



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**In Silico Ανάπτυξη Πρότυπου Σταθμού Διασύνδεσης Αρθρωτών
Μικρορομπότ για Χρήση στη Μικρορομποτική Χειρουργική**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΧΡΙΣΤΙΝΑΣ Ν. ΓΚΟΛΦΗ

Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

In Silico Ανάπτυξη Πρότυπου Σταθμού Διασύνδεσης Αρθρωτών Μικρορομπότ για Χρήση στη Μικρορομποτική Χειρουργική

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΧΡΙΣΤΙΝΑΣ Ν. ΓΚΟΛΦΗ

Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 23^η Ιουλίου 2012.

(Υπογραφή)

.....

Δημήτριος Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Κωνσταντίνα Νικήτα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Γιώργος Ματσόπουλος

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΓΚΟΛΦΗ

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

© 2012 – 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.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΕΜΠ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία 30 χρόνια η χειρουργική έχει γνωρίσει τεράστια εξέλιξη. Τη δεκαετία του '90 η ανοιχτή χειρουργική άρχισε σταδιακά να αντικαθίσταται από τη λαπαροσκοπική χειρουργική ανοίγοντας έτσι το δρόμο για την ελάχιστα επεμβατική χειρουργική. Η είσοδος της ρομποτικής στα χειρουργεία, όπου ο ρόλος της συμπληρωματικός στο ρόλο του γιατρού, πραγματοποιείται λίγο πριν με το Puma 560, το Neuromate, το Probot και το Aesop. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για ειδικές διαδικασίες χωρίς να αντικαθιστούν το γιατρό. Η ουσιαστική επανάσταση στη χειρουργική πραγματοποιήθηκε το 2001 με την είσοδο στα χειρουργεία του συστήματος ZEYΣ για εκπαιδευτικούς σκοπούς και στη συνέχεια του Da Vinci που σήμερα πλέον χρησιμοποιείται ευρέως .

Η natural orifice transluminal endoscopic surgery **NOTES** είναι μία τεχνική χειρουργικής η οποία αναπτύσσεται την τελευταία δεκαετία και η οποία έχει τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον. Η NOTES προτείνει την είσοδο των ενδοσκοπίων και των χειρουργικών εργαλείων από τις φυσικές οπές του σώματος (ουρήθρα, πρωκτός , στόμα, κόλπος). Για την ανάπτυξη της NOTES έχουν σχεδιαστεί ειδικά ενδοσκόπια πολλαπλών αυλών και εξειδικευμένα χειρουργικά εργαλεία. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η υποβοήθηση της NOTES από ρομποτικά συστήματα, όπως το Da Vinci, καθώς επίσης και από εξειδικευμένα απεικονιστικά συστήματα όπως η 3D ανακατασκευή εικόνας από MRI,CT και η επαυξημένη πραγματικότητα. Η τεχνική NOTES αφορά και τη μικρορομποτική χειρουργική η οποία με τα προγράμματα MAGS και ARAKNES προτείνουν πρωτοποριακές τεχνικές.

Ειδικότερα για το πρόγραμμα ARAKNES για την αντιμετώπιση ορισμένων βασικών προβλημάτων λειτουργίας του που αφορούν κυρίως θέματα τροφοδοσίας , στήριξης , εργονομίας και στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας προτείνεται ο σχεδιασμός “σταθμού εργασίας” . Αυτό το docking station έχει τη δυνατότητα να παρέχει πηγή τροφοδοσίας, στήριξη και επίσης να παίρνει διάφορα χαρακτηριστικά σχήματα ούτως ώστε να προσαρμόζεται στις εκάστοτε απαιτήσεις.

Λέξεις κλειδιά

Ρομποτική χειρουργική, λαπαροσκοπική χειρουργική, NOTES, Τροκάρ , ενδοσκόπια, μικρορομποτική χειρουργική, ελάχιστα επεμβατική χειρουργική, σταθμός εργασίας, επαυξημένη πραγματικότητα

Abstract

The last 30 years surgery has witnessed tremendous progress. In the '90s the open surgery was gradually replaced by laparoscopic surgery thus paving the way for minimally invasive surgery. The input of robotics in surgery, where its role is complementary to the role of the physician, made shortly before the puma 560, the Neuromate, the Probot and Aesop. In these cases the robots are used for specific procedures and not to replace the doctor. The real revolution in surgery was achieved in 2001 with the entry of the system ZEUS for educational purposes in the operating rooms and then the Da Vinci which is now widely used.

The natural orifice transluminal endoscopic surgery **NOTES** is a surgical technique which was developed in the last decade and has enormous research interest. NOTES proposes the entry of endoscopes and surgical tools from the natural openings of the body (urethra, rectum, mouth, vagina). For the development of NOTES there have been designed endoscopes multiple lumens and specialized surgical instruments. A big impression is caused by the enhancement of NOTES by robotic systems, such as Da Vinci, as well as specialized imaging systems such as 3D reconstruction image from MRI, CT and augmented reality. The NOTES technique involves micro robotics surgery which with the programs MAGS and ARAKNES propose innovative techniques.

Specifically for the confrontation of some vital working problems for the ARAKNES program which especially concern power issues, support and ergonomics, this thesis proposes the design of "workstation". This docking station has the potential to provide power supply, support and also features various forms it takes in order to adapt to individual requirements.

Keywords

Robotic surgery, laparoscopic surgery, natural orifice transluminal endoscopic surgery, trocars, micro-robotics surgery, minimally invasive surgery, docking station , augmented reality

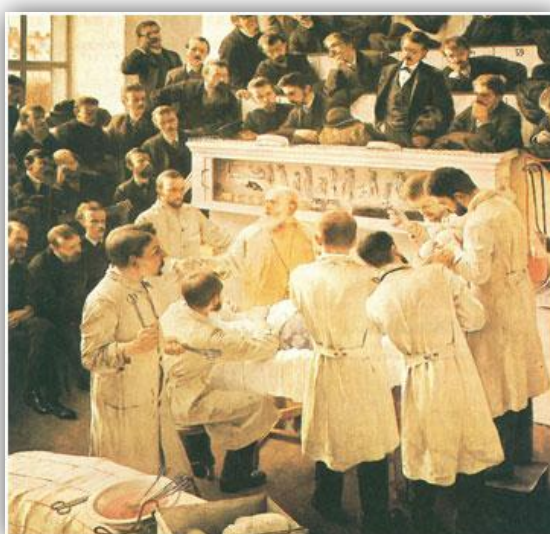
Αφιερώνω τη διπλωματική μου εργασία στον παππού μου και τους καθηγητές μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 .Χειρουργική NOTES.....	15
Εισαγωγή.....	11
1.1 Έννοιες και φιλοσοφία	15
1.2 Η διαδρομή της NOTES μέχρι σήμερα	19
1.3 Προσπέλαση και σύγκλιση.....	22
1.4 Τεχνολογία στη NOTES και μειονεκτήματα.....	29
Κεφάλαιο 2 .Ρομποτική Χειρουργική και Μικρό-ρομποτική	35
2.1 Ιστορία της ρομποτικής στη χειρουργική	35
2.2 Ρομποτική χειρουργική.....	41
Πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής.....	48
Μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής	49
Κλινικές εφαρμογές του συστήματος Da Vinci.....	50
2.3 Μικρόρομπότ.....	50
2.4 Η Ρομποτική στη χειρουργική NOTES	52
2.5 Μικρορομπότ στη χειρουργική NOTES.....	55
2.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα-Κόστος-Κανόνες-Ασφάλεια	67
Κεφάλαιο 3	68
3.1 Χειρουργική NOTES και μέθοδοι απεικόνισης.....	68
3.2 Υπολογιστικά μοντέλα στη χειρουργική	70
3.3 Η εικονική πραγματικότητα και εφαρμογές στη NOTES.....	72
3.4 Ενισχυμένη πραγματικότητα (augmented reality)	74
3.5 Η απεικονιστική καθοδήγηση στη χειρουργική	76
Κεφάλαιο 4 .Πειραματικό μέρος	79
In silico ανάπτυξη πρότυπου σταθμού διασύνδεσης αρθρωτών μικρόρομπότ για χρήση στη μικρό-ρομποτική notes.....	79
4.1 Σκοπός	79
4.2 Γενικά χαρακτηριστικά.....	80
4.3 Πρόγραμμα εξομοίωσης docking station και αρθρωτών μικρορομπότ	83

4.4 Ιδιότητες μοντέλου notdock και αρθρωτών μικρορομπότ.....	85
4.5 Σχεδιασμός	87
4.6 Προγραμματισμός ελεγκτή docking station	89
4.7 Αναλυτική περιγραφή προγράμματος	90
4.8 Σύνδεση υπομονάδων	96
4.9 Δυνατότητες χειρισμού.....	97

Η χειρουργική τις τελευταίες δεκαετίες συνεχώς εξελίσσεται. Η χειρουργική με την έννοια της κλασσικής ανοικτής χειρουργικής κατάφερε να ξεπεράσει σχεδόν όλα τα ανατομικά και λειτουργικά εμπόδια και να αποκτήσει τη δυνατότητα να επεμβαίνει αποτελεσματικά σε όργανα σε σημείο τέτοιο που στα μέσα του εικοστού αιώνα φαινόταν αδύνατο να υλοποιηθεί. Στο παρελθόν οι χειρουργικές επεμβάσεις γίνονταν με τον κλασικό ανοιχτό τρόπο, όπου ο γιατρός έκανε μεγάλες τομές στην περιοχή που ήθελε να χειρουργήσει ούτως ώστε να έχει τη δυνατότητα να βλέπει και να κινεί τα χέρια του ελεύθερα.



Εικόνα 1: Ο Theodor Billroth παραδίδει μαθήματα χειρουργικής (Billroth im Horsaal, 1880 Βιέννη)

Κατά τον 20^ο αιώνα η χειρουργική γνώρισε τεράστια εξέλιξη. Το Μάρτιο του 1951 στο Νοσοκομείο Spriengfield της Μασαχουσέτης γίνεται η πρώτη ορθοτοπική μεταμόσχευση νεφρού από τον James V. Scholar και το 1954 ακολουθεί η πρώτη μεταμόσχευση νεφρού μεταξύ μονωογενών διδύμων στη Βοστώνη από τον Joseph Edward Murray.



Εικόνα 2: Πρώτη επιτυχής κλινική μεταμόσχευση νεφρού μεταξύ μονοωογενών διδύμων

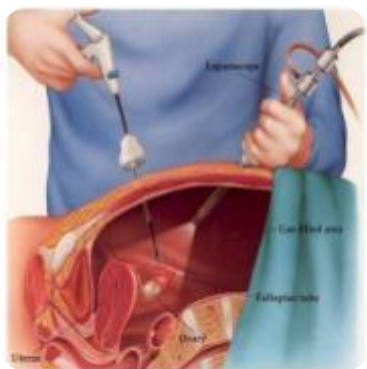
(Joseph Edward Murray, 1954 Βοστώνη)



Εικόνα 3: Όργανο προς μεταμόσχευση

Αυτό το στάδιο εξελίξεων στη χειρουργική τείνει σήμερα και πάλι να ξεπεραστεί με νέα βήματα προόδου προς τη κατεύθυνση της ελάχιστα τραυματικής χειρουργικής (Minimally invasive surgery) ή αλλιώς της ενδοσκοπικής και της λαπαροσκοπικής χειρουργικής. Σκοπός είναι η μείωση της τομής σε σχέση με την κλασική ανοιχτή χειρουργική και η μείωση των μετεγχειρητικών επιπλοκών.

Η λαπαροσκοπική χειρουργική προτείνει την χρήση trocars και ειδικής κάμερας τα οποία εισέρχονται στην περιτοναϊκή κοιλότητα μέσω μικρών τομών που γίνονται σε κατάλληλα σημεία, στο δέρμα της κοιλιάς και με τη βοήθεια ειδικής κάμερας, το χειρουργικό πεδίο προβάλλεται σε οθόνη. [1]



Εικόνα 4: Trocars



Εικόνα 5: Απεικονιστικό σύστημα στη λαπαροσκοπική μέθοδο

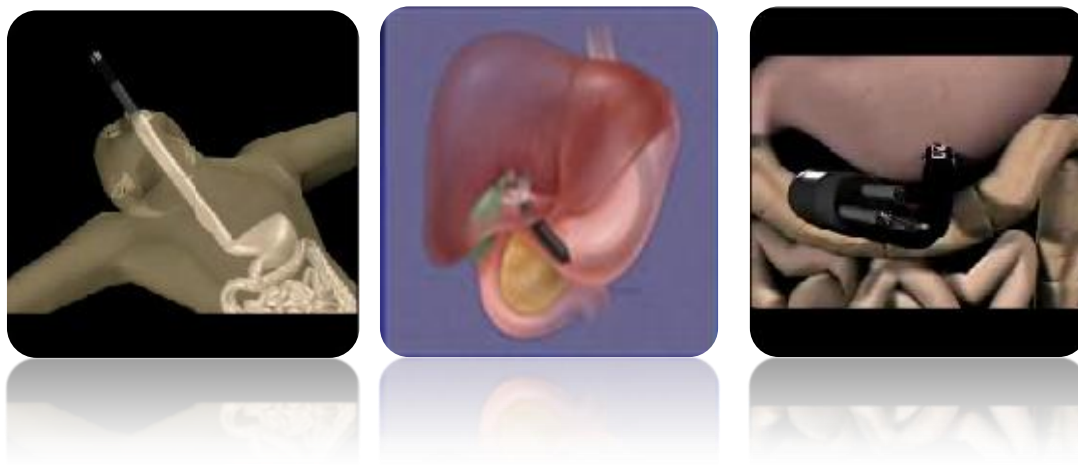
Η λαπαροσκοπική χειρουργική είναι η μέθοδος με την οποία σήμερα αντιμετωπίζεται η πλειοψηφία των χειρουργικών επεμβάσεων. Η επανάσταση στο χώρο της χειρουργικής έγινε τον 21^ο αιώνα με τη ρομποτική χειρουργική, δηλαδή με την εισαγωγή ρομποτικών συστημάτων, καθοδηγούμενων από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η πρώτη γενιά χειρουργικών ρομπότ χρησιμοποιείται ήδη σε αρκετά χειρουργεία ανά τον κόσμο. Δεν πρόκειται φυσικά για αυτόνομα ρομπότ που μπορούν να χειρουργούν μόνα τους, αλλά για μηχανικά βοηθήματα των χειρουργών. Η ρομποτική χρησιμοποιείται πλέον στην ιατρική διότι παρέχει τη δυνατότητα άνευ προηγούμενου ελέγχου και ακρίβειας των χειρουργικών εργαλείων σε ελάχιστα παρεμβατικές διαδικασίες.



Εικόνα 6:Ρομποτικό σύστημα Da Vinci

Οι απαιτήσεις των γιατρών και των ασθενών δεν σταματούν σε αυτά που μπορεί να τους προσφέρει η σημερινή λαπαροσκοπική. Τα τελευταία χρόνια ομάδες επιστημόνων προσπαθούν να εφεύρουν νέες μεθόδους χειρουργικής οι οποίες θα προσφέρουν ακόμα μεγαλύτερη ευελιξία στο χειρουργό και θα μειώσουν στο ελάχιστο τις μετεγχειρητικές επιπλοκές. **Μία πρόταση είναι, η κατάργηση των εξωτερικών τομών και η είσοδος των χειρουργικών εργαλείων στο εσωτερικό του οργανισμού, μέσω των φυσικών οπών που διαθέτει το ίδιο το σώμα όπως το στόμα, ο πρωκτός, η ουρήθρα και ο κόλπος στις γυναίκες. Η τεχνική αυτή ονομάζεται χειρουργική δια μέσου των φυσικών οπών, Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery ή**

τεχνική **N O T E S** από τα αρχικά της αγγλικής ορολογίας. Η τεχνική αυτή θέτει ως στόχο την αντικατάσταση των εξωτερικών τομών από εσωτερικές τομές που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε κοίλα όργανα, όπως το στομάχι, το έντερο και ο κόλπος, με σκοπό την προσέγγιση της περιτοναϊκής κοιλότητας.



Εικόνες 7,8,9: Είσοδος ενδοσκοπίου από το στόμα , διάτρηση στομάχου και έξοδος στην περιτοναϊκή κοιλότητα [2]

Η χειρουργική NOTES είναι το πιο ενδιαφέρον επίτευγμα της χειρουργικής από πλευράς τεχνικής. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, της ρομποτικής και ειδικότερα της μικρό-ρομποτικής οδήγησε στη δημιουργία μικρό-ρομπότ με μεγάλο εύρος κινήσεων και δυνατότητα επεξεργασίας σήματος. Το μέλλον της NOTES περιλαμβάνει μεθόδους οι οποίες συνδυάζουν τη συγκεκριμένη τεχνική με τη χρήση ασύρματων μικρό-ρομπότ τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Τα μικρό-ρομπότ αυτά μπορούν να εισέρχονται στην περιτοναϊκή κοιλότητα με την βοήθεια κατάλληλων ενδοσκοπίων ή με χρήση άλλων τεχνικών.

Σε αυτό το στάδιο τα μικρό-ρομπότ που καλούνται οι ερευνητές να φτιάξουν πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να εκτελούν εξειδικευμένες χειρουργικές επεμβάσεις. Παρ' όλο που αυτή η ιδέα είναι πολλά υποσχόμενη και δεσμεύεται ότι θα λύσει πολλά προβλήματα που προκύπτουν από τους περιορισμούς που τίθενται από τις άλλες χειρουργικές μεθόδους, υπάρχουν και εδώ προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η στήριξη των μικρό-ρομπότ στο εσωτερικό της κοιλιάς, ο έλεγχος των κινήσεων τους, η τροφοδοσία τους με ενέργεια (μπαταρίες ή καλώδιο), η αξιοπιστία και η ασφάλεια είναι ορισμένα από αυτά. Τα απεικονιστικά μοντέλα, ο προεγχειρητικός σχεδιασμός επεμβάσεων, η εξέλιξη μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την στήριξη και την τροφοδοσία των μικρό-ρομπότ είναι ορισμένα από τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δοθεί ώθηση στην χρήση μικρό-ρομπότ στην τεχνική

NOTES. Για την αντιμετώπιση όλων αυτών των **προβλημάτων θα μπορούσε να προταθεί η χρήση “docking stations”** τα οποία μπορούν να λειτουργούν συμπληρωματικά της τεχνικής NOTES και των μικρόρομπότ και να είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να λύνουν προβλήματα όπως αυτά της τροφοδοσίας, της στήριξης και της αύξησης του εύρους των κινήσεων. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας έγινε σχεδιασμός ενός τέτοιου τυπικού μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ NOTES

1.1.ΈΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ

Η ενδοσκοπική χειρουργική δια μέσου των φυσικών οπών ή Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES) αποτελεί την πλέον σύγχρονη τεχνική ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής για παθήσεις της κοιλιάς. Τα τελευταία χρόνια γνωρίζει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και εξελίσσεται συνεχώς. Η τεχνική αυτή καταργεί τις τομές του δέρματος και προτείνει την εισαγωγή των χειρουργικών εργαλείων από τις φυσικές οπές του σώματος, όπως αυτή του στόματος, του πρωκτού, της ουρήθρας και του κόλπου στις γυναίκες.

Η NOTES συνδυάζει τη «γαστρεντερολογική» με τη «χειρουργική» τεχνική. Δηλαδή η επέμβαση ξεκινάει σαν μία απλή γαστροσκόπηση και στη συνέχεια το ενδοσκόπιο με μια μικρή οπή που δημιουργεί στο στομάχι, το διαπερνά και εισέρχεται στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Με ειδικά εργαλεία που φέρει μαζί του το ενδοσκόπιο μπορεί να αφαιρέσει πάσχοντα όργανα (π.χ. σκωληκοειδή απόφυση, χοληδόχο κύστη) και στη συνέχεια να εξέλθει με την αντίστροφη πορεία από την στοματική κοιλότητα. Η μικρή οπή στο στομάχι κλείνει με ειδικά clips κατά την έξοδο του γαστροσκοπίου. Με τον τρόπο αυτό η επέμβαση ολοκληρώνεται χωρίς να έχει δημιουργηθεί καμία εξωτερική τομή. Εκτός από το στομάχι, άλλα κοίλα σπλάχνα στα οποία μπορεί να γίνει διάτρηση είναι το παχύ έντερο και ο κόλπος στις γυναίκες.

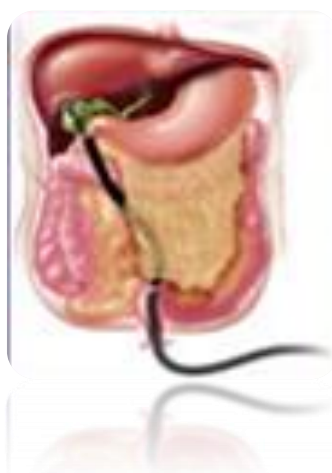
Τα πιθανά οφέλη για τον ασθενή από την νέα τεχνική NOTES είναι πολλά. Εκτός από το άριστο κοσμητικό αποτέλεσμα υπάρχει μία σημαντική μείωση του μετεγχειρητικού πόνου επειδή δεν υπάρχουν τομές στο κοιλιακό τοίχωμα. Επίσης η ποσότητα γενικής αναισθησίας που χορηγείται είναι σημαντικά μειωμένη ακόμη και σε σύγκριση με την λαπαροσκοπική τεχνική. Αναμένεται επίσης να είναι κατά πολύ μικρότερη και η καταστολή του

ανοσοποιητικού συστήματος που παρατηρείται μετά την επέμβαση. Όλα αυτά συνεπάγονται ελαττωμένη χρήση μετεγχειρητικών παυσίπονων, γρηγορότερη ανάνηψη (αμέσως μετά την επέμβαση) και ταχύτερη ανάρρωση μετά το χειρουργείο. Με την τεχνική αυτή είναι πιθανόν στο μέλλον πολλές επεμβάσεις να γίνονται σε χώρο εκτός του χειρουργείου, χωρίς να υπάρχει ανάγκη νοσηλείας, με χορήγηση μικρών δόσεων αναισθητικών φαρμάκων και σε ένα ειδικά διαμορφωμένο χώρο που θα θυμίζει μία εξελιγμένη αίθουσα ενδοσκοπήσεων.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται πειραματικά μόνο σε εξειδικευμένα ερευνητικά κέντρα.



Εικόνα 11: Το ενδοσκόπιο του μέλλοντος: πολλαπλοί αυλοί, νέου τύπου ενδοσκοπικές λαβίδες με αυτονομία κίνησης, καλύτερη οπτική, προσαρμοσμένο για χειρουργική NOTES.



Εικόνα 12: Διακολπική του NOTES: είσοδος του γαστροσκοπίου στην περιτοναϊκή κοιλότητα από οπή στον κόλπο ή τον ορθό.

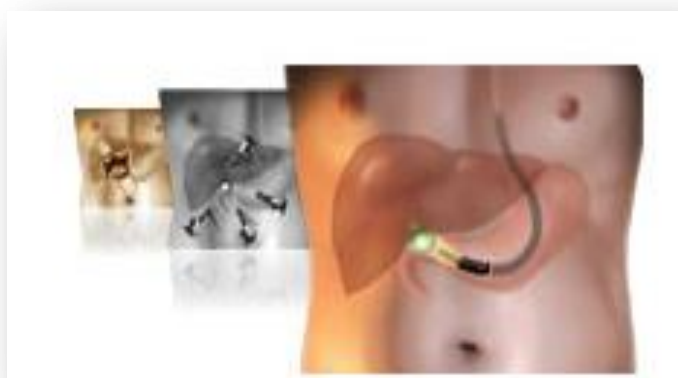


Εικόνα 13: Εικόνα διαγαστρικής βιοψίας ήπατος με την τεχνική NOTES

Η ενδοσκοπική επέμβαση με την τεχνική NOTES θυμίζει τις κλασικές λαπαροσκοπήσεις. Ωστόσο υπάρχουν ορισμένες ουσιαστικές διαφορές. Στη λαπαροσκοπική μέθοδο οι χειρουργοί κάνουν μικρές τομές στο δέρμα της κοιλιάς. Στη μία από αυτές εισάγουν μία βιντεοκάμερα, ενώ από τις υπόλοιπες γίνεται η είσοδος των λαπαροσκοπικών εργαλείων. Στη νέα χειρουργική τεχνική NOTES όλα τα εργαλεία, όπως και η βιντεοκάμερα, βρίσκονται στην άκρη του ενδοσκοπίου. Το ενδοσκόπιο είναι ένας μακρύς εύκαμπτος σωλήνας που περιέχει μικρότερους επιμέρους σωλήνες για κάθε εργαλείο. Στη λαπαροσκοπική χειρουργική χρησιμοποιείται ένα μόνο ενδοσκόπιο (ειδική βιντεοκάμερα) ενώ στη μέθοδο NOTES μπορούν να χρησιμοποιηθούν και παραπάνω από ένα τα οποία να προσεγγίζουν από δύο διαφορετικές φυσικές οπές την περιτοναϊκή κοιλότητα. Με την επέμβαση τύπου NOTES, θεωρητικά ο κίνδυνος μόλυνσης μπορεί να μειωθεί ως ένα βαθμό αλλά αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οπή που θα

χρησιμοποιηθεί ως είσοδος. Για παράδειγμα στην περίπτωση που η προσέγγιση γίνει δια μέσου του εντέρου ο κίνδυνος μόλυνσης είναι αρκετά υψηλός διότι εκεί το μικροβιακό φορτίο είναι πολύ υψηλό. Το ενδοσκοπιο κατά την επέμβαση πρέπει να είναι αποστειρωμένο. Οι χειρουργοί εκτιμούν ότι με τη νέα μέθοδο προβλήματα όπως ο αυξημένος αριθμός μετεγχειρητικών επιπλοκών, αντίστοιχων αυτών που οφείλονται σε εξωτερικές τομές, ή η πιθανότητα να μολυνθεί κάποιο όργανο που βρίσκεται κοντά στην πληγή είναι μικρότερη. Η χειρουργική δια μέσου των φυσικών οπών έχει τους ίδιους κανόνες ασφάλειας με τη λαπαροσκοπική χειρουργική.

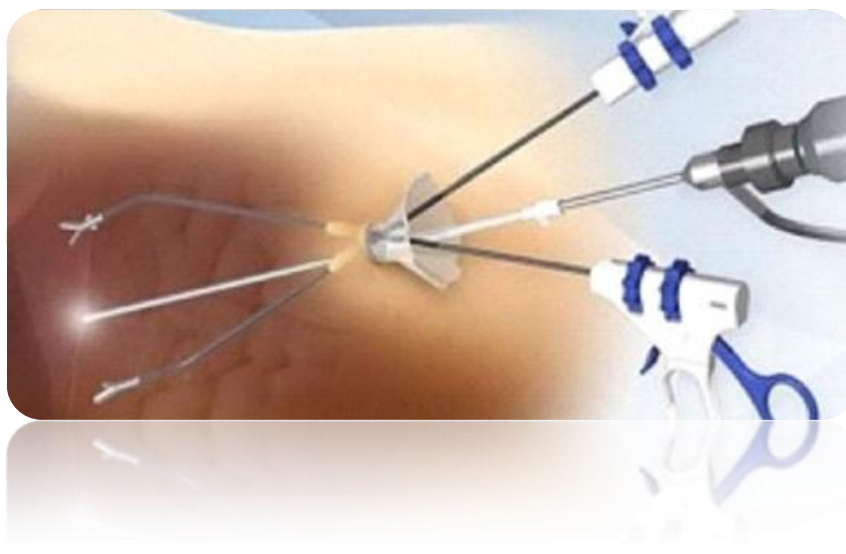
Η τεχνική NOTES πιθανόν να μπορεί να φανεί χρήσιμη σε επεμβάσεις παχύσαρκων ασθενών. Σε ορισμένες περιπτώσεις λαπαροσκοπικών επεμβάσεων η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας λίπους μπορεί να δημιουργήσει επιπλοκές και να αυξήσει τη δυσκολία της επέμβασης. Επίσης η πρόσβαση είναι δύσκολη και η πληγή δεν επουλώνεται εύκολα. Οι ενδοσκοπικές επεμβάσεις ωστόσο μπορούν να γίνουν σε παχύσαρκους, ακριβώς όπως και σε κάθε άλλον. Όταν πρόκειται για υπερβολικά παχύσαρκα άτομα, υπάρχει περίπτωση ο χειρουργός να κρίνει ότι δεν ενδείκνυται συνηθισμένη χειρουργική επέμβαση. Όταν όμως η τομή γίνεται στο εσωτερικό του στομάχου, το λίπος δεν αποτελεί πρόβλημα.



Εικόνα 13: Από αριστερά προς τα δεξιά: Ανοιχτή επέμβαση –Λαπαροσκοπική – Τεχνική NOTES(με διάτρηση στομάχου)

Μελέτες έχουν δείξει ότι ο μετεγχειρητικός πόνος μειώνεται όταν κατά τη λαπαροσκοπική επέμβαση χρησιμοποιούνται μικρότερα και λιγότερα trocars. Έτσι το ενδιαφέρον των γιατρών στράφηκε προς την εύρεση νέων μεθόδων που θα μείωναν τον αριθμό των trocars και άρα και τον αριθμό των τομών ούτως ώστε να μειωθεί ο πόνος και να βελτιωθεί το κοσμητικό αποτέλεσμα.

Μία ιδέα η οποία θεωρητικά θα μπορούσε να βρει εφαρμογή και στη τεχνική NOTES είναι η χρήση πολλαπλών εργαλείων από την ίδια είσοδο (**Single Port Access surgery**).

