, είναι το ετερογενές σύστημα. Αποτελείται από μία ή περισσότερες μονάδες διακλάδωσης, δομικές μονάδες και επιπλέον λειτουργικές μονάδες. Με αυτή τη γεωμετρία, μπορούν να εκτελεστούν χειρουργικές εργασίες που απαιτούν πιο

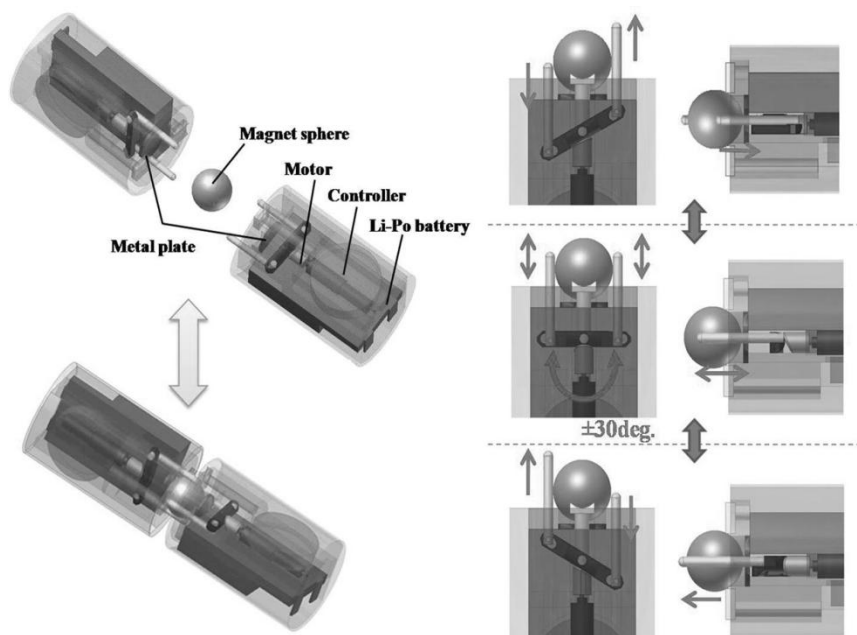
προηγμένη κινηματική και έναν συγκεκριμένο στόχο. Από την άλλη πλευρά, η συναρμολόγηση είναι πιο δύσκολη επειδή θα πρέπει να είναι προσχεδιασμένη και να πραγματοποιείται εξ αποστάσεως. Σε αυτό το σύστημα, το ρομπότ έχει μία ποικιλία από τοπολογίες που μπορούν να υλοποιηθούν μέσω της αναδιάταξης, μέσω επαναλαμβανόμενης σύνδεσης και αποσύνδεσης των μονάδων. Η ικανότητα να παρέχονται πιο συγκεκριμένες μονάδες, δίνει το πλεονέκτημα ενός πιο ικανού ρομποτικού συστήματος με τον προφανή συμβιβασμό της αυξημένης πολυπλοκότητάς του.

Τα βήματα στις χειρουργικές διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν είναι σχεδόν ίδια μεταξύ των δύο συστημάτων. Πριν από τη χειρουργική διαδικασία ο ασθενής διαστέλλει το στομάχι του με την κατανάλωση ενός υγρού. Αυτό το υγρό επίσης ενεργεί σαν μέσο για τις ρομποτικές μονάδες που επιπλέουν, ώστε να σχηματίσουν μία σταθερή δομή πριν την επέμβαση ή τη διάγνωση. Το υγρό παρέχει ένα μεγάλο χώρο για να επιτρέψει, την σε δύο διαστάσεις συναρμολόγηση των 10-15 μονάδων που επιπλέουν στην επιφάνεια. Η επιφάνεια του υγρού είναι περίπου 100mm σε διάμετρο επιτρέποντας έτσι τη συναρμολόγηση των μονάδων. Οι δομές ολοκληρώνουν τη διαδικασία συναρμολόγησης πριν το υγρό αποστραγγιστεί φυσικά από το στομάχι, δηλαδή σε 10-20 λεπτά. Λίγο μετά, η διάταξη του ρομπότ διαμορφώνεται όπως είχε προγραμματιστεί με βάση την προεγχειρητική διαδικασία προκειμένου να εκτελεστεί λεπτομερής εξέταση και παρέμβαση.

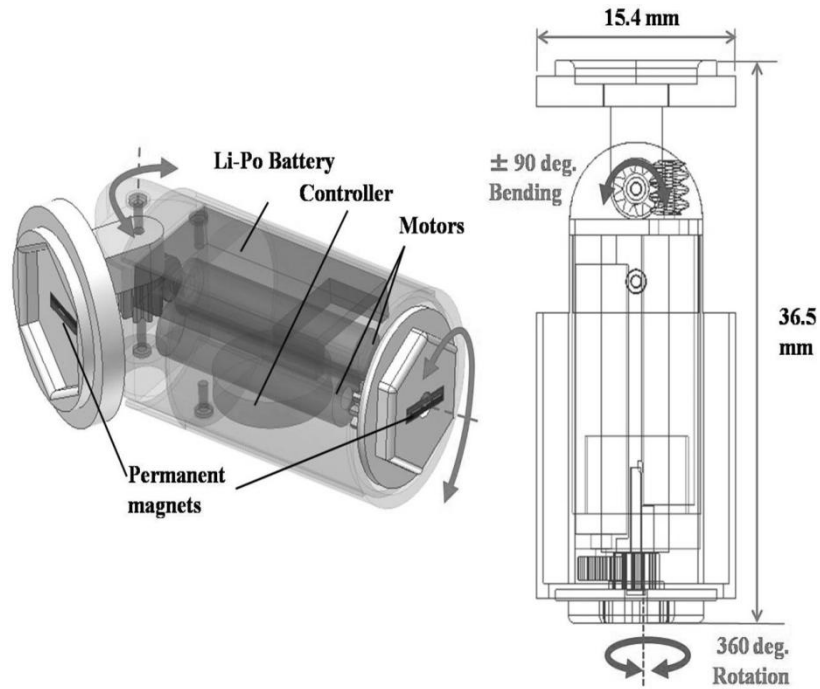
Στην ομογενή διάταξη η διασύνδεση ολοκληρώνεται όταν οι μονάδες τοποθετηθούν στην επιθυμητή αλυσίδα με τον σχεδιασμένο αριθμό δομών. Στο ετερογενές σύστημα, επαναλαμβανόμενη σύνδεση και αποσύνδεση μεταξύ των μονάδων μπορεί να είναι απαραίτητη, έως ότου επιτευχθεί η προβλεπόμενη τοπολογία. Μόλις οι χειρουργικές εργασίες ολοκληρωθούν, το ρομπότ αναδιαμορφώνεται σε ένα σχήμα όπως του φιδιού ώστε να μπορεί να περάσει από τον σφιγκτήρα του πυλωρού ή αποσυνδέεται σε μεμονωμένες μονάδες. Σε ορισμένες περιπτώσεις αν οι υπομονάδες αυτές, είναι φτιαγμένες από βιοδιασπώμενα υλικά μπορούν να μεταβολιστούν [6.11].



Εικόνα 6.17 Τα βήματα σύνδεσης και αποσύνδεσης του ρομπότ

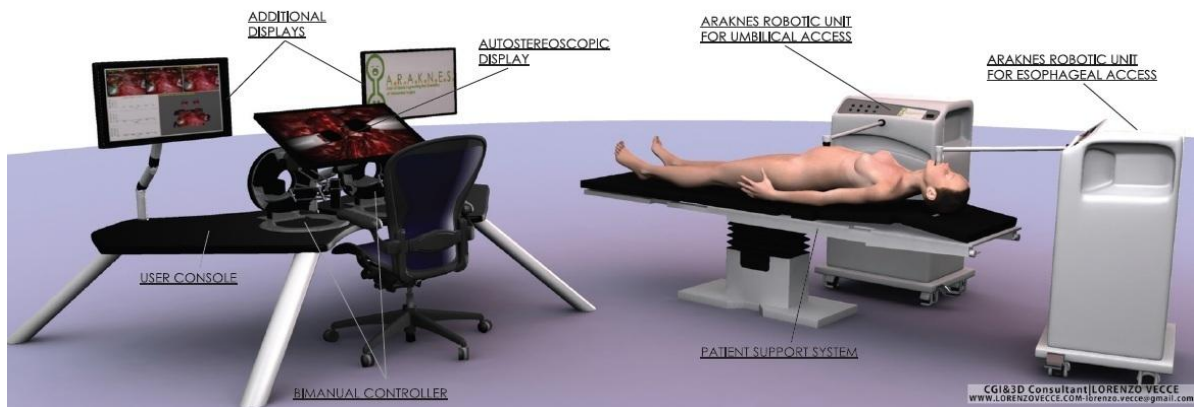


Εικόνα 6.18 Δομή μονάδας για ομογενή σύνδεση



Εικόνα 6.19 Δομή μονάδας για ετερογενή σύνδεση

Σήμερα το σχέδιο αυτό έχει μετονομαστεί σε ARAKNES και χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (2008-2012). Αυτό το σχέδιο αποτελεί μία ολοκληρωμένη προσπάθεια δημιουργίας συστήματος που να χειρίζεται αυτά τα μικρο-ρομπότ.



Εικόνα 6.20 Το συνολικό σύστημα ARAKNES

Το συνολικό σύστημα **ARAKNES** διαθέτει τρεις οθόνες απεικόνισης, μία στερεοσκοπική, δύο βοηθητικές πλαϊνές, έναν διπλό manual ελεγκτή και δύο ειδικές ρομποτικές μονάδες, η μία για οισοφαγική και η άλλη για κοιλιακή προσπέλαση [6.12].

6.6 In vivo μικρο-ρομπότ συνεργασίας

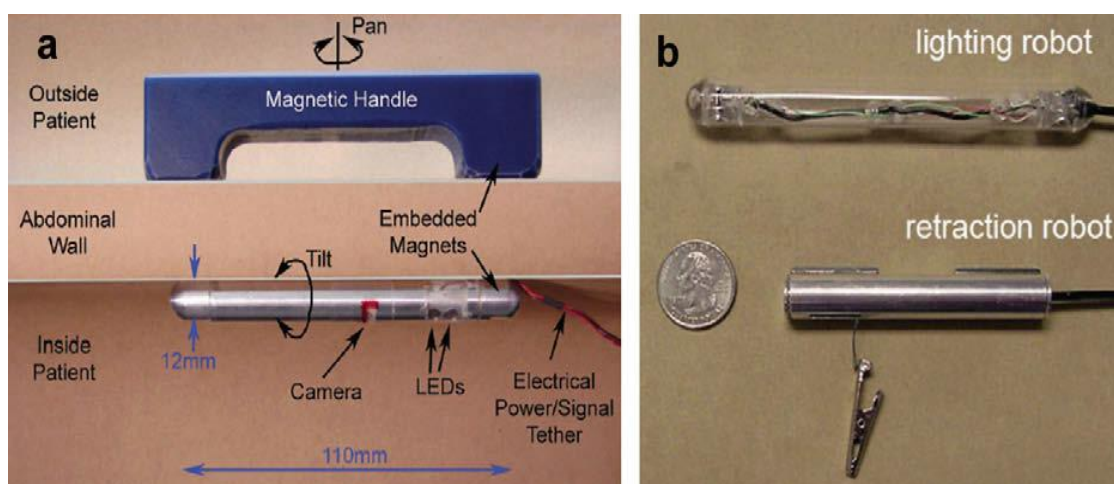
Τα in vivo μικρο-ρομπότ ακολουθούν τη γεωμετρία των κοιλοτήτων και οι ιδιαιτερότητες του μεγέθους τους είναι σε συμφωνία με το μέγεθος των φυσικών οπών. Έτσι παρέχεται η δυνατότητα μία “οικογένεια” από in vivo μικρο-ρομπότ να μπορούν να αναπτύσσονται ταυτόχρονα στην περιτοναϊκή κοιλότητα για επέμβαση μέσω φυσικών οπών. Η έννοια των ρομπότ συνεργασίας, κάθε ένα από τα οποία παρέχει χωρικό προσανατολισμό και ειδική συνδρομή κατά τη διάρκεια χειρουργικών διαδικασιών, έχει καταδειχθεί σε μία επέμβαση με μοντέλο χοίρου. Τρία μικροσκοπικά in vivo ρομπότ, συμπεριλαμβανομένου ενός peritoneum-mounted ρομπότ απεικόνισης, ενός ρομπότ φωτισμού και ενός retraction robot, είναι σχεδιασμένα για συγκεκριμένες χειρουργικές εργασίες [6.13].

Το ρομπότ απεικόνισης, είναι ένα 12mm ρομπότ που αποτελείται από ένα εξωτερικό σωλήνα που περιέχει ένα εσωτερικό σωλήνα με ένα φακό, κάμερα και τρεις κινητήρες συνεχούς ρεύματος για περιστροφή. Το ρομπότ είναι εφοδιασμένο με LED για φωτισμό και επιτρέπει στη συσκευή να παρέχει ανατροφοδότηση βίντεο χωρίς επιπλέον πηγή φωτός. Το σύστημα μπορεί να επανατοποθετηθεί στην περιτοναϊκή κοιλότητα με χειρισμούς από εξωτερικές μαγνητικές λαβές που έλκουν τους μαγνήτες από το σώμα του ρομπότ. Αυτό το μαγνητικά στηριζόμενο ρομπότ απεικόνισης είναι σχεδιασμένο για να παρέχει ανατροφοδότηση βίντεο σε μία τυπική οθόνη κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων [6.14].

Το ρομπότ φωτισμού έχει έναν εξωτερικό σωλήνα όπου είναι τοποθετημένα έξι λευκά LEDs και είναι προσαρτημένο στο κοιλιακό τοίχωμα με εξωτερική μαγνητική λαβή.

Το retraction robot αποτελείται από δύο ενσωματωμένους μαγνήτες και μία συσκευή δειγματοληψίας. Ένας μαγνητικός DC μικροκινητήρας στο σώμα του ρομπότ, συνδυασμένο με ένα τύμπανο, παρέχει περιστροφική κίνηση και ενεργοποιεί τη συσκευή δειγματοληψίας.

Και τα τρία συστήματα έχουν κατάλληλα μεγέθη ώστε να μπορούν να εισαχθούν μέσω ενός τυπικού λαπαροσκοπικού trocar ή μέσα από μία φυσική οπή κατά τη διάρκεια της NOTES. Και τα τρία, σε συνδυασμό με ένα πρότυπο ενδοσκόπιο έχουν χρησιμοποιηθεί σε μία NOTES διαδικασία σε μοντέλο χοίρου. Για αυτή τη διαδικασία, με τη βοήθεια ενός ενδοσκοπίου, τα τρία ρομπότ αναπτύχθηκαν στην περιτοναϊκή κοιλότητα και τοποθετήθηκαν μαγνητικά κατά μήκος του άνω κοιλιακού τοιχώματος. Σε αυτήν την διαδικασία συνεργασίας το ρομπότ απεικόνισης παρείχε υψηλή ποιότητα βίντεο για το χειρουργικό πεδίο και το retraction robot χρησιμοποιήθηκε ειδικά για το χειρισμό χειρουργικών στόχων όπως έντερο και χοληδόχος κύστη. Έτσι, με σταθερή εικόνα, επαρκή φωτισμό και χειρισμό των ιστών αποδεικνύεται η ιδέα για τη χρήση πολλαπλών, ανεξάρτητων, εξειδικευμένων ρομποτικών συσκευών σε μία επέμβαση NOTES [6.7].



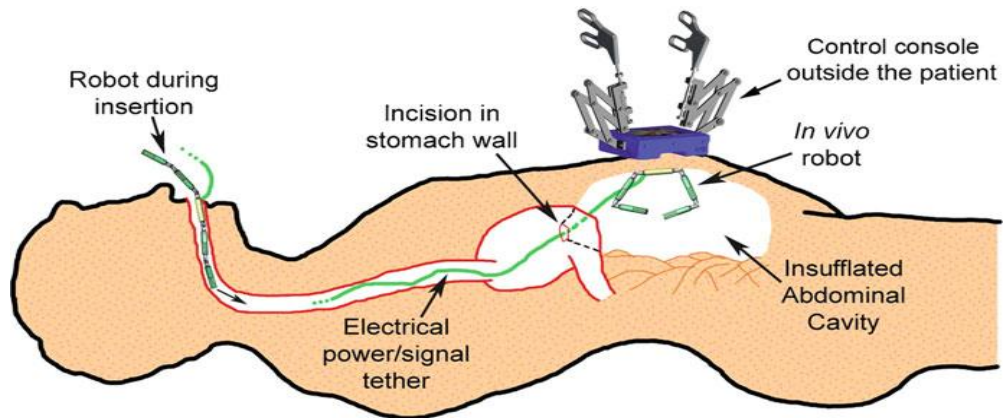
Εικόνα 6.21 a) Μηχανισμός στήριξης b) τα συνεργαζόμενα μικρο-ρομπότ (1)



Εικόνα 6.22 Τα συνεργαζόμενα μικρο-ρομπότ (2)

6.7 In vivo "επιδέξια" μικρο-ρομπότ

Ένα επιδέξιο in vivo μικρο-ρομπότ είναι σχεδιασμένο για χρήση ανάλογη με τα συνήθη λαπαροσκοπικά εργαλεία με σκοπό την εκτέλεση ελάχιστα επεμβατικών χειρουργικών επεμβάσεων. Η αρχή αυτού του ρομποτικού σχεδιασμού είναι να αντικαταστήσει δύο λαπαροσκοπικά εργαλεία με επιδέξιους βραχίονες που έχουν παρόμοιες γραμμικές και γωνιακές δυνατότητες και την ικανότητα να εφαρμόζουν επαρκείς δυνάμεις και ροπές. Το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από το μικρο-ρομπότ που εισάγεται εντελώς μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα και από ένα εξωτερικό χειριστήριο ελέγχου. Το ρομπότ πρέπει να είναι ευέλικτο για εισαγωγή στην κοιλιακή χώρα διαμέσου της πολύπλοκης γεωμετρίας των φυσικών κοιλοτήτων και αφού εισαχθεί παρέχει μία σταθερή πλατφόρμα για χειρισμό των ιστών και οπτικοποίηση [6.13].



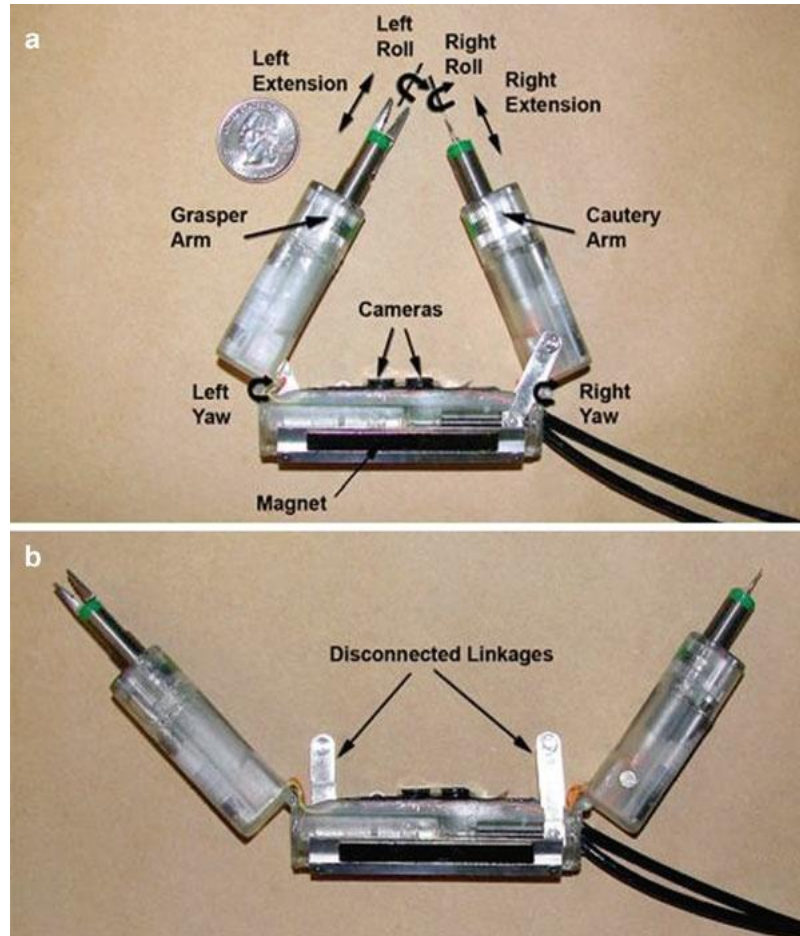
Εικόνα 6.23 Μηχανισμός λειτουργίας των επιδέξιων μικρο-ρομπότ

6.7.1 Σχεδιασμός πρωτότυπου ρομπότ

Το πρωτότυπο του επιδέξιου μικρο-ρομπότ έχει δύο πρισματικούς βραχίονες, καθένας από αυτούς είναι συνδεδεμένος σε ένα κεντρικό σώμα με μία περιστρεφόμενη άρθρωση τύπου ώμου. Κάθε βραχίονας έχει είτε μία λαβίδα, είτε ένα εργαλείο καυτηριασμού για να χειρίζεται τον ιστό. Το σώμα περιέχει ένα ζεύγος καμερών για οπτική ανάδραση, και ένα ισχυρό LED για φωτισμό.

Οι μαγνήτες που περιέχονται στο σώμα του ρομπότ αλληλεπιδρούν με τους μαγνήτες στη χειρουργική κονσόλα ελέγχου για να στερεωθεί το ρομπότ στο εσωτερικό της κοιλιάς. Αυτή η μέθοδος προσάρτησης στο κοιλιακό τοίχωμα επιτρέπει στον χειρουργό να τοποθετήσει οποudήποτε το ρομπότ στη διαδικασία της χειρουργικής επέμβασης ώστε να του παρέχεται βελτιωμένη οπτική και δυνατότητες χειρισμού σε κάθε τεταρτημόριο της περιτοναϊκής κοιλότητας.

Το ρομπότ διαθέτει δύο διαμορφώσεις ώστε να επιτρέπει ευελιξία κατά την εισαγωγή στον οργανισμό και σταθερότητα στο χειρισμό των ιστών. Το σύστημα μπορεί να αλλάξει από τη μία διαμόρφωση στην άλλη αποσυνδέοντας τις αρθρωτές συνδέσεις. Στη διαμόρφωση εισαγωγής, η άρθρωση τύπου ώμου περιστρέφεται ελεύθερα επιτρέποντας εισαγωγή από φυσικές οπές. Μόλις το ρομπότ έχει πλήρως εισέλθει στην περιτοναϊκή κοιλότητα οι αρθρώσεις τύπου ώμου επανασυνδέονται επιτρέποντας πλήρη λειτουργία [6.14].



Εικόνα 6.24 Οι βραχίονες του ρομπότ a) συνδεδεμένοι και b) αποσυνδεδεμένοι

6.7.2 Πλατφόρμα χειρισμών

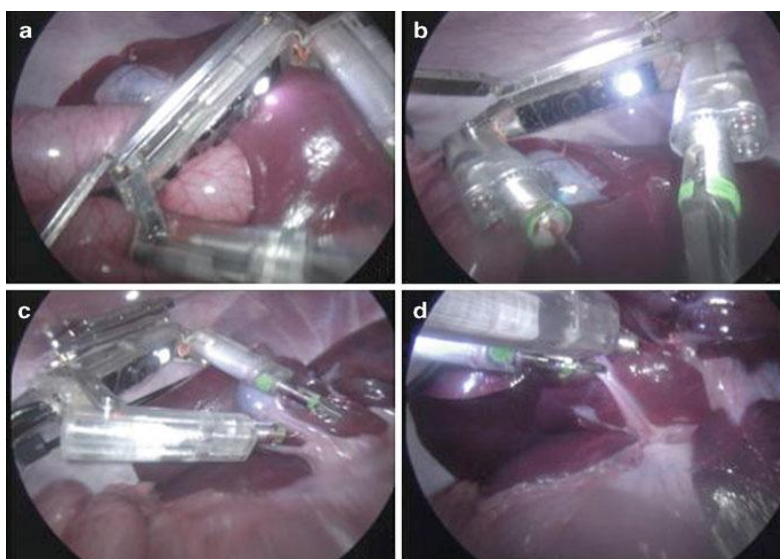
Μία έκδοση της πλατφόρμας χειρισμών αυτού του ρομπότ αποτελείται από δύο μοχλούς τύπου joystick που παρέχουν έλεγχο για την περιστροφή των αρθρώσεων και την επέκταση των βραχιόνων. Χρησιμοποιούνται δύο κουμπιά στον αριστερό μοχλό για το άνοιγμα και το κλείσιμο των λαβίδων. Η διαδικασία καυτηριασμού ενεργοποιείται με ένα πεντάλ ποδιού. Η εικόνα από μία εκ των καμερών του ρομπότ εμφανίζεται σε μία LCD οθόνη που βρίσκεται μεταξύ των δύο μοχλών. Το πίσω μέρος της πλατφόρμας χειρισμών περιέχει μαγνήτες που αλληλεπιδρούν με τους μαγνήτες στο σώμα του ρομπότ για να συγκρατείται στο εσωτερικό τοίχωμα του κοιλιακού τοιχώματος απευθείας κάτω από την οθόνη της πλατφόρμας χειρισμών. Αυτό παρέχει μία σαφή αίσθηση της θέσης του ρομπότ εντός της περιτοναϊκής

κοιλότητας. Μετακινώντας την πλατφόρμα χειρισμών κατά μήκος της επιφάνειας, επιτυγχάνεται η αποτελεσματική επανατοποθέτηση του ρομπότ στο εσωτερικό.

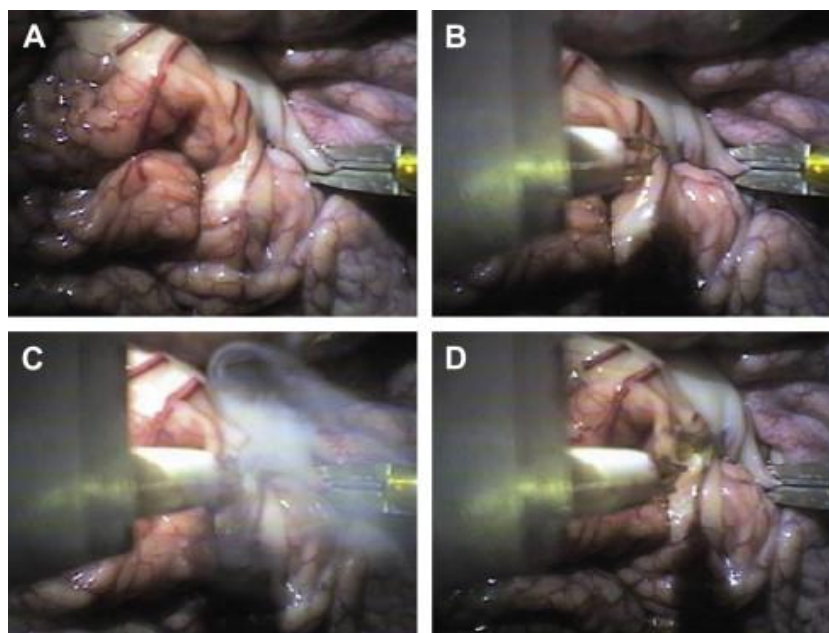
Ένα εναλλακτικό σχέδιο για την πλατφόρμα χειρισμών χρησιμοποιεί δύο τροποποιημένα λαπαροσκοπικά εργαλεία στη θέση των μοχλών. Σε αυτό το σχέδιο, οι ρομποτικοί βραχίονες που βρίσκονται εσωτερικά λειτουργούν ως επεκτάσεις των εξωτερικών λαπαροσκοπικών χειρολαβών. Επίσης περιλαμβάνει μία οθόνη LCD για το βίντεο και ένα πεντάλ ποδιού για τους καυτηριασμούς. Αυτή η πλατφόρμα χρησιμοποιείται για να παρέχει on-off έλεγχο των βαθμών ελευθερίας του ρομπότ [6.14].



Εικόνα 6.25 Η πλατφόρμα χειρισμών



Εικόνα 6.26 Το ρομπότ κατά τη διάρκεια επέμβασης



Εικόνα 6.27 Οπτική από την κάμερα του ρομπότ κατά τη διάρκεια επέμβασης

6.8 Μελλοντική προοπτική της in vivo μικρορομποτικής

Ενδιαφέρουσες είναι οι δυνατότητες που προσφέρονται από την ανάπτυξη των μικρο-ρομπότ στις in vivo εφαρμογές σε NOTES διαδικασίες. Για παράδειγμα η δυνατότητα εξοπλισμού των μικρο-ρομπότ με πολλαπλούς αισθητήρες τους προσδίδει την ικανότητα να ελέγχουν παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία στο εσωτερικό της περιτοναϊκής κοιλότητας. Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται οποιαδήποτε φυσική σύνδεση για ενέργεια και τα δεδομένα αξιολογούνται σε πραγματικό χρόνο. Μια χρήσιμη εφαρμογή αυτών των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις NOTES διαδικασίες είναι ότι προσφέρουν την δυνατότητα ειδοποίησης του χειρουργού σε περιπτώσεις όπως η μεταβολή του pH στην περιτοναϊκή κοιλότητα και η απελευθέρωση ειδικών αερίων που πιθανώς να οφείλονται σε διαρροές γαστρεντερικών υγρών. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ασφάλεια στις ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές διαδικασίες [6.13].

Μία άλλη οπτική για αυτούς τους τύπους ρομποτικών συσκευών είναι ότι μπορούν συμβάλουν στην τηλεχειρουργική καθώς σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης μπορούν να τοποθετηθούν από μη εξειδικευμένο προσωπικό ούτως ώστε ο γιατρός να μπορεί να τα χειρίζεται άμεσα εξ' αποστάσεως. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν και

για διαγνωστικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, έχει καταγραφεί ότι το 90% των θανάτων πραγματοποιούνται μέσα στα πρώτα 30 λεπτά μετά το χτύπημα με το 50 % αυτών να οφείλονται σε θωρακική ή κοιλιακή αιμορραγία. Τα ασύρματα in vivo ιατρικά ρομπότ μπορούν να μειώσουν το ποσοστό θνησιμότητας λόγω τραυματισμών προσφέροντας ταχύτερη θεραπευτική ανταπόκριση και συνεχή παρακολούθηση κατά τη μεταφορά χωρίς καθυστερήσεις που οφείλονται σε εξωτερικές συνδέσεις.