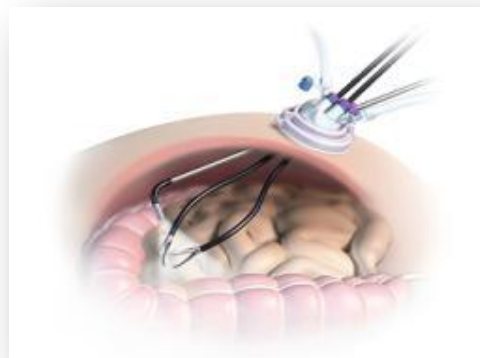


Εικόνα 14:Single Port Access Surgery-λαπαροσκοπική μέθοδος (SPA) [3]

Αρχικά η πρόταση αυτή δεν είχε βρει μεγάλη απήχηση, διότι υπήρχαν αρκετά προβλήματα σε σχέση με το εύρος των κινήσεων των εργαλείων και του τριγωνισμού τους. Η συνηθέστερη οπή η οποία χρησιμοποιείται είναι ο ομφαλός. Ο ομφαλός για κάποιους θεωρείται φυσική οπή του σώματος. Βέβαια η τομή που πραγματοποιείται δεν παύει να είναι εξωτερική [3]. Έτσι η μέθοδος χάνει τον ατραυματικό της χαρακτήρα ενώ ταυτόχρονα παύει να υπάρχει ενδοαυλική προσπέλαση. Σήμερα η μέθοδος single port χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία από τις ομάδες των χειρουργών που χρησιμοποιούν κυρίως το ρομποτικό μηχάνημα Da Vinci. Χάρη στη Ρομποτική τα προβλήματα γωνίωσης λύνονται και επαναφέρουν στον χειρουργό την αίσθηση ότι χειρουργεί κανονικά. Το 2011 η ομάδα Κωνσταντινίδη επιλέχθηκε από την κατασκευάστρια εταιρεία για τις πρώτες επεμβάσεις Single Site και ως κέντρο εκπαίδευσης για τον υπόλοιπο κόσμο, λόγω της μακράς της εμπειρίας με τις Ρομποτικές επεμβάσεις που ξεπερνούν τις 1000, και καλύπτουν όλο το φάσμα της γενικής χειρουργικής, ουρολογίας και γυναικολογίας. Στη Ρομποτική Χολοκυστεκτομή Single Site τα εργαλεία που είναι εύκαμπτα, χιάζονται στο σημείο εισόδου και ηλεκτρονικά το σύστημα αντιστρέφει τους βραχίονες (το δεξί γίνεται αριστερό και το αριστερό δεξί) με αποτέλεσμα οι κινήσεις του χειρουργού να είναι άνετες και φυσικές. Η πρώτη επιτυχημένη επέμβαση διά μίας τομής πραγματοποιήθηκε από τον χειρουργό Δρ. Κ. Κωνσταντινίδη από το ιατρικό κέντρο Αθηνών [4].



Εικόνα 15:Ρομποτική χολοκυστεκτομή δια μιας οπής [4]



Εικόνα 16: Τεχνική Single Site-Ρομποτικά

Είναι φανερό ότι η διάτρηση ενός υγιούς οργάνου, η χρήση δύσχρηστων χειρουργικών εργαλείων και η αστάθεια των ενδοσκοπίων θέτει περιορισμούς στην ευρεία χρήση της τεχνικής αυτής. Παρόλα αυτά υπάρχει έντονο ενδιαφέρον γύρω από την εύρεση και ανάπτυξη μεθόδων που θα ξεπερνούν τα προβλήματα και θα μειώνουν το τραύμα και τον πόνο. Η τεχνική NOTES με την εξέλιξη της προσπαθεί να αποτελέσει το επόμενο στάδιο της λαπαροσκοπικής.

1.2 Η ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ NOTES ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ

Το 1998 πέντε μεγάλα πανεπιστήμια, το University Texas Medical Branch-Galveston, το John Hopkins, το Mayo Clinic, το Medical University south Carolina και το Chinese University Hong Kong δημιουργούν μία ερευνητική ομάδα πρωτοπόρων χειρουργών και γαστρεντερολόγων την οποία και ονομάζουν 'Apollo Group' [5]. Στόχος αυτής της ομάδας ορίζεται η εξέλιξη στη διάγνωση και θεραπεία γαστρεντερικών διαταραχών με τη χρήση μακριών εύκαμπτων ενδοσκοπίων των οποίων η είσοδος θα γινόταν αποκλειστικά από τις φυσικές οπές. Η ομάδα πραγματοποιεί τις πρώτες προ-κλινικές μελέτες της το 2001. Το 2002 έχουμε τις πρώτες δημοσιεύσεις και το 2006 η ομάδα μετονομάζεται σε 'Apollo Endo-Surgery, Inc' .

Τον Ιούλιο του 2004 από την ομάδα του γαστρεντερολόγου A.Kaloo το νοσοκομείο του Johns Hopkins της Βαλτιμόρης δημοσιεύτηκε ένα άρθρο με τίτλο '**Flexible transgastric peritoneoscopy: a novel approach to diagnostic and therapeutic interventions in the peritoneal cavity**' το οποίο καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η από του στόματος προσέγγιση της περιτοναϊκής κοιλότητας είναι τεχνικά εφικτή και έτσι έδωσε μια νέα προσέγγιση για διαγνωστικές και θεραπευτικές παρεμβάσεις στην περιτοναϊκή κοιλότητα [6].

Το American Society for Gastrointestinal Endoscopy (ASGE) και η Society for American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons (SAGES) ονόμασαν αυτή τη χειρουργική μέθοδο ως Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery δηλαδή NOTES και ίδρυσαν την NOSCART (Natural Orifice Surgery Consortium for Assessment and Research) για την επίβλεψη όλων των δραστηριοτήτων και της ερευνητικής δραστηριότητας σχετικά με τη NOTES.



Εικόνα 17: Λογότυπο του American Society for Gastrointestinal Endoscopy [99]

Τον Ιούλιο του 2005, 15 κορυφαίοι χειρουργοί μέλη του SAGES και του ASGE συναντήθηκαν στη Νέα Υόρκη και συζήτησαν εκτενώς για τη νέα τεχνική NOTES.



Εικόνα 18: Λογότυπο του Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons [7]

Από την ίδια ομάδα εκδίδεται η Λευκή Βίβλος της NOTES (Working Group White Paper-Notes) [8] η οποία αναφέρει τις τεχνικές δυσκολίες που υπάρχουν και αυτές που ενδέχεται να αντιμετωπίσει η νέα αυτή τεχνική και επισημαίνει την αναγκαιότητα περεταίρω ανάπτυξης της. Επίσης ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο ότι οποιαδήποτε μελέτη σε άνθρωπο πρέπει να γίνεται με την έγκριση της ανεξάρτητης επιτροπής ηθικής (Institutional Review Board-IRB) [9]. Το πρώτο συνέδριο NOTES πραγματοποιήθηκε στην Arizona στις 11 Μαρτίου του 2006 στο οποίο έλαβαν μέρος 140 γιατροί από όλον τον κόσμο. Η πρώτη χειρουργική επέμβαση βασισμένη στην τεχνική NOTES πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο του Στρασβούργου, από την ομάδα του Jacques Marescaux στις 2 Απριλίου του 2007 [10]. Η

επέμβαση πραγματοποιήθηκε σε μία γυναίκα 30 ετών που έπασχε από χολολιθίαση. Η χολοκυστεκτομή πραγματοποιήθηκε διακολπικά και ονομάστηκε 'operation Anubis' [10].

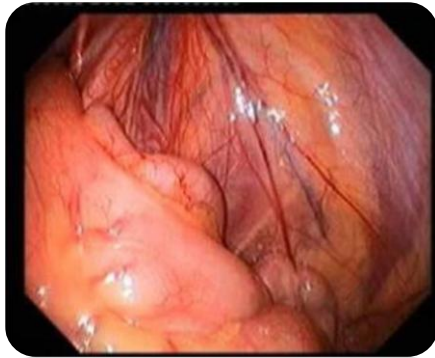


Εικόνες 19,20: Operation ANUBIS 2007 – Διακολπική Χολοκυστεκτομή [11]



Εικόνες 21, 22: Operation Anubis -Χολολιθίαση [10]

Ακολουθεί μία σειρά διάγαστρικών σκωληκοειδεκτομών σε ανθρώπους οι οποίες δημοσιεύονται το 2006 από τους GV. Rao και DN. Reddy στο Παγκόσμιο Συνέδριο Γαστρεντερολογίας στο Μόντρεαλ.



Dr. Nageshwar Reddy
MD, DM, FAMS, FRCP
Chief Gastroenterologist
ΟΡΓΑΝΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ
ΟΡΓΑΝΩΝ ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ

Εικόνες 23,24: Διαγαστρική σκωληκοειδεκτομή--Nageshwar Reddy [12]

Μέχρι σήμερα έχουν δημοσιευτεί πάνω από 150 εργασίες που αφορούν την NOTES.



Εικόνα 25,26: Λογότυπα της NOSCAR και της IRCAD

1.3 ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΛΙΣΗ

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που αφορούν την τεχνική NOTES είναι η διάτρηση των κοίλων οργάνων με τρόπο τέτοιο ώστε να αποφεύγεται ο τραυματισμός των εσωτερικών δομών της κοιλιάς που βρίσκονται πίσω από τα τοιχώματα. Ανάλογα με το όργανο από το οποίο γίνεται η διάτρηση ακολουθείται διαφορετική μέθοδος προσέγγισης.

Για να πραγματοποιηθεί η διάτρηση σε ένα κοίλο σπλάχνο με την τεχνική NOTES πρέπει να μελετηθούν πολλά θέματα. Αρχικά πρέπει να υπάρχουν κατάλληλα εργαλεία ειδικά σχεδιασμένα για την τεχνική. Επίσης το σημείο στο οποίο γίνεται η διάτρηση πρέπει να έχει επιλεγεί με μεγάλη

προσοχή και ανάλογα με το κοίλο σπλάχνο από το οποίο θα γίνει η προσπέλαση. Τα κοίλα σπλάχνα από τα οποία μπορεί να γίνει η προσπέλαση είναι ο κόλπος, η ουρήθρα, το έντερο και το στομάχι. Μετά την ασφαλή διάτρηση πρέπει να διατηρηθεί η τομή ώστε να λειτουργήσει ως πύλη εισόδου για το γαστροσκόπιο και τα εργαλεία. Επίσης πολύ σημαντικό για την πραγματοποίηση των χειρουργικών επεμβάσεων είναι η δημιουργία πνευμοπεριτόναιου το οποίο δημιουργεί τον κατάλληλο χώρο που χρειάζεται για να υπάρχει οπτικό πεδίο και επίσης τα χειρουργικά εργαλεία να μπορούν να κινούνται. Οι συσκευές εμφύσησης αερίου (insufflators) έχουν ως στόχο να εγκαθιστούν το πνευμοπεριτόναιο, να το διατηρούν σταθερό κατά τη διάρκεια της επέμβασης, να ελέγχουν την πίεση του και να ανανεώνουν περιοδικά τον αέρα [13].

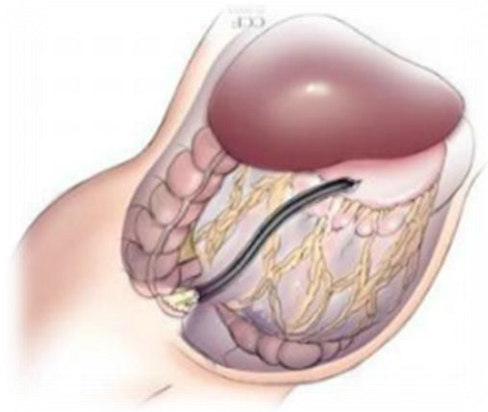


Εικόνα 27:Μηχάνημα δημιουργίας πνευμοπεριτόναιου

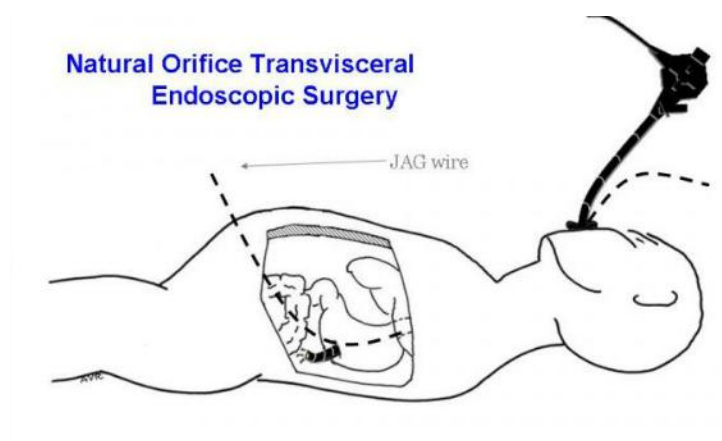
Στο 75% των δημοσιεύσεων που αφορούν επεμβάσεις στην περιτοναϊκή κοιλότητα η προσπέλαση έγινε διαγαστρικά μέσω του στομάχου. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ενδοσκόπιο, οδηγός σύρμα, μπαλόνι διαστολής, ενδοσκοπικές θηλές και σφικτηροτόμος. Η διαδικασία η οποία ακολουθείται είναι διάνοιξη οπής με σφικτηροτόμο και διοχέτευση αέρα για δημιουργία πνευμονοπεριτόναιου σταθερής πίεσης. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει εύκολα η είσοδος στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Ωστόσο υπάρχουν προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ένα από αυτά είναι η δυσκολία στήριξης του ενδοσκοπίου και η περιοσμένη ορατότητα στα όργανα της άνω κοιλιάς. Επίσης, ανάλογα με το όργανο το οποίο πρόκειται να χειρουργηθεί η οπή πρέπει να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικό σημείο του στομάχου ούτως ώστε το ενδοσκόπιο να προσεγγίσει με τον καλύτερο και σωστότερο τρόπο το όργανο που μας ενδιαφέρει. Έτσι η τομή θα πραγματοποιηθεί σε διαφορετικό σημείο για την χολοκυστεκτομή και σε διαφορετικό σημείο για την σπληνεκτομή .



Εικόνα 28: Είσοδος ενδοσκοπίου από τον οισοφάγο στο στομάχι .



Εικόνα 29: Διάτρηση στομάχου και είσοδος στην περιτοναϊκή κοιλότητα [100].



Εικόνα 30:Πρόσβαση με σύρμα [14]

Οι επεμβάσεις NOTES μπορούν να γίνουν διαγαστρικά και διακολπικά. Επίσης πολλές γυναικολογικές επεμβάσεις μπορούν να γίνουν και με την τεχνική NOTES καθώς μέσα στον κόλπο μπορεί να επιτευχθεί εύκολα συγκλίση. Η εμπειρία από τετοιου είδους επεμβάσεις είναι μεγάλη. Οι διακολπικές επεμβάσεις απευθύνονται μόνο σε γυναίκες. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι επεμβάσεις αυτές φέρουν κινδύνους καθώς μπορούν να δημιουργήσουν τραυματισμούς στον όρθο και μετεγχειριστική δυσπαραρευνία. Τον Ιούλιο του 2007 πραγματοποιήθηκε η πρώτη διακολπική χολοκυστεκτομή (Εικόνα 31) από τους Perretta S. και Marescaux J. [15].

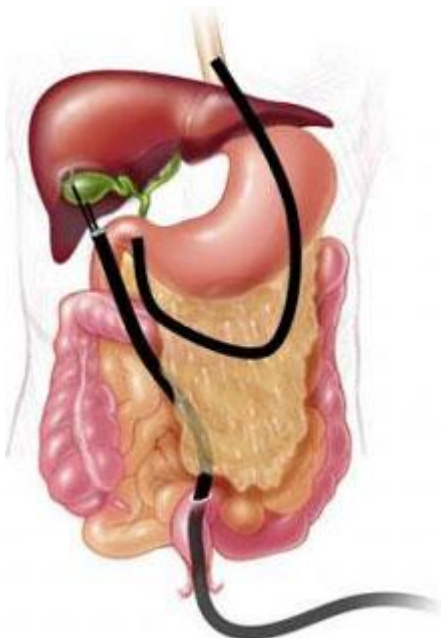


Εικόνα 31: Διακολπική προσέγγιση.

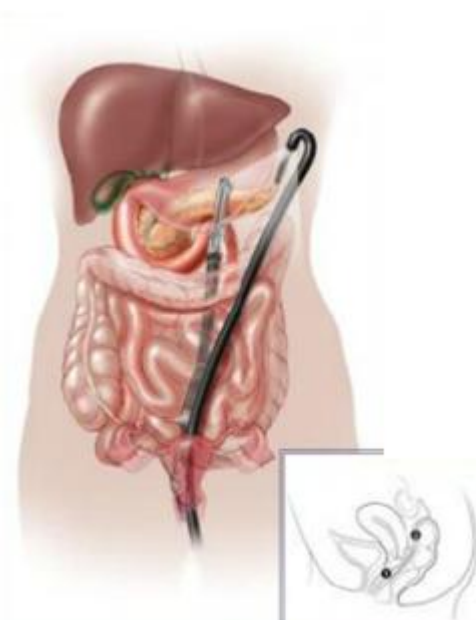


Εικόνα 32: Διάτρηση Κόλπου [101]

Εναλλακτική προσέγγιση των οργάνων της περιτοναϊκής κοιλότητας μπορεί να γίνει και διακολωνικά δια μέσου του παχέως εντέρου (Εικόνα 33). Με αυτόν τον τρόπο ορισμένα όργανα μπορούν να προσεγγιστούν με καλύτερο και πιο αποτελεσματικό τρόπο. Η προσπέλαση αυτή όμως ενέχει μεγάλο κίνδυνο μόλυνσης καθώς το μικροβιακό φορτίο του εντέρου είναι πολύ υψηλό. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η άριστη προετοιμασία του εντέρου ούτως ώστε η επέμβαση να είναι άσηπτη [16]. Μία εναλλακτική τεχνική που μπορεί να πραγματοποιηθεί διακολωνικά είναι η dual- port (Εικόνα 34) στην οποία εισάγονται δύο ενδοσκόπια από τομές που πραγματοποιούνται σε δύο διαφορετικά σημεία του εντέρου. Με την διακολωνική προσέγγιση επιτυγχάνεται ευθεία είσοδος στην άνω κοιλιακή χώρα, μεγαλύτερη σταθερότητα του ενδοσκοπίου.



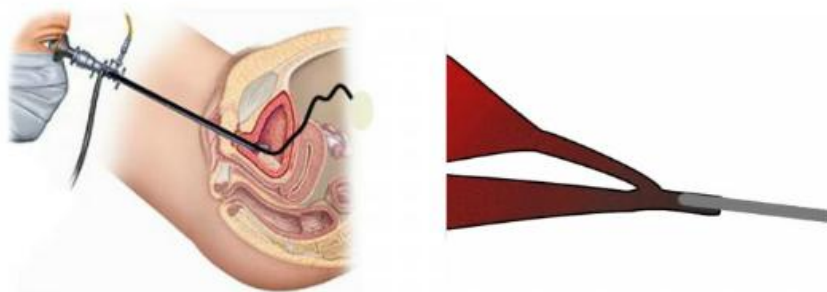
Εικόνα 33: Διακολωνική προσπέλαση -Χολοκυστεκτομή [17]



Εικόνα 34: Dual port τεχνική [18]

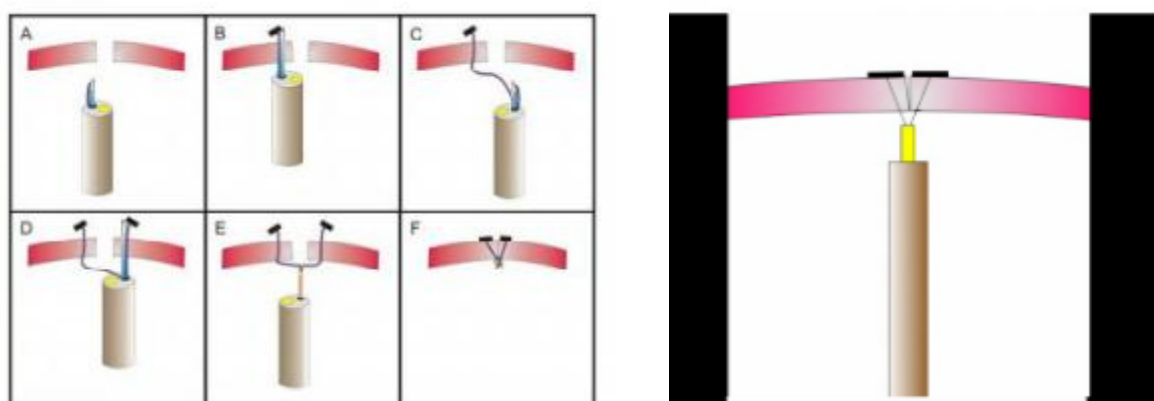
Προσπέλαση με μεγάλη επιτυχία στην τεχνική NOTES μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω της ουροδόχου κύστεως. Το πλεονέκτημα της

μεθόδου αυτής είναι ότι είναι στείρα, ασφαλής και είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί. Επίσης η τομή μπορεί να κλείσει χωρίς να αφήσει την ουροδόχο κύστη σε καθετήρα για πολύ καιρό [19].



Εικόνα 35: Τρόπος δημιουργία διουρηθρικής τομής (Transvesical port)-Lima et al.J Urol 2006 [20]

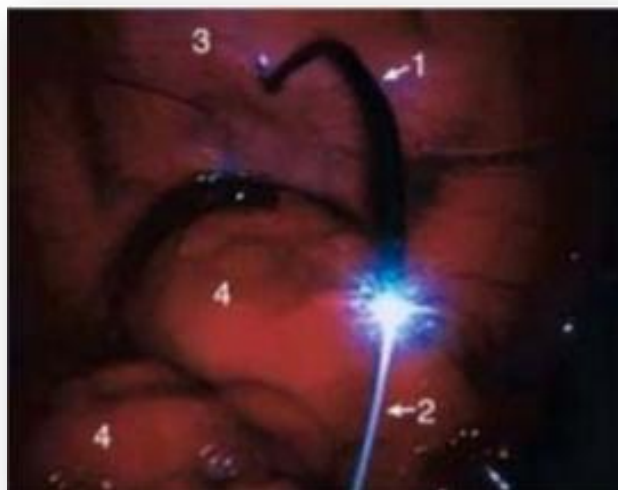
Κατά την έξοδο του trocar από την ουροδόχο κύστη η συρραφή γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο. Τα στάδια που ακολουθούνται είναι συρραφή της τομής και τοποθέτηση καθετήρα για τέσσερις ημέρες (Εικόνα 36) .



Εικόνα 36: Στάδια συρραφής τομής στην ουροδόχο κύστη κατά την έξοδο [21].

Το μειονέκτημα αυτής της προσπέλασης είναι το μικρό εύρος της φυσικής οπής της ουροδόχου κύστεως που φτάνει τα 6 mm και δυσκολεύει την αφαίρεση ιστών που είναι προς αφαίρεση από το εσωτερικό του οργανισμού. Σε πολλές περιπτώσεις μετεγχειρητικά απαιτείται η χρήση καθετήρα για 72 ώρες. Επίσης δεν υπάρχει δυνατότητα προσπέλασης ουρήθρας όταν έχουμε περιπτώσεις περιτονίτιδας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις στην τεχνική NOTES μπορεί να γίνει προσέγγιση της περιοχής που πρόκειται να χειρουργηθεί από δύο ή και τρία διαφορετικά σημεία με αντίστοιχο αριθμό ενδοσκοπίων. Αυτό ενδείκνυται σε μεγαλύτερες επεμβάσεις και σε περιπτώσεις όπου ο τριγωνισμός των εργαλείων είναι απαραίτητος.



Εικόνα 37: Χρήση 2 ή 3 ενδοσκοπίων στην τεχνική NOTES

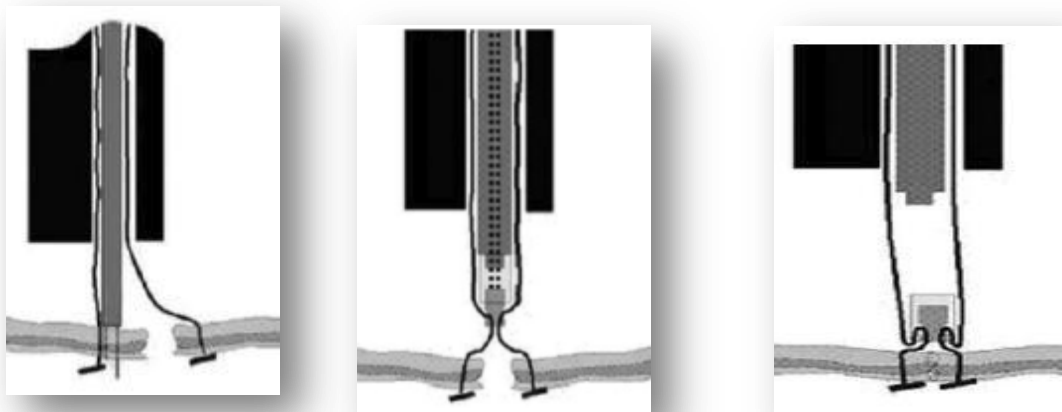
Πάρα πολύ υψηλης σημασίας είναι η σύγκλιση του σημείου εισόδου των ενδοσκοπίων. Οι επιπλοκές οι οποίες μπορεί να προκύψουν στο εσωτερικό της περιτοναϊκής κοιλότητας λόγω αυτών των τομών μπορεί να είναι πάρα πολύ σοβαρές. Η τεχνική της σύγκλισης εξαρτάται από το σημείο εισόδου. Στην διακολπική προσπέλαση η συρραφή είναι πολύ εύκολη ενώ στην διαγαστρική είναι πολύ πιο δύσκολη και απαιτούνται ειδικά εργαλεία. Η ασφαλής σύγκλιση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διάδοση και χρήση της τεχνικής Notes.

Έχουν αναπτυχτεί αρκετές διαφορετικές τεχνικές σύγκλισης. Από αυτές οι πιο ικανοποιητικές είναι :

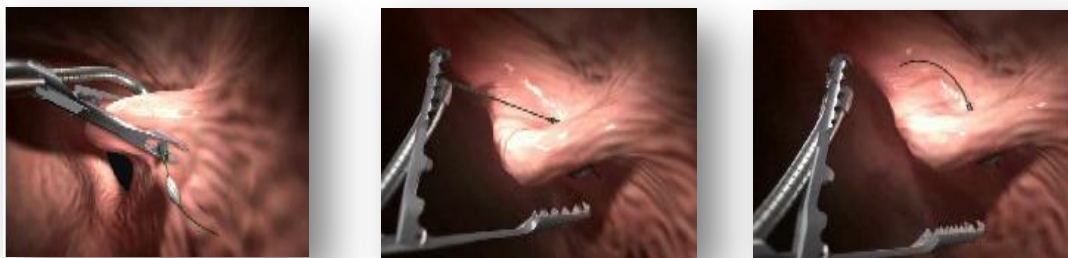
- Η Eagle Claw (Εικόνα 38)
- Η T-tags [22](Εικόνα 39)
- Η G-Prox της USGI (Εικόνα 40)



Εικόνα 38: Eagle Claw



Εικόνα 39: T-tags μέθοδος συρραφής [103]

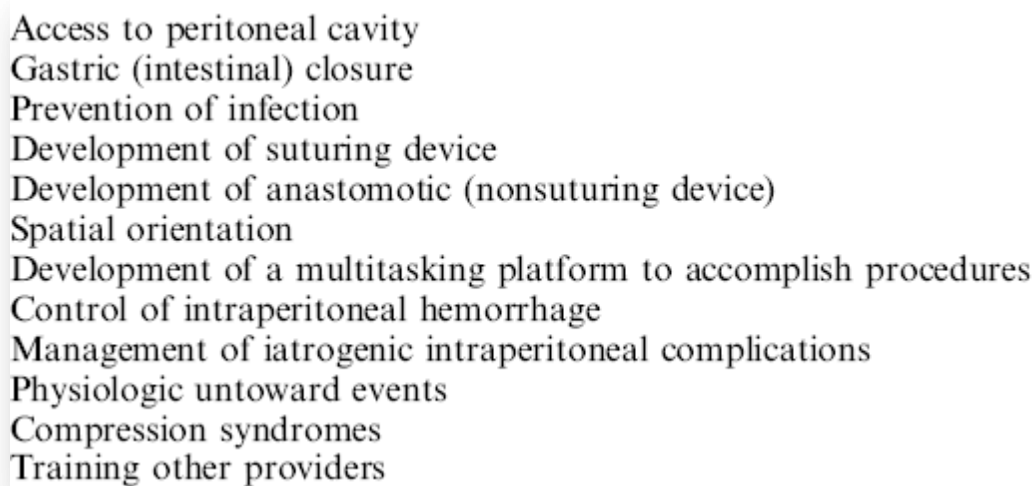


Εικόνα 40: g-prox μέθοδος ραφής [102]

Οι μέθοδοι συρραφής βρίσκονται συνεχώς υπό ανάπτυξη. Ζητούμενο τους είναι η δημιουργία μηχανισμών που να παρέχουν ασφάλεια, ταχύτητα, σύγκλιση, να είναι απλές στη χρήση τους και σχετικά οικονομικές. Στη Notes το αρχικό και το τελικό στάδιο παίζουν τεράστιο ρόλο και είναι ικανά να καθορίσουν την επιτυχία της επέμβασης.

Από την πρώτη συνάντηση της NOSCART προσδιορίστηκαν τα βασικά εμπόδια σε σχέση με την ανάπτυξη της NOTES καθώς και τα βασικά προβλήματα που έπρεπε άμεσα να αντιμετωπιστούν [23].

Το επίσημο έγγραφο που συντάχθηκε από τη NOSCART και περιγράφει αυτούς τους περιορισμούς ονομάστηκε Λευκή Βίβλος.



- Access to peritoneal cavity
- Gastric (intestinal) closure
- Prevention of infection
- Development of suturing device
- Development of anastomotic (nonsuturing device)
- Spatial orientation
- Development of a multitasking platform to accomplish procedures
- Control of intraperitoneal hemorrhage
- Management of iatrogenic intraperitoneal complications
- Physiologic untoward events
- Compression syndromes
- Training other providers

Εικόνα 41: Πίνακας από Λευκή Βίβλο [24] . Πρόσβαση στην περιτοναϊκή κοιλότητα. Κλείσιμο και έξοδος από το γαστρικό (εντερικό) σύστημα. Πρόληψη μόλυνσης. Ανάπτυξη συσκευών συρραφής. Ανάπτυξη αναστομών. Προσανατολισμός στο χώρο. Ανάπτυξη πλατφόρμας πολλαπλών χρήσεων για υποβοήθηση των διαδικασιών. Έλεγχος αιμορραγιών περιτοναϊκής κοιλότητας. Έλεγχος ενδοπεριναϊκών επιπλοκών. Φυσιολογικά απρόβλεπτες επιπλοκές. Σύνδρομα συμπίεσης. Εξάσκηση και άλλων φορέων.

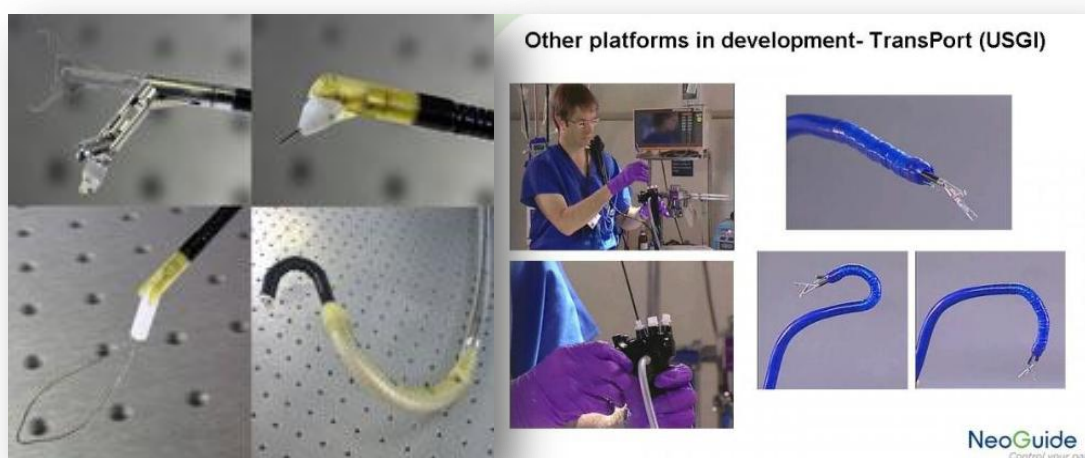
Στον πίνακα που προηγείται αναφέρονται τα δυνητικά εμπόδια της κλινικής εφαρμογής της χειρουργικής NOTES. Πολλά από αυτά δεν έχουν ξεπεραστεί και η αντιμετώπισή τους βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο. Βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη της μεθόδου είναι να μπορεί να είναι ασφαλής.

Στην τεχνική NOTES τίθενται ορισμένοι βασικοί περιορισμοί που μπορούν να ταξινομηθούν σε βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τους περιορισμούς που έχουμε στις κινήσεις των ενδοσκοπίων. Ακόμη περιορισμοί υπάρχουν στα κανάλια εργασίας των ενδοσκοπίων. Η τρίτη κατηγορία αφορά τα εργονομικά προβλήματα των ενδοσκοπίων, η τέταρτη τους απεικονιστικούς περιορισμούς και η πέμπτη τους περιορισμούς που οφείλονται στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στα ενδοσκόπια.

Τα ενδοσκόπια είναι εύκαμπτα χειρουργικά όργανα. Το άκρο των ενδοσκοπίων δεν στηρίζεται κάπου κατά την επέμβαση με αποτέλεσμα να υπάρχει μειωμένη σταθερότητα. Έτσι η δυνατότητα ασφαλών χειρισμών στα διάφορα όργανα είναι μικρότερη. Το ενδοσκόπιο στο εσωτερικό του διαθέτει συνήθως δύο κανάλια, τα οποία είναι παράλληλα και έχουν πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους. Τα χειρουργικά εργαλεία που μπορεί να υποστηρίξει η δομή του ενδοσκοπίου είναι μικρού μεγέθους, με χαμηλή δύναμη σύλληψης, δυσκολία στον έλεγχο της κίνησης και περιορισμένης ποικιλίας.

Από τα παραπάνω φαίνεται πόσο σημαντική είναι στην NOTES η ανάπτυξη ειδικών εργαλείων τα οποία να παρέχουν τη δυνατότητα εργονομικών κινήσεων. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην NOTES διαφέρουν αρκετά από αυτά που χρησιμοποιούνται στην κλασική λαπαροσκοπική χειρουργική. Για αυτήν την τεχνική έχουν αναπτυχθεί ειδικά εργαλεία τα οποία εξασφαλίζουν ασφαλή είσοδο στην περιτοναϊκή κοιλότητα και αποφεύγουν τον τραυματισμό κατά την έξοδο τους από αυτήν. Τα χειρουργικά εργαλεία των ενδοσκοπίων έχουν περιορισμένο εύρος κινήσεων. Τα εργαλεία τα οποία έχουν κατασκευαστεί ειδικά για την τεχνική της NOTES (π.χ. αρθρωτά ενδοσκοπικά εργαλεία με πολλούς βαθμούς ελευθερίας) δίνουν τη δυνατότητα στον χειρουργό να μπορεί να κάνει πολύ λεπτούς χειρισμούς και επίσης εξασφαλίζουν τον τριγωνισμό (Εικόνα 47). Τέλος τα ενδοσκόπια αυτά έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να διατηρούν το πνευμονοπεριτόναιο.

Η τεχνική NOTES διαθέτει μία τεράστια γκάμα χειρουργικών εργαλείων καθένα από τα οποία έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται σε διαφορετικού τύπου χειρουργικές επεμβάσεις και να ικανοποιεί τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Ορισμένα από αυτά φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες:



Εικόνα 42: Ενδοσκοπικά εργαλεία

Εικόνα 43: Εύκαμπτα ενδοσκόπια και τριγωνισμός



Εικόνα 44,45: Τοποθέτηση clip με ειδικού τύπου ενδοσκόπιο [104]



Εικόνα 46: Τοποθέτηση clips με χειρουργικά εργαλεία ειδικά σχεδιασμένα για ενδοσκόπια [25]

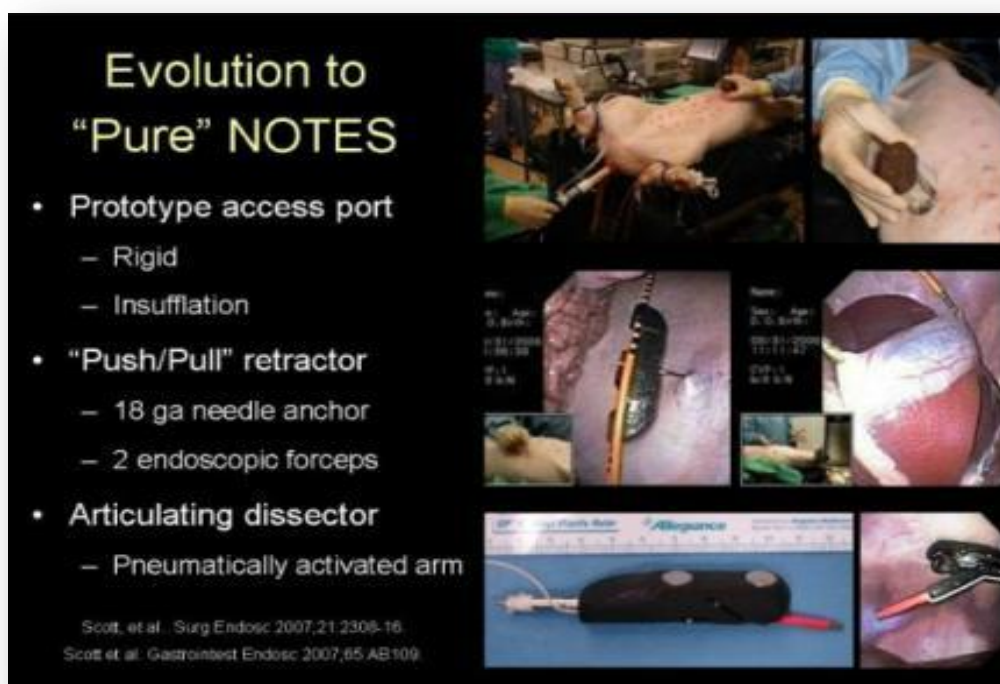
Για την πραγματοποίηση των χειρουργικών επεμβάσεων με μέγιστη ασφάλεια είναι απαραίτητη η ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων συρραφής και σύγκλισης. Στην τεχνική NOTES σε περίπτωση επιπλοκών κατά τη διάρκεια της επέμβασης ή κατά την έξοδο λόγω κακής σύγκλισης δεν υπάρχει δυνατότητα να επέλθει εύκολα και άμεσα ο γιατρός. Για το λόγο αυτό τα εργαλεία τα οποία σχεδιάζονται για αυτές τις ενέργειες πρέπει να έχουν μεγάλη αξιοπιστία.



Εικόνα 47: Trans Port –Ενδοσκόπιο πολλαπλών αυλών (για χειρουργικά εργαλεία –αέρα –ελεγκτές οδήγησης) [26]

Στην NOTES εκτός από τα απλά ενδοσκόπια τα οποία έχουν ενσωματωμένα χειρουργικά εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εναλλακτικές τεχνικές. Μια ενδιαφέρουσα τεχνική προτείνει την χρήση ασύρματων μικρόρομπότ τα οποία είναι σχεδιασμένα με τρόπο που να μπορούν να εκτελούν συγκεκριμένες διαδικασίες. Ο τρόπος τώρα με τον οποίο υποστηρίζεται εξωτερικά η λειτουργία των μικρόρομπότ μπορεί να διαφέρει. Η τροφοδοσία και η στήριξη των μικρόρομπότ είναι τα βασικά θέματα τα οποία καλούνται να εξασφαλίσουν με αυτά οι ερευνητές της NOTES. Γύρω από αυτόν τον τομέα έχουν αναπτυχθεί αρκετές διαφορετικές τεχνικές.

Μία από αυτές προτείνει τη χρήση εξωτερικών μόνιμων μαγνητών. Οι μαγνήτες τοποθετούνται εξωτερικά της κοιλιάς και ελέγχουν την κίνηση εργαλείων που βρίσκονται εσωτερικά της περιτοναϊκής κοιλότητας. Ο έλεγχος γίνεται μέσω των εξωτερικών μαγνητικών πεδίων. Ωστόσο σημαντικό μειονέκτημα των μαγνητικών δυνάμεων είναι ότι η τιμή τους μειώνεται εκθετικά με την απόσταση, με αποτέλεσμα να χάνεται μεγάλο ποσοστό της έντασής τους με μικρή μεταβολή της απόστασης. Στην πράξη δημιουργούνται και άλλου είδους προβλήματα όπως οι παρεμβολές των μαγνητικών τους πεδίων με άλλα χειρουργικά εργαλεία αλλά και με ηλεκτρονικές συσκευές του χειρουργείου. Το σύστημα μαγνητών που σχεδιάστηκε ειδικά για την τεχνική NOTES ονομάστηκε Magnetic Anchoring and Guidance System (MAGS). Το σύστημα αυτό αυξάνει τη δυνατότητα χειρουργικών χειρισμών, διευκολύνει την απεικόνιση του εσωτερικού της περιτοναϊκής κοιλότητας και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία πρώτη φορά το 2007 σε πειραματικό in-vivo μοντέλο για διακολπική χολοκυστεκτομή.



Εικόνα 48: Mags system.

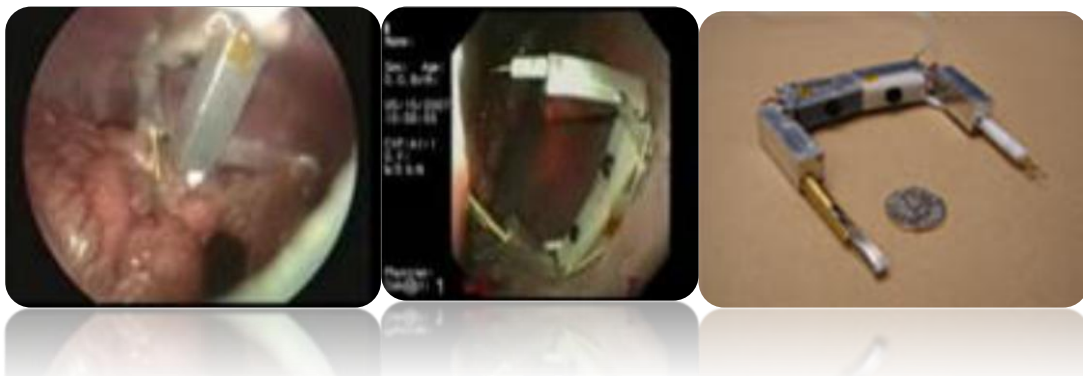


Εικόνα 49:Μαγνητικό σύστημα προσανατολισμού – MAGS SYSTEM for NOTES [106]

Η ομάδα του D.Oleynikov [27] από το πανεπιστήμιο της Nebraska ανέπτυξε μικρό-ρομπότ τα οποία ήταν ειδικά σχεδιασμένα για να λειτουργούν υποβοηθούμενα από εξωτερικό μαγνητικό σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο μπόρεσαν να πραγματοποιηθούν πιο σύνθετες χειρουργικές κινήσεις μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα και ταυτόχρονα να βελτιωθεί η απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου.



Εικόνα 49: MAGS SYSTEM [105]



Εικόνα 50 :Εργαλεία για το MAGS SYSTEM

Το MAG System έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να προσφέρει με τους εξωτερικούς μαγνήτες που διαθέτει μεγάλη σταθερότητα στα μικρόρομπότ. Ωστόσο το μικρόρομπότ δεν μπορεί να κινείται σε οποιοδήποτε σημείο μέσα στην κοιλιά. Τα όργανα της κοιλιάς είναι λεία με αποτέλεσμα τα μικρόρομπότ να μην μπορούν εύκολα να στηριχτούν και να γλιστράνε. Ορισμένα μικρόρομπότ είναι σχεδιασμένα με τρόπο που να αυξάνουν τις τριβές (ραβδώσεις) και άρα και την σταθερότητα. Παρ' όλα αυτά φαίνεται να μην υπάρχει κάποια εναλλακτική μέθοδος η οποία να μπορεί να υποβοηθήσει εσωτερικά τα μικρόρομπότ και να μπορέσει να τους προσφέρει τη σταθερότητα που απαιτείται για την διεξαγωγή μιας χειρουργικής επέμβασης. Στα πλαίσια επίλυσης αυτών των προβλημάτων μπορεί να προταθεί ο σχεδιασμός ειδικών σταθμών εργασίας – **docking stations** - οι οποίοι να μπορούν να λειτουργούν συμπληρωματικά στο έργο των μικρόρομπότ παρέχοντάς τους την σταθερότητα που χρειάζονται. Το πλεονέκτημα των docking station είναι ότι μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε σχήμα και να τοποθετηθούν οπουδήποτε μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα.

Η ενέργεια που χρειάζονται τα μικρόρομπότ εξασφαλίζεται είτε με μπαταρίες, είτε με εξωτερική τροφοδοσία (καλώδιο). Το μειονέκτημα της χρήσης μπαταρίας είναι ότι αυξάνει το μέγεθος και το βάρος του μικρόρομπότ ενώ ταυτόχρονα έχει συγκεκριμένο χρόνο ζωής. Επίσης δεν μπορεί να προσφέρει υψηλές τιμές τάσης και άρα τα χειρουργικά εργαλεία έχουν χαμηλή δύναμη συγκράτησης. Παρ' όλα αυτά προτιμάται διότι δίνει μεγάλη αυτονομία στις κινήσεις του. Τα **docking stations** μπορούν να προσφέρουν λύση και στο θέμα της ανατροφοδότησης των μπαταριών καθώς μπορούν να σχεδιαστούν πάνω σε αυτά ειδικές θέσεις για την επαναφόρτισή τους. Ο ακριβής σχεδιασμός των **docking station** αναλύεται σε ειδικό κεφάλαιο που ακολουθεί.

Η τεχνική NOTES βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ευρέως πρέπει να γίνουν αρκετές βελτιώσεις και να πραγματοποιηθούν πολλές κλινικές εφαρμογές ώστε να είναι σίγουρο ότι θα είναι αποτελεσματική και ασφαλής. Επίσης προβλήματα που αφορούν τα εύκαμπτα ενδοσκόπια και το περιορισμένο εύρος των κινήσεων των χειρουργικών εργαλείων τους μπορούν να ξεπεραστούν χρησιμοποιώντας ρομποτικούς μηχανισμούς εμπλουτισμένους με κατάλληλο λογισμικό και μελετημένες ικανότητες κίνησης. Γι' αυτό το σκοπό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ρομποτικά συστήματα που ήδη υπάρχουν στην αγορά, όπως είναι το ρομποτικό σύστημα Da Vinci. Σε αυτά βέβαια θα πρέπει να προσαρτηθούν ειδικά εργαλεία κατάλληλα σχεδιασμένα για την NOTES. Αντίστοιχα τα προβλήματα στήριξης και τροφοδοσίας των μικρόρομπότ αποτελούν αντικείμενο ερευνητικής εργασίας και μελέτης.

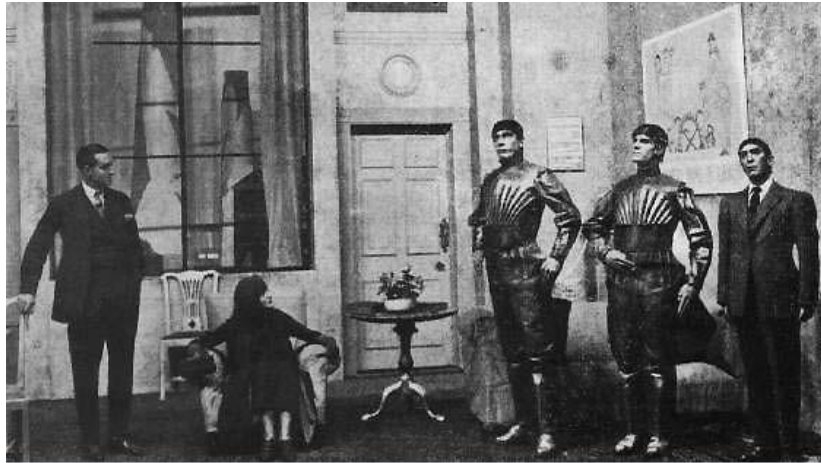
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟ-ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

Η ρομποτική είναι ένας σύγχρονος τεχνολογικός κλάδος, που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των ρομπότ, καθώς και την έρευνα για την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Σύμφωνα με τον ορισμό του Ινστιτούτου Ρομπότ των ΗΠΑ, "ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη πολυλειτουργική χειριστική διάταξη, σχεδιασμένη για τη μετακίνηση υλικών, εξαρτημάτων, εργαλείων και εξειδικευμένων διατάξεων, μέσω μεταβλητών, προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση μιας σειράς εργασιών".

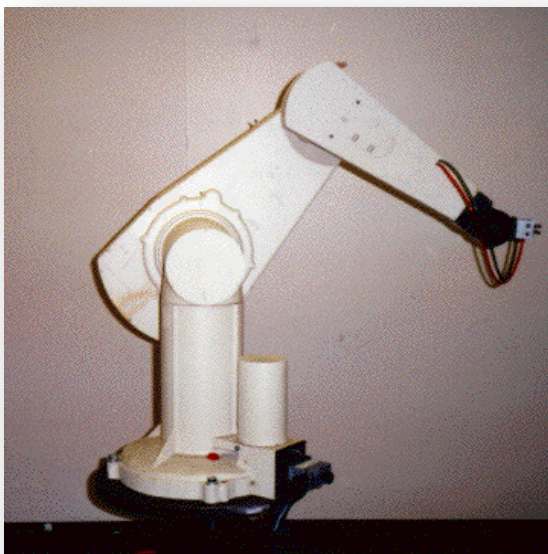
Ο Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης (International Organization for Standardization) έδωσε τον ορισμό της λέξης Ρομπότ στο ISO 8373: «...ένα αυτόματα ελεγχόμενο, επαναπρογραμματιζόμενο, πολλαπλού σκοπού, με προγραμματισμένα χειριστήρια σε τρεις ή περισσότερους άξονες, το οποίο μπορεί να είναι είτε σταθερό είτε κινητό...». Αυτός ο ορισμός χρησιμοποιείται από την International Federation of Robotics και την European Robotics Research Network (EURON) καθώς και άλλες ερευνητικές εταιρείες. Ο όρος ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τα φυσικά ρομπότ αλλά και για τα εικονικά ρομπότ, που δημιουργούνται μέσω λογισμικού, στη δεύτερη όμως περίπτωση συνηθίζεται να ονομάζονται "bots".

Η λέξη ρομπότ έγινε για πρώτη φορά γνωστή στο ευρύ κοινό από τον Τσέχο συγγραφέα Karel Capek στο έργο του R.U.R (**R**ossum's **U**niversal **R**obots), το 1920 [28]. Το θεατρικό έργο ξεκινά σε ένα εργοστάσιο που κατασκευάζει τεχνητούς ανθρώπους που ονομάζονται Robot, τα οποία είναι μάλλον πιο κοντά στη σημερινή ιδέα των ανθρωποειδών (Εικόνα 51). Η λέξη Robota στα Τσέχικα σημαίνει εργασία ή καλύτερα βαριά εργασία. Ο όρος ρομποτική χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τον επιστημονικό κλάδο που ασχολείται με τα ρομπότ από τον συγγραφέα επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov [29].



Εικόνα 51:Σκηνή από το έργο R.U.R του Karel Capek .

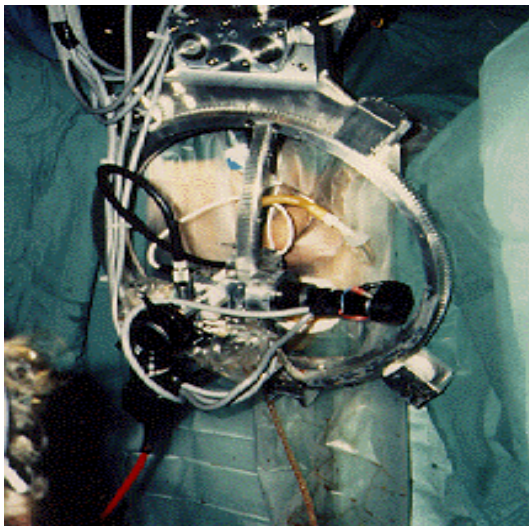
Η ιστορία της ρομποτικής στη χειρουργική ξεκινά το 1985 με το Puma 560 (Εικόνα 52), ένα ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε από τους Kwoh, Young και τους συνεργάτες τους για να εκτελέσει νευροχειρουργικές βιοψίες με μεγαλύτερη ακρίβεια με καθοδήγηση από αξονικό τομογράφο [30]. Τρία χρόνια αργότερα, οι Davies πραγματοποίησαν μια διουρηθρική προστατεκτομή με χρήση του PUMA 560. Το γεγονός αυτό οδήγησε το 1988 στην ανάπτυξη τελικά του PROBOT (Εικόνα 54) από το Imperial College of London, ενός ρομπότ που ήταν ειδικά σχεδιασμένο για διουρηθρική προστατεκτομή [31]. Το 1989 πραγματοποιείται από τους Benabid και Lavalée η πρώτη νευροχειρουργική επέμβαση με το ρομπότ Neuromate. Το Neuromate έχει χρησιμοποιηθεί σε χιλιάδες διαδικασίες εμφύτευσης ηλεκτροδίων καθώς και για βιοψίες, στερεοτακτικές ηλεκτρικές εγκεφαλικές διεγέρσεις αλλά και διακρανϊακούς μαγνητικούς ερεθισμούς(Εικόνα 53).



Εικόνα 52: Puma 560



Εικόνα 53 : Neuromate Robot



Εικόνα 54: PROBOT για προστατεκτομή [31]



Εικόνα 55: AESOP βοηθητική κάμερα[]

Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη αυτών έχουμε και την ανάπτυξη του ROBODOC (Εικόνα 57), ενός άλλου ρομποτικού συστήματος το οποίο είχε σχεδιαστεί για να βοηθάει σε επεμβάσεις του μηρού δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές επεμβάσεις αντικατάστασης ισχίου [32]. Η ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων για επεμβάσεις ορθοπεδικής παρέχει δύο βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χειροκίνητη διαδικασία. Πρώτον, κλινικές δοκιμές έχουν επιβεβαιώσει ότι η διαμόρφωση της μηριαίας κοιλότητας επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Δεύτερον, εξαιτίας της ανάγκης για παροχή ακριβών αριθμητικών οδηγιών στο ρομπότ, χρησιμοποιούνται προεγχειρητικές εικόνες του ασθενούς (π.χ. αξονική τομογραφία) για το σχεδιασμό της διαδικασίας επεξεργασίας του οστού. Αυτό δίνει την ευκαιρία στον χειρουργό να βελτιστοποιήσει το μέγεθος και την τοποθέτηση του εμφυτεύματος για κάθε ασθενή ξεχωριστά [33]. Αντίστοιχης λογικής είναι και το Acrobot (Εικόνα 57) το οποίο χρησιμοποιείται για την χειρουργική του γονάτου [34].



Εικόνα 56: ROBODOC επεμβάσεις[31]

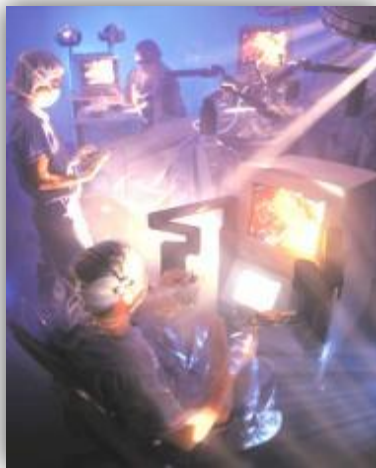


Εικόνα 57: Acrobot- Knee surgery [33]

Σχεδόν ταυτόχρονα, η δημιουργία τηλεδιασκέψεων σε χειρουργικές επεμβάσεις με τη βοήθεια ρομπότ (η οποία επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιεί επεμβάσεις από απόσταση) κατέστη δυνατή χάρη στη συνεργασία του Ερευνητικού Ινστιτούτου του Πανεπιστημίου του Stanford με τη N.A.S.A. και το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ. Αρχικά, το πρωτότυπο σύστημα κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του στρατού, με σκοπό να παρέχεται άμεση χειρουργική φροντίδα στο πεδίο της μάχης. Πολύ σύντομα, το παραπάνω σύστημα (**Da Vinci**) απέκτησε εμπορική εφαρμογή, κυρίως λόγω της δυνατότητας που παρέχει ο χειρουργός να πραγματοποιεί την επέμβαση από απόσταση, έχοντας όμως την αίσθηση ότι βρίσκεται στην αίθουσα χειρουργείο.

Αρκετά από τα ρομποτικά χειρουργικά μηχανήματα που αναπτύχθηκαν για το στρατό άρχισαν να χρησιμοποιούνται σταδιακά και στην ευρεία χειρουργική. Συγκεκριμένα, το πανεπιστήμιο Santa Barbara του CA, χρηματοδοτήθηκε από το στρατό για την ανάπτυξη ρομποτικού αυτοματοποιημένου ρομποτικού βραχίονα τοποθέτησης κάμερας που λειτουργεί με φωνητικές εντολές το οποίο ονομάστηκε AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning). Ο ρόλος του AESOP στις λαπαροσκοπήσεις είναι βοηθητικός. Λίγο μετά το AESOP διατίθεται στην αγορά (**Εικόνα 55**) και κατακτά τις καρδιοχειρουργικές αίθουσες. Το 1994 το AESOP εγκρίνεται από το FDA και ουσιαστικά γίνεται το πρώτο ρομπότ που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τους χειρουργούς στο χειρουργείο [35].

Το Zeus (Εικόνα 58) ήταν το πρώτο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα που εισήχθη από την Computer Motion και εγκρίθηκε από το FDA τον Οκτώβριο του 2001. Αρχικά ο ρόλος του ήταν βοηθητικός και συμπληρωματικός στις χειρουργικές επεμβάσεις. Το Σεπτέμβριο του 2002 το FDA ενέκρινε τη χρήση του σε γενικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Τον Οκτώβριο του 2002, ο Οργανισμός υγείας του Καναδά εγγυήθηκε τη χρήση του σε καρδιολογικές επεμβάσεις και τηλεχειρουργικές εφαρμογές και έλαβε τη σήμανση CE για πώληση στην Ευρωπαϊκή αγορά τον Φεβρουάριο του 1999 [36] [37]. Το σύστημα Zeus τεχνολογίας Micro Wrist έχει εγκριθεί από το FDA για χρήση σε λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή, επεμβάσεις διόρθωσης γαστροοισοφαγικών ανωμαλιών (Nissen Fundoplication). Σήμερα το ρομποτικό σύστημα ZEUS χρησιμοποιείται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς.



Εικόνα 58:Ρομποτικό Σύστημα ZEUS [36]



Εικόνα 59: Χειρουργικό Σύστημα Da Vinci [38]

Το 1994 η Intuitive Surgical αγόρασε την Computer Motion και διέκοψε την ανάπτυξη του ZEUS. Το νέο χειρουργικό σύστημα Da Vinci που εισάγεται λαμβάνει έγκριση από το FDA για μεγάλο εύρος χειρουργικών επεμβάσεων όπως η ριζική προστατεκτομή για καρκίνο προστάτου, η υστερεκτομή και η αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδος και χρησιμοποιείται σε περισσότερα από 800 νοσοκομεία σε Αμερική και Ευρώπη [38]. Το σύστημα Da Vinci (Εικόνα 59) χρησιμοποιήθηκε σε 48,000 επεμβάσεις το 2007 και κοστίζει περίπου 1.2 εκατομμύρια δολάρια. Τον Μάιο του 1998, ο Dr. Friedrich-Wilhelm Mohr [39] πραγματοποίησε την πρώτη ρομποτικά υποβοηθούμενη αορτοστεφανιαία παράκαμψη, στο Leipzig Heart Centre στη Γερμανία, χρησιμοποιώντας το σύστημα Da Vinci. Το 2001, ο J.Marescaux πραγματοποίησε χολοκυστεκτομή σε μία ασθενή στο Στρασβούργο της Γαλλίας ενώ ο ίδιος βρισκόταν στη Νέα Υόρκη (Lindbergh operation) [40]. Στην Ελλάδα, η πρώτη επέμβαση ρομποτικής χειρουργικής πραγματοποιήθηκε από τον Κ.Κωνσταντινίδη και την επιστημονική του ομάδα (Ιατρικό Κέντρο Αθηνών) τον Σεπτέμβριο του 2006. Η πρώτη ανακοίνωση ρομποτικών επεμβάσεων από τη χώρα μας έγινε τον Φεβρουάριο του 2007 στο 2ο παγκόσμιο Συνέδριο Ρομποτικής Χειρουργικής (MIRA 2007) στη Νέα Υόρκη, ΗΠΑ. Σήμερα υπάρχουν 6 ρομποτικά συστήματα στην Αθήνα.

Το MIROSURGE της **D.L.R** (German Aerospace Center) είναι ένα νέο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα στο οποίο οι τρεις ρομποτικοί του βραχίονες (Εικόνες 55,56) είναι προσαρτημένοι πάνω στο χειρουργικό κρεβάτι [3].