Μία άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή που ακόμα ερευνάται είναι η ανάπτυξη έξυπνων in vivo μικρο-ρομπότ που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά φαρμακευτικών ουσιών. Για παράδειγμα η δανέζικη εταιρεία Philips έχει σχεδιάσει μία 'έξυπνη κάψουλα' που αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή, μία μπαταρία, μία ασύρματη κεραία, μία αντλία και μία αποθηκευτική μονάδα φαρμάκου για να απελευθερώσει το φάρμακο σε μία συγκεκριμένη περιοχή του σώματος. Η 'iPill' κάψουλα μετράει με κατάλληλο αισθητήρα την οξύτητα σε περιοχές κοντά στο έντερο και στη συνέχεια απελευθερώνει ποσότητα φαρμάκου στην ανάλογη περιοχή. Αυτή η συσκευή έχει σχεδιαστεί για τη θεραπεία διαταραχών του πεπτικού σωλήνα, όπως η νόσος του Crohn. Η απευθείας μεταφορά φαρμάκου στην πάσχουσα περιοχή έχει το προνόμιο ότι για τη θεραπεία απαιτείται μικρότερη ποσότητα φαρμάκου και άρα μειώνονται οι ανεπιθύμητες παρενέργειες [6.15].



Εικόνα 6.28 Η κάψουλα iPill της Philips

Μπορούμε να φανταστούμε ότι η ίδια ιδέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά τοξικών ουσιών για την αντιμετώπιση ασθενειών όπως ο καρκίνος. Η εφαρμογή νέων μικρό τεχνολογικών απεικονίσεων όπως είναι η συνεστιακή μικροσκοπία (που δίνει ιστολογική διάγνωση σε κυτταρικό επίπεδο in vivo και άμεση διαφορική διάγνωση μεταξύ νεοπλασματικών και φλεγμονωδών βλαβών) σε μικρορομπότ μπορεί επίσης να παράσχει τη δυνατότητα αμεσότερης χορήγησης φαρμάκου ή αφαίρεση του πάσχοντος ιστού.

Τα συνεργαζόμενα μικρο-ρομπότ (με αισθητήρες ή όχι) ενισχύουν την ελάχιστα επεμβατική χειρουργική και τη NOTES και ταυτόχρονα ξεπερνούν εμπόδια όπως η επεξεργασία μεγάλου ποσού πληροφορίας και ο συντονισμός πολλών ενεργών και ανενεργών αντικειμένων. Για το λόγο αυτό, σε συνδυασμό με τη διαδικασία σμίκρυνσης και την εφαρμογή των αισθητήρων, υπάρχει μία σημαντική τάση στον τομέα της έρευνας για τον εξοπλισμό των μικρορομπότ με τεχνητή νοημοσύνη για αυτόνομο συντονισμό και αντίδραση σε οποιαδήποτε μεταβολή του περιβάλλοντος εργασίας.

6.9 Τα οικονομικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση in vivo μικρορομπότ

Με συνολικό κόστος περίπου ένα εκατομμύριο δολάρια (στο οποίο πρέπει επίσης να προσθέσουμε τις τρέχουσες δαπάνες ανά διαδικασία λόγω των ανακυκλώσιμων υλικών καθώς και το κόστος συντήρησης) το ρομποτικό σύστημα DaVinci έχει θεωρηθεί πολύ ακριβό για τις σχετικά μικρές τεχνικές βελτιώσεις που προσφέρει. Επιπλέον, οι ισχυρές αποδείξεις για σχετικό κλινικό πλεονέκτημα είναι περιορισμένες. Στην πραγματικότητα, εκτός του να επιτρέπει μία καλύτερη σύνδεση των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, σταθερή κάμερα και εύκολη απόσυρση των εργαλείων, το ρομποτικό σύστημα DaVinci δεν έχει φέρει μία πραγματική επανάσταση στον τομέα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής. Η βασική χρήση του συστήματος αυτού τείνει να περιοριστεί μόνο σε πανεπιστήμια και πανεπιστημιακά νοσοκομεία αφού οι ιδιωτικές κλινικές προτιμούν πιο οικονομικές λύσεις. Συνυπολογίζοντας τα παραπάνω, συμπεραίνουμε γιατί η ρομποτική στον τομέα της γενικής χειρουργικής δεν έχει πετύχει το στόχο της, και θεωρείται από πολλούς ένα ωραίο αλλά όχι απαραίτητο εργαλείο. Αντίθετα, τα in vivo μικρό-

ρομπότ έχουν τη δυνατότητα να επηρεάζουν το πεδίο της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής και των επεμβάσεων NOTES με έναν εντελώς πρωτόγνωρο τρόπο.

Πρώτα από όλα οι τεχνολογικές προκλήσεις που προκύπτουν από αυτή την προσέγγιση μέσω φυσικών οπών, δεν μπορούν να ξεπεραστούν με τυποποιημένες συσκευές. Υπό αυτή την έννοια, τα in vivo μικρό-ρομπότ θα γίνουν χρήσιμα εργαλεία. Δεύτερον, εξ αιτίας της φύσης τους αυτά τα μικρά εργαλεία θα είναι επιδέξια, φιλικά, εύκολα στη χρήση και φθηνά. Οι τεράστιες πρόοδοι στη μικροτεχνολογία και η αλλαγή κουλτούρας που συμβαίνει στην τεχνολογική κοινότητα έχουν ήδη δημιουργήσει μια open source βάση για την ανάπτυξη συστημάτων. Αυτό δυνητικά προσφέρει μεγάλες ευκαιρίες σε πολλές ερευνητικές ομάδες να εργαστούν για την ανάπτυξη συστημάτων εστιάζοντας ιδιαίτερα σε προσαρμοσμένα μικρο-εργαλεία. Αυτό υπερνικά έναν άλλο σημαντικό περιορισμό της προηγούμενης ρομποτικής εποχής που είναι η περιορισμένη κατοχύρωση ευρεσιτεχνιών εξ αιτίας της σχεδόν μονοπωλιακής θέσης εταιριών που σήμερα κυριαρχούν στην ιατρική ρομποτική αγορά. Το αποτέλεσμα πρέπει να είναι ένας ισχυρός και οικονομικά αποδοτικός τρόπος για μαζική παραγωγή ρομπότ για πολλές διαφορετικές ειδικές εφαρμογές. Επιπλέον, ενώ το ρομποτικό σύστημα DaVinci χρησιμοποιήθηκε για να ξεπεραστούν συγκεκριμένες δυσκολίες που συναντιούνταν κατά τη διάρκεια ορισμένων εξαιρετικά πολύπλοκων διαδικασιών, πρέπει να θεωρήσουμε ότι ο επιθυμητός στόχος των επεμβάσεων NOTES πρέπει να είναι η αποτελεσματική θεραπεία ασθενειών υψηλού κινδύνου όπως η γαστροισοφαγική παλινδρόμηση και η παχυσαρκία.

Τέλος, η ευκαιρία να χρησιμοποιηθούν μικρο-ρομπότ που εισάγονται μέσω φυσικών οπών για ενδοκοιλιακή θεραπεία κοινών ασθενειών, μπορεί να καταστήσει περιττή την ανάγκη για γενική αναισθησία και ίσως ακόμη και για αποστείρωση. Αυτό μπορεί να επιτρέψει και κινητές χειρουργικές επεμβάσεις και ενθαρρύνει για περαιτέρω αποφάσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

Κεφάλαιο 7. Νανορομποτική (Nanorobotics)

7.1 Εισαγωγή

Η νανοτεχνολογία στην παρούσα εποχή, έχει φτάσει στο στάδιο όπου ο επιστήμονας είναι σε θέση να αναπτύξει και να προγραμματίσει πολύπλοκες μηχανές που έχουν κατασκευαστεί σε μοριακό επίπεδο, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν μέσα στο σώμα του ασθενούς. Μια τέτοια πρόκληση είναι τα νανορομπότ, που κάποτε πίστευαν ότι είναι μια επιθυμία, όμως τώρα τέθηκαν σε πραγματική βάση. Οι εφαρμογές των νανορομπότ, μπορεί να κυμαίνονται από ένα κοινό κρυολόγημα, μέχρι ασθένειες όπως ο καρκίνος, ο διαβήτης, το εγκεφαλικό ανεύρυσμα κ.α.. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για νανορομποτικά συστήματα και ο μεγαλύτερος αντίκτυπός τους θα είναι στον τομέα της ιατρικής. Αυτό το κεφάλαιο, ασχολείται με το σχεδιασμό νανορομπότ και τις εφαρμογές τους στη μοριακή διάγνωση.

Η ανάπτυξη της βιοτεχνολογίας ασκεί επιρροή στη διάγνωση ασθενειών που μας απειλούν. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιος Οργανισμό Υγείας, στις μολυσματικές ασθένειες οφείλεται το 25% όλων των θανάτων παγκοσμίως, το 45% θανάτων είναι σε χώρες χαμηλού εισοδήματος και το 63% παιδιά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παγκόσμιες μολυσματικές και μικροβιακές ασθένειες αντιπροσωπεύουν περίπου το 40% από τους συνολικούς 50 εκατομμύρια ετήσιους θανάτους. Ένας τρόπος για την μείωση του ποσοστού θνησιμότητας είναι ο εμβολιασμός, ο οποίος έχει οδηγήσει σε τεράστια πρόοδο στον έλεγχο πολλών μολυσματικών ασθενειών [7.1].

Οι παραδοσιακές μέθοδοι για τις κλινικές αναλύσεις των μολύνσεων, είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό του είδους των ιών, αλλά απαιτούν πολύτιμο χρόνο και πολύπλοκη υποδομή.

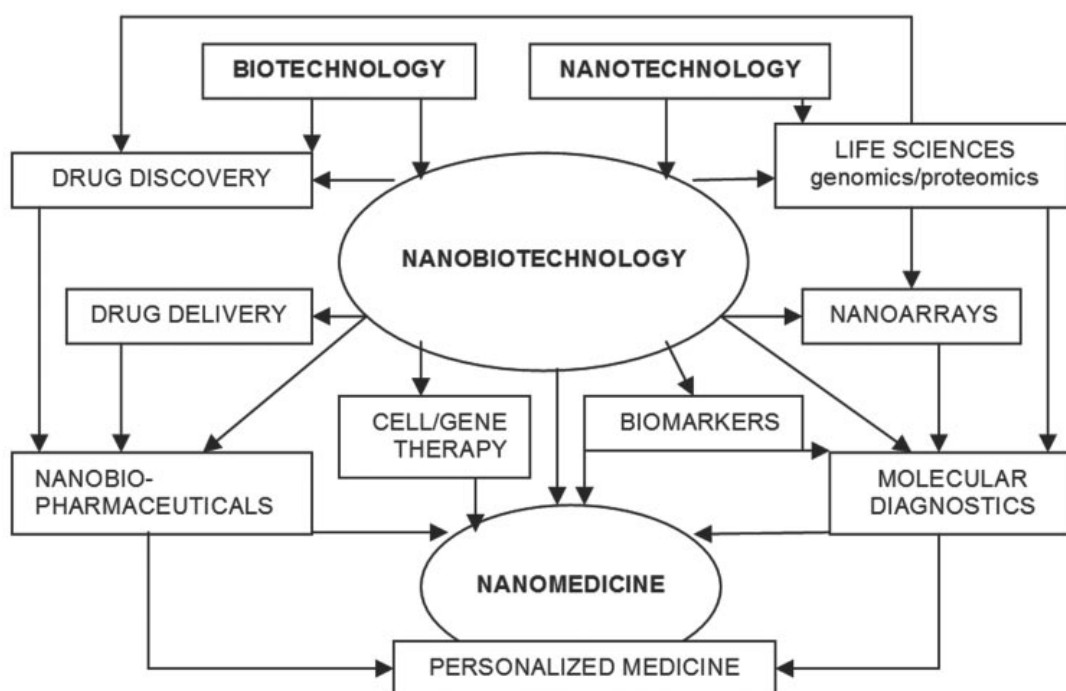
Ο όρος “Νάνο” είναι ένα πρόθεμα που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ένα δισεκατομμυριοστό ή το 0.00000001 από κάτι. Ο όρος νανοτεχνολογία ορίστηκε πρώτα, από τον καθηγητή Norio Taniguchi, του πανεπιστημίου του Τόκυο, το 1974.

Η νανοτεχνολογία συχνά εκπροσωπείται από δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Την “Top down” η οποία αναφέρεται σε δομές με μηχανουργική κατεργασία, περιγραμματική και λιθογραφική τεχνική και η “bottom up” η οποία αναφέρεται στην δημιουργία οργανικών και ανόργανων υλικών μέσα σε ένα άτομο από άτομο και σε ένα μόριο από μόριο [7.2].

Η νανοτεχνολογία έχει αναδειχθεί ως μία μεγάλη δυναμική τεχνολογία για την παροχή φαρμάκων σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία μέσα στον οργανισμό. Φάρμακα, πρωτεΐνες, εμβόλια και νουκλεοτίδια μπορούν να παραδίδονται αποτελεσματικά ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή φαρμακολογική δράση. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί την βάση για τα συστήματα διανομής φαρμάκων, τα οποία θα μεταφέρουν θεραπευτικά ή διαγνωστικά μέσα σε συγκεκριμένες θέσεις στο σώμα επιτρέποντας εξαιρετικά στοχευόμενες θεραπείες που θα μπορούσαν να ελαχιστοποιήσουν τις παρενέργειες. Η νανοτεχνολογία είναι το επόμενο βήμα μετά την σμίκρυνση.

7.2 Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας

Η νανοτεχνολογία έχει αναπτυχθεί στον τομέα των ηλεκτρονικών, των διαστημικών ειδών, των τροφίμων, στα κλωστοϋφαντουργικά, στην οπτική και στην ιατρική. Στο πεδίο της ιατρικής, η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί σε διάφορες πτυχές, όπως η παράδοση φαρμάκων, μηχανική ιστών και η κατασκευή νανορομπότ για την διάγνωση διαφόρων ασθενειών. Οι βιοδείκτες, οι μικροσυστοιχίες, θα μπορούσαν στην πραγματικότητα να χρησιμοποιηθούν ευρέως για τη διάγνωση ασθενειών όπως ο καρκίνος, ο διαβήτης, η καρδιακή και εγκεφαλική νόσος, (εικόνα 7.1) [7.3].



Εικόνα 7.1 Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας

7.2.1 Τρόφιμα

Η νανοτεχνολογία έχει αντίκτυπο σε πολλές πτυχές της επιστήμης των τροφίμων, από το πώς τα τρόφιμα θα καλλιεργούνται, έως το πώς θα συσκευάζονται. Οι εταιρίες αναπτύσσουν υλικά τα οποία θα κάνουν τη διαφορά όχι μόνο στη γεύση των τροφίμων αλλά και στην ασφάλεια, καθώς και στα οφέλη που προσφέρουν τα τρόφιμα στην υγεία.

7.2.2 Ιατρική

Ερευνητές έχουν αναπτύξει νανοσωματίδια, στο μέγεθος μορίων, τα οποία μπορούν να παραδώσουν φάρμακα απευθείας σε άρρωστα κύτταρα μέσα στο σώμα. Όταν τελειοποιηθεί αυτή η μέθοδος, θα μπορέσει να μειώσει σημαντικά τις ζημιές που προκαλούνται από θεραπείες, όπως η χημειοθεραπεία, σε υγιή κύτταρα του ασθενή.

Η νανοϊατρική αναφέρεται σε μελλοντικές εξελίξεις στην ιατρική, που θα βασίζεται στην ικανότητα να κατασκευαστούν νανορομπότ. Αυτά τα νανορομπότ θα είναι προγραμματισμένα για να θεραπεύσουν συγκεκριμένα νοσούντα κύτταρα, λειτουργώντας κατά τρόπο παρόμοιο όπως τα αντισώματα σε φυσικές διεργασίες επούλωσης.

7.2.3 Παράδοση φαρμάκων

Η νανοτεχνολογία προσφέρει μοναδική δυνατότητα για δημιουργία συστημάτων που μπορούν να παραδώσουν καλύτερα φάρμακα σε πολύ μικρότερες περιοχές μέσα στο σώμα. Δίνεται η δυνατότητα χορήγησης φαρμάκων μέσω διαπέρασης των κυτταρικών τοιχωμάτων, η οποία είναι κρίσιμης σημασίας και αναμένεται αύξηση των γενετικών φαρμάκων τα επόμενα χρόνια. Τα νανοσωματίδια παράδοσης φαρμάκων “Drug encapsulating nanoparticles” προσφέρουν εκτεταμένο έλεγχο στη δοσολογία φαρμάκου και στον τρόπο απελευθέρωσης του. Βιοσυγκολλητικά και χωρίς φάρμακα νανοσωματίδια, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να μειωθεί η μόλυνση σε ορισμένες περιπτώσεις ασθενειών.

7.2.4 Νανοφάρμακα

Πέρα από την προφανή εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στην ιατρική, η προσέγγιση είναι θεμελιωδώς διαφορετική από την συμβατική ιατρική. Η νανοιατρική είναι η θεραπεία ή επιδιόρθωση ιστών και οργάνων, εντός ατομικών στοχευμένων κυττάρων.

Τυπικά συνδυάζει χρήση μοριακών βιοαισθητήρων για την παροχή ελέγχου, μέσω ανάδρασης της θεραπείας και επιδιόρθωση. Η συμβατική ιατρική δεν χρησιμοποιεί έλεγχο μέσω ανάδρασης. Η χρήση φαρμάκων είναι στοχευμένη και προσαρμόζεται κατάλληλα, ώστε να δοθεί η σωστή δοσολογία σε κάθε κύτταρο ξεχωριστά.

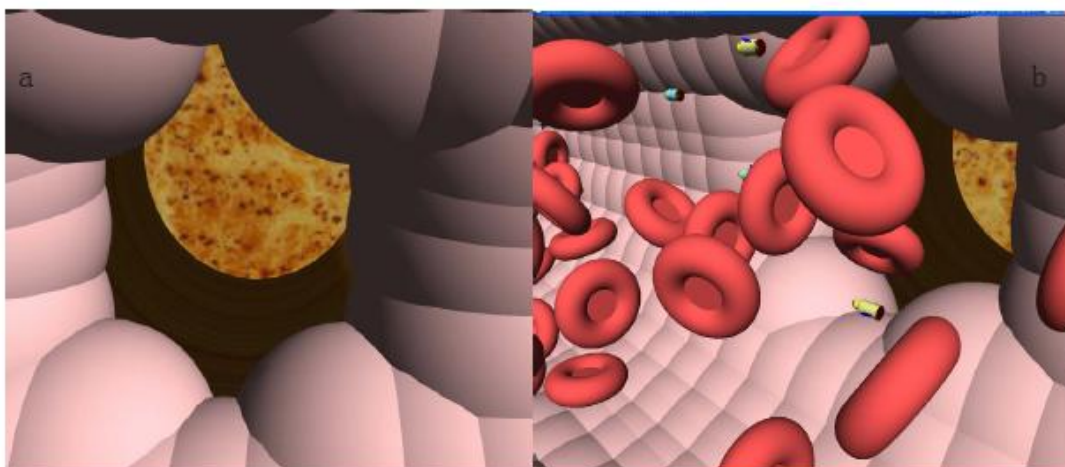
7.2.5 Επιπτώσεις Νανοφαρμάκων

Οι επιπτώσεις της νανοϊατρικής σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα θα είναι τέλος του πόνου, τέλος της φυσικής νόσου και αποκατάσταση της “νεανικής” υγείας των ηλικιωμένων. Ως συνήθως, θα υπάρχουν και μειονεκτήματα. Η χρήση της τεχνολογίας για πολεμικές επιχειρήσεις. Το κόστος της νανοϊατρικής φροντίδας είναι συγκρινόμενο με πολυτελή αγαθά, αλλά με την πάροδο του χρόνου το κόστος αυτό θα μειώνεται και στο τέλος θα είναι πολύ χαμηλό, όπως πιστεύουν οι ειδικοί [7.4].

7.3 Νανορομπότ

Μια νέα προσέγγιση μέσα από τις προηγμένες γραφικές προσομοιώσεις, παρουσιάζει το πρόβλημα της αυτοματοποίησης της νανοσυναρμολόγησης και η εφαρμογή της στην ιατρική. Το πρόβλημα υπό μελέτη επικεντρώνεται στο σχεδιασμό του ελέγχου του νανορομπότ για το μοριακό χειρισμό και τη χρήση εξελικτικών παραγόντων ως καταλληλότερος τρόπος για ένα δυναμικό προτεινόμενο μοντέλο. Βιολογικά βασιζόμενα ρομπότ μπορεί να εκτραπούν από τα μικρόβια και να προκαλέσουν στα μηχανικά βιοσυστήματα, εκτέλεση μιας καινούριας ή διαφορετικής λειτουργίας από ότι αρχικά προοριζόντουσαν. Τα μηχανικά ρομπότ δεν θα έχουν καμία τέτοια δυσκολία και θα είναι ευκολότερο να λαμβάνουν διπλώματα ευρεσιτεχνίας, τα οποία θα παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την περαιτέρω έρευνα, ανάπτυξη νανορομπότ και θα προτείνουν ένα χρονικό πλαίσιο στο οποίο θα

μπορούν τα νανορομπότ να είναι διαθέσιμα για χρήση σε θεραπευτικές και ιατρικές διαδικασίες, (εικόνα 7.2), [7.5].



Εικόνα 7.2 α) Ανεύρυσμα στο αρχικό στάδιο, β) Νανορομπότ ανιχνεύουν σήμα NOS

7.3.1 Διακριτές ιδιότητες των νανορομπότ

Υλικά σε κλίμακα νανο, χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση της νόσου με ταχύτητα και ευαισθησία. Επίσης συμμετέχουν στη διάγνωση της δράσης των νοσούντων κυττάρων. Η χημική σύσταση των νανο-υλικών διαφέρει από την μακροσκοπική μορφή, π.χ. ο χρυσός ο οποίος έχει αυξημένο εμβαδόν επιφάνειας ανά μονάδα μάζας. Νέες χημικές μορφές κοινών χημικών στοιχείων δημιουργούνται, π.χ. νανοσωλήνες άνθρακα, οξείδιο τιτανίου, οξείδιο του ψευδαργύρου, καθώς και άλλες στρώσεις ενώσεων.

7.3.2 Δενδριμερή

Τα δενδριμερή είναι τέλεια μονοδιασκορπισμένα μακρομόρια, με έντονη τακτική διακλαδιζόμενη 3D αρχιτεκτονική. Προσφέρουν ελεγχόμενη παράδοση και στοχοθέτηση. Διαθέτη τρία στοιχεία: πυρήνα, εσωτερικά και εξωτερικά στρώματα και εξωτερικό συνδεδεμένο πυρήνα. Π.χ. πολυαμιδοάμινο δενδριμερές, πολυπροπυλενοϊμίμη, τεκτοδενδριμερές, πολυγλωσσοδενδριμερές και στροφικά δενδριμερή. Τα δενδριμερή χρησιμοποιούνται σε μικροκάψουλες, νανοσυσκευές, λιποσώματα κ.α.. Νανοσυσκευές στοχευόμενες εντός των κυττάρων μέσω Η-υποδοχέων έχουν σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας δενδριμερή [7.2].

7.3.3 Quantum dots

Τα Quantum dots είναι μικροσκοπικά κρύσταλλα και λάμπουν όταν διεγείρονται από υπεριώδες φως. Το μήκος κύματος ή το χρώμα του φωτός, εξαρτάται από το μέγεθος των κρυστάλλων. Λάτεξ σφαιρίδια που γεμίζουν με αυτά νανοημιαγωγοί, μπορούν να σχεδιαστούν ως μια συγκεκριμένη αλληλουχία DNA. Οι κρύσταλλοι διεγείρονται από υπ φως και κάθε σφαιρίδιο εκπέμπει φως από μια συγκεκριμένη περιοχή του DNA [7.2].

7.3.4 Στοιχεία στήριξης – Cantilevers

Μικροσκοπικά εύκαμπτα στοιχεία στήριξης, τα οποία μοιάζουν με μια σειρά διαιρεμένων πινάκων, χτίζονται μέσω λιθογραφικών τεχνικών και επικαλύπτονται με μόρια ικανά να δεσμεύουν καρκινικούς βιοδείκτες, όπως ο PSMA (Prostate –Specific Membrane Antibody). Καθώς τα καρκινικά κύτταρα εκκρίνουν καρκινικά μοριακά προϊόντα, τα cantilevers συνδέονται στις εκκρινόμενες πρωτεΐνες και σηματοδοτούν την παρουσία του καρκίνου [7.2].

7.3.5 Νανοκάψουλες – Nanoshells

Οι νανοκάψουλες έχουν ένα πυρήνα από οξείδιο του πυριτίου και μεταλλική στρώση. Αυτά μπορούν να συνδεθούν με τα αντισώματα που μπορούν να αναγνωρίσουν τα καρκινικά κύτταρα (PSMA). Μόλις αυτά συνδεθούν με τα καρκινικά κύτταρα, δημιουργείται έντονη θερμότητα που θανατώνει επιλεκτικά καρκινικά κύτταρα και όχι γειτονικά υγιή κύτταρα [7.6].

7.3.6 Σχεδιασμός νανορομποτικών συστημάτων

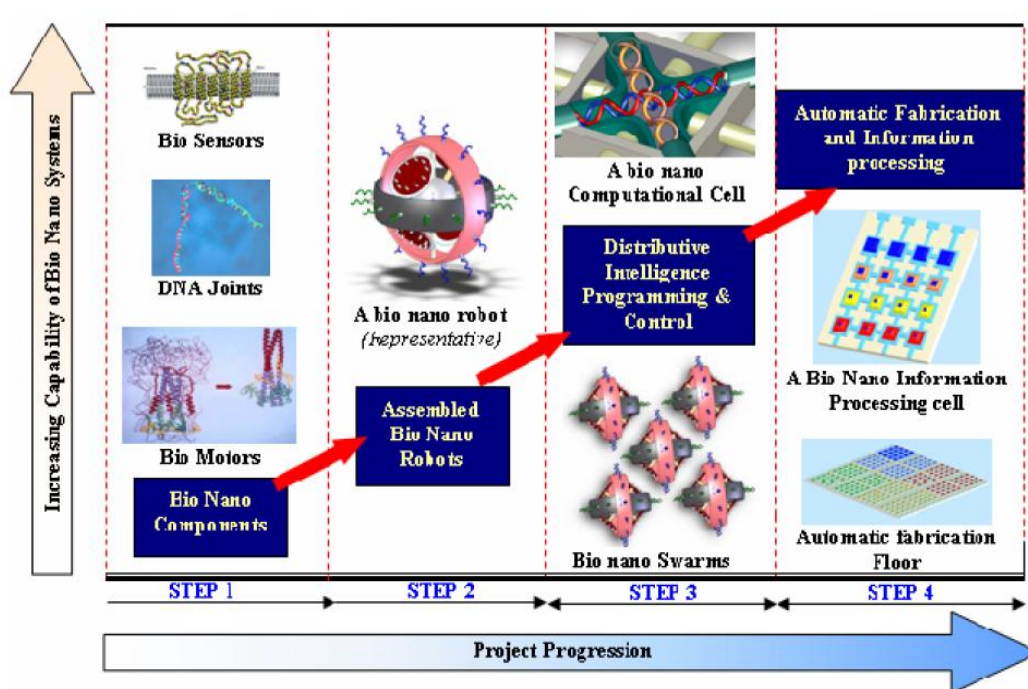
Για την δημιουργία νανορομποτ, χρειάζονται πρωτεΐνες και DNA. Υπάρχουν πολλές περίπλοκες δομές που σχετίζονται με τη χρήση βιοσυστατικών (όπως η πρωτεΐνη αναδίπλωσης, η παρουσία του υδάτινου μέσου), αλλά τα πλεονεκτήματα της χρήσης του είναι αρκετά σημαντικά. Αυτά τα βιοσυστατικά προσφέρουν τεράστια ποικιλία και λειτουργικότητα σε μια κλίμακα, που ο άνθρωπος θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να δημιουργήσει ένα τέτοιο τεχνικό υλικό με τέτοιες δυνατότητες. Αυτά τα βιοστοιχεία έχουν τελειοποιηθεί από τη φύση μέσω εκατομμυρίων χρόνων εξέλιξης και ως εκ τούτου, είναι ακριβή και αποτελεσματικά. Τα άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα της χρήσης πρωτεΐνο-βιονάνο συστατικών είναι η ανάπτυξη και βελτίωση κατά τα τελευταία 30 χρόνια, εργαλείων και τεχνικών, που επιτρέπουν στους ερευνητές να μεταλλάξουν πρωτεΐνες σε σχεδόν οποιοδήποτε τρόπο μπορεί να φανταστεί κανείς [7.7]. Ως εκ τούτου αυτά τα βιοσυστατικά φαίνεται να είναι μια πολύ λογική επιλογή για σχεδιασμό νανορομποτ. Αυτή η ιδέα είναι σαφώς εμπνευσμένη από τα φυσικά νανορομποτ, τα βακτήρια και τους ιούς, που μπορούν να χαρακτηριστούν ως ευφυείς οργανισμοί, και μπορούν να κινούνται, να ανιχνεύουν και να έχουν οργανωμένο έλεγχο.

7.4 Ο Οδηγός της Νανορομποτικής

Ο οδηγός προτείνει τα βασικά βήματα προς τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των νανορομποτ (εικόνα 7.3).

Βήμα 1: Βιο-Νανο εξαρτήματα

Από τα απλά στοιχεία όπως οι δομικές συνδέσεις, μέχρι πιο εξειδικευμένα όπως κινητήρες, κάθε στοιχείο πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά και να κατανοηθούν τα λειτουργικά όρια του καθενός. Το DNA και οι νανοσωλήνες από άνθρακα, κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα, επιτρέποντας δυνατότητες ανάπτυξης νεότερων και πιο σύνθετων κατασκευών [7.8]. Αυτές οι νανοδομές είναι δυνάμει υποψήφιες για την ένταξη και στέγαση βιονανο συστατικών στο εσωτερικό τους. Πρωτεΐνες όπως η ροδοψίνη και η βακτηριοροδοψίνη είναι μερικά παραδείγματα τέτοιων βιονανο συστατικών.



Εικόνα 7.3 Ο οδηγός της νανορομποτικής

Βήμα 2: Συναρμολογούμενα Βιονανορομποτ

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τη συναρμολόγηση των λειτουργικά σταθερών βιονανο στοιχείων, σε σύνθετες δομές.