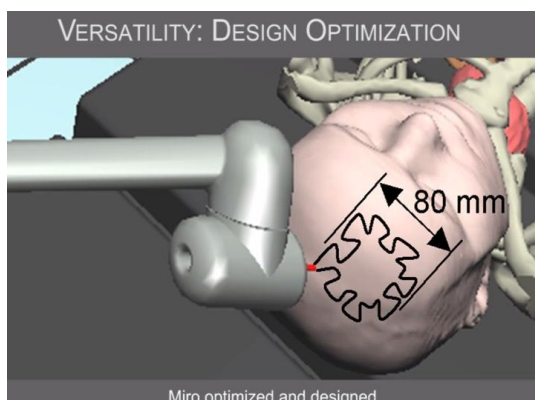


Εικόνα 60: Χειρουργικοί MIRO βραχίονες



Εικόνα 61: Η DLR κονσόλα εντολών

Το ρομπότ αυτό εκτός από τις χειρουργικές επεμβάσεις θέτει νέους στόχους όπως οι ακριβείς τομές στα κόκκαλα (Εικόνα 62) και το κρανίο με τη βοήθεια ειδικού laser.



Εικ.62 :Κρανιοτομή με το ρομποτικό σύστημα MIRO



Εικ.63:Λαπαροσκοπική υποβοηθούμενη από κάμερα MIRO

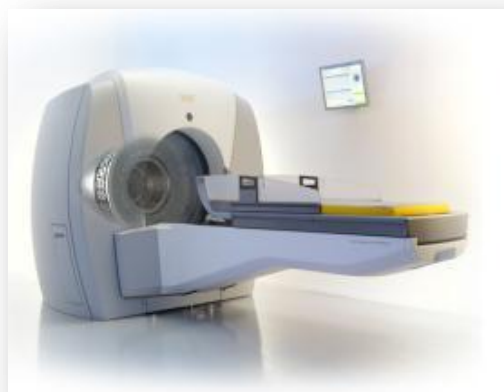
Τα χειρουργικά ρομπότ ανάλογα με τον τρόπο δράσης τους χωρίζονται σε ενεργητικά και παθητικά ρομπότ. Τα ενεργητικά ρομπότ είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κίνηση των χειρουργικών εργαλείων (Da Vinci), καθώς και αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται για την αλλοίωση ιστών για θεραπευτικούς σκοπούς, όπως είναι το ραδιοχειρουργικό ρομπότ Cyberknife(Εικόνα 64) και το Gamma Knife Perfexion (Εικόνα 65) το οποίο κάνει χρήση ακτίνων γ [41] [42].

Το CyberKnife αποτελεί ένα άριστο παράδειγμα της εφαρμογής της ρομποτικής στην κρανιακή ακτινοθεραπεία. Το συγκεκριμένο σύστημα επιτρέπει την υψηλή ακτινοβολήση όγκων με την ελάχιστη έκθεση του παρακείμενου φυσιολογικού ιστού στην επιβλαβή ακτινοβολία. Το ρομποτικό σύστημα θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή

ραδιοϊσοτοπικών εμφυτευμάτων. Το πλεονέκτημα των ρομποτικών συστημάτων στη συγκεκριμένη μορφή θεραπείας είναι οι συντομότεροι χρόνοι που τη χαρακτηρίζουν, η μειωμένη έκθεση του ασθενούς και του προσωπικού στην ακτινοβολία και η ικανότητά τους να ακτινοβολούν έναν μεγάλο αριθμό μικρότερων ισοκέντρων, περιορίζοντας έτσι τη μέγιστη δόση στον όγκο-στόχο [43].



Εικόνα 64: Cyber knife [41]



Εικόνα 65: Gamma Knife [42]

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων βασίζεται σε ηλεκτρονικά συστήματα (Computer Aided Surgery-CAS) τα οποία προκαθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα δράσει το ρομπότ.

Αντίθετα τα παθητικά ρομπότ χρησιμοποιούνται αρχικά για κάποιες ενέργειες και στη συνέχεια τίθενται εκτός λειτουργίας. Για παράδειγμα το ρομπότ το οποίο χρησιμοποιείται στη νευροχειρουργική για την τοποθέτηση βελόνων βιοψίας είναι ένα παθητικό ρομπότ.

2.2 ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

Πριν είκοσι χρόνια ξεκινούσε ένα πείραμα. Η χειρουργική με λαπαροσκόπηση, οπτικές ίνες και video. Στόχος του πειράματος ήταν η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων χωρίς τραύμα. Η επιτυχία ήταν τόσο μεγάλη, που έμελλε να αλλάξει την ιστορία της ιατρικής ανοίγωντας το κεφάλαιο της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (**Minimally invasive surgery**). Η λαπαροσκοπική χειρουργική υπήρξε μια τεράστια καινοτομία, αλλά όταν η χρήση της εξαπλώθηκε δεν άργησε να εντοπισθεί και το

αδύνατο σημείο της που δεν ήταν άλλο από τον ίδιο τον χειρουργό. Για να ξεπεραστούν οι ανθρώπινες αδυναμίες του χειρουργού, δύο ήταν οι λύσεις: να βοηθηθεί ο χειρουργός έτσι ώστε να βελτιώσει και να διευρύνει τις ικανότητές του στο χειρουργείο, ή να αντικατασταθεί από κάποια αυτόματη μηχανή. Η έρευνα ακολούθησε απο νωρίς και τις δύο κατευθύνσεις αναπτύσσοντας δύο παράλληλες τεχνολογίες:

α. Υποβοηθούμενη με computer χειρουργική (Computer - assisted surgery - CAS).

Στην φιλοσοφία αυτής της τεχνολογίας ο χειρουργός κατέχει κεντρική θέση. Κύριος στόχος της CAS είναι η ποιοτική αναβάθμιση των αισθήσεων του χειρουργού ώστε να αυξηθεί η ικανότητα και η απόδοσή του στο χειρουργείο. Ο χειρουργός ενισχύεται μέσω computer με τεχνητές αισθήσεις, όπως τρισδιάστατη (3D) όραση, αφή και 3D διαγνωστικά βοηθήματα της απεικονιστικής τεχνολογίας. Εκτός από το χειρουργείο, η τεχνολογία CAS μπορεί επίσης να βρεί εφαρμογές στην εκπαίδευση και το σχεδιασμό (planning) χειρουργικών επεμβάσεων.

β. Ρομποτική χειρουργική (Robotic surgery).

Το ρομπότ είναι μία σύνθετη μηχανική κατασκευή που έχει τη δυνατότητα να εκτελεί κινήσεις αλληλεπιδρώντας σε πραγματικό χρόνο με το περιβάλλον. Στη βασική του σύνθεση το ρομπότ περιλαμβάνει αισθητήρες που συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και τη θέση του στο χώρο, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί απο το computer η επόμενη κίνηση. Εφ' όσον το ρομπότ εφοδιαστεί με το κατάλληλο λογισμικό, έχει τη θεωρητική δυνατότητα να εκτελέσει αυτόματα μια χειρουργική επέμβαση. Αν και η ρομποτική χειρουργική ενσωματώνει πολλές εφαρμογές της CAS, η διαφορά της από αυτή είναι ότι στη ρομποτική χειρουργική ο ρόλος του χειρουργού υποβαθμίζεται. Η σύγχρονη ρομποτική τεχνολογία μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις βασικές υποκατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό εμπλοκής του χειρουργού στο χειρουργείο [44]:

- **Ρομποτικό σύστημα χειρουργός (supervisory-controlled system):** Το ρομπότ εκτελεί αυτόματα την επέμβαση ακολουθώντας το πρόγραμμα με το οποίο έχει τροφοδοτηθεί από πριν το computer. Στην περίπτωση αυτή ο ρόλος του χειρουργού περιορίζεται μόνο στον προγραμματισμό και την επίβλεψη της επέμβασης. Ο τεράστιος όγκος των απαιτούμενων πληροφοριών και το οικονομικό κόστος, κάνουν προς το παρόν αυτή την τεχνολογία ανεφάρμοστη.
- **Ρομποτικό σύστημα τηλεχειρουργικής (telesurgical system):** Ο

χειρουργός χειρίζεται τους βραχίονες του ρομπότ, χωρίς όμως να απαιτείται η φυσική του παρουσία στο χειρουργείο. Οι επεμβάσεις μπορούν να γίνονται από οποιαδήποτε απόσταση, χάρις στους εξελιγμένους αισθητήρες του συστήματος (3D όραση και ίσως υποδοχείς αφής). Αυτή η υβριδική τεχνολογία έχει ήδη πρακτικές εφαρμογές, με κυριότερο εκπρόσωπο το σύστημα **da Vinci®**.

- **Ρομποτικό σύστημα βοηθός (shared-control system):** Απαιτεί τη μεγαλύτερη συμμετοχή του χειρουργού. Στην ουσία πρόκειται για τεχνολογία που ακολουθεί τη φιλοσοφία της CAS. Ο χειρουργός εκτελεί ο ίδιος την επέμβαση ενώ ο ρόλος του ρομπότ περιορίζεται στην παροχή βοήθειας ώστε να γίνουν πιο σταθερές και ακριβείς οι κινήσεις του χεριού του χειρουργού. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο εξέλιξης [45], [46].

Οι πρώτες προσπάθειες για χρήση της ρομποτικής στην ιατρική πραγματοποιήθηκαν τη δεκαετία του '80 με τη χρήση των ρομπότ PUMA, PROBOT και ROBODOC. Πραγματική είσοδος όμως της ρομποτικής στη χειρουργική πραγματοποιήθηκε το 1999 με την εμφάνιση του ρομποτικού συστήματος Zeus και στη συνέχεια του Da Vinci της εταιρείας της Intuitive Surgical.

Ρομποτικά συστήματα τύπου master-slave.

Κατά τη διάρκεια μίας χειρουργικής επέμβασης με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου και σύγχρονου ρομποτικού συστήματος αυτού του τύπου ο χειρουργός (**master**) βρίσκεται μέσα στη χειρουργική αίθουσα αλλά μακριά από τον ασθενή καθισμένος σε μία κονσόλα ελέγχου. Από τη χειρουργική ομάδα δημιουργείται τεχνητό πνευμοπεριτόναιο με εμφύσηση αέρα στην περιτοναϊκή κοιλότητα του ασθενούς με σκοπό την ενδοσκοπική διερεύνηση των οργάνων του, και στη συνέχεια τοποθετούνται τα τροκάρ, μία ενδοσκοπική κάμερα (λαπαροσκόπιο) και τα χειρουργικά εργαλεία πάνω στους ρομποτικούς βραχίονες (**slave**) που μοιάζουν με τον ανθρώπινο καρπό.

Με τη βοήθεια του λαπαροσκοπίου, που καθοδηγείται από το ρομποτικό σύστημα μέσα στο σώμα του ασθενούς, ο χειρουργός έχει τη δυνατότητα να βλέπει σε μία οθόνη τρισδιάστατης απεικόνισης το χειρουργικό πεδίο και να εκτελεί την επέμβαση κινώντας ειδικούς μοχλούς που μοιάζουν με joysticks. Ο χειρουργός χρησιμοποιεί τα χέρια του αλλά και ειδικά πεντάλ για να ελέγχει την κάμερα, να ρυθμίζει την εστίαση και να προσαρμόζει τη θέση των βραχιόνων του ρομπότ. Όλες οι κινήσεις των χεριών του “φιλτράρονται” και κλιμακώνονται ανάλογα, έτσι ώστε να εξαλείφεται ο φυσικός τρόμος τους και να αποτρέπεται κάθε άστοχη και επικίνδυνη για τον ασθενή ενέργεια.

Σήμερα είναι ήδη διαθέσιμα δύο ολοκληρωμένα ρομποτικά συστήματα τύπου master-slave που ακολουθούν την παραπάνω διαδικασία για την εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων. Το σύστημα Zeus, εξέλιξη του

ρομποτικού βραχίονα AESOP της εταιρείας Computer Motion Inc. και το ρομποτικό σύστημα Da Vinci της εταιρείας Intuitive Surgical Inc., το οποίο είναι τεχνολογικά και το πιο προηγμένο.

Το σύστημα Da Vinci εγκρίθηκε από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών και κρίθηκε κατάλληλο και ασφαλές για χειρουργικές επεμβάσεις.



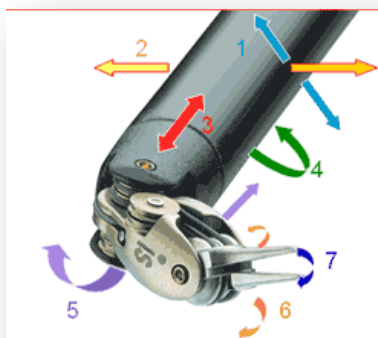
Εικόνα 66: Da Vinci surgical system

Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των ρομποτικών συστημάτων λαπαροσκοπικής τηλεχειρουργικής από το έτος 2000 και η γρήγορη εξάπλωσή τους σε Ευρώπη και Αμερική ανοίγει νέους δρόμους στη χειρουργική.

Τηλεχειρουργική είναι η χειρουργική που πραγματοποιεί ο χειρουργός σε κάποια απόσταση από τον ασθενή. Χάρη στις προηγμένες εφαρμογές τηλεπικοινωνίας, ο χειρουργός μπορεί και ελέγχει από απόσταση ρομποτικούς βραχίονες και εργαλεία που αναπαράγουν με ακρίβεια τους χειρισμούς στο εσωτερικό του ασθενή.

Καθημερινά αυξάνονται οι ήδη πολυάριθμες εφαρμογές της ρομποτικής τηλεχειρουργικής στην καρδιοχειρουργική, στη θωρακοχειρουργική, στη γενική χειρουργική, στην ουρολογία, τη γυναικολογία και την παιδοχειρουργική. Πάνω από 10,000 επεμβάσεις έχουν πραγματοποιηθεί με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα DaVinci® της Intuitive Surgical και σε όλες τις περιπτώσεις η ρομποτική χειρουργική υπερτερούσε της λαπαροσκοπικής κατά την κατασκευή αναστομών και ιδιαίτερα σε «δύσβατες» κοιλότητες του σώματος. Αυτό οφείλεται κυρίως στην τρισδιάστατη απεικόνιση του εγχειρητικού πεδίου και τον μεγάλο βαθμό ελευθερίας κινήσεων των ρομποτικών βραχιόνων (Εικόνα 67), που μοιάζουν με αυτές του «ανθρώπινου καρπού». Οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται αναίμακτα με ελάχιστη

επιβάρυνση για τον ασθενή που κινητοποιείται γρήγορα μετά το χειρουργείο και επιστρέφει στις καθημερινές του συνήθειες [47] .

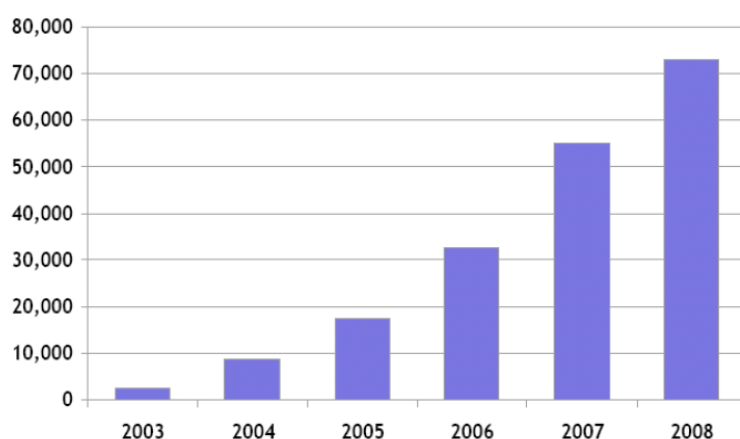


Εικόνα 67:Κινήσεις χειρουργικών εργαλείων Da Vinci



Εικόνα 68: Χειρουργικά εργαλεία Da Vinci [107]

Τελευταία, αξιοσημείωτη είναι η ευρεία εξάπλωση των ρομποτικών ριζικών προστατεκτομών (πάνω από 5000 παγκοσμίως), που οφείλεται κυρίως στη διαφύλαξη της στυτικής λειτουργίας και στην αποφυγή της ακράτειας μετεγχειρητικά καθώς και στη γρήγορη καμπύλη εκμάθησης της επέμβασης (Εικόνα68). Νεοπλασματικές εξαλλαγές στον προστάτη συμβαίνουν στο 1/3 των ανδρών ηλικίας πάνω από 50 και σχεδόν στους μισούς πάνω από 75. Οι πιο πολλές από αυτές τις βλάβες παραμένουν αδρανείς και δεν εμφανίζουν συμπτώματα. Η πιθανότητα ανάπτυξης κλινικά εμφανούς νόσου είναι μόλις 8%. Με επιτυχία πραγματοποιούνται επίσης μερικές και ολικές νεφρεκτομές καθώς και άλλες ουρολογικές επεμβάσεις.



Εικόνα 69:Αριθμός προστατεκτομών με Da Vinci

Στη γενική χειρουργική τα ήδη γνωστά πλεονεκτήματα της λαπαροσκοπικής προσπέλασης έρχονται να προστεθούν σε αυτά της

ρομποτικής. Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες επεμβάσεις γενικής χειρουργικής οισοφαγεκτομής, ολική και υφολική γαστρεκτομή, δεξιά και αριστερή κολεκτομή και σιγμοειδεκτομές, κοιλιοπερινεϊκές εκτομές, και ορθοπηξίες. Επίσης ηπατεκτομές, επεμβάσεις χοληφόρων, περιφερικές παγκρεατεκτομές και σπληνεκτομές. Πολλά πλεονεκτήματα παρουσιάζει και η ρομποτική επινεφριδεκτομή.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά τον τελευταίο καιρό, η χρήση ρομποτικού συστήματος σε παχύσαρκους ασθενείς εφόσον οι ρομποτικοί βραχίονες μπορούν με την ίδια ευκολία να σηκώσουν οποιοδήποτε βάρος για όσο χρόνο χρειάζεται. Τελευταία συζητείται όλο και περισσότερο η αξία των ρομποτικών συστημάτων στη χειρουργική της παχυσαρκίας, όπως είναι η κατά Roux-en Y γαστρική παράκαμψη (γαστρικό by-pass).

Το DaVinci® σχεδιάστηκε αρχικά σχεδόν αποκλειστικά για την πραγματοποίηση επεμβάσεων αορτοστεφανιαίας παράκαμψης (bypass). Κατά συνέπεια οι καρδιοχειρουργοί έχουν αποκτήσει μεγάλη εμπειρία στη χρήση του ρομποτικού συστήματος στην επέμβαση αυτή καθώς και σε βαλβιδοπλαστικές και άλλες καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις. Στις θωρακοχειρουργικές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται με το DaVinci® ανήκει η πνευμονεκτομή για πρωτοπαθές καρκίνωμα του πνεύμονος, αλλά και οι λοβεκτομές και η τοπική αφαίρεση όγκου καθώς και η αφαίρεση θύμου αδένος.

Στη γυναικολογία πραγματοποιούνται επεμβάσεις ρομποτικής υστερεκτομής, αφαίρεσης νεοπλασμάτων των εξαρτημάτων, σαλπιγγωοθηκεκτομή καθώς και εγχειρήσεις μετάθεσης ωοθηκών και αναστόμωσης των σαλπίγγων.

Τέλος, ολοένα ανευρίσκονται πλεονεκτήματα στη χρήση της ρομποτικά-υποβοηθούμενης τεχνικής στην παιδοχειρουργική σε επεμβάσεις για γαστροοισοφαγική παλινδρόμηση, σε χολοκυστεκτομές, στην σαλπιγγωοθηκεκτομή. Με επιτυχία πραγματοποιείται η ρομποτική πυελοπλαστική για απόφραξη ουρητηροπυελικής συμβολής σε παιδιά. Επίσης συνεχώς βελτιώνονται οι παιδιατρικές καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις όπως είναι η αποκατάσταση βατού αρτηριακού πόρου.

Τον Ιούλιο του 2000 το FDA ενέκρινε τη χρήση του Ρομποτικού Συστήματος Da Vinci ® αναγνωρίζοντάς το ως πρότυπο σύστημα τηλερομποτικής χειρουργικής που πραγματοποιεί εγχειρήσεις με ελάχιστο τραύμα στον οργανισμό του ασθενούς. Το da Vinci ® παρέχει την ευελιξία των ανοικτών χειρουργικών επεμβάσεων σε λαπαροσκοπικό πεδίο.

Το χειρουργικό Ρομπότ αποτελείται από τη κονσόλα χειρισμού (**Surgical Console**) και τον χειρουργικό πύργο (**Surgical Cart**). Η κονσόλα διαθέτει

οπτικό σύστημα που παρέχει πραγματική 3D απεικόνιση υψηλής ευκρίνειας και τα χειριστήρια (**masters**) από τα οποία ο χειρουργός κατευθύνει τους βραχίονες. Ο χειρουργικός πύργος (Surgical Cart) στηρίζει τους 4 βραχίονες κάθε ένας από τους οποίους μπορεί να χειριστεί ευρύ φάσμα εργαλείων (ρομποτικό σύστημα 4 βραχιόνων). Άλλες τεχνολογίες που αναπτύσσονται συγχρόνως με τη ρομποτική, υπόσχονται σύντομα να συγχωνευθούν στις επόμενες γενιές των χειρουργικών ρομπότ.



Εικόνα 70 : Αίθουσα χειρουργείου Da Vinci

Σε εξέλιξη βρίσκεται η έρευνα της τεχνολογίας απτικής ανάδρασης (haptic feedback) που θα προσφέρει και την αίσθηση της αφής στον χειρουργό που παρασκευάζει τους ιστούς με τους ρομποτικούς βραχίονες. Ένα άλλο ενδιαφέρον πεδίο έρευνας αποτελεί η συγχώνευση των εικόνων από τις απεικονιστικές εξετάσεις του ασθενούς (αξονικής και μαγνητικής τομογραφίας) με την εικόνα του εγχειρητικού πεδίου για χαρτογράφηση και καλύτερο διεγχειρητικό σχεδιασμό της επέμβασης (επαυξημένη πραγματικότητα – augmented reality-Εικόνα 71). Η τελευταία αυτή τεχνολογία υπόσχεται να μας οδηγήσει στην εποχή της Διεγχειρητικής Πλοήγησης (Intraoperative Navigation), όταν η χειρουργική επέμβαση θα καθοδηγείται από ηλεκτρονικό υπολογιστή που θα επεξεργάζεται όλα των δεδομένα από τον παρακλινικό έλεγχο του ασθενούς.



Εικόνα 71: Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented reality)

Σημαντικοί παράγοντες στην ανάπτυξη ενός Προγράμματος Ρομποτικής Χειρουργικής αποτελούν: η εμπειρία της χειρουργικής ομάδας στις

Επεμβάσεις Λαπαροσκοπησης καθώς και η υποδομή του Ιδρύματος που φιλοξενεί το Πρόγραμμα. Το προσωπικό του χειρουργείου θα πρέπει επίσης να ενημερωθεί εκτενώς και να προσαρμοστεί ανάλογα στην αρχική περίοδο λειτουργίας του συστήματος καθώς και στη διαδικασία εγκατάστασης - απεγκατάστασης που πρέπει να γίνεται πάντοτε με μεγάλη προσοχή προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες στο σύστημα [6],[24].

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ

- Είναι μια ελάχιστα επεμβατική και ελάχιστα τραυματική μέθοδος, εξαιτίας της ακρίβειας με την οποία γίνονται οι κινήσεις του γιατρού.
- Εξασφαλίζει ελάχιστη απώλεια αίματος.
- Εξασφαλίζει μικρότερο πόνο.
- Ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διεγχειρητικών και μετεγχειρητικών επιπλοκών.
- Μειώνει σημαντικά το χρόνο παραμονής στο νοσοκομείο.
- Εξασφαλίζει ταχύτερη ανάρρωση.
- Παρέχει καλύτερα αισθητικά αποτελέσματα.
- Δίνει λύση στους περιορισμούς της λαπαροσκοπικής μεθόδου (δισδιάστατη εικόνα ή ασταθή εικόνα, απώλεια βαθμών ελευθερίας και αίσθησης, εργονομικά προβλήματα για τη χειρουργική ομάδα).
- Επιτρέπει στον χειρουργό να έχει τρισδιάσταση (3D) εικόνα του χειρουργικού πεδίου, σε πολύ μεγάλη μεγέθυνση.
- Εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές κινήσεις. Καθώς οι χειρισμοί του χειρουργού στην κονσόλα μετατρέπονται σε κίνηση των χειρουργικών βραχιόνων εξαλείφεται σχεδόν το φυσιολογικό τρέμουλο των χεριών, με αποτέλεσμα μια πρωτοφανή χειρουργική δεξιότητα.
- Δίνει στο χειρουργό τη δυνατότητα να πραγματοποιεί δύσκολους χειρουργικούς χειρισμούς. Τα χειρουργικά εργαλεία των ρομποτικών βραχιόνων μπορούν να πραγματοποιήσουν όλες τις κινήσεις που πραγματοποιεί το ανθρώπινο χέρι (7 βαθμοί ελευθερίας στην κίνηση), με μεγαλύτερη δεξιότητα και ακρίβεια, ενώ περιστρέφονται σχεδόν 360° μέσα στο χειρουργικό πεδίο.
- Παρέχει στον χειρουργό μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Σε αντίθεση με την συνηθισμένη χειρουργική πρακτική, η

ρομποτική χειρουργική επιτρέπει στον χειρουργό να πραγματοποιεί τις επεμβάσεις καθισμένος, μέσα σε ένα προσεκτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο κάματος του χειρουργού, με πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δύσκολων και πολύωρων επεμβάσεων.

- Δίνει τη δυνατότητα στον χειρουργό να προετοιμάσει την επέμβαση στον Η/Υ, χρησιμοποιώντας τις εικόνες των εσωτερικών οργάνων των ασθενών που προκύπτουν από τις εξετάσεις τους. Ο χειρουργός μπορεί επίσης και κατά τη διάρκεια της επέμβασης να ανακαλέσει στην οθόνη του και να συμβουλευτεί χρήσιμες εικόνες [48].

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ

- Πλήρης κατάργηση της αφής.
- Νέα τεχνολογία που δεν έχει ακόμη δοκιμαστεί πλήρως.
- Απαιτείται η παρουσία επιπλέον προσωπικού.
- Πολύ υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας.
- Όχι σαφή πλεονεκτήματα.

Προς το παρόν αυτό που κάνει δύσκολη την ευρεία χρήση της ρομποτικής χειρουργικής είναι κυρίως το κόστος της. Τα ρομποτικά μηχανήματα συνεχίζουν να καλαταλαμβάνουν αρκετό χώρο στη χειρουργική αίθουσα και η εκπαίδευση των χειρουργών γίνεται σε λίγα εκπαιδευτικά κέντρα. Ίσως στο μέλλον τα επιπλέον πλεονεκτήματα που θα δημιουργηθούν με την ενσωμάτωση αισθητήρων αφής και της ενισχυμένης απεικόνισης να βοηθήσουν στη διάδοσή της.



Εικόνα 72: Ακριβής αντιστοίχιση κινήσεων.



Εικόνα 73: Τρισδιάστατη όραση συστήματος Da Vinci

Η Διεύθυνση Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. (FDA) έχει εγκρίνει το σύστημα da Vinci για χρήση σε ουρολογικές χειρουργικές επεμβάσεις ενηλίκων και παιδιών, γενικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις, γυναικολογικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις, γενικές μη-καρδιαγγειακές θωρακοσκοπικές εγχειρήσεις καθώς και θωρακοσκοπικά υποβοηθούμενες επεμβάσεις καρδιοτομίας.

Σήμερα το ρομποτικό σύστημα Da Vinci χρησιμοποιείται με επιτυχία, μεταξύ των άλλων και στις ακόλουθες χειρουργικές επεμβάσεις [49]:

Ειδικότητα	Είδη επεμβάσεων που εκτελούνται με το da Vinci
Ουρολογία	ριζική προστατεκτομή, πυελοπλαστική, κυστεκτομή, νεφρεκτομή
Γυναικολογία	υστερεκτομή, μυωμεκτομή, αφαίρεση κύστεων ωοθηκών, σαλπίγγων, εξωμητρίου κνήσεως, λεμφαδενικός καθαρισμός
Γενική χειρουργική	χολοκυστεκτομή, θολοπλαστική κατά Nissen, γαστρικό bypass, μυστομή Heller, νεφρεκτομή, σπληνεκτομή, παγκρεατεκτομή, επινεφριδεκτομή, ηπατεκτομή, γαστρεκτομή, κολεκτομή
Καρδιοχειρουργική	αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας, αορτοστεφανιαία παράκαμψη (bypass), διόρθωση του κολπικού διαφραγματικού ελλείμματος, καρδιακός επανασυγχρονισμός κοιλιών
Θωρακοχειρουργική	πνευμονεκτομή για πρωτοπαθές καρκίνωμα, λοβεκτομή, αφαίρεση θύμου αδένος
Παιδοχειρουργική	διόρθωση γαστροισοφαγικής παλινδρόμησης, πυελοπλαστική για απόφραξη της ουρητηροπυελικής συμβολής, χολοκυστεκτομή, σαλπινγοωοθηκτομή, αποκατάσταση βατού αρτηριακού πόρου, παιδιατρικές καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις

Εικόνα 74: Τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται το ρομποτικό σύστημα Da Vinci

2.3 ΜΙΚΡΟΡΟΜΠΟΤ

Η εξέλιξη των μικρο-ηλεκτρο-μηχανικών συστημάτων (Micro Electro Mechanical Systems ή MEMS) στα τέλ του 20^{ου} αιώνα έδωσαν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν ρομπότ με πολύ μικρό μέγεθος(μικρότερα από ένα εκατοστό) τα οποία ονομάστηκαν Μικρο-ρομπότ. Διακρίνονται σε :

Ονομασία	Μέγεθος
Μίνι-ρομπότ	< 10 εκατοστά

Μίλι-ρομπότ	< 1 εκατοστό
Νάνο-ρομπότ	< 1 μικρόμετρο

Εικόνα 75: Κατηγοριοποίηση των Microbotics [50]

Η δημιουργία μικροσκοπικών αυτοματοποιημένων διατάξεων δημιούργησε νέες επαναστατικές εξελίξεις στην βιολογία, την ιατρική και τη βιομηχανία. Ωστόσο όταν δουλεύουμε στην κλίμακα των μικρόρομπότ ερχόμαστε αντιμέτωποι με διαφορετικού είδους φυσικά και χημικά φαινόμενα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν και να ελεγχθούν από ειδικό λογισμικό και υλικά [51]. Επίσης πολλά από τα συστήματα που σχεδιάζονται στα μικρόρομπότ 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 (Εικόνα 79) που μπορούν να έχουν τα μικρόρομπότ το κόστος τους μπορεί να κυμανθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Ταυτόχρονα μπορεί να φτιαχτεί μεγάλος αριθμός όμοιων μικρόρομπότ (ρομπωτικά σμήνη–swarm robotics) τα οποία όλα μαζί να επιτελούν μία συγκεκριμένη λειτουργία [52].



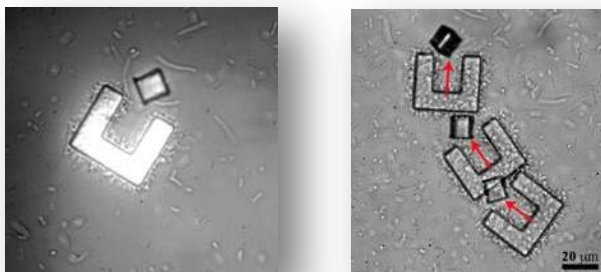
Εικόνα 78: Ρομπωτικά σμήνη-swam robotics



Εικόνα 79: Μικρόρομπότ

Ωστόσο κατά τη σχεδίαση των μικρόρομπότ 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 μικρόρομπότ χρησιμοποιούν μικρές και ελαφριές μπαταρίες για να εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ενέργεια, ενώ μπορούν να αξιοποιήσουν και εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως το φως και η δόνηση. Τα μικρόρομπότ 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 [53] (Εικόνα 80).



Εικόνα 80 : Εικόνα 80: Χημειότητα σε μικρόρομπότ [28].

2.4 Η ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ NOTES

Η **NOTES** είναι μία τεχνική της οποίας η ανάπτυξη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη ρομποτική. Πολλές εταιρείες στοχεύουν στην ανάπτυξη ρομπότ για χρήση στη χειρουργική NOTES. Με τη χειρουργική NOTES η επέμβαση γίνεται διαμέσου των φυσικών οπών του σώματος. Το ρομπότ αρχικά πρέπει να εισέλθει σε μία περιοχή που είναι κοινή για όλους τους ασθενείς. Αυτό κάνει εφικτή την αρχική τοποθέτηση των ρομποτικών εξαρτημάτων ακόμα και από μη χειρουργούς και άρα πιθανότερη τη χρήση της τηλεχειρουργικής.

Η χειρουργική διά μέσου των φυσικών οπών αποτελεί μία πρόκληση για τη χειρουργική. Η χρήση εύκαμπτου ενδοσκοπίου δεν εξασφαλίζει σταθερότητα ενώ η καθοδήγηση του μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα δεν είναι πάντα εύκολη καθώς το ενδοσκόπιο λειτουργεί και ως κάμερα και ως χειρουργικό εργαλείο. Απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση μιας χειρουργικής επέμβασης είναι ο τριγωνισμός των χειρουργικών εργαλείων πράγμα το οποίο σημαίνει ότι προσεγγίζοντας μόνο με ένα ενδοσκόπιο είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός ειδικών εργαλείων που θα εξασφαλίζουν την προαναφερθείσα ιδιότητα. Εδώ έρχεται λοιπόν η ρομποτική να προσφέρει λύσεις στα προβλήματα που δημιουργούνται στην εκάστοτε εξειδικευμένη περίπτωση επέμβασης [54].

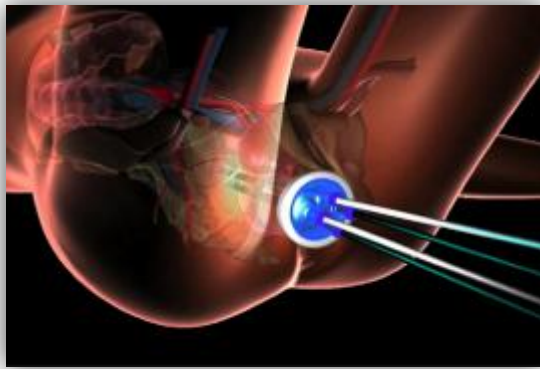
Οι δύο βασικοί άξονες στους οποίους κινείται η ρομποτική σε σχέση με την τεχνική NOTES είναι η χρήση εξωτερικών ρομπότ από τον ασθενή, με εργαλεία τα οποία δρουν στο εσωτερικό του και η χρήση ειδικών ρομπότ που βρίσκονται και δρουν μέσα στο σώμα.

Τα εξωτερικά ρομπότ διαθέτουν κατάλληλο λογισμικό και μηχανισμούς για την κίνηση και αυτοματοποίηση του ενδοσκοπίου και των χειρουργικών εργαλείων. Για μείωση του κόστους είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται απλά εύκαμπτα ενδοσκόπια. Για την λειτουργία τους απαιτούνται δυο μόνο κινητήρες [55]. Έτσι ο χειρισμός του ενδοσκοπίου μπορεί να γίνει με μεγαλύτερη ευκολία και ακρίβεια. Το πιο σημαντικό πρόβλημα των εξωτερικών ρομπότ στην NOTES είναι ότι λόγω της φυσικής διασύνδεσης της εξωτερικής με την εσωτερική μονάδα το εύρος της κινητικότητας περιορίζεται. Τα πανεπιστήμια του John Hopkins σε συνεργασία με την εταιρεία της Hansen Medical έχει αναπτύξει μοντέλα ενδοσκοπίων τα οποία μιμούνται τις κινήσεις των ερπετών (**snake like robots**). Χαρακτηριστικό αυτών των μοντέλων είναι ότι μπορούν να διατηρήσουν τη θέση τους και στη συνέχεια να αυτοματοποιούν τις κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων που διαθέτουν (Εικόνες 81,82). Τα ενδοσκόπια που έχουν αυτή την ιδιότητα είναι ιδιαίτερα ακριβά ενώ ταυτόχρονα τα εργαλεία δεν μπορούν να αναπτύσσουν υψηλές δυνάμεις σύλληψης [56].

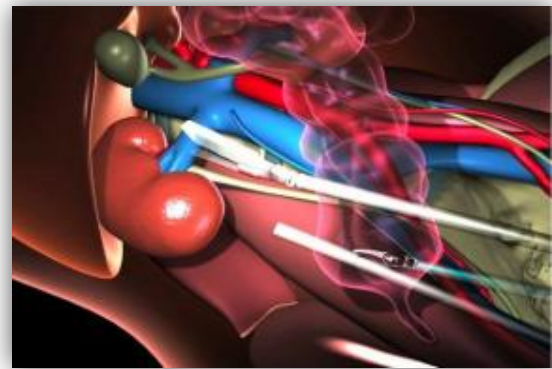


Εικόνα 81-Εικόνα 82: Snake-like Robots Carnegie Un. - J.Hopkins Un. – Hansen Medical)[56]

Επίσης από τα ήδη υπάρχοντα ρομποτικά συστήματα το Da Vinci θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε επεμβάσεις NOTES αλλά σίγουρα θα έπρεπε προηγουμένως να γίνουν κάποιες τροποποιήσεις. Η ομάδα του Geoffrey Box από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια χρησιμοποίησε το ρομποτικό σύστημα Da Vinci και πραγματοποίησε με επιτυχία διακολπική NOTES νεφρεκτομή (Εικόνες 83,84) σε πειραματικό μοντέλο [57].



Εικόνα 83: Διακολπική NOTES[33].



Εικόνα 84: NOTES νεφρεκτομή [33].

Τα εσωτερικά ρομπότ στην NOTES μπορούν να είναι μόνο μικρόρομπότ. Υπάρχουν πολλές ερευνητικές ομάδες που ασχολούνται με τον σχεδιασμό τέτοιων μικρόρομπότ τα οποία τοποθετούνται στην περιτοναϊκή κοιλότητα και κινούνται οπουδήποτε μέσα σε αυτήν. Ο σχεδιασμός πολλών από αυτών βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Λόγω του μεγέθους τους έχουν μικρή δύναμη σύλληψης και περιορισμένη ποικιλία εργαλείων.

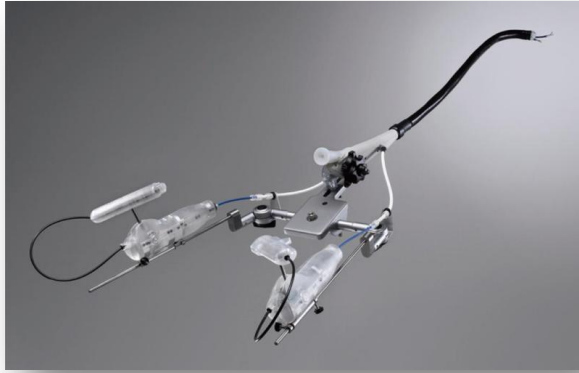
Το σύστημα Endo SAMURAI είναι μία πλατφόρμα η οποία επιτρέπει στην μέθοδο NOTES να υπάρχει σταθερότητα κινήσεων και ταυτόχρονα να επιτυγχάνεται ο τριγωνισμός (Εικόνα 85,86) [58]. Ανάλογης φιλοσοφίας είναι και το ενδοσκοπικό σύστημα άμεσης οδήγησης (Direct drive endoscopic system) (Εικόνα 87,88) [59], [60].



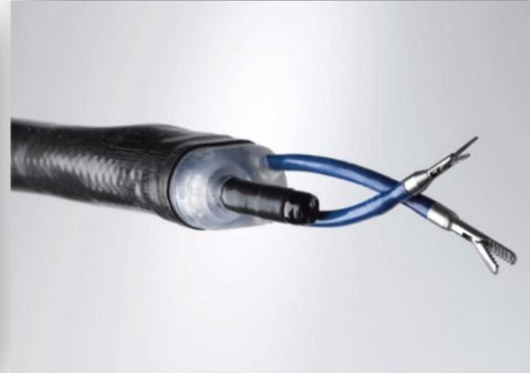
Εικόνα 85: Σύστημα ελέγχου Endo Samurai (EndoSAMURAI end effectors) [58].



Εικόνα 86: Ενδοσκόπιο του Endo Samurai [58].



Εικόνα 87: Direct drive endoscopic system[59]



Εικόνα 88: DDES-distal end [59]

2.5 ΜΙΚΡΟΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ NOTES

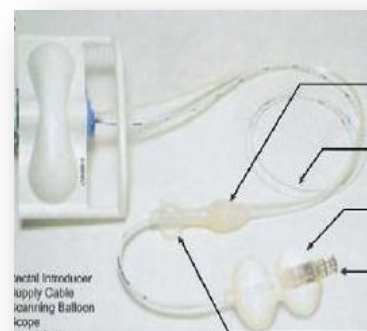
Τα πρώτα μικρόρομπότ που χρησιμοποιήθηκαν στην ιατρική ήταν για την βελτίωση των ενδοσκοπήσεων του γαστρεντερικού σωλήνα. Τα μικρόρομπότ αυτά ήταν εξοπλισμένα με κάμερα και μηχανισμό κίνησης, εισέρχονταν στο γαστρεντερικό σωλήνα ενώ το σύστημα ελέγχου και ενέργειας τους παρέμενε έξω από αυτόν. Το σχήμα των μικρόρομπότ αυτών είναι εμπνευσμένο από τη βιολογία και έχει σχήμα σκώληκα, διαθέτει πολλαπλά πόδια ή αεροθαλάμους (aero scope system). Στόχος των μικρόρομπότ είναι η μείωση του πόνου και η υψηλής ποιότητας εξέταση(εικ.75, 76, 77)[35].



Εικόνα 89: Σχήμα σκώληκα



Εικόνα 90 :Κάψουλα με πολλαπλά πόδια



Εικόνα 91 : Αεροθάλαμοι

Ένα άλλο σύστημα που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μικρόρομπότ είναι η μικροκάψουλα με κάμερα Pill Cam (Given Imaging Ltd, Yoqneam, Israel) που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Given Imaging (εικ.78). Η κάψουλα αυτή έχει διαστάσεις 11 X 26 χιλιοστά και ζυγίζει λιγότερο από 4

g. Επίσης διαθέτει συσκευή απεικόνισης και πηγής φωτός από τη μία πλευρά και μεταδίδει εικόνες με ρυθμό 2 εικόνες ανά δευτερόλεπτο. Η κάψουλα αυτή μετά την κατάποση της από τον ασθενή μεταφέρεται παθητικά κατά μήκος του γαστρεντερικού σωλήνα και μπορεί να μεταφέρει περίπου 50.000 φωτογραφίες που λαμβάνει κατά τη διάρκεια 8 ωρών [61] (Εικόνα 93). Οι εικόνες (Εικόνα 95) αυτές αποστέλλονται ασύρματα σε μία ειδική συσκευή που είναι δεμένη στη ζώνη του ασθενούς καθ' όλη τη διάρκεια της εξέτασης. Οι εικόνες αυτές μπορούν να λαμβάνονται κατευθείαν μετά τη λήψη τους και να αξιοποιούνται για ταχύτερη διάγνωση ή να μελετούνται στο σύνολο τους μετά το πέρας της εξέτασης.

Η συσκευή έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική στη διάγνωση πολλών κοινών γαστρεντερικών διαταραχών και ειδικά για τη διάγνωση της προέλευσης των τυφλών και λανθανουσών αιμορραγιών [62]. Τα τελευταία χρόνια έχουν βγει πολλές βελτιωμένες εκδόσεις της συσκευής οι οποίες προσπαθούν να ξεπεράσουν ορισμένους από τους αρχικούς περιορισμούς τους (δηλαδή να αποκτήσουν ευρύτερο οπτικό πεδίο, καλύτερο φωτισμό και βελτιωμένη επεξεργασία εικόνας) και να επεκταθεί η χρήση τους και σε διαφορετικές κλινικές εφαρμογές (π.χ. διπλή κάμερα για τη διάγνωση του οισοφάγου και του παχέος εντέρου, κάμερα για την αξιολόγηση της βατότητας του εντέρου καθώς και το ποσοστό στένωσης [63], [64], [65].

Προς το παρόν ο κύριος περιορισμός του συστήματος εντοπίζεται στην αδυναμία του, να κατευθύνει το χάπι προς συγκεκριμένους στόχους και την έλλειψη δυνατότητας λήψης βιοψιών από τον εντερικό βλεννογόνο.



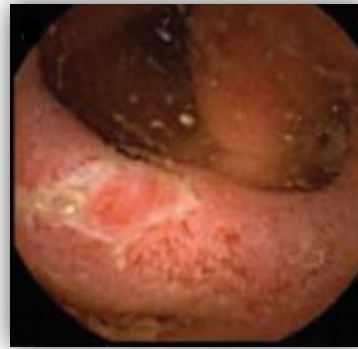
Εικόνα 92: Pill cam



Εικόνα 93: Πορεία της Pill Cam



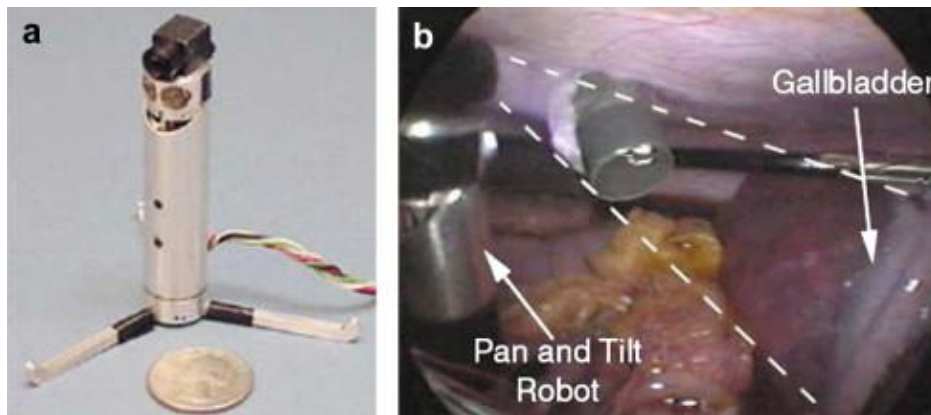
Εικόνα 94 : Δομή κάψουλας Pill Cam



Εικόνα 95: Φωτογραφία από την Pill Cam

1. Οπτικός θόλος
2. Κάτοχος φακού
3. Φακός
4. LEDS-Light Emitting Diode
5. CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) imager
6. Μπαταρία
7. ASIC(Application Specific Integrated Circuit) πομπός
8. Κεραία

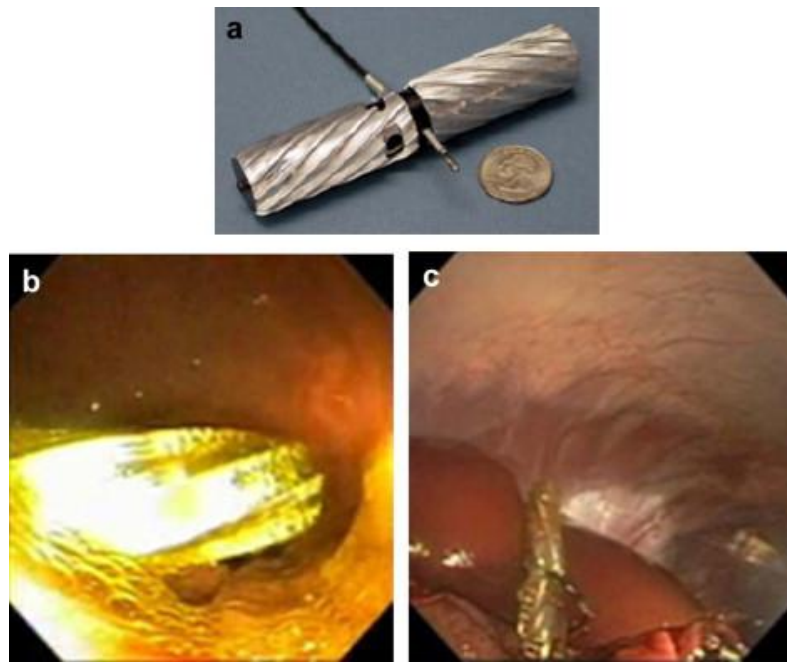
Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της μικρό-ρομποτικής ήταν η δημιουργία μικρό-ρομπότ τα οποία θα μπορούσαν να εισέλθουν στην περιτοναϊκή κοιλότητα και να πραγματοποιήσουν χειρουργικές επεμβάσεις. Η ομάδα του καθηγητή Dimitry Oleynikov από το πανεπιστήμιο της Nebraska σε συνεργασία με χειρουργούς σχεδίασαν ένα μικρό-ρομπότ το οποίο διέθετε μία μικρό-κάμερα, είχε δυνατότητα κίνησης σε δύο άξονες, αλλαγή οπτική γωνίας κατά 360° και κλίσης κατά 45° και με τη βοήθεια ειδικών μαγνητών που βρίσκονταν εξωτερικά μπορούσε να σταθεροποιηθεί στο εσωτερικό της περιτοναϊκής κοιλότητας και να μεταδίδει εικόνα του εσωτερικού της κοιλιάς στον χειρουργό. Το μικρόρομπότ έχει διάμετρο 15 mm και ύψος 60 mm και το περίβλημά του είναι από αλουμίνιο (Εικόνα 96). Διαθέτει μία βάση σαν τρίποδο η οποία είναι πτυσσόμενη και έτσι το μικρόρομπότ μπορεί να εισάγεται στην περιτοναϊκή κοιλότητα μέσα από μία μικρή τρύπα σαν αυτή των τροκάρ.



Εικόνα 96: Μικρόρομπότ με κάμερα και δοκιμή για τη βοήθεια κατά τη διάρκεια της λαπαροσκοπικής χειρουργικής.

Τα πρώτα πρότυπα των μικρόρομπότ χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά με σκοπό τη διευκόλυνση των ελάχιστα επεμβατικών χειρουργείων. Οι πρόσθετες εικόνες που λαμβάνονται από τις in vivo φωτογραφικές μηχανές (μικρόρομπότ) δίνουν τη δυνατότητα στο χειρουργό να σχεδιάσει που θα τοποθετήσει τα τροκάρ στην περιτοναϊκή κοιλότητα των ζώων [66]. Ως επακόλουθο αυτής της επιτυχημένης εμπειρίας η ίδια ερευνητική ομάδα σχεδίασε ένα νέο τροχοφόρο μικρόρομπότ το οποίο είχε τη δυνατότητα να κινείται μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα χωρίς να γλιστράει πάνω στα κοιλιακά όργανα και χωρίς να τα τραυματίζει [67] (Εικόνα 97d). Οι διαστάσεις του ρομπότ είναι 15-20 mm η διάμετρος και 75-100 mm το μήκος (Εικόνα 97a). Διαθέτει δύο ελικοειδείς τροχούς που κινούνται από κινητήρες DC ρεύματος.

Το ρομπότ έχει τη δυνατότητα να τραβάει βίντεο (Εικόνα 97 b,c) και να το μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο καθώς και να πραγματοποιεί λήψη ιστών για βιοψία. Αυτό το μοντέλο ήταν συνδεδεμένο με ειδική εξωτερική τροφοδοσία και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σε πειραματικές λαπαροσκοπικές και διαγαστρικές επεμβάσεις NOTES. Το ίδιο ρομπότ σχεδιάστηκε να λειτουργεί και ασύρματα και άνοιξε το δρόμο για τη δημιουργία μικρό-ρομπότ τα οποία θα λειτουργούσαν εντελώς αυτόνομα [68] [69].



Εικόνα 97: α)Μικρόρομπότ με ελικοειδείς τροχούς[67] β,γ)Εικόνες λήψεις από την περιτοναϊκή κοιλότητα[67]

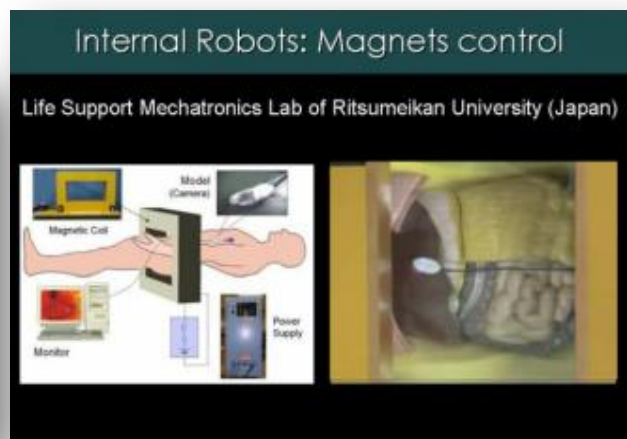


δ)Κίνηση μικρόρομπότ στο εσωτερικό της κοιλιάς[67]

Το μικρό-ρομπότ που ακολουθεί (Εικόνα 98) κατασκευάστηκε στην Ιαπωνία στο πανεπιστήμιο Ritsumeikan, έχει σχήμα σκαθαριού, ζυγίζει πέντε γραμμάρια, έχει δύο εκατοστά μήκος, ένα εκατοστό διάμετρο, μπορεί να συλλάβει εικόνες και να εκτελέσει απλούς χειρουργικούς χειρισμούς μέσα στο σώμα. Για το συγκεκριμένο μοντέλο έχουν αναπτυχθεί πέντε διαφορετικά πρωτότυπα που διαθέτουν αισθητήρες, μικροσκοπικές λαβίδες ειδικές για λήψη ιστών και παροχή φαρμακευτικών ουσιών. Για διευκόλυνση της κίνησης του μικρό-ρομπότ στο εσωτερικό της περιτοναϊκής κοιλότητας δημιουργείται ένας χάρτης της με τη σύνθεση εικόνων που προέρχονται από μαγνητική τομογραφία [70]. Η κίνηση του γίνεται με τη βοήθεια εξωτερικών μαγνητικών πεδίων (Εικόνα 99). Το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί in vivo με μεγάλη επιτυχία. Το μικρό-ρομπότ διαθέτει αισθητήρα εικόνας και λήψης ειδικών τιμών τα οποία και αποστέλλει σε ειδικό εξωτερικό απεικονιστικό σύστημα με τη βοήθεια καλωδίου (διαμέτρου 2 χιλιοστών). Το καλώδιο αυτό λειτουργεί και ως γραμμή ασφαλείας σε περίπτωση που το ρομπότ χαθεί και χρειαστεί να αποσυρθεί από το εσωτερικό του οργανισμού.



Εικόνα 98: Μικρόρομπότ σε σχήμα σκαθαριού [70]

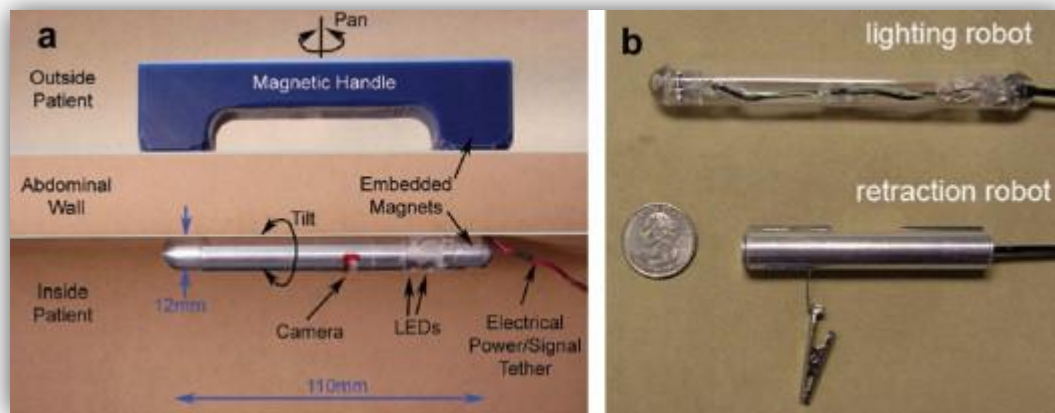


Εικόνα 99: Έλεγχος μικρόρομπότ με εξωτερικό μαγνήτη[70]

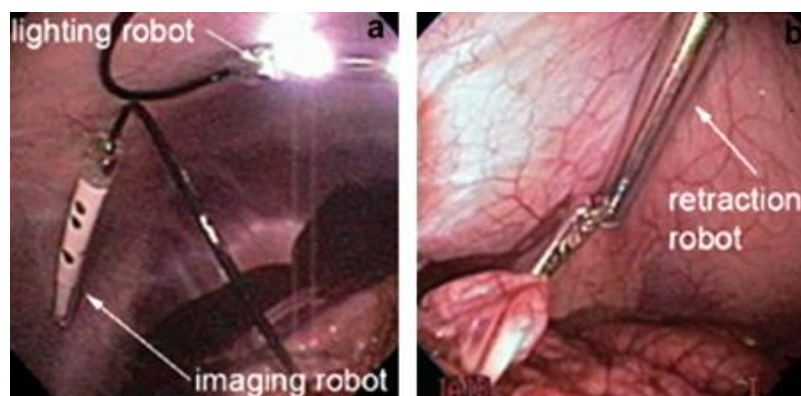
Το μικρό μέγεθος των μικρόρομπότ και η δυνατότητα να εισάγονται πολλά τέτοια ρομπότ στην περιτοναϊκή κοιλότητα μέσω μιας οπής εισάγει μία εντελώς νέα αντίληψη για την εξέλιξη των χειρουργικών εργαλείων που επιτρέπουν την ανάθεση διαφορετικών λειτουργιών σε διαφορετικά ανεξάρτητα εργαλεία. Επιπλέον, κάθε συσκευή μπορεί να είναι εξειδικευμένη να προσφέρει μία συγκεκριμένη λειτουργία κατά την εκτέλεση μιας επέμβασης. Αντίθετα, οι σημερινές τεχνολογικές συσκευές για NOTES έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να φέρουν πολλαπλές λειτουργίες μέσα στην ίδια συσκευή.

Οι Lehman et al. έχουν φτιάξει μία ομάδα από συνεργαζόμενα μικρόρομπότ που εισάγονται στην περιτοναϊκή κοιλότητα μέσω του κοιλιακού τοιχώματος ή από φυσικές οπές με σκοπό την παροχή βοήθειας κατά τη διάρκεια ελάχιστα επεμβατικών διαδικασιών και έχουν δοκιμαστεί σε πειραματικό μοντέλο. Η κεντρική ιδέα στην οποία βασίζεται ο σχεδιασμός των συσκευών είναι ότι αποτελούνται από ένα σταθερό εξωτερικό σωλήνα με ένα περιστρεφόμενο εσωτερικό σωλήνα που μπορεί να φιλοξενήσει είτε τον φακό της κάμερας, πολλαπλά LED λευκού φωτός ή συσκευή με δυνατότητα σύλληψης (Εικόνα 100 a,b). Προκειμένου να διασφαλισθεί σταθερότητα μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα κάθε σύστημα περιλαμβάνει δύο ενσωματωμένους μαγνήτες. Οι δύο αυτοί μαγνήτες βρίσκονται στα άκρα του ρομπότ έτσι ώστε να μπορούν να εντοπίζονται και να κατευθύνονται από έναν μαγνήτη που βρίσκεται στο εξωτερικό κοιλιακό τοίχωμα και λειτουργεί ως λαβή. Με την αλλαγή της θέσης του εξωτερικού μαγνήτη, είναι δυνατόν να επανατοποθετήσουν τα διάφορα εσωτερικά ρομπότ και να αλλάζει η οπτική

γωνία του πεδίου εργασίας. Πειραματικά, το σύμπλεγμα των μικρόρομπότ έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ελάχιστα επεμβατικές διαδικασίες όπως χολοκυστεκτομή [71].



Εικόνα 100 ,a: Κάμερα, φωτισμός και ανάκληση ρομπότ για την ελάχιστα επεμβατική χειρουργική (ο εξωτερικός μαγνήτης επιτρέπει τη σταθεροποίηση του ρομπότ στην ενδόπεριτοναϊκή επιφάνεια)[71]



Εικόνα 100 ,b: Απεικόνιση, φωτισμός και ανάκληση ρομπότ όπως φαίνεται από ξεχωριστές κάμερες κατά τη διάρκεια in νίνο συνεργασίας μικρόρομπότ και ενδοσκοπίου[71]

Επίσης υπάρχουν μικρόρομπότ των οποίων η κίνηση βασίζεται σε αέρα συμπίεσης. Αυτά τα μικρόρομπότ έχουν την ικανότητα να προσκολλώνται πάνω σε επιφάνειες που πάλλονται έντονα, όπως είναι αυτή της καρδιάς (Εικόνα 101) καθώς και να περπατάνε πάνω σε αυτές χρησιμοποιώντας τις 'βεντούζες' ως μηχανισμό κίνησης(Εικόνα 102).