Ένα βιονανορομπότ θα έχει λειτουργία, αίσθηση και ικανότητα επεξεργασίας πληροφοριών. Ορίζονται από κανόνες ιεραρχίας και διαθέτουν χωρικές ρυθμίσεις των διαφόρων εξαρτημάτων, όπως ο εσωτερικός πυρήνας (πηγή ενέργειας), η λειτουργική μονάδα, η αισθητήρια μονάδα, η μονάδα επικοινωνίας και η μονάδα επεξεργασίας δεδομένων. Έτσι δημιουργείται μια βιβλιοθήκη βιονάνο στοιχείων που θα αναπτυχθούν, τα οποία θα περιλαμβάνουν συστήματα όπως, λειτουργικά, πηγές ενέργειας, αισθητήρες, επικοινωνιακά, κ.α. [7.8]. Θα υπάρχουν συστήματα που θα αισθάνονται την έλλειψη οξυγόνου και θα διεγείρουν άλλα συστήματα για την παραγωγή του, δημιουργώντας έτσι ένα περιβάλλον σταθερής ομοιόστασης.

Βήμα 3: Νοημοσύνη, Προγραμματισμός και Έλεγχος

Με τα βιονανορομπότ σε πλήρη λειτουργία, θα πρέπει τώρα να συνεργαστούν μεταξύ τους για να αναπτύξουν περαιτέρω συστήματα και “αποικίες” από παρόμοια ή διαφορετικά νανορομπότ. Αυτό το βήμα του σχεδιασμού θα θέσει τα θεμέλια στην έννοια των βιονανο σμηνών. Ο σχεδιασμός σμηνών από νανορομπότ, έχει επίκεντρο, την εκτέλεση πολύπλοκων εργασιών, την ικανότητα υπολογισμών και τη συνεργασία μεταξύ τους [7.8]. Το βασικό υπολογιστικό στοιχείο θα σχεδιαστεί για την ανάκτηση των δεδομένων και την αποθήκευσή τους. Αυτή η ικανότητα θα δώσει την δυνατότητα να προγραμματισθεί η συμπεριφορά των βιονανορομπότ και θα αποτελέσει την ουσία του πυρήνα των βιονανο ρομποτικών συστημάτων, δίνοντας τους τεράστια δύναμη.

Βήμα 4: Αυτόματη κατασκευή και Μηχανήματα επεξεργασίας πληροφοριών

Για την εκτέλεση πολύπλοκων αποστολών όπως η αίσθηση, η επικοινωνία και η αποθήκευση, αποικίες βιονανορομπότ σμηνών πρέπει να δημιουργηθούν. Το επόμενο βήμα στον σχεδιασμό θα δίνει έμφαση στη μεθοδολογία αυτόματης κατασκευής τέτοιων βιονανορομπότ. Δυνατότητα επεξεργασίας πληροφοριών, οι οποίες θα περιλαμβάνουν τη μάθηση και τη λήψη αποφάσεων, θα αποτελεί βασικό μέλημα αυτού του βήματος. Αυτά τα σμήνη θα μπορούσαν να προγραμματιστούν για την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, έχοντας την ικανότητα να προσαρμοστούν σε αυτήν την πηγή. Η διαχείριση της ενέργειας, η αυτό-επισκευή και η εξέλιξη θα είναι μερικά χαρακτηριστικά αυτών των σμηνών [7.8].

7.4.1 Δοκιμές και διάγνωση

Τα νανορομπότ θα κάνουν τα αποτελέσματα της διάγνωσης διαθέσιμα σε λίγα δευτερόλεπτα, με ένα μεγαλύτερο εύρος δυνατοτήτων ελέγχου. Για παράδειγμα, μια συσκευή στο μέγεθος ενός μικρού υπολογιστή (smart phone), με έναν ανιχνευτή αποτελούμενο από δισεκατομμύρια νανο μοριακούς υποδοχείς, οι οποίοι τοποθετούνται σε εκατοντάδες αναδιπλούμενα στελέχη, θα είναι σε θέση να τοποθετηθούν στο ανθρώπινο σώμα, μέσω της νανοιατρικής. Σάρωση ολόκληρου ανθρώπινου σώματος, σε πραγματικό χρόνο, για συγκεκριμένα βακτήρια, καρκινικά αντιγόνα κυττάρων, ύποπτες τοξίνες, ορμονικές ανισορροπίες γενετικής προέλευσης ή από τον τρόπο ζωής, παραγωγή 3D χαρτών των επιθυμητών στόχων του ασθενούς, μπορούν να ληφθούν. Μέχρι τώρα η ιατρική παρέμβαση ήταν κυρίως να βοηθήσει το σώμα στην αυτό-επούλωση. Τα νανορομπότ θα δίνουν συστηματική πολύ-επίπεδη πρόσβαση στο εσωτερικό του σώματος και στην ψυχική κατάσταση, συμπεριλαμβανομένων των παραμέτρων λειτουργίας των οργάνων, των ιστών και των κυττάρων.

7.4.2 Τεχνολογία κατασκευής νανορομπότ

Η ικανότητα για την κατασκευή νανορομπότ μπορεί να γίνει κατανοητή ως αποτέλεσμα των τρεχουσών τάσεων και των νέων μεθοδολογιών στην κατασκευή, στον υπολογισμό, στην μετατροπή και στον χειρισμό. Η βιομηχανία CMOS (Complimentary Metal Oxide Semiconductor) δείχνει επιτυχώς τον δρόμο για την κατασκευή εξαρτημάτων που απαιτούνται για τα νανορομπότ, όπου η κοινή χρήση νανοφωτονικής και νανοσωλήνων επιταχύνουν την μείωση της κλίμακας από τα 248nm στα 157nm [7.9,7.42].

7.4.3 Χημικοί Αισθητήρες

Ενσωματωμένοι CMOS αισθητήρες, χρησιμοποιώντας νανοκαλώδια ως υλικό για το κύκλωμα, η κατασκευή μπορεί να επιτύχει τη μέγιστη απόδοση για εφαρμογές σχετικά με τις χημικές αλλαγές, επιτρέποντας νέες ιατρικές εφαρμογές [7.10]. Η τεχνολογία SOI (Silicon-On-Insulator) έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή υψηλής απόδοσης λογικών μονάδων 90nm.

Οι νανοσωλήνες από άνθρακα χρησιμεύουν ως ιδανικά υλικά για τη βάση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων CMOS νανοβιοαισθητήρων. Για ένα ιατρικό νανορομπότ, η χρήση των CMOS ως ενεργοποιητής, βασισμένος σε βιολογικά μοτίβα υιοθετείται στην αρχιτεκτονική ως φυσική επιλογή. Κανάλια ιόντων χρησιμοποιώντας νάτριο, μπορούν να παράξουν ενέργεια απαραίτητη για τη μηχανική λειτουργία των ενεργοποιητών [7.11].

7.4.4 Νανο χειρισμός – Εικονική πραγματικότητα βασισμένη στις τεχνικές σχεδιασμού

Η εικονική πραγματικότητα είναι απαραίτητη για να απεικονίσει την αλληλεπίδραση ατόμου στο άτομο, σε πραγματικό χρόνο και να δούμε τα αποτελέσματα σε ένα πλήρως ψηφιακό 3D περιβάλλον. Επίσης, για τη διευκόλυνση εισόδου του χρήστη στα νανορομποτικά συστήματα είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί η φωνή, η κίνηση και η αφή, εκτός από τη συμβατική απεικόνιση και τις τεχνικές χειρισμού. Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας έρχεται να μας παράσχει την εμπειρία της αντίληψης και αλληλεπίδρασης με τον νανόκοσμο μέσω της χρήσης αισθητήρων, ενεργοποιητών και διεπαφής σε περιβάλλον προσομοίωσης. Αυτές οι διασυνδέσεις μετατρέπουν τα σήματα που δημιουργούνται στην κλίμακα των νανο, σε μακρο-επίπεδο και αντίστροφα. Η απαίτηση είναι η επικοινωνία στην κλίμακα των νανο να είναι υψηλής ποιότητας και σε πραγματικό χρόνο. Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που συνδέονται με τις εφαρμογές, τα εργαλεία, τις τεχνολογίες διασύνδεσης, οδηγούμαστε σε περισσότερα ευέλικτα νανο σχέδια [7.12].

Το AFM μικροσκόπιο (Atomic Force Microscope) σε μελέτες στον τομέα της βιοτεχνολογίας προφέρει πολλά μοναδικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, απαιτεί λιγότερη προετοιμασία του δείγματος που πρόκειται να απεικονιστεί. Δεύτερον, μπορεί να παράσχει μια 3D ανακατασκευή της επιφάνειας του δείγματος σε πραγματικό χώρο και με υψηλή ανάλυση. Τρίτον, προκαλεί λιγότερες καταστροφές στο δείγμα και τέταρτον, μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένου του αέρα, σε υγρό και στο κενό. Η λειτουργία του AFM σε υδάτινο διάλυμα προσφέρει μοναδική ευκαιρία για απεικόνιση, βιολογικών μορίων και των κυττάρων στο φυσιολογικό τους περιβάλλον, όπως επίσης, τις βιολογικές τους διεργασίες σε πραγματικό χρόνο [7.13].

Η κατασκευή εικονικής πραγματικότητας χώρου στην εκτός σύνδεσης λειτουργία για την σχεδίαση της πορείας σε συνδυασμό με την πραγματικού χρόνου λειτουργία για την οπτική παρακολούθηση, εξασφαλίζει μια πλήρη οπτική απεικόνιση, π.χ. ένα 3D νανοσύστημα μαζί με ένα 3D εικονικής πραγματικότητας μοντέλο του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένου του βιοκυττάρου και την διεξαγωγή αλλαγής οπτικής σκοπιάς στον εικονικό χώρο [7.14].

7.5 Ιατρικά νανορομπότ

Η έρευνα και η ανάπτυξη των νανορομπότ με ενσωματωμένους νανοβιοαισθητήρες και ενεργοποιητές θεωρείται μια νέα δυνατότητα παροχής ιατρικών συσκευών στους γιατρούς [7.15]. Ολοκληρωμένα μηχανικά συστήματα ελέγχου σε μικροσκοπικά περιβάλλοντα διαφέρουν από τις συμβατικές τεχνικές ελέγχου, προσεγγίσεις με βάση την τεχνική ελέγχου “feed forward control”, αναζητούνται για την αποτελεσματική προώθηση νέων ιατρικών τεχνολογιών. Κατά τον ίδιο τρόπο η ανάπτυξη των βιοηλεκτρονικών στην δεκαετία του 1980 οδήγησε σε νέα εργαλεία για την βιοϊατρική και την κατασκευή νανοηλεκτρονικών [7.16]. Η χρήση μικροσυσκευών στην χειρουργική και στις ιατρικές θεραπείες είναι μια πραγματικότητα, η οποία έφερε πολλές βελτιώσεις στις κλινικές διαδικασίες κατά τα τελευταία χρόνια. Μια πρώτη σειρά πρωτοτύπων νανοτεχνολογίας για μοριακές μηχανές διερευνώνται με διαφορετικούς τρόπους [7.17]. Πιο πολύπλοκες μοριακές μηχανές ή νανορομπότ έχοντας ενσωματωμένα νανοσυστήματα, αντιπροσωπεύουν νέα εργαλεία για ιατρικές διαδικασίες.

7.5.1 Εφαρμογές των ιατρικών νανορομποτ

Η χρήση των νανορομπότ μπορεί να προχωρήσει στη βιοϊατρική με ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές επεμβάσεις [7.18], να βοηθήσει ασθενείς που χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας του σώματος τους και να βελτιώσει την αποδοτικότητα μιας θεραπείας μέσω έγκαιρης διάγνωσης πιθανών σοβαρών ασθενειών. Συσκευές εμφύτευσης στην ιατρική έχουν χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή απόκτηση των δεδομένων του ασθενούς. Παρακολούθηση των ασθενών μπορεί να βοηθήσει στην προετοιμασία για νευροχειρουργική [7.19], πρώιμο στάδιο διάγνωσης

καρκίνου και έλεγχο της αρτηριακής πίεσης για τα προβλήματα καρδιολογίας. Η ίδια προσέγγιση είναι αρκετά χρήσιμη για την παρακολούθηση ασθενών με διαβήτη.

7.5.1.1 DNA βασισμένο σε νανορομποτ

Η φύση επέλεξε το DNA ως κύριο φορέα πληροφοριών. Η μετατροπή ενέργειας, η αίσθηση, κ.α., είναι ορισμένες ιδιότητες που κάνουν το DNA μια ελκυστική επιλογή για την κατασκευή τεχνικών νανομηχανών. Τα τελευταία χρόνια το DNA έχει βρει χρήση όχι μόνο στην μηχανική-χημική, αλλά επίσης σε νανοηλεκτρονικά συστήματα [7.20]. Ένα DNA διπλό ελικοειδές μόριο είναι περίπου 2nm σε διάμετρο και 3.4-3.6nm ανά έλικα, οποιασδήποτε σύνθεσης και ας είναι. Μια δομική ομοιομορφία δεν είναι εφικτή με πρωτεϊνικές δομές έστω και αν γίνει μια αλλαγή αλληλουχίας. Ένα δίκλωνο DNA (ds-DNA) έχει μήκος περίπου 50 nm [7.37], το οποίο παρέχει αρκετή ακαμψία για να είναι ένα υποψήφιο συστατικό μιας μοριακής μηχανής. Το μονόκλωνο DNA (ss-DNA) είναι πολύ εύκαμπτο και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όταν ζητείται ακαμψία. Ωστόσο η ευελιξία αυτή επιτρέπει την εφαρμογή της σε εξαρτήματα μηχανών όπως στροφείς και νανοενεργοποιητές.

Ο Dr. Nadrian Seeman και οι συνεργάτες του, δημιούργησαν τη πρώτη τεχνητή δομή βασισμένη στο DNA, σε μορφή ενός κύβου, το 1991. Δημιούργησαν τότε πιο πολύπλοκες δομές, όπως κόμβοι και δαχτυλίδια [7.21]. Εκτός από τα επιμέρους κατασκευάσματα, 2D συστοιχίες με τη βοήθεια του double-crossover (DX) DNA. Αυτό το DX μόριο έδωσε τη δομική ακαμψία που απαιτείται για τη δημιουργία μιας δυναμικής μοριακής συσκευής, του διακόπτη B-Z (B-Z switch). Οι επαναλαμβανόμενες περιοχές με βάση CG, μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς διαμόρφωσης αλλάζοντας την ιονική συγκέντρωση [7.22]. Ο διακόπτης έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τρία κυκλικά σκέλη από DNA, δύο από αυτά τυλιγμένα γύρω από ένα κεντρικό σκέλος, το οποίο είχε CG επαναλαμβανόμενη περιοχή στη μέση. Το DNA που βασίζεται σε νανομηχανές και νανορομπότ χρησιμοποιήθηκε για την ταυτοποίηση καρκινικής περιοχής στο σώμα. Αυτά τα νανορομπότ βασισμένα στο DNA είναι δείκτες ανίχνευσης πολλών τύπων καρκίνου.

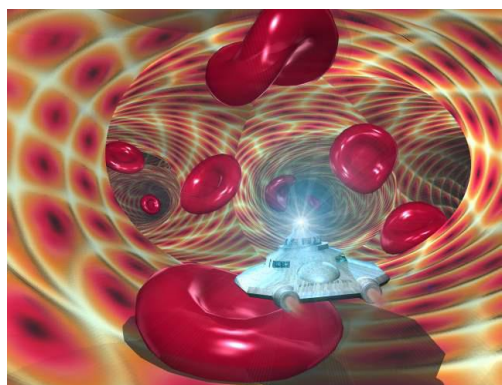
7.5.1.2 Εφαρμογές των νανορομποτ στην διάγνωση νόσου

Τα νανορομπότ αναμένεται να επιτρέψουν νέες θεραπείες για ασθενείς που πάσχουν από διάφορες ασθένειες και θα οδηγήσουν σε αξιοσημείωτη πρόοδο στην ιστορία της ιατρικής. Υπάρχει πρόοδος σε μελέτες που απευθύνονται σε βιοαισθητήρες και νανοκινητικές συσκευές [7.23], που απαιτούνται για να καταστούν δυνατά τα νανορομπότ στις ιατρικές επεμβάσεις. Θα βοηθήσει ασθενείς που χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση λειτουργιών του σώματος τους ή θα βελτιώσει θεραπείες μέσω της έγκαιρης διάγνωσης πιθανών σοβαρών ασθενειών [7.24]. Τα νανορομπότ θα μπορούν να συνδεθούν σε φλεγμονώδη κύτταρα ή στα λευκά κύτταρα του αίματος, φθάνοντας έτσι στην φλεγμονή του ιστού γρηγορότερα για να βοηθήσουν στην διαδικασία επούλωσης. Θα εφαρμόζονται στην χημειοθεραπεία για την καταπολέμηση του καρκίνου [7.25], μέσω ακριβούς χορήγησης χημικής δοσολογίας και μια παρόμοια προσέγγιση θα μπορούσαν να παραδώσουν νανορομπότ αντι-HIV φάρμακα. Θα υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης χημικών αντιδράσεων στο ανθρώπινο σώμα, όπως επίσης, των επιπέδων γλυκόζης για ασθενείς που πάσχουν από διαβήτη [7.26].

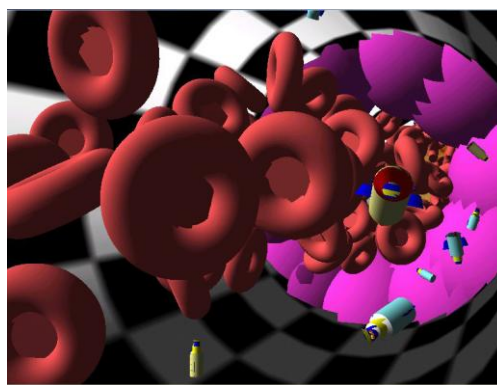
7.5.1.3 Νανορομπότ στη νόσο

Οι ασθενείς με διαβήτη πρέπει να λαμβάνουν δείγμα αίματος πολλές φορές την ημέρα για τον έλεγχο των επιπέδων γλυκόζης. Οι διαδικασίες αυτές είναι εξαιρετικά δυσάρεστες και άβολες. Σοβαρά προβλήματα μπορεί να επηρεάσουν τα αγγεία αν δεν είναι σωστά τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα. Ακατάλληλη γλυκόζη μπορεί να οδηγήσει σε ένα μεγάλο φάσμα συνεπειών, για το νευρικό σύστημα, τα νεφρά, τα μάτια, να επιδεινώνουν καρδιακά προβλήματα και μπορεί να οδηγήσει σε εγκεφαλικό επεισόδιο [7.25]. Το επίπεδο σακχάρου στο σώμα μπορεί να παρατηρηθεί μέσω σταθερής παρακολούθησης της γλυκόζης με τη χρήση νανορομπότ. Αυτά τα σημαντικά δεδομένα μπορεί να βοηθήσουν στην επίβλεψη και βελτίωση της φαρμακευτικής αγωγής των ασθενών και της διατροφής τους. Ένα κινητό τηλέφωνο είναι αρκετό για τη μεταφορά δεδομένων και την παρακολούθηση. Αν ο γιατρός θέλει

να παρακολουθήσει τις τρέχουσες θέσεις των νανορομπότ μπορεί να γίνει σε κλινική ή ακόμα και από το σπίτι με τουλάχιστον δυο επιπλέον πομπούς, οι οποίοι μπορεί να περιλαμβάνουν άλλα βοηθητικά προγράμματα εκ των προτέρων για κινητά τηλέφωνα ή συσκευές επικοινωνίας [7.28].



Εικόνα 7.4 α) NCD απεικόνιση



β) Νανορομπότ για αρτηριακή απόφραξη

7.5.1.4 Θεραπεία αρτηριακής απόφραξης

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των ιατρικών νανορομπότ θα είναι η ικανότητα να εντοπίζουν αθηροσκληρωτικές βλάβες σε στενωμένα αιμοφόρα αγγεία, ιδιαίτερα στην στεφανιαία κυκλοφορία και να τα θεραπεύουν μηχανικά, χημικά ή φαρμακολογικά [7.29]. Καρδιαγγειακά προβλήματα σχετίζονται με την παχυσαρκία, την καθιστική ζωή ή με κληρονομικά χαρακτηριστικά. Τα καρδιακά προβλήματα είναι η πιο συχνή παγκόσμια αιτία θανάτου. Στο αίμα βρίσκονται τα λευκά, ερυθρά αιμοσφαίρια και αιμοπετάλια. Το πλάσμα αντιπροσωπεύει το 55% του όγκου του αίματος, το οποίο είναι το 8% του βάρους του σώματος, με μέγεθος των ερυθρών κυττάρων περίπου 7.5 μm σε διάμετρο και 2 μm σε πάχος. Τα αιμοπετάλια είναι 2 έως 4 μm σε διάμετρο [7.30]. Η καρδιά κρατά το κλειστό κυκλοφοριακό σύστημα σε συνεχή λειτουργία, εκτελώντας βασικό ρόλο για την ανθρώπινη ευημερία, την παράδοση O_2 στους ιστούς, η οποία επιστρέφει CO_2 στους πνεύμονες. Το αίμα αντλείται από την αριστερή κοιλία μέσω των αρτηριών και αρτηριδίων στον τριχοειδή. Μετά από αυτό ρέει από τα φλεβίδια στις φλέβες πίσω στο δεξιό κόλπο, συμπληρώνοντας την συστηματική κυκλοφορία. Στον δεξιό κόλπο το αίμα αντλείται

μέσω των πνευμόνων. Οι πνεύμονες ισορροπούν το O₂ και το CO₂ στις κυψέλες (εικόνα 7.4) [7.31].

Τα νανορομποτ θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με τις απαραίτητες συσκευές για την παρακολούθηση των πιο σημαντικών πτυχών της παθογένειας της νόσου. Ομάδες νανορομποτ θα μπορούν να συνεργάζονται για την εκτέλεση επεξεργασίας υπολογισμών, παροχή ενέργειας και μετάδοση των δεδομένων, χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας που προέρχεται από τα VLSI [7.32].

7.5.1.5 Χαρακτηριστικά της γρίπης

Η μόλυνση μπορεί να συμβεί μέσω της εισπνοής, κατάποσης ή την άμεση επαφή από το χέρι. Ο ιός της γρίπης εισβάλλει στα κύτταρα κάνοντας χρήση των ενζύμων για να μειώσει το ενδοκυτταρικό pH, έχοντας μια ελαφριά αύξηση ενδοκυτταρικής θερμοκρασίας, η οποία χρησιμοποιείται για να επιταχύνει την δραστηριότητα του ιού [7.33]. Πριν παρουσιάσει ένα άτομο τα συμπτώματα της γρίπης, η κυκλοφορία του αίματος αρχίζει να λαμβάνει υψηλότερη συγκέντρωση της alpha-N-acetylgalactosaminidase (alpha-NAGA), η οποία εκκρίνεται από τα κύτταρα που εισέβαλαν. Η πρωτεΐνη αιμοσυγκολλητίνης (hemagglutinin) χρησιμεύει ως περίβλημα του ιού της γρίπης προωθώντας alpha-NAGA σήματα. Η alpha-NAGA πρωτεΐνη προσδιορίζεται μέσω της χαρτογράφησης του γονιδιώματος, το οποίο ανήκει στο χρωμόσωμα 22. Η έλλειψη των μακροφάγων που προκύπτει από την έκκριση του alpha-NAGA ένζυμου μέσω των μολυσμένων κυττάρων, οδηγεί σε ανοσοκαταστολή και βοηθά την εξάπλωση του ιού μέσα στο σώμα. Έτσι, αυτή η αλλαγή της χημικής συγκέντρωσης στο αίμα, χρησιμοποιείται για ενεργοποίηση της προγνωστικής συμπεριφοράς των νανορομποτ, τα οποία στέλνουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα στο κινητό του ανθρώπου, ως ένα ολοκληρωμένο βιολογικό αμυντικό σύστημα [7.34].

7.5.1.6 Νανορομπότ στην ανίχνευση καρκίνου και θεραπεία

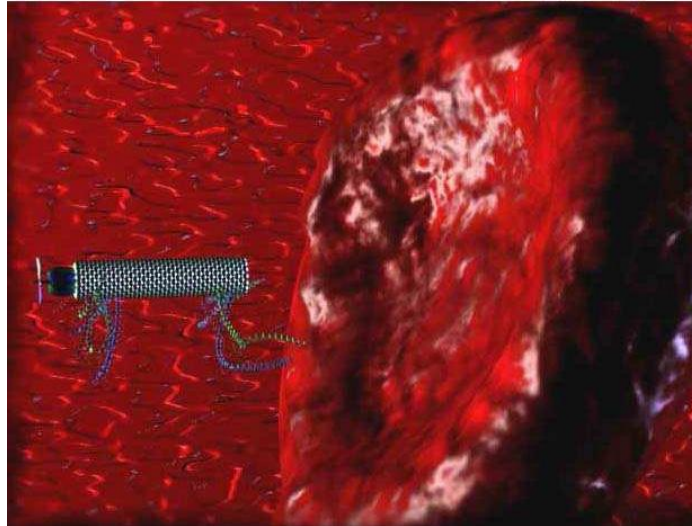
Τα νανορομπότ θα μπορούσαν να είναι πολύ χρήσιμα και ελπιδοφόρα στην θεραπεία ασθενών με καρκίνο, δεδομένου ότι οι τρέχουσες θεραπείες όπως οι ακτινοβολίες και η χημειοθεραπεία, συχνά καταλήγουν να καταστρέφουν περισσότερα υγιή κύτταρα παρά τα καρκινικά. Θα είναι σε θέση να διακρίνουν διαφορετικά είδη κυττάρων τα οποία είναι τα καρκινικά και τα φυσιολογικά ελέγχοντας τα αντιγόνα των επιφανειών τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση χημειοτακτικών αισθητήρων οι οποίοι ενεργοποιούνται με ένα συγκεκριμένο αντιγόνο στα καρκινικά κύτταρα (εικόνα 7.5). Χρησιμοποιώντας χημικούς αισθητήρες μπορούν να προγραμματιστούν για να ανιχνεύουν διάφορα επίπεδα της E-Catherin και Beta-Catenin, στην πρωτογενή και μεταστατική φάση. Τα ιατρικά νανορομπότ θα καταστρέφουν μόνο αυτά τα κύτταρα.

Οι ακόλουθες μέθοδοι εξετάζονται:

Τυχαία: νανορομπότ κινούνται παθητικά με το ρευστό επιτυγχάνοντας τον στόχο μόνο αν χτυπήσουν σε αυτόν λόγω της κίνησης Brown.

Ακολουθώντας την κλίση της συγκέντρωσης: νανορομπότ παρακολουθούν την σύγκεντρωση της E-Catherin, όταν ανιχνευθούν και πάρουν μετρήσεις, ακολουθούν την κλίση της συγκέντρωσης μέχρι να φτάσουν στον στόχο.

Ακολουθώντας την κλίση της συγκέντρωσης με προσέλκυση: εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας, αλλά όταν τα νανορομπότ φτάσουν στον στόχο, απελευθερώνουν ένα διαφορετικό χημικό σήμα που χρησιμοποιείται από τα άλλα για να βελτιώσουν την ικανότητα τους να βρουν τον στόχο. Έτσι μια υψηλότερη βαθμίδα έντασης σήματος της E-Catherin χρησιμοποιείται ως χημική παράμετρος στην καθοδήγηση εντοπισμού κακοηθών όγκων [7.35].



Εικόνα 7.5 Νανορομπότ για την θεραπεία καρκίνου

7.5.1.7 Έλεγχος νανορομπότ για ανευρύσματα εγκεφάλου

Ενδοαγγειακή θεραπεία των ανευρυσμάτων του εγκεφάλου, αρτηριοφλεβική δυσπλασία και αρτηριοφλεβικά συρίγγια, είναι βιοϊατρικά προβλήματα που αναμένεται να ωφεληθούν από την τρέχουσα έρευνα και τις εξελίξεις στον τομέα της νανορομποτικής στην ιατρική. Η έλευση της βιομοριακής επιστήμης και οι νέες τεχνικές κατασκευής προωθούν την σμίκρυνση των ηλεκτρονικών συσκευών από μικρο σε νάνο. Μια σειρά από πρωτότυπες μοριακές μηχανές ερευνώνται με διαφορετικούς τρόπους για την διάγνωση ανευρυσμάτων. Πιο πολύπλοκες μοριακές μηχανές ή νανορομποτ έχοντας ενσωματωμένα νανοσκοπικά χαρακτηριστικά, αντιπροσωπεύουν νέα εργαλεία για ιατρικές διαδικασίες [7.36]. Για την ανάλυση, υλοποιείται μια πραγματικού χρόνου 3D προσομοίωση με βάση κλινικών δεδομένων, κάνοντας επίδειξη των δυνατοτήτων των νανορομπότ για την ανίχνευση ανευρύσματος. Τέτοια εργαλεία έχουν βοηθήσει σημαντικά την βιομηχανία να επιτύχει ταχύτερη VLSI ανάπτυξη [7.37].

7.6 Έλεγχος των νανορομποτικών συστημάτων

Ο έλεγχος των νανορομποτικών συστημάτων θα μπορούσε να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες:

- i. Μηχανισμοί εσωτερικού ελέγχου

ii. Μηχανισμοί εξωτερικού ελέγχου

Η άλλη κατηγορία θα μπορούσε να είναι το υβρίδιο εσωτερικών και εξωτερικών μηχανισμών ελέγχου.

- **Εσωτερικός έλεγχος – Ενεργητικός και παθητικός**

Αυτός ο τύπος ελέγχου εξαρτάται από τον μηχανισμό της βιοχημικής αίσθησης και της εκλεκτικής σύνδεσης των διαφόρων βιομορίων με διάφορα άλλα στοιχεία. Αυτή είναι μια παραδοσιακή μέθοδος, η οποία είναι σε χρήση αρκετά για τον σχεδιασμό βιομορίων. Χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες των διαφόρων βιομορίων και συνδυάζοντας την γνώση του μορίου – στόχου, οι μηχανισμοί αυτοί θα μπορούσαν να είναι αποτελεσματικοί. Αλλά και πάλι αυτός είναι ένας παθητικός μηχανισμός ελέγχου, όπου κατά το χρόνο εκτέλεσης αυτά τα βιομόρια δεν μπορούν να αλλάξουν τη συμπεριφορά τους. Μόλις προγραμματιστούν για ένα συγκεκριμένο είδος μοριακής αλληλεπίδρασης, αυτά τα μόρια θα επιμείνουν σε αυτό. Εδώ έγκειται το βασικό ζήτημα για τον έλεγχο των νανορομπότ που υποτίθεται ότι είναι ευφυή και ως εκ τούτου προγραμματισμένα και ελεγχόμενα έτσι ώστε να είναι αποτελεσματικά σε οποιαδήποτε δυναμικά περιβάλλοντα. Για την επίτευξη του εσωτερικού ελέγχου, η έννοια των μοριακών υπολογιστών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. DNA υπολογιστές είχαν παρουσιαστεί πριν μια δεκαετία για την λύση ενός μαθηματικού προβλήματος με την χρήση DNA μορίων. Οι βιομοριακοί υπολογιστές έχουν σχεδιαστεί για την ανάλυση βιολογικών πληροφοριών, οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν και να θεραπεύσουν τον καρκίνο σε εργαστηριακές συνθήκες. Ο μοριακός υπολογιστής έχει μια μονάδα εισόδου-εξόδου που δρώντας από κοινού μπορεί να διαγνώσει μια συγκεκριμένη ασθένεια και να παράξει φάρμακο για θεραπεία της ασθένειας [7.38].

- **Εξωτερικός μηχανισμός ελέγχου**

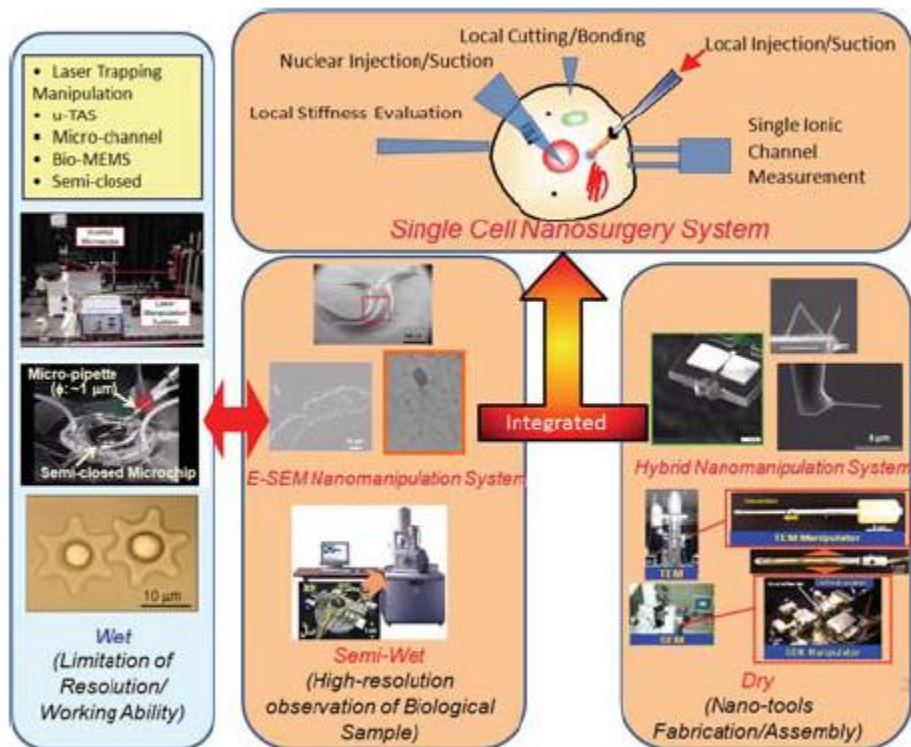
Αυτός ο τύπος μηχανισμού ελέγχου επηρεάζει την δυναμική των νανορομπότ στο περιβάλλον εργασίας τους μέσω εφαρμογής εξωτερικών πεδίων. Οι ερευνητές αναζητούν την χρήση μαγνητικής τομογραφίας MRI ως ένα εξωτερικό μηχανισμό ελέγχου για την καθοδήγηση των νανοσωματιδίων.

Ένα MRI σύστημα είναι ικανό να παράγει μεταβλητό μαγνητικό πεδίο σε διαφορετικές κλίσεις ασκώντας δύναμη σε τρεις διαστάσεις και συνεπώς να ελέγχουν την κίνηση και τον προσανατολισμό των νανορομποτ [7.39]. Άλλες δυνατότητες που διερευνώνται είναι η κατηγορία των υβριδίων μηχανισμών ελέγχου, όπου ο στόχος καθορίζεται από ένα εξωτερικό σύστημα πλοήγησης αλλά η συμπεριφορά των νανορομποτ καθορίζεται σε τοπικό επίπεδο μέσω ενεργού εσωτερικού μηχανισμού ελέγχου [7.40].

7.7 Ερευνητικά Πειράματα

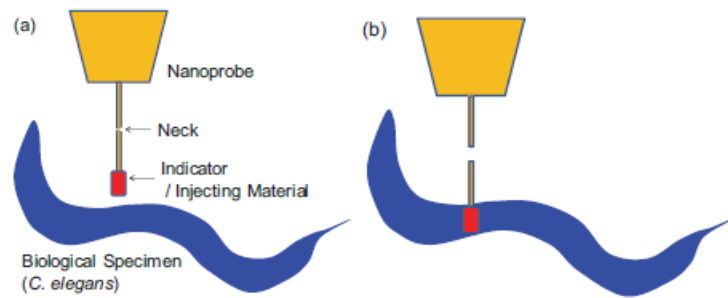
7.7.1 Άμεση νανο-ένεση σε κύτταρο

Η νανοβιοεπιστήμη και η τεχνολογία διερευνώνται μέσω μικρο/νανο τεχνικών βάσει τοπικών περιβαλλοντικών μετρήσεων και ελέγχων [7.43]. Έχει αναπτυχθεί ένα νανο χειρουργικό σύστημα για κύτταρα, βασισμένο σε μικρο/νανο έλεγχο κάτω από διάφορα μικροσκόπια με υγρές / ημι-υγρές / ξηρές συνθήκες. Η τοπική αξιολόγηση δυσκαμψίας, τοπικής κοπής και τοπικής εκχύλισης βιολογικού οργανισμού βασίζεται σε ένα περιβάλλον ηλεκτρονικής σάρωσης μικροσκοπίου (E-SEM), νανορομποτικού συστήματος χειρισμού για διάγνωση και χειρουργική επέμβαση σε κυτταρικό επίπεδο, (εικόνα 7.6) [7.44, 7.45]. Χρησιμοποιώντας συμβατικά ηλεκτρονικά μικροσκόπια χρειάζεται θάλαμος κενού για απεικόνιση υψηλής ανάλυσης σε νανο κλίμακα. Από την άλλη πλευρά η E-SEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση παρατήρηση δειγμάτων που περιέχουν νερό με υψηλή ανάλυση από ειδικούς κατασκευασμένους ανιχνευτές ηλεκτρονίων. Η εξάτμιση του νερού ελέγχεται από την χαμηλή θερμοκρασία του δείγματος και την υψηλή πίεση του θαλάμου. Στην εργασία αυτή συνδυάζεται το OM και E-SEM για τη βιολογική ανάλυση του δείγματος από το οπτικό μικροσκόπιο, συμπεριλαμβανομένης της απεικόνισης φθορισμού και του νανο ελέγχου από την E-SEM απεικόνιση. Αυτό το σύστημα θα εφαρμοστεί ως μελλοντικό σύστημα νανο χειρουργικής επέμβασης.

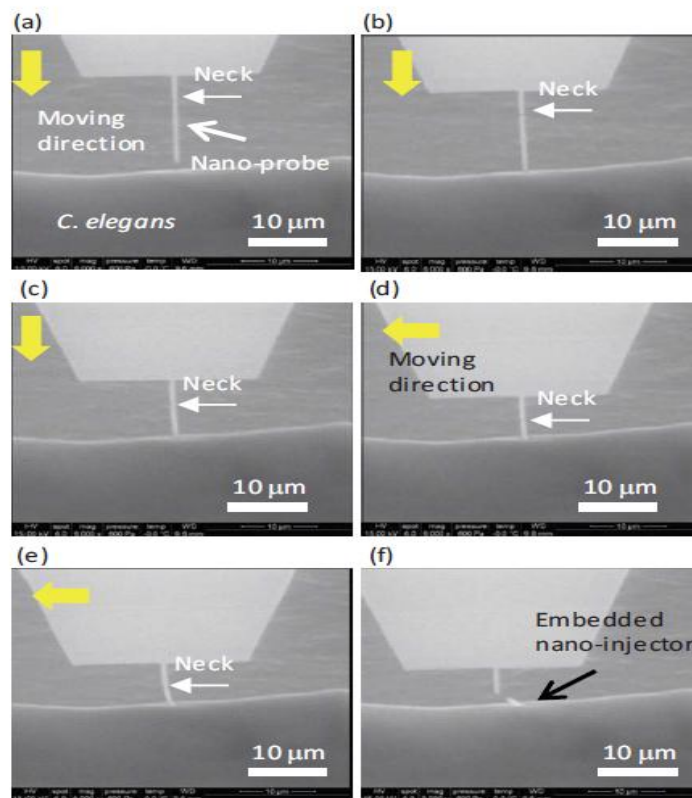


Εικόνα 7.6 Κυτταρική νανοχειρουργική

Η εικόνα 7.7, δείχνει τον τρόπο της νανο-εγχύσεως διαδικασίας με την εισαγωγή του nanoprobe. Το nanoprobe έχει ένα λαιμό για να σπαστεί σε δύο μέρη μετά την εισαγωγή στο βιολογικό δείγμα. Στην άκρη του, το όργανο ένδειξης ή το υλικό της ένεσης, μπορούν να συνδεθούν και να καλύπτονται από υλικά στεγανοποίησης. Σημαντικό είναι να γίνει ελάχιστη ζημιά στο βιολογικό δείγμα από το nanoprobe. Το υβριδικό μικροσκόπιο μπορεί να παρατηρήσει και να καθορίσει το σημείο έγχυσης αλλά και την κατάσταση βιωσιμότητας του βιολογικού δείγματος. Το πλάτος του nanoprobe είναι στα 600nm και το πλάτος του λαιμού στα 200nm. Η ακμή του είναι αιχμηρή για να εισαχθεί στο βιολογικό δείγμα ομαλά και η γωνία της είναι στις 45°. Είναι κατασκευασμένο από εστιασμένη δέσμη ιόντων (FIB).



Εικόνα 7.7 Σχηματική νανο-έγχυση



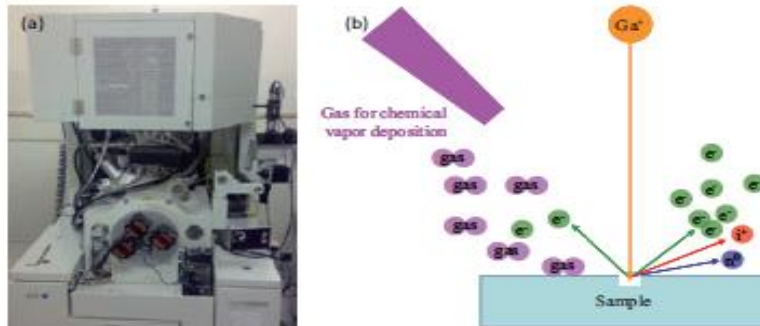
Εικόνα 7.8 Πειραματικά αποτελέσματα της ενσωμάτωσης nanoprobe

Η τεχνική της άμεση νανοένεσης είναι απαραίτητη για την μεταφορά φοριζόντων υλικών ή ειδικών βιολογικών οργανισμών σε ένα κύτταρο. Αυτό το σύστημα θα εφαρμοστεί ως βάση για μελλοντικά συστήματα νανοχειρουργικής επέμβασης για κατανόηση γονίδιο-παράδοση ή ηλεκτροφυσιολογικές εφαρμογές και διάγνωση κυττάρων [7.46-7.63].

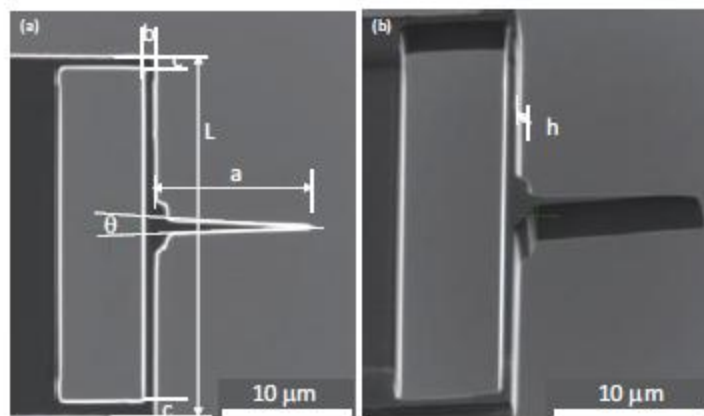
7.7.2 Νανο μαχαίρι κοπής κυττάρου

Τα βιολογικά κύτταρα παίζουν σημαντικό ρόλο στις δραστηριότητες της ζωής. Πειράματα βασισμένα στην ανάλυση των κυττάρων μπορούν να δώσουν μόνο αντιπροσωπευτικά βιολογικά αποτελέσματα. Έρευνες σε μεμονωμένα κύτταρα μπορούν να ωφελήσουν στην κατανόηση βιολογικών διαδικασιών [7.64]. Η κοπή ενός κυττάρου είναι σημαντική στην ανάλυση των κυττάρων. Για παράδειγμα, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την παρασκευή δείγματος κυττάρου [7.65-7.67]. Θα επωφεληθεί η νανο χειρουργική και αλλά πεδία που σχετίζονται με αυτή. Γενικά, μαχαίρια από διαμάντι και γυαλί χρησιμοποιούνται για την κοπή κυτταρικού δείγματος. Ωστόσο, τα μαχαίρια αυτά έχουν πάντα γωνία ακμής μεγαλύτερη από 20° . Εκεί κάμπτεται τα τμήματα απότομα, προκαλώντας συμπίεση στην άνω επιφάνεια του τμήματος σε σχέση με την κάτω [7.68]. Η δύναμη συμπίεσης που προκαλείται από τη γωνία ακμής του μαχαιριού επηρεάζει την εσωτερική δομή του δείγματος, ή ακόμα μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές την επιφάνεια του δείγματος. Ένα μαχαίρι κλίμακας νανο, κατασκευασμένο από νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) έχει αναπτυχθεί για να αντικαταστήσει τη συμβατική κοπή κυττάρου με μαχαίρι από διαμάντι [7.69]. Το νανο μαχαίρι κατασκευάστηκε με συγκόλληση μιας νανοσωλήνας άνθρακα σε δύο βελόνες, σε SEM (scanning electron microscope) μικροσκόπιο. Αυτή η κατασκευή μείωσε την γωνία κοπής του δείγματος, λόγω της μικρής διαμέτρου. Ταλαντευόμενο μαχαίρι προτάθηκε από κάποιους ερευνητές [7.70,7.71] Το αποτέλεσμα δείχνει ότι η συμπίεση του δείγματος μπορεί να μειωθεί σημαντικά χρησιμοποιώντας ταλαντευόμενο μαχαίρι από διαμάντι. Επιπλέον, η ταλαντευόμενη κοπή δείγματος πραγματοποιήθηκε σε χαμηλή θερμοκρασία (γύρω στους -30° C). Έτσι, οι δραστηριότητες του κυττάρου κατά την διάρκεια και μετά την κοπή ήταν δύσκολο ή ακόμη και αδύνατο να μελετηθούν. Η κοπή κυττάρου στο φυσικό του περιβάλλον χρησιμοποιώντας την παραδοσιακή μέθοδο κοπής με μαχαίρι από διαμάντι είναι επίσης δύσκολη λόγω του μικρού μεγέθους του κυττάρου. Συνεπώς, μια αποτελεσματική ενιαία τεχνική κοπής κυττάρων στο μητρικό τους περιβάλλον είναι απαραίτητη για να πραγματοποιηθούν βιολογικές έρευνες, όπως η χειρουργική κυττάρου. Μέσω του ESEM μικροσκοπίου δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης των βιολογικών δειγμάτων σε περιβάλλον υψηλής υγρασίας (έως 100% του επιπέδου υγρασίας) σε νανοκλίμακα. Έχει αναπτυχθεί νανορομποτικό σύστημα εντός ενός συστήματος ESEM [7.72,7.73].

Το νανο μαχαίρι κατασκευάστηκε με χρήση εστιασμένης δέσμης ιόντων (FIB), (εικόνα 7.9). Σε γενικές γραμμές, το FIB όργανο είναι παρόμοιο με ένα μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων (SEM), εκτός από ότι η δέσμη πάνω στο δείγμα είναι μια δέσμη ιόντων αντί δέσμης ηλεκτρονίων.

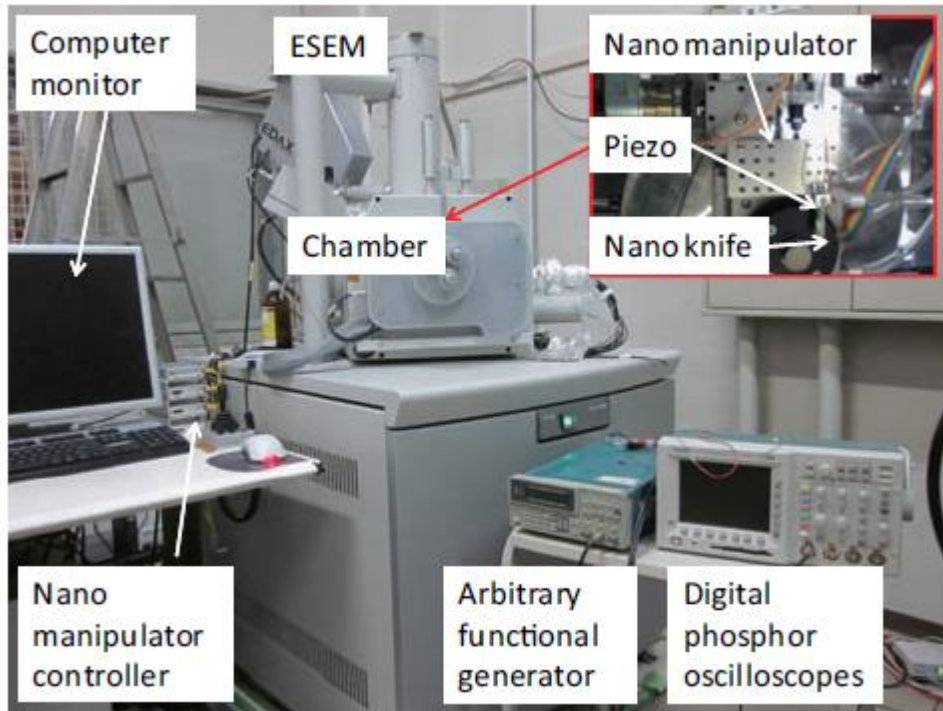


Εικόνα 7.9 FIB όργανο και ο μηχανισμός του



Εικόνα 7.10 FIB εικόνες του νανομαχαιριού

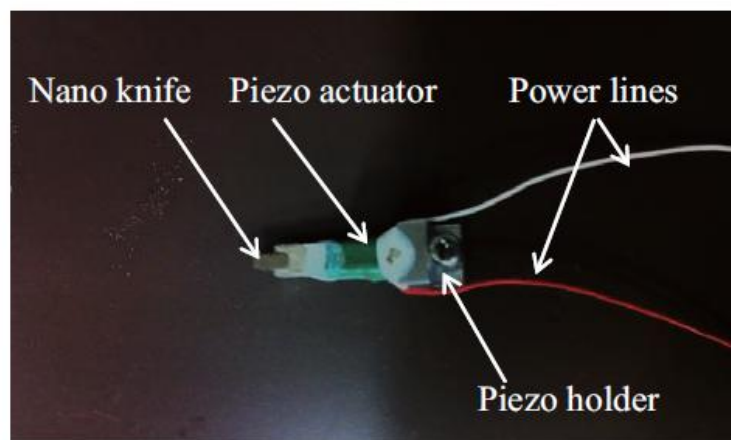
Αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο περιβαλλοντικό ηλεκτρονικής σάρωσης μικροσκόπιο (ESEM), σε αντίθεση με τα συμβατικά SEM, ESEM, επιτρέπει σε μαλακά, υγρά ή και ηλεκτρικά μονωτικά υλικά να απεικονιστούν χωρίς προετοιμασία του δείγματος [7.74-7.76].



Εικόνα 7.11 Πειραματική διάταξη

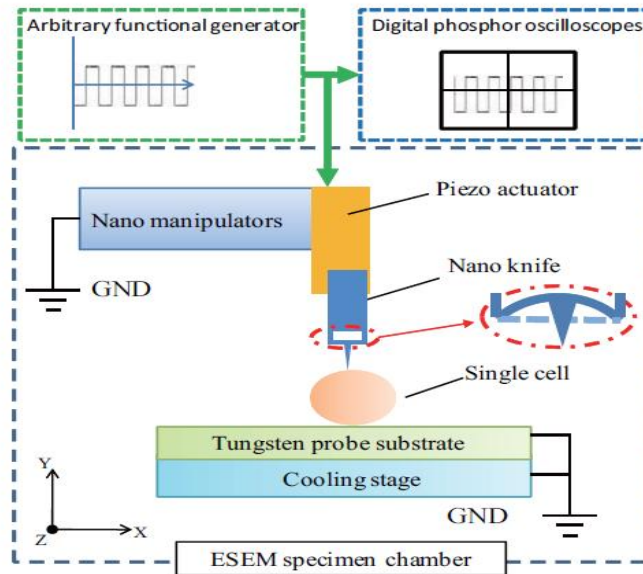
Η συναρμολόγηση του νανομαχαιριού και του πιεζοηλεκτρικού ενεργοποιητή φαίνεται στην εικόνα 7.12. Το νανο μαχαίρι ακινητοποιείται στο ένα άκρο του πιεζοενεργοποιητή ενώ στο άλλο εισήχθη μία υποδοχή η οποία μπορεί να είναι στερεωμένη στον βραχίονα ενός νανορομποτ.

Η συχνότητα ταλάντωσης και το πλάτος της, ελέγχεται από μια λειτουργική γεννήτρια, ενώ το παραγόμενο κύμα επίσης ελέγχεται από ένα ψηφιακό παλμογράφο σε πραγματικό χρόνο.

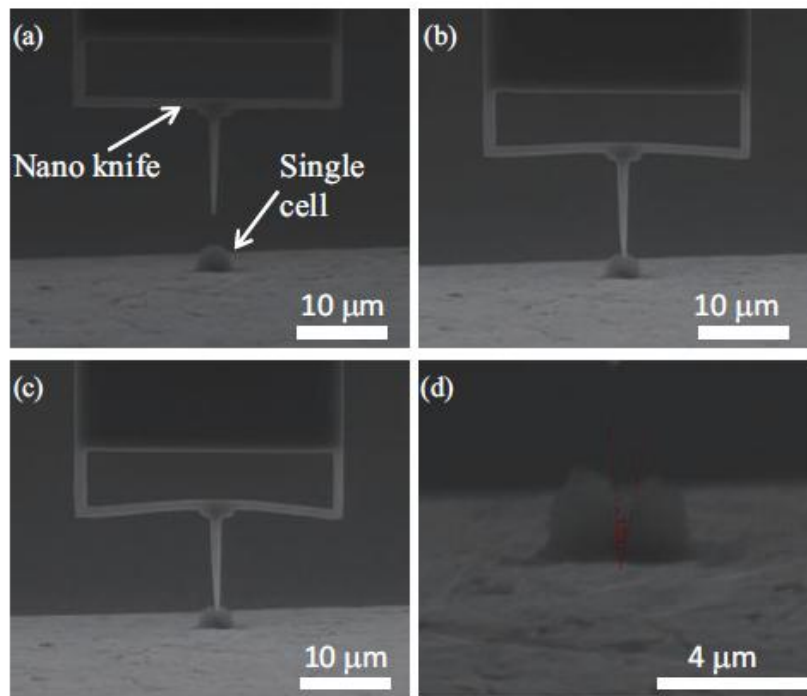


Εικόνα 7.12 Η Συναρμολόγηση του νανομαχαιριού και του ενεργοποιητή

Ένα σχηματικό διάγραμμα του πειράματος κοπής κυττάρων φαίνεται στην εικόνα 7.13. Στο πείραμα αυτό, το νανομαχαίρι ταλαντεύεται με πλάτος 0.36 μm και συχνότητα 100 Hz, οδηγούμενο από νανο ρομποτικό βραχίονα κόβοντας το κύτταρο σε δυο μέρη. Στην εικόνα 7.14α-γ φαίνονται όλα τα βήματα κοπής ενός μόνο κυττάρου από το νανομαχαίρι. Η μέγιστη δύναμη κοπής ήταν 55.6 μN και η γωνία περίπου 16° σε αυτό το πείραμα.



Εικόνα 7.13 Σχηματικό διάγραμμα κοπής κυττάρου



Εικόνα 7.14 Κοπή κυττάρου

Η κοπή κυττάρων με τη χρήση νανο ταλαντευόμενου μαχαιριού διεξήχθη επιτυχώς με τη χρήση ελέγχου νανορομπότ μέσα σε ESEM. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η ισχύς του νανομαχαιριού ήταν ικανή για την κοπή των κυττάρων. Αυτό το νανομαχαίρι είχε γωνία ακμής μόνο 5° , η οποία ήταν πολύ μικρότερη από το μαχαίρι διαμαντιού (μεγαλύτερο από 20°). Η μικρή ακμή του μαχαιριού σε συνδυασμό με την κοπή ταλάντωσης θα μπορούσε να μειώσει την συμπίεση στο κύτταρο. Όπως μπορούμε να δούμε από τα αποτελέσματα το ενιαίο κύτταρο διαμέτρου $4 \mu\text{m}$ κόπηκε σε δύο μέρη χωρίς να διαλυθεί. Η γωνία τομής μεταξύ των δυο τμημάτων ήταν περίπου 16° και η παραμόρφωση του κυττάρου κατά την διάρκεια και μετά την κοπή ήταν πολύ μικρή. Η παραδοσιακή μέθοδος για την αξιολόγηση της συμπίεσης βασίζεται στην παρατήρηση του δείγματος μετά την κοπή, στο οποίο απαιτείται ένα μακρύ χρονικό διάστημα. Στην μέθοδο μας, η παραμόρφωση της δοκού του νανομαχαιριού και του κυττάρου μπορεί να φανεί άμεσα και η δύναμη ταλαντώσεως κοπής μπορεί να μετρηθεί επίσης. Επομένως, η μελέτη συμπίεσης σε κύτταρο είναι ευκολότερη, η αξιολόγηση και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας μπορεί να πραγματοποιηθεί γρηγορότερα.

Ως συμπέρασμα το ταλαντευόμενο νανο μαχαίρι είναι ικανό για μια κοπή κυττάρων. Σε μελλοντικές εργασίες, θα μελετηθεί η επίδραση ορισμένων σημαντικών παραμέτρων για την κοπή των κυττάρων δηλαδή, το πλάτος ταλάντωσης και η συχνότητα. Η μέγιστη δύναμη κοπής και η γωνία, μετά τον τεμαχισμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί η ποιότητα κοπής. Στην συνέχεια, μπορεί να υλοποιηθεί το σχέδιο βελτιστοποίησης του νανομαχαιριού και η βελτίωση των παραμέτρων κοπής.[7.77-7.80].

7.8 Συμπέρασμα

Η έλευση της μοριακής νανοτεχνολογίας επεκτείνει την αποτελεσματικότητα και την ταχύτητα των μελλοντικών ιατρικών θεραπειών, ενώ την ίδια στιγμή μειώνεται σημαντικά το κόστος. Η νανοϊατρική μπορεί να αντιμετωπίσει πολλά και σημαντικά προβλήματα υγείας από την χρήση νανο-υλικών και νανοσυσκευών. Αυτό περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση των νανο-υλικών με τα βιολογικά συστήματα. Αρχιτεκτονική νανορομπότ για την διαβίβαση των στοιχείων, κατασκευαστική προσέγγιση και τηλεμετρικός έλεγχος, έχουν παρουσιαστεί σε πρόσφατες ευρεσιτεχνίες. Επίσης τα κινητά τηλέφωνα μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή των νανορομπότ στην θεραπεία ασθενειών. Εν τω μεταξύ μέθοδοι κατασκευής μπορεί να προχωρήσουν σταδιακά. Η χρήση υπολογιστικής μηχανικής και εικονικής πραγματικότητας μπορεί να βοηθήσει στην δημιουργία αισθητήρων και ενεργοποιητών που σχετίζονται με τον εξοπλισμό των νανορομπότ, συσκευών ραδιοσυχνότητας , συσκευών αναγνώρισης και στην πρόοδο της νανοβιοτεχνολογίας.

Οι νέες τεχνολογίες στην κατασκευή επιτρέπουν καινοτόμα έργα και ευρεσιτεχνίες τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην δημιουργία αποτελεσματικών νανορομπότ. Η εφαρμογή 3D προσομοιωτή είναι ένα πρακτικό εργαλείο για την εξερεύνηση νέων τεχνικών, στρατηγικών νανοπαραγωγής και εκτίμησης της κινητικότητας των νανορομπότ, βοηθώντας τους σχεδιαστές να καθορίσουν μια κατάλληλη αρχιτεκτονική της μοριακής μηχανής. Η κοινή χρήση των νανοσωλήνων και της νανοφωτονικής επιτυγχάνουν περαιτέρω τα πραγματικά επίπεδα της CMOS ανάλυσης στα 45 nm. Το μέλλον των βιονανορομπότ είναι λαμπρό. Είμαστε στην αυγή μιας νέας εποχής στην οποία πολλοί κλάδοι θα συγχωνευτούν,

συμπεριλαμβανομένων της ρομποτικής, της μηχανικής, της χημείας, της βιοϊατρικής, της βιολογίας, των μαθηματικών και της φυσικής, έτσι ώστε να αναπτυχθούν πλήρως λειτουργικά συστήματα. Κατά τη διάρκεια της βιοτεχνολογίας τα επόμενα πέντε έως δέκα χρόνια θα καταστεί δυνατή ακόμα πιο αξιοσημείωτη πρόοδο στην μοριακή ιατρική. Το πρώτο μισό του 21^{ου} αιώνα η νανοϊατρική θα εξαλείψει όλες τις κοινές ασθένειες του 20^{ου} αιώνα. Η έρευνα και η ανάπτυξη των νανορομπότ για κοινή εφαρμογή σε τομείς όπως η ιατρική και η αμυντική τεχνολογία θα οδηγήσει σε ένα ασφαλέστερο και υγιέστατο μέλλον. Η έλευση της μοριακής νανοτεχνολογίας θα επεκτείνει την αποτελεσματικότητα, την άνεση και την ταχύτητα των μελλοντικών ιατρικών θεραπειών, μειώνοντας σημαντικά τον κίνδυνο και το κόστος.