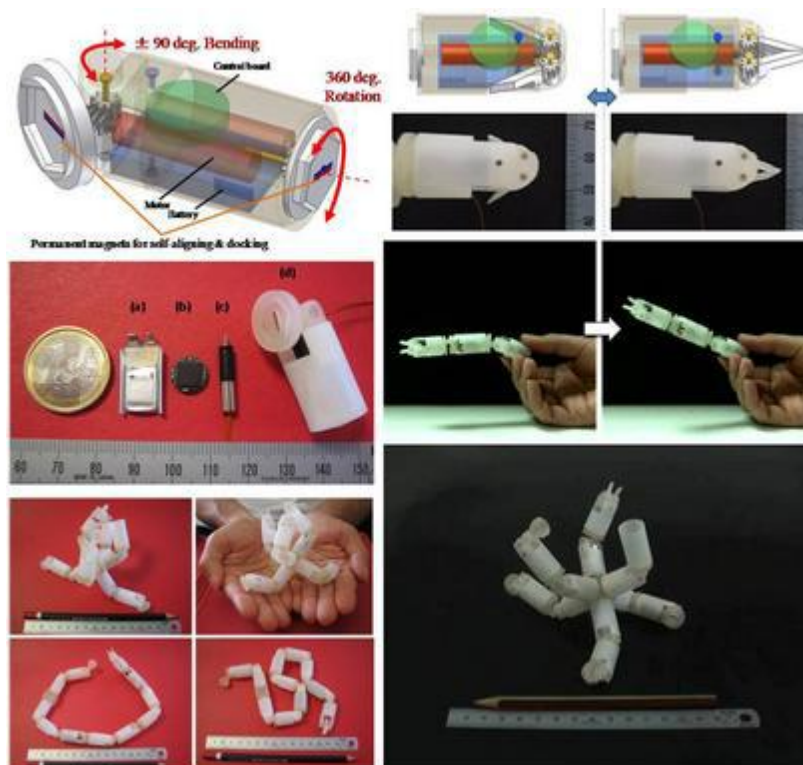
Εικόνα 101: Μικρόρομπότ με μηχανισμό κίνησης που



Εικόνα 102: Κίνηση μικρορομπότ πάνω σε παλλόμενη καρδιά.

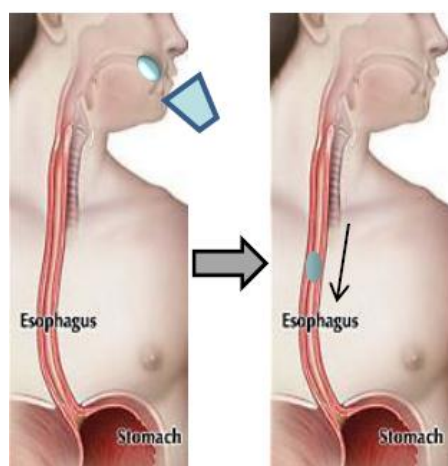
Για να μπορεί ένα μικρόρομπότ να επιτελεί περισσότερες λειτουργίες πρέπει να έχει μεγαλύτερο μέγεθος. Τα μικρό-ρομπότ όμως στη χειρουργική NOTES πρέπει να είναι πολύ μικρά ούτως ώστε να μπορούν να εισέρχονται στην περιτοναϊκή κοιλότητα από τομές με διάμετρο μικρότερη των 2 εκατοστών ή να μπορούν να καταποθούν εύκολα. Μία ομάδα επιστημόνων από την Αυστραλία, την Αμερική, την Ιταλία και την Ελβετία κατασκεύασαν μικρόρομπότ **που αποτελούνταν από υπομονάδες μικρού μεγέθους και μπορούσαν να καταποθούν**. Οι υπομονάδες αυτές συναρμολογούνταν μέσα στον γαστρεντερολογικό σωλήνα και σχημάτιζαν μεγαλύτερα αρθρωτά μικρόρομπότ 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 [72].

Οι ερευνητές κατάφεραν να κατασκευάσουν ένα πειραματικό μοντέλο μαγνητικά αυτό-συναρμολογούμενου αρθρωτού μικρόρομπότ που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε χειρουργικές επεμβάσεις NOTES [73], [74]. Οι υπό-μονάδες του ρομπότ μπορούν να καταποθούν με αρκετό νερό και να συναρμολογηθούν στο εσωτερικό του στομάχου, αφού προηγουμένως αυτό θα είχε διασταλεί από το νερό. Μετά το τέλος της επέμβασης οι υπό-μονάδες αποσυνδέονται και αποβάλλονται από τον οργανισμό δια της φυσικής οδού.

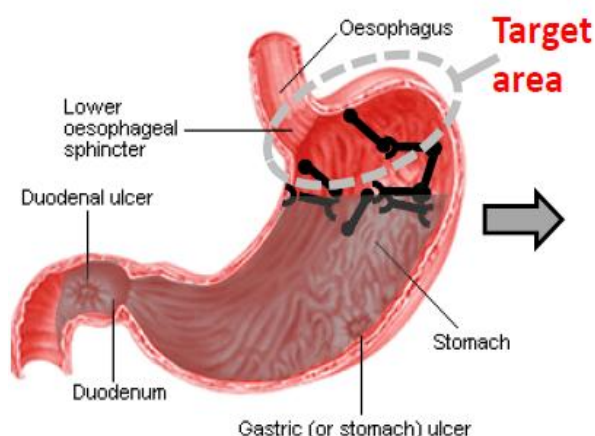


Εικόνα 103 : ARES project - Magnetic Self-Assembly Swallowable Modular Robots[72]

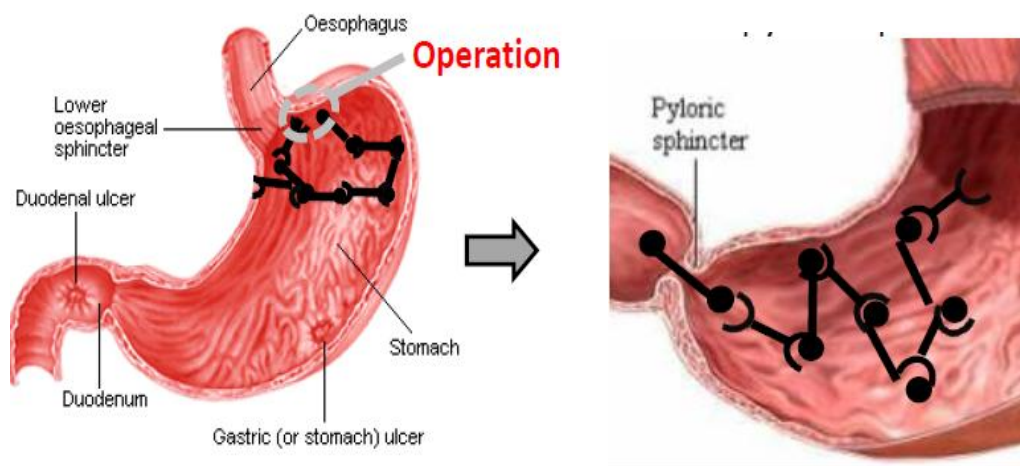
Σήμερα το σχέδιο αυτό έχει μετονομαστεί σε ARAKNES και χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (2008-2012). Αυτό το σχέδιο αποτελεί μία ολοκληρωμένη προσπάθεια δημιουργίας συστήματος που να χειρίζεται αυτά τα μικρόρομπότ. Η διαδικασία με την οποία συνθέτονται αυτά τα ρομπότ είναι συγκεκριμένη. Αρχικά ο ασθενής καταπίνει τις κάψουλες με νερό από το στόμα (Εικόνα 104 a). Η κάψουλες περνούν κατά μήκος του οισοφάγου και φτάνουν στο στομάχι(Εικόνα 104 b). Οι κάψουλες καθώς φτάνουν στο στομάχι συναρμολογούνται διαδοχικά η μία μετά την άλλη και παίρνουν το επιθυμητό σχήμα (Εικόνα 104 c). Λόγω του νερού το στομάχι διαστέλλεται και έτσι δημιουργείται ο κατάλληλος χώρος για τη σύνδεση των υπομονάδων. Στη συνέχεια εντοπίζεται το σημείο στο οποίο γίνεται η επέμβαση (Εικόνα 104 d). Τέλος οι υπομονάδες αποσυνδέονται για να μπορέσουν να διέλθουν από τον σφιγκτήρα του πυλωρού (Εικόνα 104 e). Τα μικρόρομπότ αυτά είναι αναδιαρθρώσιμα.



Εικόνα 104:α) Κατάποση μικρόρομπότ ,b)
Μεταφορά διά μέσου του οισοφάγου



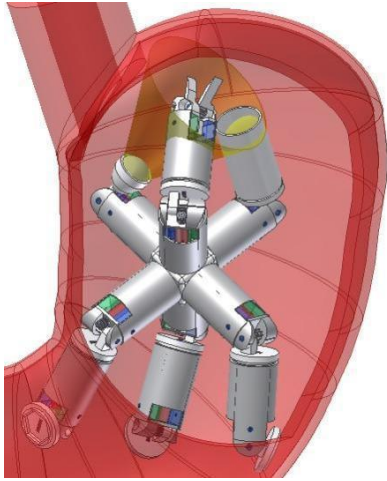
Εικόνα 104:γ)Σύνθεση μικρόρομπότ μέσα στο στομάχι



Εικόνα 104: d) Ελάχιστα επεμβατική διαδικασία.ε)Αποσύνδεση μονάδων και διέλευση από τον σφιγκτήρα του πυλωρού.

Οι μονάδες αυτές αφού αποσυνδεθούν απομακρύνονται από τον οργανισμό μέσω του γαστρεντερικού σωλήνα. Σε ορισμένες περιπτώσεις αν οι υπομονάδες αυτές είναι φτιαγμένες από βιοδιασπώμενα υλικά μπορούν να μεταβολιστούν [75].

Τα μικρόρομπότ που σχηματίζονται στο εσωτερικό του στομάχου μπορούν να έχουν πολλαπλές χρήσεις. Μία από αυτές είναι η λήψη βιοψίας. Ένα τέτοιο μικρόρομπότ διαθέτει κάμερα, λαβίδα λήψης δείγματος ιστού, μονάδα αποθήκευσης ιστών και επιπλέον μονάδες που του προσδίδουν κατάλληλο σχήμα για στήριξη και κίνηση (Εικόνα 105).



Εικόνα 105: Κάμερα αριστερά, αποθηκευτική μονάδα δεξιά και λαβίδα λήψης στο κέντρο[75].

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 (Εικόνα 106).



Εικόνα 106 : Από αριστερά προς τα δεξιά: οθόνες απεικόνισης, bi manual ελεγκτής (χειριστήρια), χειρουργικό κρεβάτι , μονάδα κοιλιακής προσπέλασης και μονάδα οισοφαγικής προσπέλασης[75].

Ενδιαφέρουσες είναι οι δυνατότητες που προσφέρονται από την ανάπτυξη των μικρόρομπότ στις in vivo εφαρμογές σε notes διαδικασίες. Για παράδειγμα η δυνατότητα εξοπλισμού των μικρόρομπότ 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.

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 vīno 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 vīno μικρόρομπότ 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. 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 vīno και άμεση διαφορική διάγνωση μεταξύ νεοπλασματικών και φλεγμονοδών βλαβών) σε μικρόρομπότ μπορεί επίσης να παράσχει τη δυνατότητα αμεσότερης χορήγησης φαρμάκου ή αφαίρεση του πάσχοντος ιστού.

Τα συνεργαζόμενα μικρόρομπότ (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.

2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΚΟΣΤΟΣ-ΚΑΝΟΝΕΣ-ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Τα μέχρι τώρα *in vivo* πειράματα έχουν δείξει ότι τα μικρορομπότ μπορούν να ξεπεράσουν πολλούς από τους περιορισμούς που θέτει η λαπαροσκοπική χειρουργική. Με τη μέθοδο αυτή έχουμε περισσότερους βαθμούς ελευθερίας και καλύτερη οπτική μιας και η κάμερα μπορεί να τοποθετείται οπουδήποτε επιθυμούμε και να εξασφαλίζεται η βέλτιστη οπτική γωνία.

Τα μικρορομπότ πρέπει να έχουν μικρό μέγεθος ούτως ώστε να μπορούν να εισέρχονται από τις φυσικές οπές του σώματος. Επίσης πρέπει να είναι βίο-συμβατά ώστε να μην δημιουργούνται αλλεργικές αντιδράσεις και να μην απορρίπτονται από τον οργανισμό. Ακόμη πρέπει να υπάρχει πλήρης έλεγχος των κινήσεων και τέλος να μπορούν να αφαιρεθούν από τον οργανισμό αφού πρώτα αποσυναρμολογηθούν ή να είναι βιοδιασπώμενα.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των μικρορομπότ είναι το υψηλό κόστος παραγωγής. Η σχεδιάσή τους και οι εξειδικευμένες λειτουργίες που επιτελούν προϋποθέτουν την χρήση υλικών υψηλής ποιότητας. Ταυτόχρονα όσο πιο σύνθετη είναι η λειτουργία τους, όπως η μεταφορά κάμερας και η χρήση ειδικών αισθητήρων τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος τους. Η επιθυμία όμως για την ανάπτυξη ελάχιστα επεμβατικών μεθόδων στην χειρουργική δίνουν ακόμα μεγαλύτερη ώθηση για την εύρεση νέων φθηνότερων μικρό-ρομπότ. Ταυτόχρονα ιδιαίτερη έμφαση δίνεται και στο θέμα της ασφάλειας, που σημαίνει ότι οι νέες μέθοδοι για να προτιμούνται από τις παραδοσιακές πρέπει να είναι το ίδιο ή και περισσότερο αξιόπιστες από τις προηγούμενες.

Παρ' όλο που τα μικρορομπότ παρουσιάζονται ως το επόμενο στάδιο της εξέλιξης της χειρουργικής, στο μέλλον είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν βασικά προβλήματα όπως αυτά που αφορούν τα θέματα ενέργειας. Το μικρό τους μέγεθος λειτουργεί περιοριστικά αφού δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χώρος για μπαταρίες και άρα δεν μπορεί να υπάρχει αυτονομία. Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εξωτερική μόνιμη τροφοδοσία με καλώδιο. Κάτι τέτοιο όμως θα είχε ως αποτέλεσμα τα μικρορομπότ να χάσουν την αυτονομία κινήσεων που τους παρέχεται με τον ασύρματο έλεγχο.

Μία σημαντική παράμετρος είναι η ασφάλεια που παρέχεται με τη χρήση της μικρορομποτικής. Πρέπει να υπάρχει πλήρης έλεγχος και εργονομία κινήσεων και επίσης να πληρούνται όλες οι προδιαγραφές λειτουργίας που θέτει ο FDA. Η μικρορομποτική για να μπορέσει μελλοντικά να αντικαταστήσει τη λαπαροσκοπική και την ανοιχτή χειρουργική είναι απαραίτητο να θέσει τους στόχους και τις προδιαγραφές λειτουργίας της πολύ της πολύ ψηλά.

Στην αντιμετώπιση των περιορισμών που τίθενται στην μικρορομποτική μπορεί να συμβάλλει η χρήση ειδικών απεικονιστικών μεθόδων που τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και πιο πολύ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

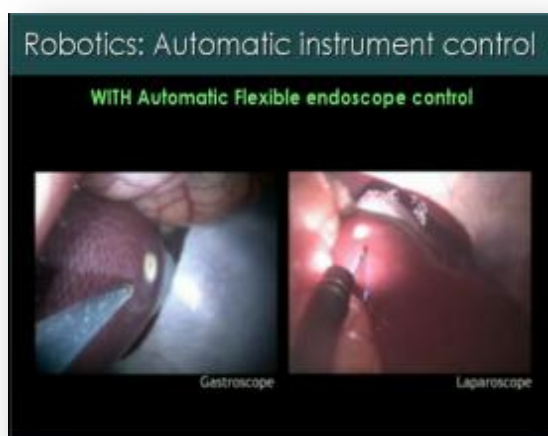
3.1 ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ NOTES ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Η NOTES τεχνικά είναι μία πολύ **δύσκολη επεμβατική μέθοδος**. Η επέμβαση πραγματοποιείται μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα και ο τρόπος πρόσβασης σε αυτήν αφαιρεί το περιθώριο προεπισκόπησης. Κατά τη διάρκεια της προσπέλασης δεν υπάρχει η δυνατότητα άμεσης οπτικής επαφής και πολλές φορές ο χειρουργός δεν μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια ακριβώς τι θα συναντήσει πίσω από τον ιστό που προσπαθεί να προσπελάσει. Τα ενδοσκόπια που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν διευκολύνουν τους χειρουργικούς χειρισμούς γιατί είναι δύσκολο να καθοδηγηθούν με ακρίβεια στα επιθυμητά σημεία ενώ ταυτόχρονα η κάμερα είναι προσαρμοσμένη πάνω στο ενδοσκόπιο και έτσι το οπτικό πεδίο είναι περιορισμένο. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ειδική κάμερα η οποία μπαίνει στο ανθρώπινο σώμα από ειδική τομή στην κοιλιά. Στην αντιμετώπιση όλων αυτών των εμποδίων που μπορούν να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια μίας επέμβασης **NOTES** μπορεί να συμβάλει η πληροφορική. Οι διάφορες απεικονιστικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά στη μέθοδο. Η χρήση της **υποβοηθούμενης από υπολογιστές χειρουργικής (CAS- Computer - assisted surgery - CAS)** στη χειρουργική **NOTES** παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιοτική αναβάθμιση των αισθήσεων του χειρουργού έτσι ώστε να αυξηθεί η ικανότητα και η απόδοσή του. Η εικονική πραγματικότητα στη NOTES βοηθά το χειρουργό να μελετήσει πριν από την επέμβαση με αναλυτικό τρόπο όλο το υλικό που έχει συλλέξει από τις διάφορες απεικονιστικές εξετάσεις αλλά και από τα μοντέλα τα οποία τον βοηθούν στην 3D αναπαράσταση. Το ινστιτούτο έρευνας για τον καρκίνο του πεπτικού

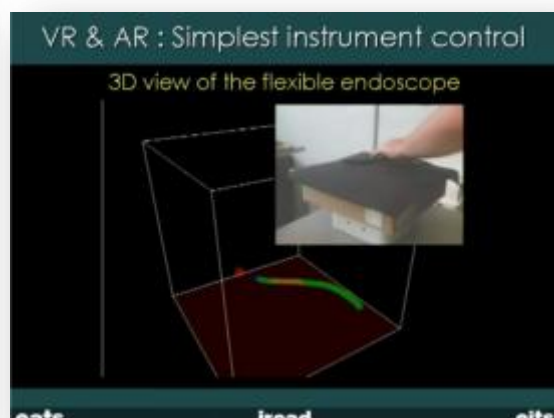
συστήματος στο Στρασβούργο της Γαλλίας (Institut de Recherche contre les Cancers de l'Appareil Digestif- IRCAD) έχει αναπτύξει εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας που έχουν εφαρμογή σε ενδοσκοπικές επεμβάσεις και στην NOTES με πολύ καλά αποτελέσματα [76].

Η ενισχυμένη πραγματικότητα μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην εξέλιξη της χειρουργικής δια μέσου των φυσικών οπών. Τα απεικονιστικά συστήματα μπορούν να δίνουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και έτσι να βοηθιέται ο χειρουργός για την ακριβή θέση του λαπαροσκοπίου ή και των μικρορομπότ. Στη χειρουργική Notes τώρα ο χειρουργός δεν έχει ποτέ άμεση όραση του πεδίου του και δεν μπορεί να γνωρίζει ποτέ την ακριβή θέση του ενδοσκοπίου του, αφού μπορεί και βλέπει από την κάμερα ένα περιορισμένο τμήμα της περιτοναϊκής κοιλότητας.

Υπάρχουν νέες τεχνολογίες οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να προβλέπουν αυτόματα τη θέση των ενδοκοιλιακών οργάνων ανάλογα με τις αναπνευστικές κινήσεις (Predictive Simulation) [77](Εικόνα 119). Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον ασφαλή χειρισμό των χειρουργικών εργαλείων και του ενδοσκοπίου στο εσωτερικό της κοιλιάς.



Εικόνα 119: Πρόβλεψη θέσης ανάλογα με την κίνηση των αναπνοών [109]



Εικόνα 120: Χωρική απεικόνιση του ενδοσκοπίου σε σχέση με το χρόνο. [78]

Τέλος έχει αναπτυχθεί ειδικό λογισμικό που μπορεί να δείχνει το σχήμα που έχει το ενδοσκόπιο σε κάθε χρονική στιγμή(Εικόνα 120) [78].

Τέλος φαίνεται ότι η πιο σημαντική βοήθεια στη Notes προέρχεται από τον τομέα της ρομποτικής. Τα ρομπότ προσφέρουν μεγαλύτερη εργονομία, αυξημένη δυνατότητα λεπτομερών χειρισμών και μεγάλη ακρίβεια στις κινήσεις. Στη ρομποτική χειρουργική Notes μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε εξωτερικού τύπου ρομπότ (ενδοσκόπια) είτε εσωτερικά ρομπότ, δηλαδή μικρό-ρομπότ. Τα μικρό-ρομπότ βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση καθώς έχουν τη δυνατότητα να κινούνται χωρίς περιορισμούς μέσα στην περιτοναϊκή

κοιλότητα, μπορούν εύκολα να εισέλθουν διά μέσου των φυσικών οπών και επίσης έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν χειρουργικούς χειρισμούς με μεγάλη ακρίβεια. Επίσης μπορεί να γίνει εξομοίωση της επέμβασης με τα μικρό-ρομπότ σε εικονικό περιβάλλον μιας και για κάθε μικρό-ρομπότ υπάρχει πλήρως ανεπτυγμένο το ψηφιακό του μοντέλο. Είναι προφανές ότι οι τεχνικές της ρομποτικής Notes σε συνδυασμό με τις απεικονιστικές μεθόδους που προαναφέρθηκαν μπορούν να δώσουν ολοκληρωμένες προτάσεις στον τομέα της χειρουργικής και με κατάλληλα πειράματα να μπορέσουν να εφαρμοστούν στην κλινική πράξη. Τα περισσότερα από τα προγράμματα που ασχολούνται με αυτές τις μεθόδους βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Η μέθοδος Notes έχει όλες τις προϋποθέσεις για εφαρμογή των νέων τεχνολογιών και όπως φαίνεται τελικά μόνο με τη βοήθεια τους θα μπορέσει να εφαρμοστεί στην καθημερινή κλινική πράξη [79].

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

Από τα πρώτα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για εφαρμογές στη χειρουργική ήταν τα ανατομικά μοντέλα. Με αυτά τα μοντέλα μπορεί να γίνει τρισδιάστατη αναπαράσταση των δομών του οργανισμού. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα τρισδιάστατης περιστροφής, γύρω από οποιονδήποτε άξονα, της δομής που απεικονίζεται. Ακόμα μπορεί να γίνει απεικόνιση με ειδικό φωτισμό συγκεκριμένων δομών στις οποίες απαιτείται εστίαση (Εικόνα 107) [80]. Τα υπολογιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

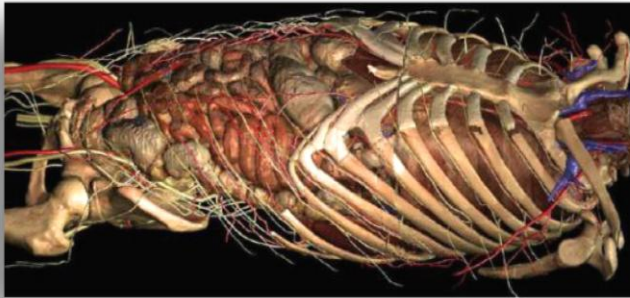


Εικόνα 107: The Interactive Complete Human Anatomy



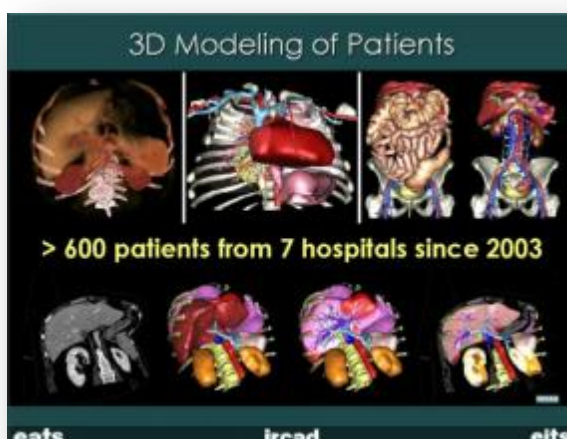
Εικόνα 108: The Visible Human Project®

Τα ανατομικά μοντέλα βασίζονται κυρίως σε ανατομικά δεδομένα που αντλούνται από ιατρικών απεικονίσεων. Κύρια πηγή είναι τα απεικονιστικά δεδομένα του Visible Human Project της Εθνικής Βιβλιοθήκης ιατρικής των ΗΠΑ (National Library of Medicine) (Εικόνα 108). Τα δεδομένα της βιβλιοθήκης είναι ψηφιοποιημένα [81].



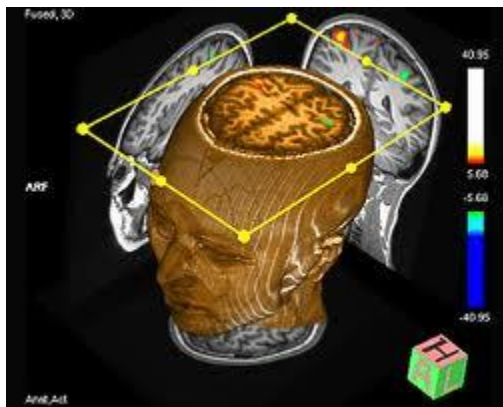
Εικόνα 109: The Visible Human Project® [77]

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την NOTES έχει η δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων που συνθέτουν και απεικονίζουν τα δεδομένα από ένα άτομο [82] . Αυτά τα μοντέλα προτιμούνται σε περίπτωση που χρειάζεται να γίνει προεγχειρητικός σχεδιασμός μιας επέμβασης. Στην περίπτωση της NOTES είναι ακόμα σημαντικότερο να μπορεί ο χειρουργός να γνωρίζει εκ των προτέρων τις ανατομικές ιδιαιτερότητες του ασθενούς. Έτσι του δίνεται η δυνατότητα να μελετήσει και να σχεδιάσει από πριν τον βέλτιστο τρόπο (Εικόνα 110) με τον οποίο πρέπει να πραγματοποιήσει την επέμβαση. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα λάθους και αυξάνεται το ποσοστό επιτυχίας.



Εικόνα 110: 3D απεικόνιση ανατομίας ασθενών για καλύτερο προεγχειρητικό σχεδιασμό

Εκτός αυτών των απεικονιστικών μοντέλων υπάρχουν και άλλα μοντέλα τα οποία έχουν την ικανότητα να δίδουν πληροφορίες για ειδικές λειτουργίες του οργανισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η λειτουργική MRI η οποία εκτός της απεικόνισης των μαλακών δομών εντοπίζει και ειδικά σημεία στα οποία επιτελούνται ειδικές λειτουργίες(Εικόνα 111). Αυτά τα δεδομένα είναι χρήσιμα σε ειδικές περιπτώσεις επεμβάσεων όπως για παράδειγμα σε επεμβάσεις που αφορούν το νευρικό σύστημα και τον εγκέφαλο.

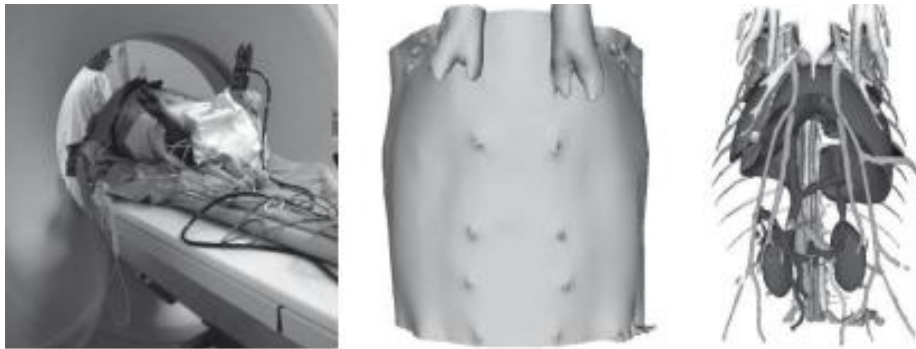


Εικόνα 111: Εντοπισμός λειτουργιών εγκεφάλου με

f MRI [108]

3.3 Η ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ NOTES

Το σύστημα προσομοίωσης αναπτύχθηκε από την IRCAD. Αρχικά λαμβάνονται εικόνες από αξονική ή μαγνητική τομογραφία και με ειδικό 3D μοντέλο γίνεται τρισδιάστατη ανακατασκευή της εικόνας που λαμβάνεται. Έτσι οι ασκούμενοι γιατροί με βάση αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να αποφασίζουν για την καλύτερη θεραπεία που πρέπει να εφαρμοστεί. Η τρισδιάστατη ανακατασκευή επιτρέπει με ειδικούς προσομοιωτές το σχεδιασμό, τη δοκιμή και τον έλεγχο της χειρουργικής διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται η δυνατότητα εκπαίδευσης των γιατρών πάνω σε συγκεκριμένες χειρουργικές επεμβάσεις. Το ίδιο μοντέλο χρησιμοποιείται και για τα ζώα (Εικόνα 112).



Εικόνα 112: CT ενός χοίρου- 3D ανακατασκευή - απεικόνιση ειδικών δομών με Vr-Anat IRCAD software [83]



Εικόνα 113: Τεχνική NOTES υποβοηθούμενη από υπολογιστές – Επαυξημένη πραγματικότητα στη NOTES [83]

Η εικονική πραγματικότητα, με τα υπολογιστικά μοντέλα τα οποία έχει αναπτύξει και με τις κατάλληλες συσκευές που διαθέτει, δίνει τη δυνατότητα προβολής της πληροφορίας σε ειδικό προσομοιωμένο περιβάλλον το οποίο δημιουργεί την αίσθηση του πραγματικού. Το υπολογιστικό μοντέλο του ασθενούς συνδυάζεται με το υπολογιστικό μοντέλο του χειρουργικού πεδίου και σε αυτό συμμετέχουν χειρουργικά εργαλεία και άλλες κατάλληλες συσκευές. Στην εικονική πραγματικότητα συμμετέχουν οι αισθήσεις της ακοής και της όρασης, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει προστεθεί και η απτική αλληλεπίδραση, που δίνει τη δυνατότητα αίσθησης εικονικής αφής [84].

Μια απλή εκδοχή της εικονικής πραγματικότητας είναι η τρισδιάστατη αναπαράσταση της εικόνας σε ειδικό υπολογιστή και η αλληλεπίδραση του χειρουργού με αυτήν με συμβατικά μέσα όπως το πληκτρολόγιο, το ποντίκι ή και μέσω εξειδικευμένων απτικών συσκευών που έχουν αναπτυχθεί ακριβώς γι' αυτό το λόγο. Αυτές οι συσκευές μπορεί να δίνουν τη δυνατότητα συνεχόμενης κίνησης καθώς και την αίσθηση της αντίστασης(αφή). Πιο εξελιγμένες μορφές εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιούν τεχνικές εμβύθισης που με ειδικά κράνη ή με ειδικές οθόνες που περικυκλώνουν τον χειρουργό τον αποκόπτουν από το εξωτερικό περιβάλλον και του δίνουν την αίσθηση ότι βρίσκεται εικονικά ο ίδιος μέσα σε αυτό το περιβάλλον. Ο χειρουργός και πάλι έχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδρά με το εικονικό

περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται με ειδικά γάντια ή με ειδικές απτικές μηχανές [85].



Εικόνα 114: Εικονική πραγματικότητα [85].



Εικόνα 115: Ειδικά γάντια για αίσθηση αφής [85].

Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας στην χειρουργική είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα επεμβάσεων και εφαρμογών. Η πρώτη εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας στην χειρουργική το 1993 αφορούσε την αναπαράσταση των οργάνων της άνω κοιλιακής χώρας και περιλάμβανε μοντελοποίηση χειρουργικών οργάνων για την εκτέλεση ιδεατής χολοκυστεκτομής [86].

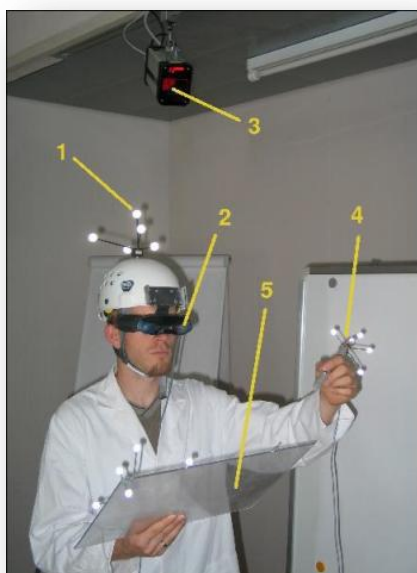
Κύριος στόχος της εικονικής πραγματικότητας είναι η προσομοίωση διάφορων επεμβάσεων οι οποίες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Η εικονική πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη για σχεδιασμό και πρόβλεψη του αποτελέσματος μιας χειρουργικής επέμβασης, για έρευνα και βελτίωση χειρουργικών τεχνικών και εργαλείων καθώς και για αξιολόγηση των χειρουργών [87].

Η εικονική πραγματικότητα έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα στην τεχνική NOTES αρκετές φορές. Το Ινστιτούτο έρευνας ενάντια στον καρκίνο του πεπτικού συστήματος στο Στρασβούργο της Γαλλίας (IRCAD) που είναι πρωτοπόρο στην κλινική μελέτη της χειρουργικής NOTES έχει αναπτύξει εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενδοσκοπικές επεμβάσεις. Επίσης έχουν αναπτυχθεί ειδικοί εξομοιωτές για εκπαίδευση αλλά και προεπισκόπηση των επεμβάσεων [88].

3.4 ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ (AUGMENTED REALITY)

Η τεχνική αυτή συνδυάζει το πραγματικό περιβάλλον με επιπλέον εξειδικευμένη πληροφορία (Augmented reality) [89]. Σε αυτή την περίπτωση ο χειρουργός χρησιμοποιεί ένα ειδικό κράνος με ημιδιαφανή οθόνη (Helmet

Mounted Display- HMD). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να βλέπει το πραγματικό περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα πάνω στην πραγματική εικόνα προβάλλεται η επιπλέον πληροφορία που σχηματίζεται από κατάλληλο υπολογιστικό σύστημα, σε τρισδιάστατη μορφή. Ανάλογα με την κατεύθυνση που παίρνει το κράνος μπορεί να προβάλλεται η κατάλληλη εικόνα πληροφορία που προέρχεται από το υπολογιστικό σύστημα. Ταυτόχρονα ανάλογα με τις κινήσεις που κάνει μπορεί να έχει τη δυνατότητα να βλέπει άλλες εικόνες που προέρχονται από μαγνητική ή αξονική τομογραφία αρκεί η στροφή του κράνους να είναι αρκετά μακριά από τον ασθενή [90]. Ο χειρουργός αλληλεπιδρά τόσο με το πραγματικό όσο και με το εικονικό περιβάλλον με ειδικά ηλεκτρονικά γάντια.



Εικόνα 116: Επαυξημένη πραγματικότητα. 1) Παρακολουθούμενος στόχος στο HMD ,2) Στερεοσκοπικό HMD για 3D απεικόνιση των εικονικών αντικειμένων ,3) Υπέρυθρη κάμερα παρακολούθησης για τον καθορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη και των υπολοίπων συσκευών .

ενισχυμένης πραγματικότητας έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και άλλες μέθοδοι για την απεικόνιση της επιπλέον πληροφορίας όπως είναι η προβολή δέσμης laser κατευθείαν στον αμφιβληστροειδή του χειρουργού, ώστε να μην απαιτείται το κράνος οθόνη, το οποίο μπορεί να περιορίσει το εύρος των κινήσεων του [91].

Η βασικότερη εφαρμογή της ενισχυμένης πραγματικότητας αφορά την απεικονιστική καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Υπάρχουν ορισμένα προβλήματα της επαυξημένης πραγματικότητας που αποτελούν πρόκληση για την τεχνολογία όπως είναι η αναγνώριση της θέσης του χειρουργού ή των εργαλείων του. Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι αυτό που

αφορά την εργονομία του κράνους. Γι' αυτό και γίνονται προσπάθειες με ειδικές ακτίνες τύπου laser να γίνεται προβολή της επιπλέον πληροφορίας κατ' ευθείαν πάνω στον αμφιβληστροειδή του γιατρού. [92] Με αυτόν τον τρόπο ίσως στο μέλλον να αντικατασταθεί το κράνος εξολοκλήρου. Εναλλακτική πρόταση είναι η χρήση ημιδιαφανούς οθόνης ενισχυμένης πραγματικότητας στην οποία να προβάλλονται τα δεδομένα. Έτσι ο χειρουργός μπορεί να έχει άμεση οπτική επαφή με το χειρουργικό πεδίο [93].



Εικόνα 116: Ημιδιαφανής οθόνη στην οποία προβάλλεται η επιπλέον πληροφορία

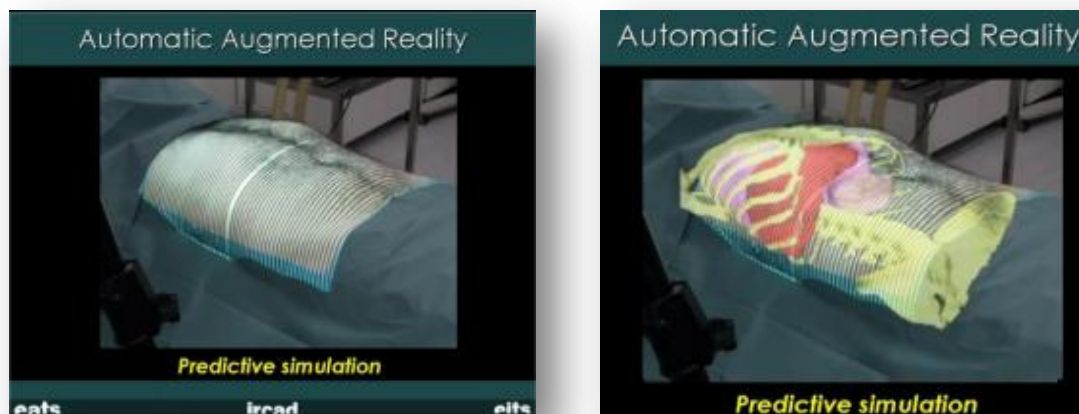
Τελευταία χρησιμοποιούνται συσκευές που επιτρέπουν με τη βοήθεια ακτίνων Laser την απευθείας προβολή του εικονικού περιβάλλοντος πάνω στο πραγματικό με μεγάλη ακρίβεια [94]. Τέλος σε όλες τις ενδοσκοπικές επεμβάσεις η χρήση της ενισχυμένης πραγματικότητας μπορεί να γίνει πολύ πιο εύκολα αφού ο χειρουργός έχει έτσι και αλλιώς το πεδίο του σε οθόνη στην οποία μπορούν να προβληθούν όλες οι επιπρόσθετες πληροφορίες και εικόνες.

3.5 Η ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ

Στην απεικονιστική καθοδήγηση χρησιμοποιούνται προηγμένες τεχνολογίες που επιτρέπουν στον χειρουργό να βλέπει μέσα και πίσω τα όργανα του ανθρώπινου σώματος δίνοντας στον χειρουργό να έχει καλύτερο έλεγχο της περιοχής κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Πιο αναλυτικά πρόκειται για ένα τρισδιάστατο υπολογιστικό μοντέλο που διαμορφώνεται από εξατομικευμένα απεικονιστικά δεδομένα και τα αντιστοιχίζει στο μεταβαλλόμενο χειρουργικό πεδίο μέσα από τεχνικές ενισχυμένης πραγματικότητας [95].

Η πρώτη εφαρμογή απεικονιστικής καθοδήγησης πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 1896 για την αφαίρεση μιας βελόνας από το χέρι μιας γυναίκας. Η βελόνα εντοπίστηκε με ακτινογραφία με την οποία στη συνέχεια έγινε και η καθοδήγηση της χειρουργικής επέμβασης. Σήμερα οι αξονική τομογραφία και η μαγνητική τομογραφία μπορούν να δώσουν έναν τεράστιο όγκο από πληροφορίες για τις δομές και τις λειτουργίες του οργανισμού.

Στόχος των μεθόδων απεικόνισης είναι η προβολή των απεικονίσεων αυτών πάνω στις αντίστοιχες δομές του ανθρώπινου σώματος (Εικόνα 117). Αντίστοιχα, στις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις το τρισδιάστατο μοντέλο προβάλλεται πάνω στην εικόνα που δίνει το monitor (Εικόνα 118) [96]. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο τα εργαλεία κατά την διάρκεια της επέμβασης να αναπαριστώνται από το μοντέλο σε πραγματικό χρόνο. Έτσι μπορεί να παρακολουθείται η τροχιά και η θέση των χειρουργικών εργαλείων.



Εικόνα 117: α) προβολή απεικονίσεων στο σώμα. β) Απεικόνιση των οργάνων της κοιλιακής χώρας



Εικόνα 121-Εικόνα 122: Επαυξημένη πραγματικότητα.

Σε πολλές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της επέμβασης δημιουργείται η ανάγκη για επιπλέον απεικονιστικό υλικό. Έτσι δεν είναι λίγες οι φορές που οι χειρουργοί καταφεύγουν σε λήψη ακτινογραφιών κατά τη διάρκεια τη επέμβασης. Ωστόσο αυτό ενέχει κινδύνους για την χειρουργική ομάδα η οποία συνολικά μπορεί να δεχτεί υψηλά ποσοστά ακτινοβολίας. Εναλλακτικά χρησιμοποιείται το υπερηχογράφημα, το οποίο όμως παρέχει χαμηλότερης ποιότητας απεικόνιση (σε σχέση με MRI και CT) και η οποία κοντά σε πνευμονοπεριτόναιο είναι σχεδόν άχρηστη.



Εικόνα 118: Λαπαροσκοπική χειρουργική με καθοδήγηση.

Η απεικονιστική καθοδήγηση χρησιμοποιείται στην γναθοχειρουργική , στην αγγειοχειρουργική, στη νευροχειρουργική, στις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις κ.α. Στόχος σήμερα είναι η ανάπτυξη πιο εξειδικευμένων συστημάτων, η μείωση του κόστους τους και η στενή συνεργασία υπολογιστικών συστημάτων απεικονιστικών συσκευών και χειρουργείου [97].

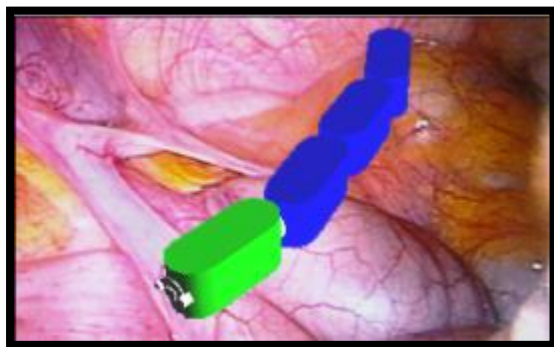
4.1 ΣΚΟΠΟΣ

Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός ρομπότ απαιτείται η συνεργασία πολλών διαφορετικών ειδικών και τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων εξομοίωσης τα οποία βοηθούν τη διαδικασία, να περάσει από το στάδιο του σχεδιασμού και της μελέτης των χαρακτηριστικών ενός ρομπότ στο επόμενο στάδιο, της κατασκευής και χρήσης σε πραγματικό περιβάλλον. Όταν μάλιστα τα ρομπότ τα οποία σχεδιάζονται πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στη χειρουργική είναι απαραίτητη και η συνεργασία των χειρουργών ούτως ώστε ο σχεδιασμός τους να λαμβάνει υπ' όψιν και όλους τους χειρουργικούς περιοριστικούς παράγοντες. Τα λογισμικά ανάπτυξης μικρό-ρομπότ επιτρέπουν να σχεδιαστεί ένα ρομπότ και να εξομοιωθεί η λειτουργία του πριν από το στάδιο της κατασκευής. Κατά την εξομοίωση μπορούν να εντοπιστούν έγκαιρα σχεδιαστικά προβλήματα και να διορθωθούν πριν περάσουμε στο στάδιο της κατασκευής. Σήμερα υπάρχουν πολλές πλατφόρμες σχεδιαστικής ανάπτυξης ρομπότ η καθεμία με διαφορετικό εύρος δυνατοτήτων και εξειδικευμένες λειτουργίες.

Σκοπός της εργασίας είναι η σχεδίαση και η ανάπτυξη in-silico ενός μικρο-ρομπोटικού αρθρωτού σταθμού διασύνδεσης μικρο-ρομπोट αποτελούμενο από υπομονάδες (modular micro-robot docking station) ικανές να εισέλθουν δια των φυσικών οπών του ανθρωπίνου σώματος στην περιτοναϊκή κοιλότητα στα πλαίσια χειρουργικών επεμβάσεων με τη τεχνική NOTES. Ο σταθμός αυτός θα είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε σε αυτόν να μπορούν να προσαρτώνται αρθρωτά μικρό-ρομπότ για Α)Επαναφόρτιση, Β)Αλλαγή δομής/εργαλείων, Γ)Σταθεροποίηση, και Δ)Αφαίρεση αυτών μετά το πέρας της επέμβασης. Στόχος είναι ο σταθμός αυτός να λύσει έναν αριθμό από προβλήματα που προκύπτουν κατά τις επεμβάσεις στη NOTES και που βασίζονται στη χρήση αρθρωτών ασύρματων μικρό-ρομπότ. Η ανάπτυξη του πρότυπου αυτού σταθμού συνιστάτε στον μορφολογικό σχεδιασμό του και στην εξομοίωση κυρίως της κίνησής του και των δυνατοτήτων χρήσης αισθητήρων, εκπομπής/λήψης μηνυμάτων και χειρισμού του.

4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο πρότυπος σταθμός διασύνδεσης αρθρωτών μικρό-ρομπότ που αναπτύξαμε ονομάζεται NOTDOCK (Natural Orifice Transluminal DOCKing station). Ο τρόπος σχεδιασμού και λειτουργίας του μοντέλου βασίστηκε στο πειραματικό in-silico μοντελο μικρο-ρομπότ NOMMRA (Zygomalas et al.), το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στην διάρκεια της εξομοίωσης του NOTDOCK. Το NOMMRA αποτελείται από υπομονάδες αρκετά μικρές ώστε να μπορούν να εισέλθουν στον ασθενή από τις φυσικές οπές του σώματός. Από την συνένωση σε σειρά των διαφορετικών υπομονάδων μικρο-ρομπότ συναρμολογείται ένα αρθρωτό μικρο-ρομπότ. Μπορούν να υπάρχουν περισσότερο από ένα μικρορομπότ ταυτόχρονα μέσα στον ασθενή. Κάθε συναρμολογημένο NOMMRA αποτελείται από την κύρια πρόσθια υπομονάδα που του προσδίδει τη βασική του ιδιότητα, όπως για παράδειγμα ενδοσκοπική, και πολλές συνδετικές υπομονάδες που του προσδίδουν κινητική ικανότητα (Εικόνα 122)



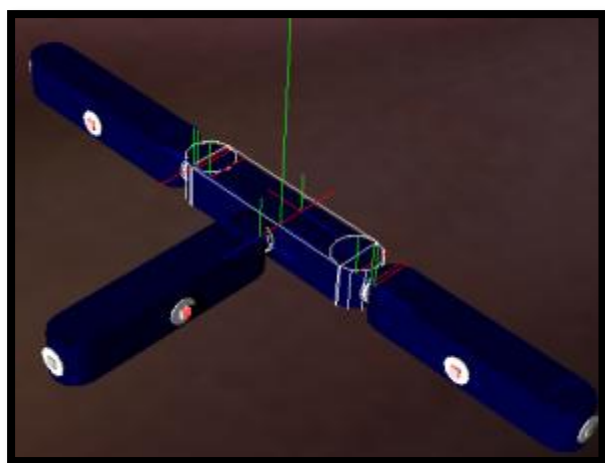
Εικόνα 122: Το μικρο-ρομπότ NOMMRA (καλλιτεχνική αναπαράσταση)

Το docking station αποτελείται από υπομονάδες αρκετά μικρές ούτως ώστε να μπορούν να εισέλθουν στον ασθενή από τις φυσικές οπές του σώματος ή να χωράνε μέσα από τα εύκαμπτα ενδοσκόπια τα οποία προσεγγίζουν την περιτοναϊκή κοιλότητα ή ακόμα να μπορούν να καταποθούν αφού πρώτα τοποθετηθούν σε γαστρικά βιοδιασπώμενες κάψουλες για την εξομάλυνση του σχήματος τους. Οι υπομονάδες αυτές συνδυάζονται μεταξύ τους κατάλληλα και σχηματίζουν ένα αρθρωτό μικρο-ρομπोटικό docking station. Παρόλο που θεωρητικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν όλες αυτές οι μέθοδοι για την είσοδο του NOTDOCK στο εσωτερικό του σώματος ,η επικρατέστερη φαίνεται να είναι αυτή η οποία αναφέρεται στη χρήση ενδοσκοπίου και αυτό γιατί με αυτόν τον τρόπο μπορεί παρέχεται εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος και στήριξη.

Οι υπομονάδες του σταθμού διασύνδεσης είναι εξοπλισμένες με κατάλληλα συστήματα μηχανικής-μαγνητικής συγκράτησης και ηλεκτρικής σύνδεσης για τα αρθρωτά μικρο-ρομπότ έτσι ώστε να προσφέρουν στήριξη, διευκολύνοντας τη συναρμολόγησή και επαναδιαμόρφωσή τους αλλά και την

επαναφόρτιση των μπαταριών τους. Η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγίστης σημασίας για τα μικρά ρομπότ που δρουν μέσα στην περιτοναϊκή κοιλότητα μιας και χωρίς ηλεκτρική ενέργεια αυτά θα ακινητοποιούνταν και θα ήταν άχρηστα. Σε αυτή τη περίπτωση θα έπρεπε να επέμβει ο χρήστης για να τα αφαιρέσει και να τα θέσει για επαναφόρτιση. Σε επεμβάσεις μεγάλης διάρκειας τα μικρά ρομπότ θα πρέπει να διατηρούν την αυτονομία τους έχοντας τη δυνατότητα επαναφόρτισης χωρίς την άμεση ανθρώπινη επέμβαση. Το docking station όταν συναρμολογείται παρέχει ειδικές υπομονάδες με θέσεις για επαναφόρτιση των χειρουργικών μικρορομπότ. Ειδικοί διακόπτες ενεργοποιούνται επιτρέποντας τη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για φόρτιση των μπαταριών του συνδεδεμένου μικρορομπότ. Ειδικοί αισθητήρες είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή πληροφοριών κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Η στρατηγική διασύνδεσης μπορεί να είναι οπτική αλλά και να βασίζεται σε ειδικούς αισθητήρες. Η άμεση όραση που παρέχεται από το μικρορομπότ κάμερα χρησιμοποιείται εν τέλη για την ανεύρεση των θέσεων σύνδεσης. Το NOTDOCK θα μπορεί να είναι και ενσύρματα συνδεδεμένο με το εξωτερικό περιβάλλον με μια πηγή ενέργειας ή/και ένα πίνακα ελέγχου για μεγαλύτερη λειτουργικότητα κυρίως όσον αφορά τη φόρτιση.

Ο σταθμός διασύνδεσης παρέχει τη δυνατότητα «στάθμευσης» στα ενδοκοιλιακά μικρο-ρομπότ. Η διασύνδεση αυτή των μικρο-ρομπότ με το NOTDOCK δίνει τη δυνατότητα στα πρώτα να συναρμολογούνται ή και να αναδιαμορφώνονται. Επιπλέον οι θέσεις σύνδεσης επιτρέπουν στο μικρορομπότ να διατηρεί σταθερό το ουραίο τμήμα του δίνοντάς του μεγαλύτερη σταθερότητα και ακριβέστερο έλεγχο στις κινήσεις. Το NOTDOCK έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται ανάλογα με την χειρουργική επέμβαση καθώς και ανάλογα με το τύπο των μικρο-ρομπότ που χρησιμοποιούνται. Έτσι παρέχει μεγαλύτερη ανοχή θέσεων σύνδεσης, αυξάνοντας τις δυνατότητες διασύνδεσης-προσέγγισης από διαφορετικές γωνίες.



Ο σχεδιασμός του σταθμού εργασίας δεν περιλαμβάνει τον λεπτομερή σχεδιασμό των μηχανολογικών, ηλεκτρονικών και ηλεκτρολογικών μηχανισμών όπου υπάρχουν. Η σχεδίαση περιλαμβάνει βασικά μηχανικά μέρη τα οποία στηρίζονται σε μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική. Η εξομοίωση του είναι κατά βάση κινητική ενώ έχουν ληφθεί υπόψη όλες οι βασικές φυσικές ιδιότητες του μοντέλου και χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι φυσικής κατά την εξομοίωσή του.

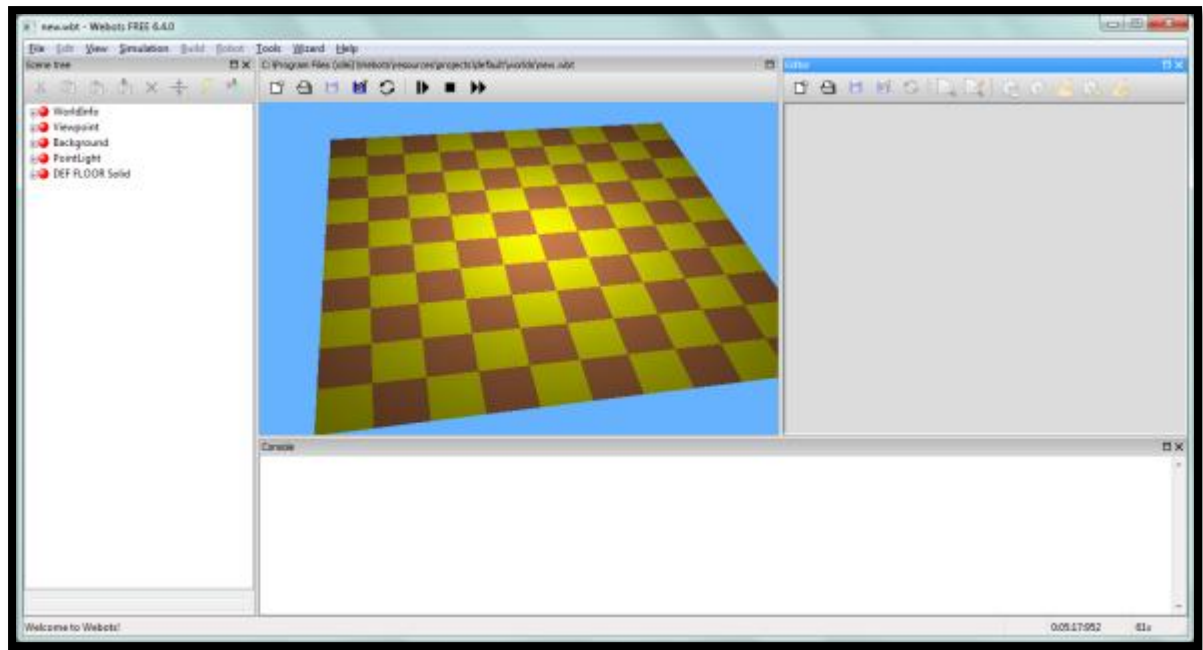
Για τον χειρισμό του συστήματος του αρθρωτού docking station προτείνεται μία πρωτότυπη τεχνική κατά την οποία ο χειρουργός καθορίζει το σχήμα και το είδος των κινήσεων μέσω ενός ομοιώματος του ρομπότ. Ο χειρουργός μπορεί να δίνει το επιθυμητό σχήμα στο ρομπότ εξωτερικά και το μικρό-ρομπότ στο εσωτερικό του σώματος να αποκρίνεται παίρνοντας ακριβώς το ίδιο σχήμα. Ωστόσο ορισμένες απλές εντολές του τύπου διαμόρφωσης προκαθορισμένου σχήματος μπορούν να εκτελεστούν απλά με το πάτημα ενός κουμπιού και την εκτέλεση προτυποποιημένων κινήσεων.

Για την εξομοίωση του docking station χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Webots PRO έκδοση 6.0 από την εταιρεία Cyberbotics Ltd.



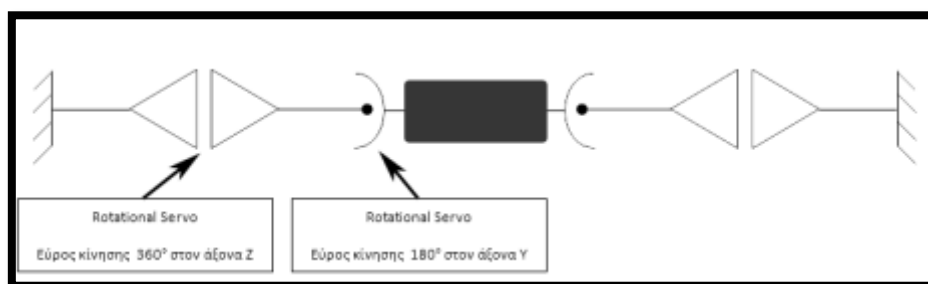
Το Webots είναι ένας 3D εξομοιωτής ρομπότ ο οποίος επιτρέπει στον χρήστη να εξομοιώσει διαφορετικούς τύπους κινούμενων ρομπότ, όπως ρομπότ που κινούνται με ρόδες, ρομπότ με πόδια ή ακόμα και ιπτάμενα ρομπότ. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει πολύπλοκους εικονικούς κόσμους με όποια χαρακτηριστικά επιθυμεί και να σχεδιάσει το ρομπότ του με τρόπο που να κινείται σε αυτόν. Το πρόγραμμα αυτό για τον σχεδιασμό των ελεγκτών του απαιτεί τη χρήση γλώσσας προγραμματισμού (C, C++, JAVA, Python). Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να διαβαστούν διάφορες τιμές για αισθητήρες ή να σταλούν εντολές σε κινητήρες του ρομπότ. Ο σπουδαίος είναι ότι οι ελεγκτές που προγραμματίζονται στο περιβάλλον αυτό μπορούν στη συνέχεια να μεταφερθούν αυτούσιοι και να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικά ρομπότ.

Το περιβάλλον εργασίας του Webots αποτελείται από τέσσερα βασικά παράθυρα εργασίας. Στο κέντρο της κονσόλας βρίσκεται ένα παράθυρο εξομοίωσης στο οποίο προβάλλονται όλα τα γραφικά του εικονικού περιβάλλοντος και του ρομπότ. Σε αυτό το παράθυρο υπάρχει η δυνατότητα rendering με απλά γραφικά και φωτισμό με σκιάσεις ή προβολή των αντικειμένων. Στο πάνω μέρος της εξομοίωσης βρίσκονται τα πλήκτρα ελέγχου της εξομοίωσης (run, stop, revert, step). Στο αριστερό παράθυρο εργασίας της κονσόλας υπάρχει ένα δέντρο με όλες τις ιδιότητες που μπορεί να έχει ένα εικονικό ρομπότ. Κάθε αρχικός κλάδος αντιπροσωπεύει ένα αντικείμενο ενώ στους κλάδους του κάθε αντικειμένου υπάρχουν οι αντίστοιχες ιδιότητες του. Το πρόγραμμα διαθέτει μία βιβλιοθήκη με όλα τα εξαρτήματα που μπορεί να χρειαστεί ένα ρομπότ για την κατασκευή του. Ο χρήστης μπορεί μέσα από κατάλληλες επιλογές να αλλάζει αυτές τις ιδιότητες και να σχεδιάζει τα δικά του αντικείμενα. Στη δεξιά πλευρά της πλατφόρμας υπάρχει ο editor προγραμματισμού στον οποίο ο προγραμματιστής γράφει στην γλώσσα που έχει επιλέξει να δουλέψει και που υποστηρίζεται από το περιβάλλον της προσομοίωσης. Τέλος υπάρχει και η κονσόλα προβολής των μηνυμάτων όπου προβάλλονται τα μηνύματα ελέγχου του προγράμματος και της εξομοίωσης. Στο ίδιο σημείο προβάλλονται και τα μηνύματα λάθους του editor κατά τη διάρκεια του compiling και του building.