Κεφάλαιο 8. LABYRINTH

8.1 Εισαγωγή

Το Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου συμπλήρωσε το 2013 είκοσι τρία χρόνια επιστημονικής δραστηριότητας. Από το 2001 αποτελεί θεσμοθετημένο εργαστήριο της Σχολής, με κύριο στόχο να εξυπηρετεί εκπαιδευτικές και ερευνητικές ανάγκες στα γνωστικά αντικείμενα της Βιοϊατρικής Τεχνολογίας και των εφαρμογών της, ιδίως δε σε επιστημονικούς τομείς όπως: εμβιομηχανική, κλινική μηχανική, τηλεματική, νευρωνικά δίκτυα, ρομποτική χειρουργική κλπ. Ο διευθυντής του εργαστηρίου και καθηγητής του Ε.Μ.Π κ. Δημήτριος Κουτσούρης, μας έκανε την τιμή να συμμετέχουμε στην ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου, η οποία μετά από πολυετή προσπάθεια και έρευνα παρουσίασε το σχέδιο “ LABYRINTH”, ως μια πρόταση στην επιστημονική κοινότητα, η οποία κατά τη γνώμη μας αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση σε θέματα μη επεμβατικής χειρουργικής.

Το ακρωνύμιο του σχεδίου “LABYRINTH” , “Life Aided By Robotic Intrabdominal Therapists”, σημαίνει ζωή με την βοήθεια ρομποτικών ενδοκοιλιακών θεραπειών. Το προκύπτον σύνολο ρομποτικών μονάδων καλείται στο εξής “MINOS-MR” (Minimal Invasive and Natural Orifice Surgical Micro-Robots) , δηλαδή ελάχιστα επεμβατική και χειρουργικά μικρορομπότ μέσω φυσικών οπών. Στην ενδοσκοπική χειρουργική δια μέσω φυσικών οπών “Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES)”, υπάρχουν ακόμη πολλά ανοιχτά θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν και να επιλυθούν με ένα ολοκληρωμένο και πλήρως λειτουργικό τρόπο. Αρκετοί ερευνητές στο παρελθόν έχουν επιτύχει μεγάλα και σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά μερικά από τα επιμέρους θέματα και η εργασία τους στις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα, δίνουν ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Ο “LABYRINTH” στοχεύει στην προώθηση της τελευταίας λέξης της τεχνολογίας και στην προσφορά μιας συνολικής και ολοκληρωμένης ανάλυσης των όλων προβλημάτων στην NOTES. Το σχέδιο αποσκοπεί στην παροχή στην επιστημονική κοινότητα, μιας ολοκληρωμένης λύσης σε όλες τις σχετικές πτυχές και προσφέρει πλήρη παραδείγματα μελλοντικών εργασιών και εφαρμογών που μπορεί να βασιστεί. Επιπλέον αποσκοπεί στην ολοκληρωμένη ανάλυση και επεξεργασία όλων των σχετικών πτυχών που κυμαίνονται, από το υψηλό επίπεδο ανθρώπου-

μηχανής-διεπαφή και την ανάπτυξη του συστήματος στην καθημερινή χειρουργική πρακτική, στο χαμηλό επίπεδο τεχνικών θεμάτων, όπως παρεμβολές μεταξύ των ασύρματων επικοινωνιών, συστημάτων ασύρματης ενέργειας και ενεργοποιητές. Επιπρόσθετα το σχέδιο στοχεύει στην παροχή καινοτόμων προηγμένων μεθόδων σε MINOS-MR πρωτότυπα και πειραματικών διατάξεων των βασικών τεχνολογικών θεμάτων που σχετίζονται με την NOTES και MINOS-MRs.

Συνολικά, το σχέδιο “LABYRINTH” έχει ως στόχο να αυξήσει τις χειρουργικές ικανότητες των χειρουργών και επιπλέον να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ασθενών. Θα μπορούσε να έχει σημαντικό αντίκτυπο στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, όσον αφορά το χρόνο νοσηλείας, το κόστος και τη γενική διαχείριση της υγείας. Οι προσεγγίσεις και οι μέθοδοι της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής που εφαρμόζονται σήμερα θα μπορούσαν να εξελιχθούν περαιτέρω με τη χρήση αποικιών μικρορομπούτ. Η τηλεχειρουργική επέμβαση θα πρέπει να εξελιχθεί και έτσι οι απόμακροι ή οι απομονωμένοι πληθυσμοί να είναι πλεονέκτημα.

8.2 Μέθοδοι

Βασικοί στόχοι του σχεδίου

Για την επίτευξη του σχεδίου, ο “LABYRINTH” θα αναπτυχθεί γύρω από τρεις κύριους στόχους:

- i. Μελέτη και ανάλυση των απαιτήσεων με στόχο τη λεπτομερή απόκτηση, ανάλυση και επεξεργασία όλων των απαιτούμενων στοιχείων που θα παράσχει μια σταθερή βάση πάνω στην οποία θα βασίζεται ο σχεδιασμός της MINOS-MR.
- ii. Σχεδιασμός και ανάπτυξη μέσω υπολογιστή της συνεργασίας μονάδων αναπροσαρμόσιμων MINOS-MR σύμφωνα με την NOTES και τις εφαρμογές της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής.
- iii. Μελέτες, σχέδια, εξελίξεις, πειράματα και αξιολόγηση των βασικών τεχνολογικών θεμάτων που αποτελούν εμπόδια στην NOTES.

Οι στόχοι αυτοί έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: να παραδοθεί η προσέγγιση του “LABYRINTH” με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορεί με ευκολία να βιομηχανοποιηθεί,

χωρίς την ανάγκη αναθεώρησης οποιουδήποτε σχεδίου MINOS-MR μονάδας ή οποιεσδήποτε άλλες αρχές σχεδιασμού.

Επισκόπηση και αρχικές προδιαγραφές των MINOS-MR λειτουργικών μονάδων και της MINOS-MR

Το πρωτότυπο συναρμολογούμενο μικρορομπότ θα αποτελείται από MINOS-MR μονάδες που μπορούν να εισέλθουν στην κοιλιακή κοιλότητα μέσω των φυσικών στομιών του ανθρώπινου σώματος ή ακόμη και να καταποθούν. Επιπλέον MINOS-MR μονάδες, MINOS-MR διαμορφώσεις και MINOS-CS (MINOS Control Station) σταθμοί ελέγχου θα σχεδιαστούν, υλοποιηθούν και αξιολογηθούν μέσω προσομοίωσης.

Οι MINOS-MR μονάδες θα σχεδιαστούν ώστε να είναι ελαφριές, αδιάβροχες και βιοσυμβατικές. Τα στοιχεία θα σχεδιαστούν όσο το δυνατόν με τη χρήση βασικών τριών διαστάσεων αντικείμενων προκειμένου να δημιουργηθούν απλές μορφές, επιτρέποντας μια στοχευόμενη χαμηλού κόστους κατασκευή (σύμφωνα με το γενικό στόχο του σχεδίου). Οι μονάδες θα μελετηθούν και θα σχεδιαστούν σε όλες τις λεπτομέρειες, προκειμένου να αυξηθούν οι δυνατότητες χρήσης τους σε πραγματικό λειτουργικό περιβάλλον, π.χ. μονάδες θα έχουν διαφορετικά χρώματα κωδικοποίησης ανάλογα με την χρήση τους για να διευκολύνει το χειρουργό κατά την διάρκεια της επέμβασης. Οι διαστάσεις της κάθε μονάδας θα πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να μην υπερβαίνουν σε συνολικό όγκο τα 25mm x 10mm x 10mm, επιτρέποντας την πιθανή εισαγωγή των μονάδων στο ανθρώπινο σώμα μέσω της κατάποσης. Περιορισμένες κατηγορίες μονάδων θα αναπτυχθούν με σκοπό την διευκόλυνση της παραγωγής μεγάλου αριθμού μονάδων και χαμηλού κόστους.

Στην ελάχιστη διαμόρφωση των MINOS μικρορομπότ, τα ακόλουθα βασικά είδη των μονάδων MINOS-MR που θα σχεδιαστούν, θα αναπτυχθούν και θα αξιολογηθούν μέσω προσομοίωσης είναι :

- i. Μονάδα κάμερας
- ii. Εργαλειοθήκη χειρουργικής μονάδας
- iii. Μονάδα σύνδεσης

Οι MINOS-MR μονάδες θα είναι εξοπλισμένες με ειδικούς επιλεγμένους κινητήρες (περιστροφικούς ή/και γραμμικούς), αποτελούμενοι κατά προτίμηση από έτοιμα εξαρτήματα, προκειμένου να κρατήσουν το συνολικό κόστος χαμηλό και να κάνει

την μελλοντική κατασκευή πρωτοτύπων ευκολότερη (έτοιμοι κινητήρες μικρών διαστάσεων με υψηλές σχέσεις μετάδοσης της κίνησης). Εναλλακτικά των κινητήρων θα διερευνηθεί π.χ. κίνηση από την αδράνεια που παράγεται από μια περιστρεφόμενη μάζα ή από την χρήση συρμάτων “Memory Wires”. Ειδικές μελέτες θα αφιερωθούν στη διαμόρφωση του σχήματος των μονάδων, προκειμένου να επιτευχθεί τόσο η μέγιστη λειτουργικότητα για στοχευόμενο πεδίο εφαρμογής όσο και τουλάχιστον 3 βαθμούς ελευθερίας (ανάλογα με την συνολική διάταξη του μικρορομπότ). Διαμορφώσεις μόνιμων μαγνητών μαζί με περιστροφικούς μικροενεργοποιητές μηχανισμούς θα πρέπει να διερευνηθούν για τις διαδικασίες σύνδεσης / αποσύνδεσης των μονάδων.

Η μονάδα της κάμερας θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι εξοπλισμένη με τουλάχιστον μία έγχρωμη κάμερα με την κατάλληλη διάταξη φωτισμού. Οι ερευνητικές προσπάθειες θα πρέπει να καταβληθούν για τον σχεδιασμό μιας μονάδας κάμερας που θα επιτρέπει 3D λήψη εικόνας. Δεδομένου ότι η 3D απεικόνιση αποτελεί ουσιαστική απαίτηση, σε περιπτώσεις όπως στην MINOS-MR που χρησιμοποιούνται για τηλε-επέμβαση, υπάρχουν δύο σημαντικά ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν:

- i. Η ανάγκη για σχεδίαση ενός υποσυστήματος εντοπισμού (απόλυτο ή σχετικό) προκειμένου να παράσχει ένα πλαίσιο αναφοράς συντεταγμένων για την 3D προβολή μέσω των καμερών. Σε αυτή την περίπτωση δύο πανομοιότυπες μονάδες καμερών θα μπορούν να εξυπηρετήσουν το στόχο της 3D λήψης.
- ii. Η λήψη του σήματος της κάμερας σε πραγματικό χρόνο. Η λήψη της εικόνας μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού εύρους ζώνης σύνδεσης. Επιπλέον, υπάρχουν άλλοι περιορισμοί πέραν του εύρους ζώνης που επηρεάζουν την απαίτηση της λήψης του σήματος σε πραγματικό χρόνο, όπως η παρεμβολή του σήματος από άλλες συσκευές που λειτουργούν στο ίδιο περιβάλλον, π.χ. ασύρματες συσκευές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τους κανονισμούς λειτουργίας στα χειρουργικά δωμάτια. Αυτά μαζί με άλλα σημαντικά θέματα, π.χ. οπτικό πεδίο, απεικόνιση δεδομένων και θέματα αυξημένης πραγματικότητας, θα είναι ο πυρήνας όσον αφορά τη μονάδα της κάμερας.

Η μονάδα χειρουργικής εργαλειοθήκης θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι εξοπλισμένη με κατάλληλα λαπαροσκοπικά όπως χειρουργικά εργαλεία, λαβίδες κλπ.

Αρκετά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στις καθημερινές χειρουργικές εφαρμογές θα ενταχθούν σε αυτή τη μονάδα. Σενάρια επεμβάσεων και μελέτες απαιτήσεων θα παρέχουν πληροφορίες για τα κοινά / αντικρουόμενα ζητήματα που σχετίζονται με τα εργαλεία π.χ. μέθοδοι ενεργοποίησης, εφαρμογή δύναμης / ροπής κλπ. που θα απαιτηθούν. Τουλάχιστον δύο εργαλεία (κοπή, ανάκτηση) θα πρέπει να σχεδιαστούν και να ενσωματωθούν στη χειρουργική μονάδα. Ιδιαίτερες προσπάθειες θα καταβληθούν προκειμένου να φέρει περισσότερα από ένα εργαλεία. Η δύναμη ανάδρασης, η θέση του εργαλείου και οι αισθητήρες θα πρέπει να μελετηθούν και να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό, προκειμένου να παράσχουν στο χειριστή τα κατάλληλα όργανα μέτρησης, απτική αίσθηση και ανατροφοδότηση.

Η μονάδα σύνδεσης εγείρει πολλές συζητήσεις μεταξύ της ερευνητικής ομάδας του έργου. Είναι η μονάδα που παρέχει τη μηχανική διασύνδεση μεταξύ των MINOS-MR μονάδων. Η συζήτηση έχει χτιστεί γύρω από τα επιχειρήματα για ένα ολοκληρωμένο μηχανισμό σύνδεσης επί των επιμέρους μονάδων και μιας αυτόνομης μονάδας σύνδεσης. Έχει αποφασιστεί ότι ο πειραματισμός μιας αυτόνομης μονάδας σύνδεσης μπορεί να προσφέρει μια μέθοδο εφαρμόσιμη και στις επιμέρους μονάδες. Επομένως οι μελέτες θα επικεντρώνονται αρχικά στην μονάδα σύνδεσης ως ένα ολοκληρωμένο στοιχείο των μεμονωμένων μονάδων και αν αυτές αποτύχουν τότε ο σχεδιασμός θα αφορά μια αυτόνομη μονάδα σύνδεσης. Το πιο σημαντικό ζήτημα όσον αφορά τη μονάδα σύνδεσης είναι η λειτουργία της αυτοσυναρμολόγησης που απαιτείται για τα MINOS-MRs. Η λειτουργικότητα των μικρορομπότ βασίζεται στην συναρμολόγηση των μονάδων. Με σκοπό να μελετηθεί η βέλτιστη λειτουργικότητα θα εκτελεστεί εις βάθος ανάλυση. Αυτή θα αποτελείται από την έρευνα της τελικής μορφής του τύπου συναρμολόγησης και διάταξης των μικρορομπότ. Οι μονάδες πρέπει να συναρμολογηθούν με μια καθορισμένη σειρά (ανάλογα με την προβλεπόμενη λειτουργία), ώστε να σχηματίζει ένα σπονδυλωτό μικρορομπότ, συγκεκριμένης λειτουργίας. Το ρομπότ θα μπορούσε να προσυναρμολογηθεί ή να αυτοσυναρμολογηθεί. Ο τύπος του μικρορομπότ που θα συναρμολογηθεί εξαρτάται από την κύρια μονάδα, η οποία θα είναι η μονάδα της κάμερας ή η λειτουργική μονάδα. Αν μαγνήτες τοποθετηθούν στις αντίστοιχες όψεις, η μαγνητική δύναμη θα προσελκύσει τις διαφορετικές μονάδες μεταξύ τους, και η μαγνητική ροπή θα τις προσανατολίσει. Επιπλέον, οι ηλεκτρομαγνήτες παρέχουν μία αναστρέψιμη σύνδεση επιτρέποντας έτσι την αποσύνδεση. Ωστόσο, οι ηλεκτρομαγνήτες καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Κάθε μονάδα πρέπει να μπορεί να συνδεθεί με

οποιαδήποτε άλλη μονάδα, προκειμένου να αυξήσει τον αριθμό των πιθανών διαμορφώσεων του μικρορομπότ. Οι όψεις σύνδεσης θα πρέπει να συνδέονται με μοναδική κατεύθυνση ώστε να επιτρέπονται οι κινηματικές διατάξεις χωρίς την ανάγκη επιπλέον αισθητήρων προσανατολισμού. Διακρίνουμε τις περιπτώσεις όπου η συναρμολόγηση των μονάδων για την μορφοποίηση και λειτουργικότητα των μικρορομπότ μπορεί να πραγματοποιηθεί :

- i. Πριν από την εισαγωγή των MINOS-MR στο ανθρώπινο σώμα,
- ii. Απευθείας στο στομάχι ή στην κοιλιακή κοιλότητα.

Στη δεύτερη περίπτωση, οι μονάδες πρέπει να καταποθούν ή να εισέλθουν στην κοιλιακή κοιλότητα σε συγκεκριμένη σειρά. Ωστόσο, αυτό το είδος συναρμολόγησης θα απαιτήσει περισσότερο χρόνο εξαιτίας της παθητικής κίνησης των μονάδων. Η γαστρική κινητικότητα και το υγρό περιεχόμενο του, π.χ. κοιλότητα στομαχιού, μπορεί να επιταχύνει ή να εμποδίσει τις μονάδες. Οι μονάδες αυτές κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης θα πρέπει να κινούνται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ενέργεια του συστήματος. Ένας μεγάλος αριθμός δυνάμεων όπως η βαρύτητα, η μαγνητική δύναμη / ροπή, τριβή, κλπ., μεταξύ των μονάδων και των ενδοκοιλιακών, εκτός από κάποιες απρόβλεπτες συνθήκες, μπορεί πιθανόν να αλληλεπιδρούν στις συναρμολογήσεις, μπορεί και να μην υπάρχει καθόλου αλληλεπίδραση. Η εξωτερική εφαρμογή μαγνητών μπορεί να επιτρέψει την οργανωμένη συναρμολόγηση του μικρορομπότ, καθιστώντας την πιο προβλέψιμη. Διάφορες μέθοδοι θα ερευνηθούν ως προς το θέμα της βασικής αυτοσυναρμολόγησης. Λύσεις που ενσωματώνουν μόνιμους μαγνήτες είναι οι πλέον υποσχόμενες κυρίως λόγω της μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, ο έλεγχος της λειτουργίας της αυτοσυναρμολόγησης σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τις πιθανότητες της σχετικής θέσης των μονάδων στο περιβάλλον λειτουργίας και επιπλέον, οι μόνιμοι μαγνήτες μπορεί να αλληλεπιδράσουν με άλλα λειτουργικά στοιχεία, όπως ενεργοποιητές ή πομπούς ασύρματης επικοινωνίας. Η ηλεκτρομηχανική ή ηλεκτρομαγνητική σύζευξη των μονάδων παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως ευκολία ελέγχου, ενώ υπάρχουν μειονεκτήματα όπως η υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι διαδικασίες αποσύνδεσης που επιτρέπουν στις MINOS-MR μονάδες να εξέλθουν από το περιβάλλον λειτουργίας κινούνται προς ηλεκτρομηχανολογικές μεθόδους, ενώ μέθοδοι που βασίζονται σε μόνιμους μαγνήτες είναι αρκετά δύσκολες. Οι ερευνητικές ομάδες εκτιμούν μια υβριδική μέθοδο

σύμφωνα με την οποία η τελική ισχύς σύζευξης παρέχεται από μόνιμους μαγνήτες, ενώ ο έλεγχος της σύνδεσης / αποσύνδεσης παρέχεται από ηλεκτρομηχανικό μηχανισμό χαμηλής κατανάλωσης.

Όλες οι MINOS-MR μονάδες θα σχεδιαστούν να είναι εξοπλισμένα με ασύρματο πομπό δεδομένων. Ο ρόλος του ασύρματου πομπού είναι διπλός: από την μία να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των μονάδων και του σταθμού ελέγχου του μικρορομπότ και από την άλλη να επιτρέπει την εκπομπή ιατρικών / λειτουργικών δεδομένων (π.χ. οπτικές πληροφορίες, εκπομπή στην MINOS-CS δεδομένα της δύναμης ανάδρασης).

Παρά το γεγονός ότι η έννοια της MINOS-CS ακούγεται πολύ τεχνική, οι ερευνητικές ομάδες δεν παραμελούν σημαντικές πτυχές, όπως τη διεπαφή ανθρώπου – μηχανής και άλλες πτυχές που αφορούν τη λειτουργία. Αυτές θα πρέπει να ενσωματωθούν πλήρως στο σχεδιασμό και να μεταφερθούν στην υλοποίηση της MINOS-CS και στην αντίστοιχη λειτουργικότητα των MINOS-MRs.

Η κατανάλωση ενέργειας ανησυχεί τους ερευνητές διότι χωρίς τροφοδοσία το μικρορομπότ θα ακινητοποιηθεί και θα δημιουργήσει πρόβλημα στο υπόλοιπο της επέμβασης. Στην κοινή περίπτωση, η ανθρώπινη παρέμβαση είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία, ωστόσο ο χειρουργός και η ομάδα του δεν θα έχουν το χρόνο να ασχοληθούν με αυτό το θέμα. Η μακρόχρονη αυτόνομη λειτουργία θα πρέπει να απαιτείται από το μικρορομπότ χωρίς επαναφόρτιση και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Το συνολικό σύστημα πρέπει να προσαρμόζεται εύκολα σε διαφορετικές χειρουργικές επεμβάσεις, καθώς και με πολλαπλά συνεργαζόμενα μικρορομπότ. Οι MINOS-MR μονάδες θα απαιτούν ισχύ. Το περιβάλλον λειτουργίας συνεπάγεται πολλούς περιορισμούς και αυξάνει τα θέματα, όπως το χρόνο που απαιτείται, πριν από την σύνδεση των MINOS-MR ώστε αυτά να είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο για την φόρτιση τους, μπαταρίες εναντίον ενσύρματης ή ασύρματης μετάδοσης ενέργειας, κλπ. Σήμερα υπάρχουν διαθέσιμα λεπτά φύλλα μπαταριών με δυνατότητα παροχής ισχύς μέχρι 20 mAh. Ωστόσο, η αυτόνομη λειτουργία των μονάδων μπορεί να απαιτεί πολύ περισσότερο αυτής της ισχύς και ως εκ τούτου πρέπει να βρεθεί εναλλακτική λύση. Η αρχή του σχεδιασμού όσον αφορά το ζήτημα της τροφοδοσίας είναι η ενσωμάτωση της μπαταρίας επί του συστήματος για την παροχή ελάχιστης αυτονομίας μεταξύ των φορτίσεων και μια μέθοδο για την παροχή ενέργειας κατά την διάρκεια της επέμβασης. Ενσύρματη παροχή θα ήταν μια άμεση λύση στο πρόβλημα, ωστόσο οι ερευνητές στοχεύουν στην ανάπτυξη μεθόδων

που πληρούν τις πιο απαιτητικές προϋποθέσεις. Κατά συνέπεια θα διερευνηθεί η ισχύς μετάδοσης ασύρματης ενέργειας. Το σχέδιο προβλέπει την υλοποίηση και τον έλεγχο πειραματικών συστημάτων ασύρματης μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (μέσω της επαγωγής). Η συχνότητα και ο όγκος που απαιτείται, καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τους κανονισμούς της χειρουργικής αίθουσας είναι μερικά από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Σχεδιασμός, προσομοίωση, ανάπτυξη, πειραματισμός και αξιολόγηση

Για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, τον πειραματισμό της λειτουργικότητας και την αξιολόγηση των MINOS-MR υπάρχουν αρκετές επιλογές. Το πρόγραμμα προσομοίωσης ρομπότ Webots version 6.4.0, είναι μια κυρίαρχη επιλογή. Άλλα παρόμοια πακέτα λογισμικού θα χρησιμοποιούνται επίσης για τον λεπτομερή σχεδιασμό των MINOS-MR μονάδων και των MINOS-MRs που πρέπει να αξιολογηθούν, π.χ. το SolidWorks. Αυτά τα πακέτα λογισμικού προσφέρουν ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για τη μηχανική προσομοίωση πολύπλοκων σχεδίων, ωστόσο το Webots είναι ο στόχος για μια συνολική MINOS-MRs προσομοίωση, πειραματισμό και αξιολόγηση. Το Webots χρησιμοποιεί δοκιμασμένη τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί από κοινού από το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας στη Λωζάννη, ελεγχθεί διεξοδικά, τεκμηριωθεί και διατηρείται συνεχώς για πάνω από 10 χρόνια (8.1). Σύνθετες ρομποτικές διαμορφώσεις με διάφορα μικρορομπότ, σε ένα κοινό περιβάλλον θα σχεδιαστούν. Ειδικές ιδιότητες της κάθε ρομποτικής σύνθεσης, όπως οι βαθμοί ελευθερίας, το σχήμα, η υφή, η μάζα, κλπ, θα αξιολογούνται κάτω από διάφορα χειρουργικά σενάρια. Η προσομοίωση, ο πειραματισμός και η αξιολόγηση θα περιλαμβάνει επίσης την ενσωμάτωση της προσομοίωσης αισθητήρων και ενεργοποιητών σε καθένα από τα σενάρια αξιολόγησης. Επίσης η φυσική του περιβάλλοντος εφαρμογής συνεπάγεται περαιτέρω περιορισμούς και δυσκολίες. Τα μικρορομπότ δεν θα λειτουργούν σε ομογενή περιβάλλοντα, ως εκ τούτου καλούνται να ληφθούν υπόψη οι παράμετροι της φυσικής. Οι θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τα μικρορομπότ παραμένουν οι ίδιες, αλλά η σχετική σημασία των φυσικών επιπτώσεων αλλάζει. Το υγρό ιξώδες και οι επιφανειακές επιδράσεις, όπως τα ηλεκτροστατικά, κυριαρχούν στις ογκομετρικές επιπτώσεις όπως στο βάρος και στην αδράνεια με αποτέλεσμα η παραγωγή και η αποθήκευση ενέργειας να καθίσταται δύσκολη. Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά θα ληφθούν υπόψη. Ο κόσμος ενός χειρουργικού μικρορομπότ αποτελείται από γεμάτο

υγρό κοιλότητες καθώς και μαλακούς ιστούς. Τα χειρουργικά μικρορομπότ πρέπει να σχεδιάζονται ειδικά για λειτουργία σε αυτά τα περιβάλλοντα (το ενδοκοιλιακό περιβάλλον θα προσομοιωθεί χρησιμοποιώντας απλές 3D δομές με φυσικά χαρακτηριστικά των ανθρωπίνων ιστών και οργάνων).

Το MINOS-CS θα περιλαμβάνεται επίσης στην προσομοίωση, στον πειραματισμό και στην αξιολόγηση είτε ενσωματωμένο στο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης ή σε τρίτα μέρη του περιβάλλοντος ανάπτυξης. Ο γενικός στόχος είναι ο πειραματισμός και η αξιολόγηση των MINOS-MRs σε ρεαλιστικά περιβάλλοντα, προσομοιώνοντας όλο το φυσικό περιβάλλον λειτουργίας. Η διεπαφή ανθρώπου – μηχανής του MINOS-CS έχει ιδιαίτερη σημασία, ιδίως όσον αφορά την φιλικότητα προς τον χρήστη και την ευκολία χρήσης. Υπό το πρίσμα της πιθανής μελλοντικής βιομηχανικής εκμετάλλευσης του σχεδιασμού και των αποτελεσμάτων της έρευνας, είναι σημαντικό ότι η MINOS-CS προσαρμόζει τις μεθόδους και τις διαδικασίες που οι χειρουργοί χρησιμοποιούν σήμερα και στην περίπτωση που η έρευνα προτείνει νέες μεθόδους θα πρέπει να αξιολογούνται από σχετικούς επιστήμονες.

Τρόποι λειτουργίας

Για τον σκοπό του πειραματισμού και της αξιολόγησης, προβλέπονται οι ακόλουθοι τρόποι λειτουργίας:

- i. Σε πραγματικό χρόνο, πλήρης έλεγχος των επιμέρους MINOS-MR μονάδων και εργαλείων (π.χ. tooltips). Αυτός ο τρόπος θα χρησιμοποιείται κυρίως για τη δοκιμή του συστήματος και θα επιτρέψει στην ερευνητική ομάδα να πειραματιστεί με την λειτουργικότητα των εξαρτημάτων και των υπό-εξαρτημάτων,
- ii. Ημι-αυτόματος έλεγχος των MINOS-MRs. Σε αυτή την λειτουργία ο χειριστής θα έχει στη διάθεσή του ένα περιορισμένο σύνολο υψηλού επιπέδου εντολών λειτουργίας που θα του επιτρέψει να χειριστεί το MINOS-MR, χωρίς να απαιτείται πλήρης έλεγχος των επιμέρους βαθμών ελευθερίας του μικρορομπότ. Αναμένεται ότι αυτός ο τρόπος θα είναι η προτιμότερη επιλογή λειτουργίας.
- iii. Αυτόματος έλεγχος των MINOS-MRs. Ο χειριστής θα είναι σε θέση να εκτελέσει μια πλήρη σειρά από εντολές υψηλού επιπέδου, π.χ. περισσότερη προσέγγιση, κοπή, κλπ. , χωρίς να χρειάζεται να εξετάσει πως το MINOS-MR

θα τα εκτελέσει. Αυτή η λειτουργία δεν αναμένεται να είναι σε όφελος των ειδικών, αλλά περιλαμβάνεται στην εργασία, προκειμένου να διερευνηθούν τα όρια μεταξύ ημί-αυτόματου και αυτόματου ελέγχου, βοηθώντας τις ομάδες έρευνας να ορίσουν το σύνολο των εντολών υψηλού επιπέδου που θα μπορούσαν να ενισχύσουν την δυναμικότητα του συνολικού συστήματος.

8.3 Περιγραφή Εργασιών (ΠΕ) – Work Packages (WP)

ΠΕ 1: Διαχείριση και Διάδοση

Αυτή η ομάδα εργασιών είναι αφιερωμένη στην διαχείριση του συντονισμού του σχεδίου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή και αποτελεσματική πρόοδος των εργασιών. Ένα ιδιαίτερο έργο αφιερώνεται στην τεχνική διαχείριση του έργου και ένα άλλο για τις δραστηριότητες διάδοσης.

Καθήκοντα:

Εργασία 1.1: Διοικητικές και Οικονομικές αναλύσεις

Εργασία 1.2: Τεχνική διαχείριση

Εργασία 1.3: Διάδοση των αποτελεσμάτων

Παραδοτέα:

Π 1.1: Διοικητικές και οικονομικές καταστάσεις

Π 1.2: Έκθεση των δραστηριοτήτων διάδοσης

ΠΕ 2: Ανάλυση Απαιτήσεων

Η ομάδα εργασίας αφιερώνεται στην απόκτηση αναλύσεων και επεξεργασίας όλων των πτυχών που σχετίζονται με το συνολικό σύστημα, MINOS-MR μονάδες και εξαρτήματα. Όλες οι εκδοχές που σχετίζονται με τους παράγοντες του χρήστη και των ιατρικών παραγόντων (π.χ. ιατρικά πρωτόκολλα, πρακτικές λειτουργίας, κλπ.) , επιχειρήσεις / δραστηριότητες (π.χ. δυνατότητες εκμετάλλευσης, το κόστος και οι διαδικασίες παραγωγής, κανονισμοί, κλπ.), καθώς και τεχνικούς παράγοντες

(τελευταία λέξη της τεχνολογίας και εμπορικώς διαθέσιμη τεχνολογία, κλπ) θα διερευνηθούν ώστε να παρέχει την πλήρη και αναλυτική εικόνα του προβλήματος.

Καθήκοντα:

Εργασία 2.1: Απαιτήσεις ανάλυσης σχετικών παραγόντων ιατρικών / χρήσης

Εργασία 2.2: Απαιτήσεις ανάλυσης σχετικών παραγόντων της επιχείρησης / δραστηριότητες

Εργασία 2.3: Απαιτήσεις ανάλυσης σχετικών τεχνικών παραγόντων

Παραδοτέα:

Π 2.1: Ανάλυση απαιτήσεων

ΠΕ 3: Τεχνικές προδιαγραφές

Αυτή η ομάδα εργασίας είναι αφιερωμένη στη σύνταξη των τεχνικών προδιαγραφών του συνολικού συστήματος, καθώς και των επιμέρους μονάδων και στοιχείων. Ένα ιδιαίτερο έργο έχει ανατεθεί στις τεχνικές προδιαγραφές των βασικών τεχνικών θεμάτων, όπως η ενέργεια, η ασύρματη μετάδοση δεδομένων, αυτοσυναρμολόγηση, κίνηση, εντοπισμός, κλπ. Δύο κύκλοι επαναλήψεων προβλέπονται για τις τεχνικές προδιαγραφές: μία πριν και μια μετά το πρώτο πείραμα και αξιολόγηση. Η εργασία πρέπει να βασίζεται στα αποτελέσματα του ΠΕ 2 (Π 2.1) για Π 3.1 και στα αποτελέσματα του Π 5.2 για Π 3.2.

Καθήκοντα:

Εργασία 3.1 : Τεχνικές προδιαγραφές του όλου συστήματος

Εργασία 3.2 : Τεχνικές προδιαγραφές των MINOS-MR μονάδων

Εργασία 3.3 : Τεχνικές προδιαγραφές του MINOS-CS

Εργασία 3.4 : Τεχνικές προδιαγραφές σε βασικά τεχνικά θέματα

Παραδοτέα:

Π 3.1: Τεχνικές προδιαγραφές v1

Π 3.2: Τεχνικές προδιαγραφές v2

ΠΕ 4: Εφαρμογή των MINOS-MR μονάδων

Η ομάδα εργασίας αφιερώνεται στην μοντελοποίηση των MINOS-MR μονάδων και εξαρτημάτων, υλοποιώντας τα μέσω προσομοίωσης, όπως αυτά ορίζονται στο ΠΕ 3. Ένα ιδιαίτερο έργο έχει ανατεθεί στην εφαρμογή των επιμέρους αρχών και μεθόδων των βασικών τεχνικών ζητημάτων όπως η ενέργεια, η ασύρματη μετάδοση δεδομένων, αυτοσυναρμολόγηση, κίνηση, εντοπισμός, κλπ. Για ορισμένα από αυτά, πρότυπα μεγάλης κλίμακας θα πρέπει να υλοποιηθούν και να εφαρμοστούν για να αποδειχθεί η σκοπιμότητα των μεθόδων. Δύο κύκλοι εργασιών προβλέπονται για την υλοποίηση. Μία πριν και μία μετά τον πρώτο κύκλο των τεχνικών προδιαγραφών. Το έργο αυτό θα πρέπει να βασίζεται στα αποτελέσματα της Π 3.1 για Π 4.2.

Καθήκοντα:

Εργασία 4.1 : Προσομοίωση MINOS-MR μονάδων

Εργασία 4.2 : Προσομοίωση MINOS-CS

Εργασία 4.3 : Εφαρμογή βασικών τεχνικών στοιχείων στα πραγματικά πρωτότυπα μεγάλης κλίμακας

Παραδοτέα:

Π 4.1: Προσομοιωμένα μοντέλα MINOS-MR μονάδων v1

Π 4.2: Προσομοιωμένα μοντέλα MINOS-MR μονάδων v2

ΠΕ 5: Πειραματισμός και αξιολόγηση του MINOS-MR συστήματος

Αυτή η ομάδα εργασίας αφιερώνεται στον πειραματισμό και στην αξιολόγηση των MINOS-MR μονάδων και εξαρτημάτων μέσω της προσομοίωσης, όπως αυτή εφαρμόζεται στο ΠΕ4. Μία ιδιαίτερη εργασία έχει ανατεθεί στον πειραματισμό και την αξιολόγηση των επιμέρους αρχών και μεθόδων για τα βασικά τεχνικά ζητήματα, σχετικά με τα πραγματικά πρότυπα, όπως αυτά εφαρμόζονται στο ΠΕ4. Δύο κύκλοι επανάληψης προβλέπονται για την υλοποίηση. Μία πριν και μία μετά τον πρώτο κύκλο των τεχνικών προδιαγραφών. Το έργο θα πρέπει να βασίζεται στα αποτελέσματα της Π 4.1 για Π 5.1 και τα αποτελέσματα της Π 4.2 για Π 5.2 .

Καθήκοντα:

Εργασία 5.1 : Πειράματα προσομοίωσης και αξιολόγηση των MINOS-MR μονάδων

Εργασία 5.2 : Πειράματα προσομοίωσης και αξιολόγηση της MINOS-CS

Εργασία 5.3 : Αξιολόγηση πειραμάτων προσομοίωσης των MINOS-MR αποικιών

Εργασία 5.4 : Πειραματισμός και αξιολόγηση των επιλεγμένων πρωτοτύπων των βασικών τεχνικών στοιχείων

Παραδοτέα:

Π 5.1: Αποτελέσματα αξιολόγησης v1

Π 5.2: Αποτελέσματα αξιολόγησης v2

8.4 Αναμενόμενα αποτελέσματα

Η πρωτοποριακή ιδέα των ενδοκοιλιακών μικρορομπότ αποικιών μπορεί ενδεχομένως να αυξήσει την πιθανότητα της εύκολης εκτέλεσης και με ασφάλεια NOTES επέμβασης και της ελάχιστα επεμβατικής επέμβασης εν γένει. Ο χειρουργός θα έχει μία ποικιλία από μικρορομποτικά βοηθήματα που θα λειτουργούν ως ομάδα. Το σχέδιο “LABYRINTH” θα αναπτύξει και θα αξιολογήσει τις μεθόδους και τα σχέδια των ενδοκοιλιακών μικροσταθμών εργασίας. Συνεργαζόμενες οι μικρορομποτικές μονάδες, που ελέγχονται από τον χειρουργό μέσω καινοτόμων ασύρματων συστημάτων ελέγχου, αναμένεται να επιτύχουν καλύτερη έκθεση των ιστών και των οργάνων από την κλασική λαπαροσκόπηση. Επιπλέον, η ενδοσκοπική όραση, προβλέπεται σε αυτό το έργο να δώσει στο χειρουργό την τόσο επιθυμητή απεικόνιση βάθους. Τα μικρορομπότ που θα λειτουργούν ως χειρουργικά εργαλεία θα δώσουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας στο χειρουργό, αυξάνοντας τις χειρουργικές του ικανότητες. Επιπροσθέτως, οι αισθητήρες του μικρορομπότ θα αυξήσουν τις οπτικές πληροφορίες. Αυτό το χαρακτηριστικό θα είναι μοναδικό και δεν έχει χρησιμοποιηθεί στην εφαρμοσμένη ρομποτική χειρουργική μέχρι τώρα. Η

τηλε-χειρουργική επέμβαση θα πρέπει να εξελιχθεί και έτσι στους μακρινούς και απομονωμένους πληθυσμούς θα μπορούσε να είναι πλεονέκτημα.

8.5 Ερευνητική ομάδα

Οι στόχοι και οι επιπτώσεις της πρότασης είναι τόσο ευρείες και φιλόδοξες έτσι ώστε τα επιτεύγματα τους να απαιτούν μια ισχυρή διεπιστημονική ερευνητική ομάδα με συμπληρωματικές κλινικές και τεχνικές δεξιότητες. Τα άτομα που συμμετέχουν στο έργο φέρουν μαζί εμπειρία και τεχνογνωσία σημαντικών επιστημονικών κλάδων (χειρουργική, ρομποτική, πληροφορική, μικροτεχνολογίες, biotheology, επεξεργασία εικόνας). Ο κύριος ερευνητής και τα μέλη της ομάδας του, έχουν το όραμα, τη δέσμευση και την ικανότητα να ολοκληρώσουν την προτεινόμενη έρευνα και ως αποτέλεσμα του έργου τους, είναι η παρουσίαση της επιστημονικής καινοτομίας και των τεκμηριωμένων αποτελεσμάτων. Ο κύριος ερευνητής φέρει στο έργο την απαιτούμενη διοικητική και τεχνική εμπειρία που απαιτείται για το συνολικό συντονισμό του έργου, η οποία έχει αποκτηθεί από τα πολλά ερευνητικά έργα του παρελθόντος. Επίσης φέρει τεχνική και επιστημονική αρτιότητα, όπως αυτό αποδεικνύεται από το βιογραφικό του. Η βασική ομάδα αποτελείται από καθηγητές και ερευνητές με αποδεδειγμένες ικανότητες και εμπειρία στους τομείς τους. Τα βασικά μέλη της ομάδας περιλαμβάνουν άτομα με υψηλά προσόντα, με εμπειρία στην ρομποτική, την ιατρική, την τεχνολογία της απεικόνισης, τις τηλεπικοινωνίες, την πληροφορική και άλλες συναφείς με τους στόχους του έργου τεχνολογίες. Ωστόσο η βασική ομάδα δεν περιορίζεται σε άτομα με καθαρά τεχνικές δεξιότητες αλλά περιλαμβάνει επίσης καθηγητές ιατρικής, ερευνητές και κλινικούς ιατρούς με μεγάλη εμπειρία στην ρομποτική χειρουργική. Αυτή η πτυχή της ομάδας συμπληρώνει την απαιτούμενη ευρεία κάλυψη εμπειρίας και τεχνογνωσίας που απαιτεί το έργο. Ωστόσο, αν και η βασική ομάδα συγκεντρώνει όλες τις απαιτούμενες γνώσεις, υπάρχουν π.χ. ανοικτές θέσεις που πρέπει να συμπληρωθούν κατά την διάρκεια του έργου για ειδικές εργασίες και ειδικές αναθέσεις εφαρμογής των πρωτοτύπων.

8.6 Δυνητικός αντίκτυπος

Είναι ευρέως γνωστό ότι η ρομποτική ιατρική επέμβαση θα ωφελήσει εξαιρετικά στην σημαντική μείωση του μεγέθους του βάρους και του κόστους των υλικών και των οικονομικών φορτίων. Η ανάπτυξη των μικρορομπότ και των μεμονωμένων συσκευών μπορεί να είναι η τεχνολογική λύση σε αυτό το πρόβλημα. Το έργο “LABYRINTH” έχει ως στόχο να σχεδιάσει ένα ολοκληρωμένο σπονδυλωτό μικρορομποτικό σύστημα που θα είναι ελαφρύ και ως εκ τούτου εύκολο και αποδοτικό από πλευράς κόστους, να εισαχθεί τελικώς στην διαδικασία της επέμβασης. Οι MINOS-MR αποικίες θα πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να αναδιαμορφωθούν, μια ιδιότητα που θα συμβάλει στη δημιουργία χώρων λειτουργίας σε απομακρυσμένα και δυσπρόσιτα περιβάλλοντα και με την σειρά του να αναπτύξει μια ολόκληρη βιομηχανία μικροκλίμακας. Τα χειρουργικά μικρορομπότ θα αρχίσουν να οικοδομούν μια νέα ενδοκοιλιακή χειρουργική στον κόσμο. Θα διενεργούν επεμβάσεις στους ασθενείς σε εχθρικά και απομακρυσμένα περιβάλλοντα, όπως τα πεδία πολέμου, διαστημικές αποστολές και απομονωμένους πληθυσμούς. Αυτές οι μονάδες και τα αναδιαρθρώσιμα μικρορομπότ θα δημιουργούν συστήματα που θα δημιουργούνται πλήρως από τηλεχειρισμό. Η τηλεχειρουργική επέμβαση μπορεί να είναι μία ρεαλιστική χαμηλού κόστους χειρουργική επέμβαση με δυνατότητα πραγματοποίησης από μη εξειδικευμένο παραϊατρικό προσωπικό, (απλή τοποθέτηση των μικρορομπότ σε φυσικά στόμια).

8.7 Χρονοδιάγραμμα

Το σχέδιο “LABYRINTH” προγραμματίζεται για χρονική διάρκεια 36 μηνών. Ο πίνακας 8.1 παρουσιάζει μια χρονική επισκόπηση του σχεδίου.

Περιγραφή Εργασιών/ Εργασίες	Πρώτος Χρόνος				Δεύτερος Χρόνος				Τρίτος Χρόνος			
ΠΕ 1: Διαχείριση & Διάδοση												
Εργασία 1.1: Διοικητικές και Οικονομικές αναλύσεις	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1	Π1.1
Εργασία 1.2: Τεχνική διαχείριση												
Εργασία 1.3: Διάδοση των αποτελεσμάτων												Π1.2
ΠΕ 2: Ανάλυση Απαιτήσεων			Π2.1									
Εργασία 2.1: Απαιτήσεις ανάλυσης σχετικών παραγόντων ιατρικών / χρήσης												
Εργασία 2.2: Απαιτήσεις ανάλυσης σχετικών παραγόντων της επιχείρησης / δραστηριότητες												
Εργασία 2.3: Απαιτήσεις ανάλυσης σχετικών τεχνικών παραγόντων												
ΠΕ 3: Τεχνικές προδιαγραφές				Π3.1						Π3.2		
Εργασία 3.1 : Τεχνικές προδιαγραφές του όλου συστήματος												
Εργασία 3.2 : Τεχνικές προδιαγραφές των MINOS-MR μονάδων												
Εργασία 3.3 : Τεχνικές προδιαγραφές του MINOS-CS												
Εργασία 3.4 : Τεχνικές προδιαγραφές σε βασικά τεχνικά θέματα												
ΠΕ 4: Εφαρμογή των MINOS-MR μονάδων						Π4.1					Π4.2	
Εργασία 4.1 : Προσομοίωση MINOS-MR μονάδων												
Εργασία 4.2 : Προσομοίωση MINOS-CS												
Εργασία 4.3 : Εφαρμογή βασικών τεχνικών στοιχείων στα πραγματικά πρωτότυπα μεγάλης κλίμακας												
ΠΕ 5: Πειραματισμός και αξιολόγηση του MINOS-MR συστήματος								Π5.1				Π5.2
Εργασία 5.1 : Πειράματα προσομοίωσης και αξιολόγηση των MINOS-MR μονάδων												
Εργασία 5.2 : Πειράματα προσομοίωσης και αξιολόγηση της MINOS-CS												
Εργασία 5.3 : Αξιολόγηση πειραμάτων προσομοίωσης των MINOS-MR αποικιών												
Εργασία 5.4 : Πειραματισμός και αξιολόγηση των επιλεγμένων πρωτοτύπων των βασικών τεχνικών στοιχείων												

Πίνακας 8.1 Χρονοδιάγραμμα του σχεδίου “LABYRINTH”

8.8 Συμπέρασμα

Η έννοια της χειρουργικής μέσω μικρορομποτικών αποικιών είναι καινοτόμα και μπορεί να θέσει ενδεχομένως νέες προοπτικές στον τομέα της χειρουργικής επέμβασης, αυξάνοντας τις δυνατότητες για πραγματική χωρίς ουλή τηλεχειρουργικής επέμβασης. Η συνεργασία μονάδων μικρορομποτών θα μπορούσε να λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθούν πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις. Η ανάπτυξη του καινοτόμου ασύρματου ελέγχου με αμφίδρομη ανατροφοδότηση, θα παρέχει στο χειρουργό απλές αλλά αποτελεσματικές δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου. Επίσης η 3D οπτική ανάδραση του απομακρυσμένου περιβάλλοντος και η χρήση των άλλων αισθητήρων θα βοηθήσει στην τηλε-λειτουργία. Μερικές από αυτές τις μικρορομποτικές διατάξεις θα εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες, ενώ άλλες μια σειρά από διαφορετικές. Αυτές οι μικρορομποτικές αποικίες θα αλληλεπιδρούν και θα συνεργάζονται για την κατασκευή, επιδιόρθωση και χειρισμό του ενδοκοιλιακού μικρόκοσμου. Μικρορομποτές θα έχουν την δυνατότητα να εκτελούν καθήκοντα που σήμερα είναι δύσκολα ή αδύνατα και είναι βέβαιο θα οδηγήσει στην ανάπτυξη των χειρουργικών θεραπειών, που δεν έχουν ακόμα σχεδιαστεί, ελαχιστοποιώντας τον πόνο και το μεταχειρουργικό τραύμα του ασθενούς. Αν και οι συγκεκριμένες εφαρμογές είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού, το πεδίο είναι ταχέως εξελισσόμενο. Στο μέλλον η διεγχειρητική ζωή των ασθενών θα μπορούσε να βοηθηθεί από ενδοκοιλιακούς μικρορομποτικούς θεραπευτές.

Κεφάλαιο 9. Επίλογος

Κάθε σύγχρονη προσπάθεια εξέλιξης στην ιατρική και ειδικότερα στη χειρουργική, που είναι και το αντικείμενο αυτής της εργασίας, είναι η ελαχιστοποίηση των τραυμάτων κατά τη διαδικασία του χειρουργείου. Εκτός από αυτό, η μείωση του χειρουργικού stress, η μείωση του χρόνου νοσηλείας, εντός και εκτός κλινικών, η ταχύτατη ανάρρωση και η επάνοδος στη φυσιολογική δραστηριότητα, καθώς και ένα εξαιρετικό αισθητικό αποτέλεσμα είναι παράγοντες που καθορίζουν κάθε ερευνητική προσπάθεια. Πως επιτυγχάνεται όμως αυτό που κάποτε ήταν απλώς μια φανταστική σκέψη;

Τα τελευταία δέκα χρόνια χαρακτηρίζονται από έκρηξη στον τομέα της χειρουργικής. Η τεράστια εξέλιξη της τεχνολογίας, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, έχει υποχρεώσει όλο το ιατρικό προσωπικό, γιατρούς και νοσηλευτές, αλλά και τους ασθενείς να γίνουν μέρος των εξελίξεων που πραγματοποιούνται παγκόσμια. Η λαπαροσκοπική χειρουργική και οι ελάχιστα επεμβατικές προσπελάσεις είναι μια πραγματικότητα πλέον και βελτιώνουν συνεχώς τη διάγνωση των χειρουργικών παθήσεων και τη θεραπευτική παρέμβαση προς όφελος της υγείας του ασθενούς.

Το αποτέλεσμα για εμάς όπως προέκυψε από την ανάλυσή μας στην εργασία αυτή, είναι εντυπωσιακό σε σχέση με την κλασσική τακτική που επικρατούσε ως σήμερα. Οι νέες τεχνικές και τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν, είτε χρησιμοποιούνται ήδη είτε είναι σε πειραματικό στάδιο, δεν έχουν αλλάξει μόνο τη χειρουργική αντιμετώπιση μιας πληθώρας νοσημάτων της κοιλιάς αλλά και τη γενικότερη φιλοσοφία που επικρατούσε ως σήμερα στη χειρουργική.

Όπως έχει αναλυθεί διεξοδικά, για να επιτευχθούν οι γενικότεροι στόχοι που αναφέρθηκαν στην πρώτη παράγραφο του epilόγου, χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές σε συνδυασμό με τεχνολογίες video και οπτικών ινών υψηλής ευκρίνειας, πολύ λεπτά εργαλεία 2 έως 10 χιλιοστών, αλλά και νέα, σύνθετα ρομποτικά πολυεργαλεία. Για να επιτευχθεί η προσπέλαση των οργάνων-στόχων χρησιμοποιούνται είτε φυσικά στόμια του σώματος, όπως το στόμα, ο πρωκτός ή και ο κόλπος στις γυναίκες, είτε ειδικοί οδηγοί (trocars) για την εισαγωγή των εργαλείων διά του τοιχώματος της κοιλιάς από μία ή περισσότερες μικρές τομές (όχι μεγαλύτερες από λίγα χιλιοστά).

Όλα αυτά έρχονται σε τεράστια πρακτική, αλλά και φιλοσοφική αντίθεση με την κλασική χειρουργική όπως την ξέραμε μέχρι σήμερα, αναδεικνύοντας πολλά πλεονεκτήματα για το χειρουργό. Το χειρουργικό πεδίο έχει πια οπτική μεγέθυνση έως και 10 φορές, με αποτέλεσμα η επέμβαση να γίνεται με κανόνες μικροχειρουργικής, με μεγάλη ακρίβεια, απόλυτο σεβασμό στους ιστούς, πολύ μικρή κάκωσή τους, ελάχιστη απώλεια αίματος, σχεδόν ανυπαρξία μετεγχειρητικών επιπλοκών και με τη δυνατότητα άμεσης μετεγχειρητικής κινητοποίησης του αρρώστου, καθώς ο πόνος συχνά απουσιάζει τελείως.

Ο μεγάλος εκπρόσωπος της Ελάχιστα Επεμβατικής Χειρουργικής (Minimally Invasive Surgery) σίγουρα είναι η Λαπαροσκοπική Χειρουργική και η εξέλιξή της με τη Ρομποτικά Υποβοηθούμενη Χειρουργική. Όπως προδίδει και η ετυμολογία της λέξης (λαπάρα = κοιλιά), αυτή αφορά σε κάθε παρέμβαση σε ενδοκοιλιακό όργανο.

Σήμερα πια δεν υπάρχει επέμβαση της ανοικτής χειρουργικής που να μη γίνεται με τη νέα μέθοδο. Μάλιστα, σε δύσκολα προσπελάσιμες περιοχές της κοιλιάς, η λαπαροσκοπική χειρουργική έχει δώσει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Έτσι αντιμετωπίζονται σήμερα η γαστροοισοφαγική παλινδρόμηση, παθήσεις του οισοφάγου και του στομάχου, παθήσεις του λεπτού και του παχέος εντέρου αλλά και του ήπατος, του σπληνός και των επινεφριδίων. Ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα έχουν καταγράψει διεθνείς έρευνες στον τομέα του καρκίνου του πεπτικού, πιθανώς λόγω της μικρότερης επίδρασης της τεχνικής στην άμυνα του οργανισμού [9.1].

Σημαντική εξέλιξη των τελευταίων ετών είναι:

- Η προσπέλαση σε παθήσεις της κοιλιάς από μία μόνο τομή (Single Incision Surgery), όπου από τον ομφαλό μπορούμε να πραγματοποιήσουμε σειρά επεμβάσεων που μέχρι τώρα απαιτούσαν μεγάλες τομές ή πολλά trocars,
- Η αντιμετώπιση πολλών παθήσεων του τελικού τμήματος του παχέος εντέρου έχει γίνει χρόνια τώρα εφικτή (εφαρμόζεται 15 έτη στις ΗΠΑ) με την εφαρμογή της Διαπρωκτικής Ενδοσκοπικής Μικροχειρουργικής (Transanal Endoscopic Microsurgery). Με αυτή μπορούμε διά του πρωκτού να αφαιρέσουμε μεγάλους πολύποδες ή ακόμα και μικρούς καρκίνους, χωρίς να απαιτείται πλέον διακοιλιακή χειρουργική επέμβαση. Έτσι, ο ασθενής αποφεύγει μεγάλη ταλαιπωρία και είναι ελάχιστες οι δυνητικές επιπλοκές που μπορεί να παρουσιαστούν, χωρίς να γίνεται κανένας συμβιβασμός στην αποτελεσματικότητα της αντιμετώπισης.

Επίσης, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η λογική της ελάχιστης χειρουργικής παρέμβασης έχει επηρεάσει τη χειρουργική του θυρεοειδούς (με ενδοσκοπικές προσπελάσεις και χρήση ειδικών εργαλείων), τη χειρουργική του μαστού (με την εφαρμογή του λεμφαδένα φρουρού που αντικαθιστά το ριζικό λεμφαδενικό καθαρισμό της μασχάλης σε πολλές περιπτώσεις), τη χειρουργική των αιμορροϊδών (με την εφαρμογή των μεθόδων Longo και HAL που μειώνουν το κλασικό τραύμα και οδηγούν σε σχεδόν ανώδυνη αντιμετώπιση της πάθησης), αλλά και την καθημερινή αντιμετώπιση των κηλών του κοιλιακού τοιχώματος. Μεγάλες τραυματικές τομές για την αντιμετώπιση βουβωνοκηλών αλλά και μετεγχειρητικών κηλών σήμερα αποφεύγονται και αντικαθίστανται με μία έως τρεις τομές των 5 ή 10 χιλιοστών.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί η μεγάλη συμβολή της Ελάχιστα Επεμβατικής Χειρουργικής στην αντιμετώπιση της νοσογόνου παχυσαρκίας, αλλά και των παχύσαρκων ασθενών γενικότερα. Οι μεγάλες τομές αποτελούσαν σημαντικό επιβαρυντικό στοιχείο για τη μετεγχειρητική ανάρρωση των ασθενών αυτών, με αύξηση των επιπλοκών και της νοσηρότητας.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας όμως αναλύσαμε μια νέα τάση που αναπτύσσεται στη γενικότερη φιλοσοφία της ιατρικής και έχει σχέση και με την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Δεν είναι άλλη από τη νανοχειρουργική, της οποίας η βάση ανάπτυξης είναι η απουσία χειρουργικών επεμβάσεων και η επίλυση όλων των ιατρικών θεμάτων με ένα διαφορετικό τρόπο, αφού ως θεμέλιος λίθος λειτουργίας θα είναι το ίδιο το σώμα του ασθενή. Βέβαια όλη αυτή η σκέψη δεν αναφέρεται στο άμεσο μέλλον, λόγω άλλων παραγόντων και οι υπογράφωντες αυτήν την εργασία αναγνωρίζουν ότι αυτή η νέα τάση στη χειρουργική μπορεί ποτέ να μην πάρει σάρκα και οστά.

Πεποίθηση μας είναι από την αρχή ως το πέρας αυτής της μελέτης ότι οι νέες τεχνολογίες στην ιατρική πρέπει να επικρατήσουν καθολικά ώστε να γίνει ακόμα ένα μεγάλο βήμα για την υγεία.

Αμέσως παρακάτω θα παρουσιαστεί ένα μαθηματικό μοντέλο που θέλουμε να αναπτύξουμε ώστε να αποδείξουμε και μαθηματικά βάσει αυτού, στηριζόμενη σε πραγματικά δεδομένα ότι η λαπαροσκοπική και ρομποτική χειρουργική που τείνουν να κυριαρχούν σήμερα, είναι προς όφελος του ασθενή.

Το μαθηματικό μας μοντέλο βασίζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$(Lc - Ln) * I > (Tn - Tc) + [(An - Ac) + |pn - pc| * S] * i$$

όπου:

L = χρόνια εργασίας που χάνονται από τα νέα περιστατικά που εκδηλώνονται κάθε διαδοχικό έτος,

$$Lc = \frac{10 * 10.000}{365} = 274$$

$$Ln = \frac{1,5 * 10.000}{365} = 41,1$$

I = μέσο εισόδημα,

T = ετήσιο κόστος του προγράμματος ελέγχου που εφαρμόζει το σύστημα υγείας για όλο τον πληθυσμό,

A = μέσο κόστος αγωγής ανά ασθενή ανά πράξη,

p = πιθανότητα κινδύνου εμφάνισης βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιπλοκών,

S = μέσο κόστος αντιμετώπισης των επιπλοκών ανά ασθενή,

i = νέα περιστατικά της πάθησης ανά έτος,

δείκτης c = συμβατική μέθοδος,

δείκτης n = νέα μέθοδος.

Το πραγματικό παράδειγμα που θα αναπτύξουμε αναφέρεται σε πρόσθια λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή. Σύμφωνα με πραγματικά στοιχεία έχουμε ότι το μέσο εισόδημα στην Ελλάδα είναι $I = 10.000 \text{ €}$ και ότι έχουμε $i = 10.000$ περιστατικά της πάθησης σε ένα έτος. Ακόμα σύμφωνα με την παραδοσιακή ανοιχτή χειρουργική επέμβαση, ο χρόνος αποχής από την εργασία κατ'άτομο είναι 10 μέρες και το κόστος αυτής 2.000 € ανά άτομο ενώ με τη νέα μέθοδο είναι 1,5 μέρα και 4.000 € ανά άτομο. Θεωρούμε ότι το ετήσιο κόστος T θα είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις. Τέλος, το μέσο κόστος αντιμετώπισης επιπλοκών ανα ασθενή υπολογίζεται στα 5.500 € σε περίπτωση που αυτές παρουσιαστούν και η πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών της παραδοσιακής μεθόδου είναι 30%. Το ζητούμενό μας είναι η πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών με τη νέα μέθοδο της ρομποτικής λαπαροσκοπικής χειρουργικής.

Έτσι,

$$I = 10.000 \text{ €}$$

$$i = 10.000 \text{ περιστατικά}$$

$$A_c = 2.000 \text{ €}$$

$$A_n = 4.000 \text{ €}$$

$$T_c = T_n$$

$$S_c = S_n = 5.500 \text{ €}$$

$$p_c = 30\% = 0,3$$

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω το p_n που είναι και το ζητούμενό μας υπολογίζεται: $p_n < 0,02$ ή 2%. Το νούμερο αυτό ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα γιατί σύμφωνα με τα μέχρι τώρα δεδομένα η πιθανότητα να παρουσιαστούν επιπλοκές με τις νέες χειρουργικές μεθόδους κινείται γύρω στο 1%.

Βιβλιογραφία

1. Εισαγωγή

2. Λαπαροσκοπική χειρουργική ή Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική

- 2.1 www.biomed.ntua.gr
- 2.2 Λαπαροσκοπική Χειρουργική. Δρ. Σαρητζόγλου Ιωάννης MD, Ph.D., FRCS, Γενικός Χειρουργός Ενδοσκόπος
- 2.3 Εξοπλισμός λαπαροσκοπικής αιθούσης. βασικά εργαλεία, τεχνολογική υποστήριξη, Γεώργιος Β. Αναστασόπουλος Χειρουργός
- 2.4 Λαπαροσκοπική χειρουργική. <http://el.wikipedia.org/wiki>
- 2.5 Οι επιπλοκές στη λαπαροσκοπική χειρουργική. Γ. Κουταλέλης¹, Ι. Αναστασίου², ¹ Ειδικευόμενος Ουρολογίας, ² Λέκτορας Πανεπιστημίου Αθηνών ΓΝΑ «Λαϊκό»

3. Ρομποτική χειρουργική

- 3.1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ. Κωνσταντίνος Μ. Κωνσταντινίδης ΕΠ. Καθηγητής, Δ/ντής Γενικής, Λαπαροσκοπικής και Ρομποτικής Χειρουργικής «Ιατρικού Κέντρου Αθηνών».
- 3.2 B. Davies, R. Hibberd, W. Ng, A. Timoney, J. Wickham. "Development of a surgeon robot for prostatectomies". *J. Engrg. Med., Proc. Inst. of Mech. Engrg.* 1991, σσ. 35-38.
- 3.3 "A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery". YS, Kwoh, J, Hou και EA, Jonckheere. s.l. : IEEE Trans Biomed Eng., 1988. σσ. 153-161.
- 3.4 Drake, J. M., και συν. "Computer- and robot-assisted resection of thalamic astrocytomas in children". *Neurosurgery.* 1991, Σόμ. 29, 1, σσ. 27-33.
- 3.5 Cain, P., και συν. "Safety considerations in a surgical robot". *Biomed.Sci.Instrum.* 1993, Σόμ. 29, σσ. 291-294.
- 3.6 "A review of robotics in surgery". Davies, B. s.l. : Proc Inst Mech Eng, 2000. σσ. 129-140. 214.

- 3.7 Satava, R. M. "Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective". *Surg Laparosc.Endosc.Percutan.Tech.* 2002, Σόμ. 12, 1, σσ. 6-16.
- 3.8 M. O. Schurr, G. Buess, B. Neisius, U. Voges. "Robotics and telemanipulation technologies for endoscopic surgery". s.l. : Surgican Endoscopy, 2000. 14, σσ. 375-381.
- 3.9 Marescaux, J. και M., L. J. G. "Transatlantic robot-assisted telesurgery". *Nature.* 2001, Σόμ. 413, σσ. 379-380.
- 3.10 "“Robotics and telerobotics applied to a prostate biopsy on a human patient”. Rovetta, A. και Sala., R. Baltimore : Second Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 1995.
- 3.11 J.Marescaux, και συν. "The virtual university applied to telesurgery:from teleeducation to tele-manipulation". *Bull Acad Natl Med.* 1999, 183, σσ. 509-521.
- 3.12 Frimberger, D., και συν. "Telerobotic surgery between Baltimore and Munich". *Urologe A.* 2002, Σόμ. 41, 5, σσ. 489-492.
- 3.13 Lanfranco A., Castellanos A., Desai J. and Meyers W., *Robotic Surgery: A Current Perspective*, *Annals of Surgery*, 239(1):14-21, January 2004 <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1356187>
- 3.14 *Robotic Surgery* <http://library.thinkquest.org/03oct/00760>
- 3.15 Κωνσταντινίδης Κ., *Πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής*, Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Ρομποτικής Χειρουργικής, 2008 <http://robotic.kkonstantinidis.com/index.php/2008-10-23-16-20-35>
- 3.16 Morris B., *Robotic Surgery: Applications, Limitations, and Impact on Surgical Education*, *Medscape General Medicine*, 7(3):72, September 2005 <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1681689>

4. Το χειρουργικό σύστημα da Vinci

- 4.1 David B. Camarillo, Thomas M. Krummel, J. Kenneth Salisbury, Jr. *Robotic technology in surgery: past, present, and future*. *The American Journal of Surgery* 188 (Suppl to October 2004) 2S–15S.
- 4.2 http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/davinci.html
- 4.3 www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgical_system

- 4.4 Gary S. Guthart, Gary S. Guthart, *The Intuitive™ Telesurgery System: Overview and Application*. 103 Proc IEEE International Conference on Robotics & Automation
- 4.5 <http://www.intuitivesurgical.com/products>
- 4.6 Robot-Assisted Surgery: da Vinci Surgical System
http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/davinci.html
- 4.7 <http://www.intuitivesurgical.com/products/index.aspx>
- 4.8 Gerhardus D., Robot-assisted surgery. The future is here, *Journal of Healthcare Management*, 48(4):242-251, July/August 2003
http://www.entrepreneur.com/tradejournals/article/106226723_3.html

5. Ενδοσκοπική χειρουργική δια μέσω φυσικών οπών

- 5.1 Χειρουργική χωρίς τομές η αρχή μιας νέας εποχής. Δημήτριος Τσακαγιάννης - Χειρουργός, Ηλίας Σκοτινιώτης – Γαστρεντερολόγος.
- 5.2 Draganov P , Lin T , Chauhan S , et al. Prospective evaluation of the clinical utility of ERCP - guided cholangiopancreatography with a new direct visualization system . *Gastrointest Endosc* 2011 ; **73** (5): 971 – 9 .
- 5.3 Giday SA , Kantsevov SV , Kalloo AN . Principle and history of Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery (NOTES) .*Minim Invasive Ther Allied Technol* 2006 ; **15** (6): 373 – 7 .
- 5.4 Kalloo AN , Singh VK , Jagannath SB , et al. Flexible transgastric peritoneoscopy: a novel approach to diagnostic and therapeutic interventions in the peritoneal cavity . *Gastrointest Endosc* 2004 ; **60** (1): 114 – 17 .
- 5.5 Rao GV , Reddy DN , Banerjee R . NOTES: human experience . *Gastrointest Endosc Clin N Am* 2008 ; **18** (2): 361 – 70 ; x .
- 5.6 Fritscher - Ravens A . Transgastric endoscopy – a new fashion, a new excitement! *Endoscopy* 2007 ; **39** (2): 161 – 7 .
- 5.7 Swain P , Bagga HS , Su LM . Status of endoscopes and instruments used during NOTES . *J Endourol* 2009 ; **23** (5): 773 – 80 .
- 5.8 Fritscher - Ravens A , Mosse CA , Mukherjee D , et al. Translumenal endosurgery: single lumen access anastomotic device for flexible endoscopy . *Gastrointest Endosc* 2003 ; **58** (4): 585 – 91 .

- 5.9 Jagannath SB , Kantsevov SV , Vaughn CA , et al. Peroral transgastric endoscopic ligation of fallopian tubes with long – term survival in a porcine model . *Gastrointest Endosc* 2005 ; **61** (3): 449 – 53 .
- 5.10 Kantsevov SV , Jagannath SB , Niiyama H , et al. Endoscopic gastrojejunostomy with survival in a porcine model . *Gastrointest Endosc* 2005 ; **62** (2): 287 – 92 .
- 5.11 Merrifield BF , Wagh MS , Thompson CC . Peroral transgastric organ resection: a feasibility study in pigs . *Gastrointest Endosc* 2006 ; **63** (4): 6937 .
- 5.12 Rattner D , Kalloo A . ASGE/SAGES Working Group on Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery. October 2005 . *Surg Endosc* 2006 ; **20** (2): 329 – 33 .
- 5.13 Kantsevov SV , Niiyama H , Jagannath SB , et al. The endoscopic transilluminator: an endoscopic device for identification of the proximal jejunum for transgastric endoscopic gastrojejunostomy. *Gastrointest Endosc* 2006 ; **63** (7): 1055 – 8 .
- 5.14 Bergstrom M , Ikeda K , Swain P , Park PO . Transgastric anastomosis by using flexible endoscopy in a porcine model (with video) . *Gastrointest Endosc* 2006 ; **63** (2): 307 – 12 .
- 5.15 Wagh MS , Merrifield BF , Thompson CC . Endoscopic transgastric abdominal exploration and organ resection: initial experience in a porcine model . *Clin Gastroenterol Hepatol* 2005 ; **3** (9): 892 – 6 .
- 5.16 Wagh MS , Merrifield BF , Thompson CC . Survival studies after endoscopic transgastric oophorectomy and tubectomy in a porcine model . *Gastrointest Endosc* 2006 ; **63** (3): 473 – 8 .
- 5.17 Park PO , Bergstrom M , Ikeda K , Fritscher - Ravens A , Swain P . Experimental studies of transgastric gallbladder surgery: cholecystectomy and cholecystogastric anastomosis (videos) . *Gastrointest Endosc* 2005 ; **61** (4): 601 – 6 .
- 5.18 Fritscher - Ravens A , Mosse CA , Ikeda K , Swain P . Endoscopic transgastric lymphadenectomy by using EUS for selection and guidance . *Gastrointest Endosc* 2006 ; **63** (2): 302 – 6 .
- 5.19 von Delius S , Feussner H , Wilhelm D , et al. Transgastric in vivo histology in the peritoneal cavity using miniprobe - based confocal fluorescence microscopy in an acute porcine model . *Endoscopy* 2007 ; **39** (5): 407 – 11 .

- 5.20 Swanstrom LL , Kozarek R , Pasricha PJ , et al. Development of a new access device for transgastric surgery . *J Gastrointest Surg* 2005 ; **9** (8): 1129 – 37 .
- 5.21 Magno P , Giday SA , Dray X , et al. A new stapler - based full - thickness transgastric access closure: results from an animal pilot trial . *Endoscopy* 2007 ; **39** (10): 876 – 80 .
- 5.22 Perretta S , Sereno S , Forgione A , et al. A new method to close the gastrotomy by using a cardiac septal occluder: long – term survival study in a porcine model . *Gastrointest Endosc* 2007 ; **66** (4):809 – 13 .
- 5.23 Rentschler ME , Dumpert J , Platt SR , Farritor SM , Oleynikov D . Natural orifice surgery with an endoluminal mobile robot . *Surg Endosc* 2007 ; **21** (7): 1212 – 15 .
- 5.24 Fong DG , Pai RD , Thompson CC . Transcolonic endoscopic abdominal exploration: a NOTES survival study in a porcine model . *Gastrointest Endosc* 2007 ; **65** (2): 312 – 18 .
- 5.25 Fong DG , Ryou M , Pai RD , et al. Transcolonic ventral wall hernia mesh fixation in a porcine model . *Endoscopy* 2007 ; **39** (10):865 – 9 .
- 5.26 Pai RD , Fong DG , Bundga ME , et al. Transcolonic endoscopic cholecystectomy: a NOTES survival study in a porcine model (with video) . *Gastrointest Endosc* 2006 ; **64** (3): 428 – 34 .
- 5.27 Lima E , Rolanda C , Correia - Pinto J . Transvesical endoscopic peritoneoscopy: intra - abdominal scarless surgery for urologic applications . *Curr Urol Rep* 2008 ; **9** (1): 50 – 54 .
- 5.28 Lima E , Henriques - Coelho T , Rolanda C , et al. Transvesical thoracoscopy: a natural orifice transluminal endoscopic approach for thoracic surgery . *Surg Endosc* 2007 ; **21** (6): 854 – 8 .
- 5.29 Sumiyama K , Gostout CJ , Rajan E , Bakken TA , Knipschild MA . Transesophageal mediastinoscopy by submucosal endoscopy with mucosal flap safety valve technique . *Gastrointest Endosc* 2007 ; **65** (4): 679 – 83 .
- 5.30 Hazey JW , Narula VK , Renton DB , et al. Natural - orifice transgastric endoscopic peritoneoscopy in humans: initial clinical trial . *Surg Endosc* 2008 14; **22** (1): 16 – 20 .
- 5.31 Steele K , Schweitzer MA , Lyn - Sue J , Kantsevoy SV . Flexible transgastric peritoneoscopy and liver biopsy: a feasibility study in human beings (with videos) . *Gastrointest Endosc* 2008 26; **68** (1):61 – 6 .

- 5.32 Marks JM , Ponsky JL , Pearl JP , McGee MF . PEG “ rescue ” : a practical NOTES technique . *Surg Endosc* 2007 ; **21** (5): 816 – 19 .
- 5.33 Zorron R , Filgueiras M , Maggioni LC , et al. NOTES. Transvaginal cholecystectomy: report of the first case . *Surg Innov* 2007 ; **14** (4): 279 – 83.
- 5.34 Ramos AC , Murakami A , Galvao Neto M , et al. NOTES transvaginal video - assisted cholecystectomy: first series . *Endoscopy* 2008 ; **40** (7): 572 – 5 .
- 5.35 Zornig C , Emmermann A , von Waldenfels HA , Mofid H . Laparoscopic cholecystectomy without visible scar: combined transvaginal and transumbilical approach . *Endoscopy* 2007 ; **39** (10): 913 – 15 .
- 5.36 Zorron R , Maggioni LC , Pombo L , et al. NOTES transvaginal cholecystectomy: preliminary clinical application . *Surg Endosc* 2008 ; **22** (2): 542 – 7 .
- 5.37 Lehmann KS , Ritz JP , Wibmer A , et al. The German registry for natural orifice transluminal endoscopic surgery: report of the first 551 patients . *Ann Surg* 2010 ; **252** (2): 263 – 70 .
- 5.38 Sumiyama K , Gostout CJ , Rajan E , et al. Transgastric cholecystectomy: transgastric accessibility to the gallbladder improved with the SEMF method and a novel multibending therapeutic endoscope . *Gastrointest Endosc* 2007 ; **65** (7): 1028– 34 .
- 5.39 Sumiyama K , Gostout CJ , Rajan E , et al. Submucosal endoscopy with mucosal flap safety valve . *Gastrointest Endosc* 2007 ; **65** (4): 688-94.
- 5.40 Sumiyama K , Tajiri H , Gostout CJ . Submucosal endoscopy with mucosal flap safety valve (SEMF) technique: a safe access method into the peritoneal cavity and mediastinum . *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2008 ; **29** : 1 – 5 .
- 5.41 Inoue H , Minami H , Kobayashi Y , et al. Peroral endoscopic myotomy (POEM) for esophageal achalasia . *Endoscopy* 2010 ; **42** (4): 265 – 71 .
- 5.42 Pasricha PJ , Hawari R , Ahmed I , et al. Submucosal endoscopic esophageal myotomy: a novel experimental approach for the treatment of achalasia . *Endoscopy* 2007 ; **39** (9): 761 – 4 .
- 5.43 Abe N , Takeuchi H , Yanagida O , et al. Endoscopic full – thickness resection with laparoscopic assistance as hybrid NOTES for gastric submucosal tumor . *Surg Endosc* 2009 ; **23** (8): 1908 – 13 .

- 5.44 Zhou PH , Yao LQ , Qin XY , et al. Endoscopic full - thickness resection without laparoscopic assistance for gastric submucosal tumors originated from the muscularis propria . *Surg Endosc* 2011 ; **25** (9): 2926 – 31 .
- 5.45 Manouchehri N , Birch DW , Menzes C , Shi X , Karmali S . Natural orifice surgery: endoluminal pouch reduction following failed vertical banded gastroplasty . *Obes Surg* 2011 ; **21** (11): 1787 – 91 .
- 5.46 Watson R , Thompson C . NOTES spin - off for the therapeutic gastroenterologist: natural orifice surgery . *Minerva Gastroenterol Dietol* 2011 ; **57** (2): 177 – 91 .
- 5.47 Dias AR , Nahas CS , Marques CF , Nahas SC , Cecconello I . Transanal endoscopic microsurgery: indications, results and controversies. *Tech Coloproctol* 2009 ; **13** (2): 105 – 11 .
- 5.48 A. Degani, H. Choset, A. Wolf, and M. A. Zenati, “Highly articulated robotic probe for minimally invasive surgery,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '06)*, pp. 4167–4172, Orlando, Fla,USA, May 2006.
- 5.49 D. J. Abbott, C. Becke, R. I. Rothstein, and W. J. Peine, “Design of an endoluminal NOTES robotic system,” in *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '07)*, pp. 410–416, San Diego, Calif, USA, October 2007.
- 5.50 J. P. Pearl and J. L. Ponsky, “Natural orifice transluminal endoscopic surgery: a critical review,” *Journal of Gastrointestinal Surgery*, vol. 12, no. 7, pp. 1293–1300, 2008.
- 5.51 <http://www.usgimedical.com/eos/index.htm> .
- 5.52 L. Swanstrom, P. Swain, and P. Denk, “Development and validation of a new generation of flexible endoscope for NOTES,” *Surgical Innovation*, vol. 16, no. 2, pp. 104–110, 2009.
- 5.53 J. Yonezawa, M. Kaise, K. Sumiyama, K. Goda, H. Arakawa, and H. Tajiri, “A novel double-channel therapeutic endoscope (“R-scope”) facilitates endoscopic submucosal dissection of superficial gastric neoplasms,” *Endoscopy*, vol. 38, no. 10, pp. 1011–1015, 2006.
- 5.54 L. L. Swanstrom, R. Kozarek, P. J. Pasricha et al., “Development of a new access device for transgastric surgery,” *Journal of Gastrointestinal Surgery*, vol. 9, no. 8, pp. 1129–1137, 2005.

- 5.55 R. A. Cahill, “Natural orifice transluminal endoscopic surgery—here and now,” *The Surgeon*, vol. 8, no. 1, pp. 44–50, 2010.
- 5.56 M. C. Meadows and R. S. Chamberlain, “A review on the status of natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) cholecystectomy: techniques and challenges,” *Open Access Surgery*, vol. 3, pp. 73–86, 2010.
- 5.57 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ - ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΙΕΜΒΑΤΙΚΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΣΕ ΧΟΙΡΟΥΣ. Διπλωματική εργασία, μεταπτυχιακού προγράμματος ‘‘ΙΑΤΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ’’. Χαραλαμπίδης Σωτήριος - Ιατρός
- 5.58 Lima E, Rolanda C, Pego JM, et al.. Transvesical endoscopic peritoneoscopy: a novel 5 mm port for intra-abdominal scarless surgery. *J Urol* 2006, 176:802–805.
- 5.59 Lima E, Henriques-Coelho T, Rolanda C, Pego JM, Silva D, Carvalho JL, Correia-Pinto J.. Transvesical thoracoscopy: a natural orifice transluminal endoscopic approach for thoracic surgery. *Surg Endosc*. 2007 Jun;21(6):854-8. Epub 2007 May 4.
- 5.60 Fong DG, Ryou M, Pai RD, Tavakkolizadeh A, Rattner DW, Thompson CC Transcolonic ventral wall hernia mesh fixation in a porcine model. *Endoscopy*. 2007 Oct;39(10):865-9.
- 5.61 Wilhelm D, Meining A, von Delius S, Fiolka A, Can S, Hann von Weyhern C, Schneider A, Feussner H. An innovative, safe and sterile sigmoid access (ISSA) for NOTES. *Endoscopy*. 2007 May;39(5):401-6.
- 5.62 Raju GS, Fritscher-Ravens A, Rothstein RI, Swain P, Gelrud A, Ahmed I, Gomez G, Winny M, Sonnanstine T, Bergstrom M, Park PO. Endoscopic closure of colon perforation compared to surgery in a porcine model: a randomized controlled trial (with videos). *Gastrointest Endosc*. 2008 Aug;68(2):324-32. Epub 2008 Jun 17. Erratum in: *Gastrointest Endosc*. 2008 Sep;68(3):616
- 5.63 Raju GS, Pham B, Xiao SY, Brining D, Ahmed I. A pilot study of endoscopic closure of colonic perforations with endoclips in a swine model. *Gastrointest Endosc*. 2005 Nov;62(5):791-5.
- 5.64 Romanelli JR, Mark L, Omotosho PA (2008) Single-port laparoscopic cholecystectomy with the TriPort system: a case report. *Surg Innov* 15:223–228

- 5.65 Madan AK, Batra AK. Percutaneous endoscopic gastrostomy in the elderly: complications (review). *J Nutr Elder*. 1996;15(4):39-49. Review.
- 5.66 Blessing WD Jr, Ross JM, Kennedy CI, Richardson WS. Laparoscopic assisted peritoneal dialysis catheter placement, an improvement on the single trocar technique. *Am Surg*. 2005 Dec;71(12):1042-6.
- 5.67 Merrifield BF, Wagh MS, Thompson CC. Peroral transgastric organ resection: a feasibility study in pigs. *Gastrointest Endosc*. 2006 Apr;63(4):693-7.
- 5.68 Sohn DK, Turner BG, Gee DW, Willingham FF, Sylla P, Cizginer S, Konuk Y, Brugge WR, Rattner DW. Reducing the unexpectedly high rate of injuries caused by NOTES gastrotomy creation. *Surg Endosc*. 2010 Feb;24(2):277-82. Epub 2009 Jun 17.
- 5.69 Nau P, Anderson J, Yuh B, Muscarella P Jr, Christopher Ellison E, Happel L, Narula VK, Melvin WS, Hazey JW. Diagnostic transgastric endoscopic peritoneoscopy: extension of the initial human trial for staging of pancreatic head masses. *Surg Endosc*. 2010 Jun;24(6):1440-6. Epub 2010 Jan 7.
- 5.70 Gauderer MW, Ponsky JL, Izant RJ Jr.. Gastrostomy without laparotomy: a percutaneous endoscopic technique. 1980. *Nutrition*. 1998 Sep;14(9):736-8
- 5.71 Piraka C, Shah RJ, Fukami N, Chathadi KV, Chen YK. EUS-guided transesophageal, transgastric, and transcolonic drainage of intra-abdominal fluid collections and abscesses. *Gastrointest Endosc*. 2009 Oct;70(4):786-92. Epub 2009 Jul 4.
- 5.72 Voermans RP, van Berge Henegouwen MI, Bemelman WA, Fockens P. Feasibility of transgastric and transcolonic natural orifice transluminal endoscopic surgery peritoneoscopy combined with intraperitoneal EUS. *Gastrointest Endosc*. 2009 Jun;69(7):e61-7.
- 5.73 Elmunzer BJ, Schomisch SJ, Trunzo JA, Poulouse BK, Delaney CP, McGee MF, Faulx AL, Marks JM, Ponsky JL, Chak A. EUS in localizing safe alternate access sites for natural orifice transluminal endoscopic surgery: initial experience in a porcine model. *Gastrointest Endosc*. 2009 Jan;69(1):108-14. Epub 2008 Jul 16.
- 5.74 Lima E, Rolanda C, Correia-Pinto J. Transvesical endoscopic peritoneoscopy: intra-abdominal scarless surgery for urologic applications. *Curr Urol Rep*. 2008 Jan;9(1):50-4. Review.

- 5.75 Metzelder M, Vieten G, Gosemann JH, Ure B, Kuebler JF. Endoloop closure of the urinary bladder is safe and efficient in female piglets undergoing transurethral NOTES nephrectomy. *Eur J Pediatr Surg*. 2009 Dec;19(6):362-5.
- 5.76 E.Sporn, B. W. Miedema, J.A.Astudillo, Kthaler. Access and closure for NOTES. *Eur Surg* 2008 April;40/3:94-102
- 5.77 Arezzo A, Morino M. Endoscopic closure of gastric access in perspective NOTES: an update on techniques and technologies. *Surg Endosc*. 2010 Feb;24(2):298-303. Epub 2009 Jun 30. Review.
- 5.78 Sumiyama K, Gostout CJ, Rajan E, Bakken TA, Deters JL, Knipschild MA. Endoscopic full-thickness closure of large gastric perforations by use of tissue anchors. *Gastrointest Endosc*. 2007 Jan;65(1):134-9.
- 5.79 Park PO, Bergstrom M, Ikeda K, et al. Experimental studies of transgastric gallbladder surgery: cholecystectomy and cholecystogastric anastomosis (videos). *Gastrointest Endosc* (2005) 61(4):601–606
- 5.80 Fritscher-Ravens A, Mosse CA, Ikeda K, Swain P. Endoscopic transgastric lymphadenectomy by using EUS for selection and guidance. *Gastrointest Endosc*. 2006 Feb;63(2):302-6.
- 5.81 Sporn E, Miedema BW, Bachman SL, Astudillo JA, Loy TS, Calaluce R, Thaler K. Endoscopic colotomy closure after full thickness excision: comparison of T fastener with multiclip applicator. *Endoscopy*. 2008 Jul;40(7):589-94.
- 5.82 Raju GS, Shibukawa G, Ahmed I, Brining D, Poussard A, Xiao SY, Coe J, Cropper M, Martin D, Hull J. Endoluminal suturing may overcome the limitations of clip closure of a gaping wide colon perforation (with videos). *Gastrointest Endosc*. 2007 May;65(6):906-11. Epub 2007 Mar 9.
- 5.83 Sporn E, Bachman SL, Miedema BW, Loy TS, Calaluce R, Thaler K. Endoscopic colotomy closure for natural orifice transluminal endoscopic surgery using a T-fastener prototype in comparison to conventional laparoscopic suture closure. *Gastrointest Endosc*. 2008 Oct;68(4):724-30. Epub 2008 Jun 4.
- 5.84 Atkinson M, Bottril MB, Edwards AT, Mitchell WM, Peet BG, Williams RE. Mucosal tears at the oesophagogastric junction (the Mallory-Weiss syndrome). *Gut*. 1961 Mar;2:1-11.
- 5.85 Matthews BD, Walsh RM, Kercher KW, Sing RF, Pratt BL, Answini GA, Heniford BT. Laparoscopic vs open resection of gastric stromal tumors. *Surg Endosc*. 2002 May;16(5):803-7. Epub 2002 Feb 8.

- 5.86 Bergstrom M, Ikeda K, Swain P, Park PO. Transgastric anastomosis by using flexible endoscopy in a porcine model (with video). *Gastrointest Endosc.* 2006 Feb;63(2):307-12.
- 5.87 Fritscher-Ravens A, Mosse CA, Mukherjee D, Yazaki E, Park PO, Mills T, Swain P. Transgastric gastropexy and hiatal hernia repair for GERD under EUS control: a porcine model. *Gastrointest Endosc.* 2004 Jan;59(1):89-95.
- 5.88 Pham BV, Raju GS, Ahmed I, Brining D, Chung S, Cotton P, Gostout CJ, Hawes RH, Kalloo AN, Kantsevov SV, Pasricha PJ. Immediate endoscopic closure of colon perforation by using a prototype endoscopic suturing device: feasibility and outcome in a porcine model (with video). *Gastrointest Endosc.* 2006 Jul;64(1):113-9.
- 5.89 Chiu PW, Lau JY, Ng EK, Lam CC, Hui M, To KF, Sung JJ, Chung SS. Closure of a gastrotomy after transgastric tubal ligation by using the Eagle Claw VII: a survival experiment in a porcine model (with video). *Gastrointest Endosc.* 2008 Sep;68(3):554-9. Epub 2008 Jul 16.
- 5.90 Hu B, Chung SC, Sun LC, Lau JY, Kawashima K, Yamamoto T, Cotton PB, Gostout CJ, Hawes RH, Kalloo AN, Kantsevov SV, Pasricha PJ. Developing an animal model of massive ulcer bleeding for assessing endoscopic hemostatic devices. *Endoscopy.* 2005 Sep;37(9):847-51.
- 5.91 Chuttani R, Sud R, Sachdev G, Puri R, Kozarek R, Haber G, Pleskow D, Zaman M, Lembo A. A novel endoscopic full-thickness plicator for the treatment of GERD: A pilot study. *Gastrointest Endosc.* 2003 Nov;58(5):770-6.
- 5.92 Chuttani R, Kozarek R, Critchlow J, Lo S, Pleskow D, Brandwein S, Lembo T. A novel endoscopic full-thickness plicator for treatment of GERD: an animal model study. *Gastrointest Endosc.* 2002 Jul;56(1):116-22.
- 5.93 Deprest JA, Devlieger R, Srisupundit K, Beck V, Sandaite I, Rusconi S, Claus F, Naulaers G, Van de Velde M, Brady P, Devriendt K, Vermeesch J, Toelen J, Carlon M, Debyser Z, De Catte L, Lewi L. Fetal surgery is a clinical reality. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2010 Feb;15(1):58-67. Epub 2009 Nov 13. Review.
- 5.94 von Renteln D, Schmidt A, Riecken B, Caca K. Gastric full-thickness suturing during EMR and for treatment of gastric-wall defects (with video). *Gastrointest Endosc.* 2008 Apr;67(4):738-44. Epub 2008 Mar 4.
- 5.95 McGee MF, Marks JM, Jin J, Williams C, Chak A, Schomisch SJ, Andrews J, Okada S, Ponsky JL. Complete endoscopic closure of gastric defects using a

- full-thickness tissue plicating device. *J Gastrointest Surg.* 2008 Jan;12(1):38-45. Epub 2007 Oct 24.
- 5.96 Swanstrom LL. [Current technology development for natural orifice transluminal endoscopic surgery], [Article in Spanish]. *Cir Esp.* 2006 Nov;80(5):283-8.
- 5.97 Ryou M, Pai RD, Sauer JS, Rattner DW, Thompson CC. Evaluating an optimal gastric closure method for transgastric surgery. *Surg Endosc.* 2007 Apr;21(4):677-80. Epub 2006 Dec 8.
- 5.98 Kalloo AN, Singh VK, Jagannath SB, Niiyama H, Hill SL, Vaughn CA, Magee CA, Kantsevov SV . Flexible transgastric peritoneoscopy: a novel approach to diagnostic and therapeutic interventions in the peritoneal cavity. *Gastrointest. Endosc* 2004, 60:114–117
- 5.99 von Delius S, Gillen S, Doundoulakis E, Schneider A, Wilhelm D, Fiolka A, Wagenpfeil S, Schmid RM, Feussner H, Meining A. Comparison of transgastric access techniques for natural orifice transluminal endoscopic surgery. *Gastrointest Endosc.* 2008 Nov;68(5):940-7. Epub 2008 Jun 17.
- 5.100 Kirschniak A, Traub F, Kueper MA, Stuker D, Konigsrainer A, Kratt T. Endoscopic treatment of gastric perforation caused by acute necrotizing pancreatitis using over-the-scope clips: a case report. *Endoscopy.* 2007 Dec;39(12):1100-2.
- 5.101 Rolanda C, Lima E, Silva D, Moreira I, Pego JM, Macedo G, Correia-Pinto J. In vivo assessment of gastrotomy closure with over-the-scope clips in an experimental model for varicocelectomy (with video). *Gastrointest Endosc.* 2009 Dec;70(6):1137-45. Epub 2009 Jul 31.
- 5.102 Schurr MO, Arezzo A, Ho CN, Anhoeck G, Buess G, Di Lorenzo N. The OTSC clip for endoscopic organ closure in NOTES: device and technique. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2008;17(4):262-6.
- 5.103 Schurr MO, Hartmann C, Ho CN, Fleisch C, Kirschniak A. An over-the-scope clip (OTSC) system for closure of iatrogenic colon perforations: results of an experimental survival study in pigs. [Experimental study on a new method for colonoscopic closure of large-bowel perforations with the OTSC clip]. *Endoscopy.* 2008 Jul;40(7):584-8. Epub 2008 Jun 3.
- 5.104 Schurr MO, Hartmann C, Kirschniak A, Ho CN, Fleisch C, Buess G. [Experimental study on a new method for colonoscopic closure of large-bowel

- perforations with the OTSC clip]. *Biomed Tech (Berl)*. 2008;53(2):45-51. German.
- 5.105 von Renteln D, Schmidt A, Vassiliou MC, Gieselmann M, Caca K. Natural orifice transluminal endoscopic surgery gastrotomy closure with an over-the-endoscope clip: a randomized, controlled porcine study (with videos). *Gastrointest Endosc*. 2009 Oct;70(4):732-9. Epub 2009 Jun 25.
- 5.106 Fong DG, Pai RD, Thompson CC. Transcolonic endoscopic abdominal exploration: a NOTES survival study in a porcine model. *Gastrointest Endosc*. 2007 Feb;65(2):312-8. Epub 2006 Dec 14.
- 5.107 Matthews JC, Chin MS, Fernandez-Esparrach G, Shaikh SN, Pietramaggiori G, Scherer SS, Ryan MB, Ferrigno M, Orgill DP, Thompson CC. Early healing of transcolonic and transgastric natural orifice transluminal endoscopic surgery access sites. *J Am Coll Surg*. 2010 Apr;210(4):480-90.
- 5.108 Ryou M, Fong DG, Pai RD, Rattner DW, Thompson CC. Transluminal closure for NOTES: an ex vivo study comparing leak pressures of various gastrotomy and colotomy closure modalities. *Endoscopy*. 2008 May;40(5):432-6. Epub 2008 Apr 11.
- 5.109 Sherwinter DA, Eckstein JG. Feasibility study of natural orifice transluminal endoscopic surgery inguinal hernia repair. *Gastrointest Endosc*. 2009 Jul;70(1):126-30. Epub 2009 Feb 27.
- 5.110 Kaehler G, Grobholz R, Langner C, Suchan K, Post S. A new technique of endoscopic full-thickness resection using a flexible stapler. *Endoscopy*. 2006 Jan;38(1):86-9.
- 5.111 Onders RP, McGee MF, Marks J, Chak A, Rosen MJ, Ignagni A, Faulx A, Schomisch S, Ponsky J. Natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) as a diagnostic tool in the intensive care unit. *Surg Endosc*. 2007 Apr;21(4):681-3. Epub 2007 Feb 16.
- 5.112 Shin EJ, Ko CW, Magno P, Giday SA, Clarke JO, Buscaglia JM, Sedrakyan G, Jagannath SB, Kalloo AN, Kantsevov SV. Comparative study of endoscopic clips: duration of attachment at the site of clip application. *Gastrointest Endosc*. 2007 Oct;66(4):757-61.
- 5.113 Moyer MT, Pauli EM, Haluck RS, Mathew A. A self-approximating transluminal access technique for potential use in NOTES: an ex vivo porcine

model (with video). *Gastrointest Endosc.* 2007 Nov;66(5):974-8. Epub 2007 Sep 27.

5.114 Pauli EM, Haluck RS, Ionescu AM, Rogers AM, Shope TR, Moyer MT, Biswas A, Mathew A. Directed submucosal tunneling permits in-line endoscope positioning for transgastric natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES). *Surg Endosc.* 2010 Jun;24(6):1474-81. Epub 2009 Dec 24.

5.115 Dray X, Giday SA, Buscaglia JM, Gabrielson KL, Kantsevov SV, Magno P, Assumpcao L, Shin EJ, Reddings SK, Woods KE, Marohn MR, Kalloo AN. Omentoplasty for gastrotomy closure after natural orifice transluminal endoscopic surgery procedures (with video). *Gastrointest Endosc.* 2009 Jul;70(1):131-40. Epub 2009 Apr 25.

6. Μικρο-ρομπότ στη NOTES

6.1 Wikipedia. *Microbotics*. 2009. <http://en.wikipedia.org/wiki/Microbotics>.

6.2 i-swarm. 2008. <http://i-swarm.org/>.

6.3 Vijay Kumar, George Pappas, Agung Julius. Biological Actuation, Sensing, and Transport Laboratory at Drexel University. *Hybrid Control of Microbiorobots at Low Reynold Number*. 2009. <http://www.pages.drexel.edu/~mk489/research-c2.html>.

6.4 Forgione, A. In vivo microrobots for natural orifice transluminal surgery. Current status and future perspectives. *J Sur Onc.* 2008, 12:006.

6.5 Given Imaging's PillCam SB. 2009. <http://www.givenimaging.com>.

6.6 D. S. K. M. B. c. o. e. c. e. v. c. e. f. a. d. o. B. e. i. p. w. c. g. r. O.S. Lin.

6.7 In vivo microrobots for natural orifice transluminal surgery. Current status and future perspectives, Antonello Forgione, *Surgical Oncology* (2009) xx, 1-9

6.8 Miniature in vivo Robots for Remote and Harsh Environments, Mark E. Rentschler, Stephen R. Platt, Kyle Berg, Jason Dumpert, Dmitry Oleynikov, and Shane M. Farritor, *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE*, VOL. 12, NO. 1, JANUARY 2008

6.9 In-Vivo Stereoscopic Imaging System with 5 Degrees-of-Freedom for Minimal Access, Andrew MILLER, Ph.D. Peter ALLEN, Ph.D. Dennis FOWLER, M.D. Dept. of Computer Science and Dept. of Surgery, Columbia University, New York, NY Surgery,

- 6.10 Mobile In Vivo Biopsy Robot, Mark E. Rentschler, Jason Dumpert, Stephen R. Platt, Dmitry Oleynikov, and Shane M. Farritor, Karl Iagnemma
- 6.11 A reconfigurable modular robotic endoluminal surgical system: vision and preliminary results, Kanako Harada, Denny Oetomo, Ekawahyu Susilo, Arianna Menciassi, David Daney, Jean-Pierre Merlet, *Robotica* (2010) volume 28, pp. 171–183. © Cambridge University Press 2009
- 6.12 2009., « <http://www.ares-nest.org/tiki-index.php?page=results>,
- 6.13 In vivo miniature robots for natural orifice surgery: State of the art and future perspectives, Antonello Forgione
- 6.14 Miniature In Vivo Robots for NOTES, Shane M. Farritor, Amy C. Lehman, and Dmitry Oleynikov
- 6.15 <http://www.research.philips.com/technologies/ipill.html>

7. Νανορομποτική (Nanorobotics)

- 7.1 Jagannathan S, Chaansha S, Rajesh K, Santhiya T, Jayaraj D, Iyappan S R. A novel approaches in delivering immunobiologicals: A Glimpse. *Advanced Biotech.* 2009; 8(11):22- 31.
- 7.2 Parakh S R, C Swati C Jagdale, S Namita S Dodwadkar, Kashyap D Savalia. . Nanotechnology. *The Indian pharmacist.* 2008; 15-18.
- 7.3 Kewal K Jain. .Applications of Nanobiotechnology in Clinical Diagnostics. *Clinical Chemistry, Oak ridge conference.* 2007; 53(11):2002-2009.
- 7.4 Christine Peterson. Nanomedicine: the most challenging application of advanced nanotechnology, *The Frontier of the Invisible.* 2004; 21-29.
- 7.5 Adriano Cavalcanti et al. 2007 IEEE International conference on Nanotechnology Hardware Architecture for Nanorobot Application in Cerebral Aneurysm.
- 7.6 Kumar S S and P S Babu. Nanotechnology. *Pharma Times.* 2006; 38:18-19.
- 7.7 Hellinga H W and F M Richards. Construction of new ligand binding sites in proteins of known structure. I. Computer-aided modeling of sites with pre-defined geometry. *J. Mol. Biol.* 1991; 222:763-785. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2836\(91\)90510-D](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2836(91)90510-D)
- 7.8 Ummat A, Sharma G, Mavroidis C, Dubey A. Bio-nanorobotics: state of the art and future challenges. In *Biomedical engineering handbook, bio-nano robotics,*

- London, *United Kingdom: Tissue engineering and artificial organs*. 2005; 19:19-42.
- 7.9 Adriano Cavalcanti, Bijan Shirinzadeh, Robert A Freitas, Luiz C Kretly. Medical nanorobot architecture based on nanobioelectronics. *Recent patents on nanotechnology*. 2007; 1(1):1-10.<http://dx.doi.org/10.2174/187221007779814745>
- 7.10 Zhang J, Sabharwal C L, Tao W, Tarn T J, Xi N, and Li G. “Interactive DNA sequence and structure design for DNA nanoapplications”. *IEEE Transactions on Nanobioscience*. 2004; 3(4):286-292. <http://dx.doi.org/10.1109/TNB.2004.837918>
- 7.11 Adriano Cavalcanti, et al., Nanorobot Hardware Architecture for Medical defense, *Sensors*. 2008; 8:2932-2958.<http://dx.doi.org/10.3390/s8052932>
- 7.12 Riquicha A A G et al., Manipulation of nanoscale components with the AFM: principles and applications. *IEEE. Int. Conf. Nanotechnol., Maui, HI*, October 2001; 28-30:2001.
- 7.13 Sun Y, Wan K T, Roberts K P, Bischof J C, Nelson B J. Mechanical Property Characterization of the Mouse Zona Pellucida. *IEEE Transaction on NanoBioScience*. 2003; 2:4-8.
- 7.14 Arai F and Fukuda T. 3D Bio Micromanipulation. *International Workshop on Microfactoryies IWMF'1998*; 98:143-148.
- 7.15 Goicoechea J, Zamarreño C R, Matias I R, Arregui F J. Minimizing the photobleaching of self-assembled multilayers for sensor applications. *Sens. Actuator B-Chem*. 2007; 126 (1):41-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2006.10.037>
- 7.16 Das S, Gates A J, Abdu H A, Rose G S, Picconatto C A, Ellenbogen J C. Designs for ultra-tiny, special-purpose nanoelectronic circuits. *IEEE Trans. Circuits Syst. I-Regul. Pap.* 2007; 54 (11):2528-2540. <http://dx.doi.org/10.1109/TCSI.2007.907864>
- 7.17 Cavalcanti A, Shirinzadeh B, Fukuda T, Ikeda S. Hardware architecture for nanorobot application in cerebral aneurysm. *IEEE- Nano 2007 Int. Conf. Nanotechnol.* 2007; 237-242
- 7.18 Leary S P, Liu C Y, Apuzzo M L I. Toward the emergence of nanoneurosurgery: Part III - Nanomedicine: targeted nanotherapy, nanosurgery,

- and progress toward the realization of nanoneuro- surgery. *Neurosurgery* 2006; 58 (6):1009–1025.<http://dx.doi.org/10.1227/01.NEU.0000217016.79256.16>
- 7.19 Sauer C, Stanacevic M, Cauwenberghs G, Thakor N. Power Harvesting and Telemetry in CMOS for Implanted Devices. *IEEE Trans Circ Sys.* 2005; 52:2605-2613.<http://dx.doi.org/10.1109/TCSI.2005.858183>
- 7.20 Seeman N C, DNA in a material world. *Nature.* 2003; 421:427–431. <http://dx.doi.org/10.1038/nature01406>
- 7.21 Smith S B, Cui Y, Bustamante C. Overstretching B-DNA: the elastic response of individual double-stranded and single-stranded DNA molecules. *Science.* 1996; 271:795-799.<http://dx.doi.org/10.1126/science.271.5250.795>
- 7.22 Mao C, Sun W, Seeman N C. Designed Two-Dimensional DNA Holliday Junction Arrays Visualized by Atomic Force Microscopy. *Journal of American Chemical Society.* 1999; 121:5437-43 <http://dx.doi.org/10.1021/ja9900398>
- 7.23 Pohl F M, Jovin T M. Salt-induced co-operative conformational change of a synthetic DNA: equilibrium and kinetic studies with poly (dG-dC). *Journal of Molecular Biology.* 1972; 67:375-96 [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2836\(72\)90457-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2836(72)90457-3)
- 7.24 Stracke R, Böhm K J, Burgold J, Schacht H, Unger E. Physical and Technical Parameters Determining the Functioning of a Kinesin- Based Cell-Free Motor System. *Nanotechnology.* 2000; 11(2):52-56. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/11/2/302>
- 7.25 Onion A. “RoboSnail Tackles Any Terrain - Slime Not Included”, 2006. Technology and Science, ABC News, abcnews.go.com/Technology/story?id=1525599 .
- 7.26 Cavalcanti A, Hogg T, Shirinzadeh B, Liaw H C. “Nanorobot Communication Techniques: A Comprehensive Tutorial”, 2006. *IEEE ICARCV Int’l Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision*, Grand Hyatt, Singapore.<http://dx.doi.org/10.1109/ICARCV.2006.345457>
- 7.27 Patel G M, Patel G C, Patel R B, Patel J K, Patel M. Nanorobot: a versatile tool in nanomedicine. *J. Drug Target.* 2006; 14 (2): 63–67 <http://dx.doi.org/10.1080/10611860600612862>
- 7.28 Marchant RE, Zhang T, Qiu Y, Ruegsegger M A. Surfactants that mimic the glycocalyx. 1999. United States patent US 6759388.

- 7.29 Wright E M, Sampedro A D, Hirayama BA, Koepsell H, Gorboulev V, Osswald C. Novel glucose sensor. 2005. United States patent US 0267154.
- 7.30 Freitas Jr RA. Nanomedicine, Vol. I: Basic Capabilities, 1999; *Landes Bioscience*. <http://www.nanomedicine.com/NMI.htm>.
- 7.31 Ganong W F. "Review of Medical Physiology". Los Alto, 1977; CA: Lange Medical Publications, 8th edition.
- 7.32 Chandran K B, Cardiovascular Biomechanics, New York University, 1992; 32-41.
- 7.33 Srivastava, N and Banerjee K. "Performance analysis of carbon nanotube interconnects for VLSI applications", IEEE/ACM ICCAD Int'l Conf. on Computer-Aided Design. 2005; 383-390.
- 7.34 Seth S, Vincent A, Compans R W. Activation of fusion by the SER virus F protein: a low-pH dependent paramyxovirus entry process. *J. Virol.* 2003; 77 (11):6520–6527. <http://dx.doi.org/10.1128/JVI.77.11.6520-6527.2003>
- 7.35 Brouns S J J, Smits N, Wu H, Snijders A P L, Wright P C, Vos W M, Oost J. Identification of a novel α -galactosidase from the hyperthermophilic archaeon *Sulfolobus solfataricus*. *J. Bacteriol.* 2006; 188 (7):2392–2399. <http://dx.doi.org/10.1128/JB.188.7.2392-2399.2006>
- 7.36 Vadali Shanthi and Sravani Musunuri. prospects for medical robots. AZojono: journal of nanotechnology online. 2007; 3:1-9.
- 7.37 Robert A. Freitas Jr. "Nanotechnology, Nanomedicine and Nanosurgery", *International Journal of Surgery* 2005; 3 (12):1-4.
- 7.38 Xu W, Vijaykrishnan N, Xie Y, Irwin M J. "Design of a nanosensor Array Architecture", ACM Proceedings of the 14th ACM Great Lakes symposium on VLSI, 2004; 298-303, Boston, Massachusetts, USA.
- 7.39 Benenson Y, Gil B, Ben-Dor U, Adar R, Shapiro E. An autonomous molecular computer for logical control of gene expression. *Nature.* 2004; 429(6990):423-429. <http://dx.doi.org/10.1038/nature02551>
- 7.40 Mathieu J B, Martel S, Yahia L H, Soulez G, Beaudoin G. 2003: MRI Systems as a Mean of Propulsion for a Microdevice in Blood Vessels. EMBC 2003.
- 7.41 Robert A. Freitas, Jr. Nanomedicine, Volume IIA: Biocompatibility, Landes Bioscience, Georgetown, TX (2005); <http://www.nanomedicine.com/NMIIA.htm>.

- 7.42 Cavalcanti A, Freitas Robert A Jr, Kretly Luiz C. 2004. Nanorobotics control design: a practical approach tutorial. ASME 28th Biennial Mechanisms and Robotics Conference, Salt Lake City Utah, USA.
- 7.43 S. P. Leary, C. Y. Liu, and M. L. J. Apuzzo, "Toward the Emergence of Nanoneurosurgery", *Neurosurgery*, Vol. 58, pp. 1009-1026, 2006.
- 7.44 M. R. Ahmad, M. Nakajima, S. Kojima, M. Homma, T. Fukuda, "In-situ Single Cell Mechanics Characterization of Yeast Cells using Nanoneedles inside Environmental-SEM", *IEEE Transactions on Nanotechnology*, Vol. 7, Issue 5, pp. 607-616, 2008.
- 7.45 M. R. Ahmad, M. Nakajima, S. Kojima, M. Homma, T. Fukuda, "Nanoindentation Methods to Measure Viscoelastic Properties of Single Cells using Sharp, Flat and Buckling Tips inside ESEM", *IEEE Transactions on Nanobioscience*, Vol. 9, No. 1, pp. 12-23, 2010.
- 7.46 O. Thoumine, A. Ott, O. Cardoso, and J. J. Meister, "Microplates: a New Tool for Manipulation and Mechanical Perturbation of Individual Cells", *J. Biochem Biophys Meth.*, Vol. 39, pp. 47-62, 1999.
- 7.47 A. E. Smith, Z. Ahang, C. R. Thomas, K. E. Moxham, and A. P. J. Middelberg, "The Mechanical Properties of *Saccharomyces Cerevisiae*", *Proc. of the Nat. Acad. of Sci.*, Vol. 97, pp. 9871-9874, 2000.
- 7.48 N. Wang, K. Naruse, D. Stamenovic', J. J. Fredberg, S. M. Mijailovich, I. M. Tolic-Norrelykke, T. Polte, R. Mannix, and D. E. Ingber, "Mechanical Behavior in Living Cells Consistent with the Tensegrity Model", *Proc. of the Nat. Acad. of Sci.*, Vol. 98, pp. 7765-7770, 2001.
- 7.49 J. Guck, R. Ananthakrishnan, H. Mahmood, T. J. Moon, C. C. Cunningham, and J. Kas, "The Optical Stretcher: A Novel Laser Tool to Micromanipulate Cells", *Biophysical Journal*, Vol. 81, pp. 767-784, 2001.
- 7.50 S. W. Hell, "Far-Field Optical Nanoscopy", *Science*, Vol. 316, pp. 1153-1158, 2007.
- 7.51 R. Gueta, D. Barlam, R. Z. Shneck, and I. Rousso, "Measurement of the Mechanical Properties of Isolated Tectorial Membrane using Atomic Force Microscopy", *Proc. of the Nat. Acad. of Sci.*, Vol. 103, pp. 14790-14795, 2006.
- 7.52 T. Svaldo Lanero, O. Cavalleri, S. Krol, R. Rolandi, A. Gliozzi, "Mechanical Properties of Single Living Cells Encapsulated in Polyelectrolyte Matrixes", *J. of Biotech.*, Vol. 124, pp. 723-731, 2006.

- 7.53 E. Du, H. Cui, and Z. Zhu, "Review of Nanomanipulators for Nanomanufacturing", *Int. J. of Nanomanufacturing*, Vol. 1, pp. 83-104, 2006.
- 7.54 T. Hertel, R. Martel, and P Avouris, "Manipulation of Individual Carbon Nanotubes and their Interaction with Surfaces", *J. Phys. Chem. B*, Vol. 102, pp. 910-915, 1998.
- 7.55 M. Nakajima, F. Arai, and T. Fukuda, "In situ Measurement of Young's Modulus of Carbon Nanotube inside TEM through Hybrid Nanorobotic Manipulation System", *IEEE Trans. on Nanotech.*, Vol. 5, pp. 243-248, 2006.
- 7.56 C. Ru, Y. Zhang, Y. Sun, Y. Zhong, X. Sun, D. Hoyle, and I. Cotton, "Automated Four-Point Probe Measurement of Nanowires Inside a Scanning Electron Microscope", *IEEE Trans. Nanotechnology Issue 99*, 2010 (Under Publication)
- 7.57 M. Nakajima, M. R. Ahmad, M. Kojima, N. Hisamoto, M. Homma, and T. Fukuda, "Evaluation of Local Stiffness Distribution for Biological Organism by Comb-Nanoprobe", *Proc. of 2010 IEEE Nanotech.*, pp. 1032-1035, 2010.
- 7.58 T. Moriguchi, S. Urushiyama, N. Hisamoto, S. Iemura, S. Uchida, T. Natsume, K. Matsumoto, and H. Shibuya, "WNK1 Regulates Phosphorylation of Cation-Chloride-Coupled Kinases, SPAK and OSR1", *J. Biol. Chem.*, Vol. 280, pp. 42685-42693, 2005.
- 7.59 C. J. O'Kane, "Modelling human diseases in *Drosophila* and *Caenorhabditis*", *Seminars in Cell & Developmental Biology*, Vol. 14, No. 1, pp. 3-10, 2003.
- 7.60 A. Sakaguchi-Nakashima, J. Meir, Y. Jin, K. Matsumoto, N. Hisamoto, "LRK-1, a *C. elegans* PARK8-related Kinase, Regulates Axonal-dendritic Polarity of SV Proteins", *Curr. Biol.*, Vol. 17, pp. 592-598, 2007.
- 7.61 W. B. Wood, "The Nematode *Caenorhabditis Elegans*", p. 38, Cold Spring Harbor Laboratory Pr, 1988.
- 7.62 G. Shioi, M. Shoji, M. Nakamura, T. Ishihara, I. Katsura, H. Fujisawa, S. Takagi, "Mutations affecting nerve attachment of *Caenorhabditiselegans*", *Genetics* Vol.157, pp. 1611-1622, 2001.
- 7.63 W. C. O'Mara, R. B. Herring, and L. P. Hunt, *Handbook of Semiconductor Silicon Technology*: Noyes Publications, 1990.
- 7.64 W.-H. Huang, F. Ai, Z.-L. Wang, and J.-K. Cheng, "Recent advances in single cell analysis using capillary electrophoresis and microfluidic devices." *J*

- Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, vol. 866, no.1-2, pp. 104–122, Apr 2008.
- 7.65 M. W. Hess, “Cryopreparation methodology for plant cell biology,” *Cellular Electron Microscopy*, vol. 79, pp. 57–100, 2007.
- 7.66 A. Leis, B. Rockel, L. Andrees, and W. Baumeister, “Visualizing cells at the nanoscale,” *Trends In Biochemical Sciences*, vol. 34, no. 2, pp. 60–70, Feb. 2009.
- 7.67 W. Mobius, “Cryopreparation of biological specimens for immunoelectron microscopy,” *Annals of Anatomy-anatomischer Anzeiger*, vol. 191, no. 3, pp. 231–247, 2009.
- 7.68 K. Richter, H. Gngi, and J. Dubochet, “A model for cryosectioning based on the morphology of vitrified ultrathin sections.” *J Microsc*, vol. 163, no. Pt 1, pp. 19–28, Jul 1991.
- 7.69 G. Singh, P. Rice, R. L. Mahajan, and J. R. McIntosh, “Fabrication and characterization of a carbon nanotube-based nanoknife.” *Nanotechnology*, vol. 20, no. 9, p. 095701, Mar 2009.
- 7.70 A. Al-Amoudi, J. Dubochet, H. Gnaegi, W. Lthi, and D. Studer, “An oscillating cryo-knife reduces cutting-induced deformation of vitreous ultrathin sections.” *J Microsc*, vol. 212, no. Pt 1, pp. 26–33, Oct 2003.
- 7.71 D. Studer and H. Gnaegi, “Minimal compression of ultrathin sections with use of an oscillating diamond knife,” *Journal of Microscopy-oxford*, vol. 197, pp. 94–100, Jan. 2000.
- 7.72 M. Nakajima, F. Arai, and T. Fukuda, “Nanofixation with low melting metal based on nanorobotic manipulation,” in *6th IEEE Conference on Nanotechnology*, vol. 2, 2006, pp. 925–928.
- 7.73 T. Fukuda, M. Nakajima, L. Pou, and M. Ahmad, “Bringing the nanolaboratory inside electron microscopes,” *IEEE Nanotechnology Magazine*, vol. 2, no. 2, pp. 18–31, 2008.
- 7.74 G. D. Danilatos, “Introduction to the esem instrument.” *Microsc Res Tech*, vol. 25, no. 5-6, pp. 354–361, Aug 1993.
- 7.75 L. Muscariello, F. Rosso, G. Marino, A. Giordano, M. Barbarisi, G. Cafiero, and A. Barbarisi, “A critical overview of esem applications in the biological field.” *J Cell Physiol*, vol. 205, no. 3, pp. 328–334, Dec 2005.

- 7.76 L. Muscariello, F. Rosso, G. Marino, M. Barbarisi, G. Cafiero, and A. Barbarisi, "Cell surface protein detection with immunogold labeling in esem: optimisation of the method and semi-quantitative analysis." *J Cell Physiol*, vol. 214, no. 3, pp. 769–776, Mar 2008.
- 7.77 Y. Shen, M. Nakajima, M. R. Ahmad, T. Fukuda, S. Kojima, and M. Homma, "Single cell injection using nano pipette via nanorobotic manipulation system inside e-sem," in *9th IEEE Conference on Nanotechnology*, 2009, pp. 518–521.
- 7.78 E. D. Green and M. V. Olson, "Chromosomal region of the cystic-fibrosis gene in yeast artificial chromosomes - a model for human genome mapping," *Science*, vol. 250, no. 4977, pp. 94–98, 1990.
- 7.79 D. Botstein, S. A. Chervitz, and J. M. Cherry, "Genetics - yeast as a model organism," *Science*, vol. 277, no. 5330, pp. 1259–1260, 1997.
- 7.80 L. Lehle, S. Strahl, and W. Tanner, "Protein glycosylation, conserved from yeast to man: A model organism helps elucidate congenital human diseases," *Angew. Chem.-Int. Edit.*, vol. 45, no. 41, pp. 6802–6818, 2006

8. LABYRINTH

- 8.1 Cyberbotics. Webots: the mobile robotics simulation software [Internet]. Webots: the mobile robotics simulation software. 2011;Available from: <http://www.cyberbotics.com>
- 8.2 Merchea A, Cullinane DC, Sawyer MD, Iqbal CW, Baron TH, Wigle D, et al. Esophagogastroduodenoscopy-associated gastrointestinal perforations: a single-center experience. *Surgery*. 2010 Oct;148(4):876-880; discussion 881-882.
- 8.3 Kalloo AN, Singh VK, Jagannath SB, Niiyama H, Hill SL, Vaughn CA, et al. Flexible transgastric peritoneoscopy: a novel approach to diagnostic and therapeutic interventions in the peritoneal cavity. *Gastrointest. Endosc.* 2004 Jul;60(1):114-117.
- 8.4 Ko C-W, Kalloo AN. Per-oral transgastric abdominal surgery. *Chin J Dig Dis.* 2006;7(2):67-70.
- 8.5 Rattner DW, Hawes R, Schwaitzberg S, Kochman M, Swanstrom L. The Second SAGES/ASGE White Paper on natural orifice transluminal endoscopic surgery: 5 years of progress. *Surg Endosc* [Internet]. 2011 Feb 27 [cited 2011 Jul 20];Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21359881>

- 8.6 Thompson C. Multitasking platform [Internet]. 2007 [cited 2011 Jul 20]; Available from: <http://www.eats.fr/doi-lt01enthompson002.htm>.
- 8.7 Noll A. Flexible robotic endoscopic technology for surgical and diagnostic applications [Internet]. 2008 [cited 2011 Jul 20]; Available from: <http://www.eats.fr/doi-lt01ennoll001.htm>
- 8.8 Box GN, Lee HJ, Santos RJS, Abraham JBA, Louie MK, Gamboa AJR, et al. Rapid communication: robot-assisted NOTES nephrectomy: initial report. *J. Endourol.* 2008 Mar;22(3):503-506.
- 8.9 Wautelet M. Scaling laws in the macro-, micro- and nanoworlds. *Eur. J. Phys.* 2001 Nov;22(6):601-611.
- 8.10 Forgione A. In vivo microrobots for natural orifice transluminal surgery. Current status and future perspectives. *Surg Oncol.* 2009 Jun;18(2):121-129.
- 8.11 Oleynikov D, Rentschler M, Hadzialic A, Dumpert J, Platt SR, Farritor S. Miniature robots can assist in laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc.* 2005 Apr;19(4):473-476.
- 8.12 Rentschler ME, Dumpert J, Platt SR, Ahmed SI, Farritor SM, Oleynikov D. Mobile in vivo camera robots provide sole visual feedback for abdominal exploration and cholecystectomy. *Surg Endosc.* 2006 Jan;20(1):135-138.
- 8.13 Lehman AC, Berg KA, Dumpert J, Wood NA, Visty AQ, Rentschler ME, et al. Surgery with cooperative robots. *Comput. Aided Surg.* 2008 Mar;13(2):95-105.
- 8.14 Scott DJ, Tang S-jiang, Fernandez R, Bergs R, Goova MT, Zeltser I, et al. Completely transvaginal NOTES cholecystectomy using magnetically anchored instruments. *Surg Endosc.* 2007 Dec;21(12):2308-2316.
- 8.15 Nagy Z, Fluckiger M, Oung R, Kaliakatsos IK, Hawkes EW, Nelson BJ, et al. Assembling reconfigurable endoluminal surgical systems: opportunities and challenges. *IJBBR.* 2009;1(1):3.
- 8.16 A.R.A.K.N.E.S Project. Araknes Project - Home page [Internet]. Araknes Project. 2011 [cited 2011 Jul 22]; Available from: <http://www.araknes.org/home.html>
- 8.17 Rentschler ME, Dumpert J, Platt SR, Farritor SM, Oleynikov D. Natural orifice surgery with an endoluminal mobile robot. *Surg Endosc.* 2007 May;21(7):1212-1215.
- 8.18 Nies D, Jung B, Sukhatme GS, Silverman MC. Staying alive: a docking station for autonomous robot recharging. *Proceedings 2002 IEEE International*

Conference on Robotics and Automation Cat No02CH37292.
2002;1(May):1050-1055.

9. Επίλογος

9.1 http://www.hygeia.gr/page.aspx?p_id=620