Το docking station αποτελείται από υπομονάδες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους και του δίνουν επιθυμητό σχήμα και μέγεθος. Κάθε υπομονάδα σύνδεσης έχει παραλληλεπίπεδο σχήμα και διαθέτει στις επιφάνειές της ηλεκτρομαγνήτες σύνδεσης και ειδικά σερβομοτέρ τα οποία της δίνουν τη δυνατότητα σύνδεσης με άλλες υπομονάδες του NOTDOCK καθώς και με τις υπομονάδες μικρο-ρομπότ.

Κάθε μονάδα έχει διαστάσεις 50mmx10mmx10mm, κατάλληλες για να μπορεί θεωρητικά να εισέλθει από τις φυσικές οπές του ανθρωπίνου σώματος ή ακόμα και να καταποθεί από τον ασθενή. Το βάρος κάθε υπομονάδας είναι 5,5gr (0,054N). Κάθε υπομονάδα σύνδεσης είναι συμμετρική ως προς τον άξονα Z και φέρει στην πρόσθια και την οπίσθια πλευρά της 2 περιστροφικά σερβομοτέρ (rotational servo). Το πρώτο σερβομοτέρ δίνει δυνατότητα κίνησης σε τόξο 180° στον άξονα Y. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται κίνηση του συστήματος κατά 90° δεξιά και άλλες 90° αριστερά. Ο δεύτερος σερβοκινητήρας δίνει κίνηση 360° στον άξονα Z επιτρέποντας έτσι μία πλήρη περιστροφή του πλαισίου του. Σε δύο από τις τέσσερις πλευρικές επιφάνειες κάθε υπομονάδας, επί του άξονα X, έχει τοποθετηθεί ένα περιστροφικό σερβομοτέρ με κίνηση 360° στον άξονα X. Η θεωρητική ταχύτητα περιστροφής του κάθε κινητήρα είναι 4 rad/sec. Στο άκρο κάθε τελικού σερβομοτέρ βρίσκεται ένα σύστημα σύνδεσης (connector). Το σύστημα αυτό συμπεριφέρεται σαν συμμετρικός ηλεκτρομαγνήτης ελεγχόμενης σύνδεσης/αποσύνδεσης με 4 σημεία επαφής. Η απόσταση ανοχής είναι 12mm και ο άξονας ανοχής 90°. Οι περιστροφικοί άξονες ανοχής των συνδέσμων είναι στις 30°. Η μέγιστη τάση συγκράτησης είναι 0,55N και η μέγιστη τάση διαχωρισμού από ολίσθηση είναι τα 0,4N. Σε όλες τις παραπάνω θέσεις υπάρχουν αισθητήρες για το μαγνητικό πεδίο καθώς και διακόπτες που ενεργοποιούνται όταν υπάρχει συνδεδεμένη μονάδα, έτσι υπάρχει πλήρης έλεγχος και μπορούν να αποστέλλονται τα απαραίτητα μηνύματα. Στις πλευρικές θέσεις σύνδεσης υπάρχουν ειδικές δομές που δίνουν την ιδιότητα φορτιστή στη υπομονάδα. Τέλος κάθε υπομονάδα μπορεί να είναι εξοπλισμένη σε μπαταρία και αντίστοιχο σύστημα ελέγχου αυτής ανάλογα με τον αν θα συνδέεται ή όχι με εξωτερική πηγή.



Κάθε υπομονάδα είναι εξοπλισμένη με ένα δέκτη και ένα πομπό. Ο δέκτης λαμβάνει σήμα από το σύστημα χειρισμού του μικρο-ρομπότ ώστε να εκτελεί την ανάλογη εντολή. Οι εντολές αφορούν κυρίως τη θέση που πρέπει να λάβει ο κάθε σερβοκινητήρας. Άλλες εντολές που λαμβάνονται είναι για την κατάσταση σύνδεσης, φόρτισης και το επίπεδο της πιθανής μπαταρίας κάθε μονάδας. Ο πομπός στέλνει διάφορα δεδομένα στο σύστημα ελέγχου όπως την κατάσταση και θέση των σερβοκινητήρων, την κατάσταση σύνδεσης με τις άλλες υπομονάδες, δεδομένα από τον αισθητήρα μαγνητικού πεδίου και δεδομένα από τους διακόπτες ελέγχου σύνδεσης και το μηχανισμό επαναφόρτισης.

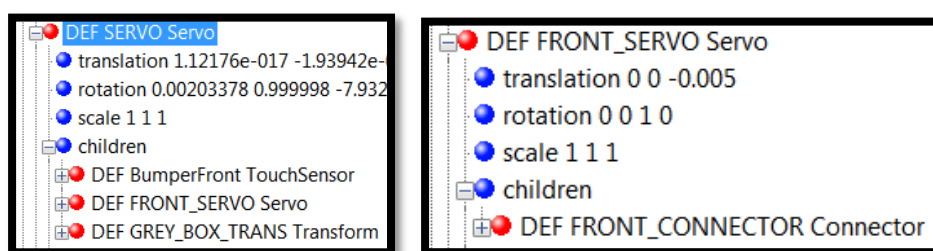
Η μονάδα χειρισμού του μοντέλου μπορεί να είναι ένα σύστημα που θα αποτελείτε από τις ίδιες υπομονάδες στην ίδια ακριβώς θέση με αυτές του ενδοκοιλιακού συστήματος. Το σύστημα χειρισμού θα έχει προφανώς κατάλληλες διαστάσεις, σαφώς μεγαλύτερες από το μικρο-ρομπότ που θα ελέγχει, έτσι ώστε να μπορεί να το χειριστεί με ευκολία ο χειρουργός. Αυτός ο τρόπος χειρισμού θα δίνει τη δυνατότητα στο χειρουργό να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή τη διαμόρφωση του μικρο-ρομπότ.

4.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

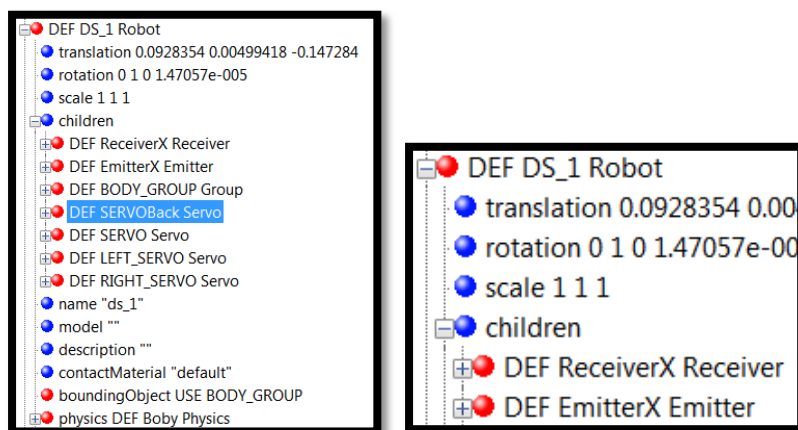
Ο σχεδιασμός των υπομονάδων του NOTDOCK βασίστηκε σε γεωμετρικά σχήματα που του προσδίδουν μια απλή μορφολογία και μπορούν να κατασκευαστούν σχετικά εύκολα αν δημιουργηθεί πραγματικό μοντέλο. Όσα εξαρτήματα διαθέτουν τις φυσικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην παράγραφο 4.4, αυτά έχουν εισαχθεί κατάλληλα στους κλάδους ιδιοτήτων και φυσικής (physics) του κάθε εξαρτήματος και ελέγχονται από τη μηχανή προσομοίωσης φυσικής του Webots. Το σώμα του ρομπότ δημιουργείται από ένα παραλληλεπίπεδο διαστάσεων 30mmx10mmx10mm και δυο κυλίνδρους ύψους 10mm και διαμέτρου 5mm. Αυτό αποτελεί το BODY_GROUP της κάθε υπομονάδας.



Ο σχεδιασμός του κάθε σερβοκινητήρα είναι απλά σχηματικός και δεν εξομοιώνει τον πραγματικό σχεδιασμό του σερβοκινητήρα και των εξαρτημάτων του. Ο κλάδος με το πρόσθιο σύστημα σερβοκινητήρων περιλαμβάνει τον αρχικό κλάδο του περιστροφικού σερβοκινητήρα με εύρος κίνησης 180° που τον ονομάζουμε “servo” από τον οποίο δημιουργείται ο κλάδος του περιστροφικού σερβοκινητήρα των 360° που ονομάζεται “FrontServo”. Και οι δύο σερβοκινητήρες έχουν την ιδιότητα servo τύπου rotational. Από τον “servo” δημιουργείται και ένας κλάδος για την σχηματική του αναπαράσταση με σχήμα παραλληλεπίπεδο. Από τον “FrontServo” δημιουργείται κλάδος για τον σχεδιασμό του μπροστινού συστήματος σύνδεσης το οποίο το ονομάζουμε “front_connector” και σχηματικά το αναπαριστούμε με κύλινδρο που έχει πολύ μικρό ύψος και μεγάλη σχετική διάμετρο έτσι ώστε να δίνει την εικόνα κυκλικού δίσκου. Επίσης στον κλάδο δημιουργείται και ο διακόπτης ελέγχου επαφής BumperF ο οποίος αντιπροσωπεύεται από μια συσκευή αναγνώρισης επαφής Touch_Sensor με ιδιότητα “Bumper” και σχηματικά από ένα μικρό κόκκινο παραλληλεπίπεδο.



Ο σχεδιασμός του οπίσθιου συστήματος σερβομοτέρ ακολουθεί την ίδια λογική με αυτόν του πρόσθιου συστήματος. Έτσι ο οπίσθιος περιστροφικός σερβοκινητήρας ονομάζεται “servoBack” και από αυτόν δημιουργείται ο περιστροφικός σερβοκινητήρας “RearServo”. Τέλος από τον “RearServo” παράγεται ο κλάδος του οπίσθιου συστήματος σύνδεσης με το όνομα “rear_connector” και του διακόπτη επαφής BumperB. Οι σχηματικές παραστάσεις του οπίσθιου συστήματος σερβοκινητήρων και σύνδεσης είναι όμοιες με αυτές του πρόσθιου συστήματος. Οι θέσεις σύνδεσης στις πλάγιες επιφάνειες έχουν σχεδιαστεί κατά τη δομή των παραπάνω μόνο που υπάρχουν περιστροφικοί σερβοκινητήρες των 360° που ονομάζεται “LeftServo” και “RightServo”. Σε κάθε επιφάνεια σύνδεσης υπάρχει κλάδος που αντιστοιχεί στο διακόπτη ελέγχου επαφής BumperL και BumperR. Στις θέσεις αυτές ενεργοποιούνται συστήματα επαναφόρτισης. Εκτός από τους παραπάνω αρχικούς κλάδους η υπομονάδα έχει δύο ακόμα. Ο ένας αντιπροσωπεύει τον πομπό της υπομονάδας και παίρνει το όνομα “EmitterX” και ο άλλος τον δέκτη της και ονομάζεται “ReceiverX”. Ο πομπός και ο δέκτης δεν παρουσιάζονται στο ρομπότ με καμία σχηματική αναπαράσταση μιας και θεωρούνται εσωτερικοί και άρα μη ορατοί.



Για την εξομοίωση του περιβάλλοντος δημιουργήθηκαν μερικά φυσικά εμπόδια με χαρακτηριστικά Solid που προσομοιώνουν με απλά σχήματα δομές της περιτοναϊκής κοιλότητας. Έτσι για παράδειγμα τα έντερα αντιπροσωπεύονται σχηματικά από κυλίνδρους, το ήπαρ από ένα παραλληλεπίπεδο, η χοληδόχος κύστη από μία σφαίρα και τα στοιχεία της, κυστική αρτηρία και κυστικός πόρος από κυλίνδρους. Επειδή σκοπός της εργασίας μας είναι να μελετήσουμε τη δυνατότητα συναρμολόγησης, κίνησης και παροχής θέσεων σύνδεσης του σταθμού διασύνδεσης δεν εξομοιώθηκαν με ακρίβεια οι φυσικές ιδιότητες των υποτιθέμενων σπλάχνων.

Το πρόγραμμα προσομοίωσης σχεδιασμού μικρόρομπότ το οποίο χρησιμοποιούμε διαθέτει editor προγραμματισμού στον οποίο μπορούμε να προγραμματίσουμε σε μία από τις γλώσσες C, C++, JAVA και Python. Για τον προγραμματισμό χρησιμοποιήσαμε τη C η οποία είναι απλή και εύκολη στον προγραμματισμό ελεγκτών απλής λειτουργίας. Για να εξομοιωθεί η λειτουργία του docking station χρειάζεται να σχεδιαστούν ελεγκτές οι οποίοι μπορούν να αλληλεπιδρούν με τον χρήστη. Οι ελεγκτές προγραμματίζονται κατάλληλα ώστε να εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Η λογική του προγραμματισμού ήταν να γίνονται οι κινήσεις του docking station ανάλογα με τις εντολές που θα λαμβάνει από το σύστημα χειρισμού. Το σύστημα χειρισμού είναι ικανό να λαμβάνει και μηνύματα από το docking ενώ σε μία υποθετική κονσόλα θα μπορούν να αποθηκεύονται άλλου είδους πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τις τιμές που διαβάζουν οι αισθητήρες. Στην ίδια κονσόλα μπορούν να υπάρχουν ειδικές ενδείξεις οι οποίες να αναφέρονται στα επίπεδα μπαταρίας των υπομονάδων, στη διαθεσιμότητα των ηλεκτρομαγνητικών υποδοχέων, στην κατάσταση φόρτισης των αρθρωτών μικρόρομπότ, στην επιτυχή σύνδεση των υπομονάδων μεταξύ τους και να διαθέτει και εντολές σύνδεσης και αποσύνδεσης των υπομονάδων.

Για την αυτοματοποιημένη κίνηση προγραμματίστηκαν 3 αλγόριθμοι. Κάθε πρόγραμμα χωρίστηκε σε τρία βασικά κομμάτια, τις αρχικές απαραίτητες δηλώσεις των μεταβλητών και των βιβλιοθηκών, τις υπορουτίνες και τις κύριες ρουτίνες. Στον προγραμματισμό ακολουθήθηκε η κατεύθυνση που δίνει το πρόγραμμα προσομοίωσης για τον προγραμματισμό τους.

4.7 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Ο ελεγκτής φορτώνει αρχικά τις βιβλιοθήκες για τους βασικούς τύπους των εξαρτημάτων του ρομποτικού σταθμού διασύνδεσης και καθορίζει το βήμα κύκλου του σε 32 msec. Επίσης δηλώνονται οι μεταβλητές για τα ονόματα των διαφόρων εξαρτημάτων ελέγχου και καθολικές μεταβλητές. Για την αυτόματη λήψη σχήματος του docking station έχουν αναπτυχθεί τρεις απλές ρουτίνες καθώς και ρουτίνες για εντολή σύνδεσης και αποσύνδεσης των μαγνητών.

```
#include <webots/robot.h>
#include <webots/servo.h>
#include <webots/connector.h>
#include <webots/receiver.h>
#include <webots/emitter.h>
#include <webots/touch_sensor.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define CONTROL_STEP 32

static double t = 0.0;          /* time elapsed since simulation start [s] */
static int id = -1;             /* this module's ID */

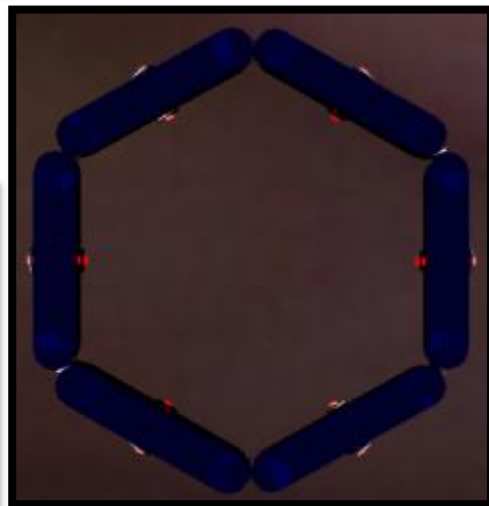
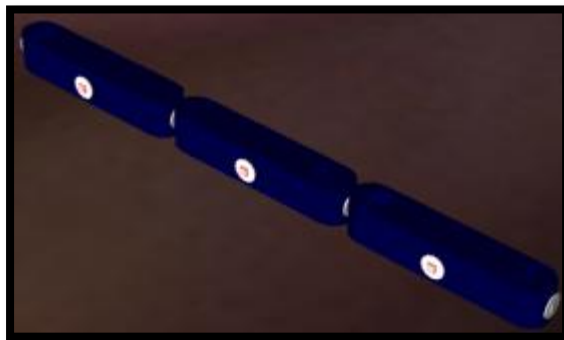
/* each Connective Module is equipped with 2 back servomotors, 2 front servomotors, 2 connectors, 1 emitter and 1 receiver... */
static WbDeviceTag servoBack, FrontServo, servo, rear_connector, front_connector, RearServo, ReceiverX, EmitterX, BumperB, BumperF, BumperR, BumperL;
```

Οι ελεγκτές των υπομονάδων του ρομποτικού χειριστηρίου θα ελέγχουν όλες τις κινήσεις του μικρο-ρομποτικού σταθμού διασύνδεσης. Έτσι όλες οι υπορουτίνες για την επιθυμητή κίνηση θα πρέπει να βρίσκονται στο πρόγραμμα των ελεγκτών των υπομονάδων του χειριστηρίου. Για λόγους ευκολίας στο προγραμματισμό και για την απλή εξομοίωση προγραμματίστηκαν αυτές οι υπορουτίνες στο ελεγκτή του NOTDOCK, μιας και η εξομοίωση του ρομποτικού χειριστηρίου ήταν πέρα από του σκοπούς της μελέτης μας.

Η υπορουτίνα Zip45 θέτει τις υπομονάδες σε γωνία 45° μεταξύ τους. Το id της κάθε υπομονάδας παράγεται στην κύρια ρουτίνα ανάλογα με ο όνομά της. Η συνάρτηση wb_servo_set_position της βιβλιοθήκης servo.h είναι αυτή του τοποθετεί τον άξονα του κάθε σερβομοτέρ ανάλογα με το δηλωμένο όνομά του στη σχετική θέση του. Η υπορουτίνα Zip120 θέτει τις υπομονάδες σε γωνία 120° μεταξύ τους. Έτσι είναι δυνατή η δημιουργία εξαγώνου αν είναι συνδεδεμένες μέχρι 6 υπομονάδες του NOTDOCK. Άλλη μια χρήσιμη υπορουτίνα είναι η Zero με την οποία θέτονται όλες οι υπομονάδες στην αρχική θέση τους. Όλοι οι σερβοκινητήρες παίρνουν τη θέση μηδέν. Αυτή η υπορουτίνα χρειάζεται για την αρχικοποίηση της θέσης του μικρο-ρομπότ κατά την αλλαγή τρόπου κίνησης. Τα τρία αυτά διαφορετικά σχήματα προτείνονται ως εναλλακτικές επιλογές του σχήματος του σταθμού εργασίας. Ανάλογα με την επέμβαση στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί επιλέγεται και το καταλληλότερο σχήμα docking station. Αν για παράδειγμα πρόκειται να γίνει μία επέμβαση στην περιτοναϊκή κοιλότητα τότε καλές επιλογές σχήματος θεωρούνται το εξάγωνο (προσεγγιστικά έχει τις ιδιότητες του κύκλου) καθώς και η ανοιχτή δομή 45°. Αυτές οι επιλογές προτιμούνται διότι λύνουν το

πρόβλημα του τριγωνισμού των χειρουργικών εργαλείων. Αν για παράδειγμα έχουμε συνολικά τρεις αρθρωτές διατάξεις χειρουργικών εργαλείων αν αυτές τοποθετηθούν στην περιφέρεια του εξαγώνου σε τρεις ισαπέχουσες αποστάσεις τότε δημιουργείται τέλειος τριγωνισμός. Αντίθετα αν η περιοχή είναι στενή και έχει μήκος, όπως είναι για παράδειγμα ο γαστρεντερικός σωλήνας, τότε μπορεί να επιλεγεί η ευθύγραμμη διάταξη.

```
static void Zip45()
{
    wb_servo_set_position(servo, -0.3925); //22.5o
    wb_servo_set_position(servoBack, 0.3925);
}
static void Zip120()
{
    wb_servo_set_position(servo, -0.5235); //30o
    wb_servo_set_position(servoBack, 0.5235);
}
static void Zero()
{
    wb_servo_set_position(servo, 0 );
    wb_servo_set_position(servoBack, 0 );
    wb_servo_set_position(FrontServo, 0 );
    wb_servo_set_position(RearServo, 0 );
}
```



Η υπορουτίνα Disconnect είναι μια απλή υπορουτίνα που δίνει εντολή στα συστήματα σύνδεσης των υπομονάδων να αποσυνδεθούν. Έτσι για παράδειγμα οι υπομονάδες του μικρο-ρομποτικού συστήματος θα μπορούσαν

να αποσυνδεθούν στον γαστρεντερικό σωλήνα μετά το τέλος της επέμβασης και να τελικά να εξέλθουν από τον οργανισμό με την αφόδευση. Παρόμοια η υπορουτίνα Connect() στέλνει σήμα για σύνδεση όλων των υπομονάδων του μικρο-ρομπότ που έχουν στο πεδίο του παρούσα συστήματος σύνδεσης.

```
static void RDisconnect()
{
    wb_connector_unlock(front_connector);
    wb_connector_unlock(rear_connector);
}
static void RConnect()
{
    wb_connector_lock(front_connector);
    wb_connector_lock(rear_connector);
}
```

Στην κύρια ρουτίνα αρχικοποιούνται οι συσκευές και ορίζονται κάποιες μεταβλητές. Η κύρια ρουτίνα του ελεγκτή της υπομονάδας σύνδεσης του NOTDOCK έχει τη βασική δομή που θέτει το Webots στους ελεγκτές του. Αρχικοποιείται το ρομπότ και μετά υπάρχει μια ρουτίνα για την εύρεση του id ανάλογα με το όνομα της υπομονάδας. Κατόπιν διαβάζονται οι συσκευές-εξαρτήματα της κάθε υπομονάδας και καθορίζεται το κανάλι εκπομπής και λήψης σε κάθε υπομονάδα ανάλογα με το id της. Στη συνέχεια ορίζονται οι μεταβλητές που είναι απαραίτητες για τη χρήση κάποιων συναρτήσεων και ενεργοποιείται η χρήση πληκτρολογίου με την εντολή wb_robot_keyboard_enable ώστε να δίνονται εντολές με το πάτημα ενός κουμπιού. Το αποτέλεσμα του πατήματος κάποιου κουμπιού θα αποθηκεύεται στη μεταβλητή key.

```
//Robot main
int main() {
    /* necessary to initialize Webots */
    wb_robot_init();

    //vars for the use of keyboard
    int manual_control = 0;
    int key;
    wb_robot_keyboard_enable(CONTROL_STEP);
    key = wb_robot_keyboard_get_key();

    /*
     * Find module id from robot name
     * The robot name is used to identify each module
     */
    const char *name = wb_robot_get_name();
    id = atoi(name + 3) - 1;

    /* find hardware devices */
    servoBack = wb_robot_get_device("servoBack");
    FrontServo = wb_robot_get_device("FrontServo");
    servo = wb_robot_get_device("servo");
    rear_connector = wb_robot_get_device("rear_connector");
    | wb_connector_enable_presence(rear_connector, CONTROL_STEP);
    front_connector = wb_robot_get_device("front_connector");
    | wb_connector_enable_presence(front_connector, CONTROL_STEP);
    RearServo = wb_robot_get_device("RearServo");
    ReceiverX = wb_robot_get_device("ReceiverX");
    wb_receiver_enable(ReceiverX, 64);
    wb_receiver_set_channel(ReceiverX, id+1);
    EmitterX = wb_robot_get_device("EmitterX");
    wb_emitter_set_channel(EmitterX, id+10);
    BumperB = wb_robot_get_device("BumperB");
    wb_touch_sensor_enable(BumperB, CONTROL_STEP);
    BumperF = wb_robot_get_device("BumperF");
    wb_touch_sensor_enable(BumperF, CONTROL_STEP);
    BumperR = wb_robot_get_device("BumperR");
    wb_touch_sensor_enable(BumperR, CONTROL_STEP);
    BumperL = wb_robot_get_device("BumperL");
    wb_touch_sensor_enable(BumperL, CONTROL_STEP);

    char device[64];
    char *p;
    double position;
    char message[128];
```

Εδώ αρχίζει ο κύριος και απαραίτητος βρόγχος για τη λειτουργία του ρομπότ στο Webots. Αρχικά μέσα στο βρόγχο ελέγχεται αν ο χειρισμός γίνεται με το πληκτρολόγιο ή όχι από το γεγονός ότι ο χρήστης πατάει ένα οποιοδήποτε κουμπί. Έτσι το σύστημα υπακούει σε εντολές που προέρχονται από το πληκτρολόγιο.

Ανάλογα με το κουμπί που πατά ο χρήστης πραγματοποιείται και μία διαδικασία και δίνεται και η ανάλογη ενημέρωση μέσω μηνύματος οθόνης. Αν ο χρήστης πατήσει :

«0» : Η δομή του μικρορομπότ αρχικοποιείται

«1» : Η δομή του μικρορομπότ αρχικοποιείται

«1» : Οι υπομονάδες παίρνουν γωνία 45°

«2» : Οι υπομονάδες παίρνουν γωνία 120°

«3» : Οι υπομονάδες αποσυνδέονται

«4» : Οι υπομονάδες συνδέονται

```
while(wb_robot_step(CONTROL_STEP)!=-1) {  
    // Check if a key is pressed and turn to manual control  
    key = wb_robot_keyboard_get_key();  
    if (key && ! manual_control){  
        manual_control = 1;  
        printf("Manual Control... \n");  
    }  
    //Keyboard use  
    if (manual_control) {  
        switch (key) {  
            case '0':  
                printf("0 pressed : Give Zero \n");  
                Zero();  
                break;  
            case '1':  
                printf("1 pressed : Give Structure Zip45 \n");  
                Zip45();  
                break;  
            case '2':  
                printf("1 pressed : Give Structure Zip120 \n");  
                Zip120();  
                break;  
            case '3':  
                printf("2 pressed : Give Disconnect \n");  
                RDisconnect();  
                break;  
            case '4':  
                printf("3 pressed : Give Connect \n");  
                RConnect();  
                break;  
        }  
    }  
}
```

Ο βασικός βρόγχος περιλαμβάνει αρχικά τον αλγόριθμο εκπομπής μηνύματος προς το ρομπότ χειρισμού με τα δεδομένα από την παρουσία ή όχι κάποιου συστήματος σύνδεσης εντός πεδίου καθώς και τις θέσεις των σερβομοτέρ.

```
//Emit message if in field  
if (wb_connector_get_presence(rear_connector)==1){  
    sprintf(messageX, "LEDX %i", 1);  
    wb_emitter_send(EmitterX, messageX, strlen(messageX) + 1);  
}
```

Στη συνέχεια λαμβάνεται σε πακέτα, με τη βοήθεια των κατάλληλων συναρτήσεων του Webots, το μήνυμα από το πιθανό ρομπότ χειρισμού και αποκωδικοποιείται ώστε να εκτελεστούν από το μικρο-ρομπότ οι κατάλληλες εντολές για την κίνηση ή για τη σύνδεση και αποσύνδεση των συστημάτων σύνδεσης.


```

// Receives messages
while (wb_receiver_get_queue_length(ReceiverX) > 0) {
    const char *messageL = wb_receiver_get_data(ReceiverX);

    // Reads the Position and the Device of the message
    p = strchr(messageL, ' ');
    position=atof(p);
    sprintf(device,"%.*s",strlen(messageL)-strlen(p),messageL);
    //Performs the adequate move
    if(!strcmp(device,"servo"))
        wb_servo_set_position(servo, position);
    if(!strcmp(device,"RearServo"))
        wb_servo_set_position(RearServo, position);
    if(!strcmp(device,"servoBack"))
        wb_servo_set_position(servoBack, position);
    if(!strcmp(device,"FrontServo"))
        wb_servo_set_position(FrontServo, position);
}

```

Αναπτύχθηκε αλγόριθμος ο οποίος ελέγχει αν οι μονάδες του docking station είναι ενωμένες μεταξύ τους. Όταν οι μονάδες είναι ενωμένες μεταξύ τους τότε ειδοποιείται ο χειρουργός για παράδειγμα με κατάλληλο LED το οποίο βρίσκεται πάνω στην εξωτερική κονσόλα ελέγχου ή με άλλο μήνυμα. Αν δεν είναι ενωμένες όπως πρέπει τότε αποστέλλεται άλλο μήνυμα. Ο ίδιος έλεγχος γίνεται όσον αφορά τη σύνδεση και φόρτιση των υπομονάδων των χειρουργικών μικρο-ρομπότ κατά τη διάρκεια που αυτές είναι προσαρτημένες στις ειδικές υποδοχές των υπομονάδων του docking station. Έτσι αν είναι συνδεδεμένο κάποιο ρομποτικό σύστημα στέλνεται μήνυμα στη κονσόλα χειρισμού ώστε να ανάλογα με τα δεδομένα από τα επίπεδα μπαταρίας του μικρορομπότ να ξεκινήσει διαδικασία φόρτισης ή όχι.

```

// ConnectionSwitches Control
//Emit messages
if (wb_touch_sensor_get_value(BumperB) > 0) {
    printf("%s Connected Back...\n",name);
    sprintf(messageX, "%s Connected Back...\n",name);
    wb_emitter_send(EmitterX, messageX, strlen(messageX) + 1);
    wb_robot_battery_sensor_enable(CONTROL_STEP);
}
else {
    printf("%s DisConnected Back...\n",name);
    sprintf(messageX, "%s DisConnected Back...\n",name);
    wb_emitter_send(EmitterX, messageX, strlen(messageX) + 1);
    wb_robot_battery_sensor_disable();
}

if (wb_touch_sensor_get_value(BumperF) > 0) {
    printf("%s Connected Front...\n",name);
    sprintf(messageX, "%s Connected Front...\n",name);
    wb_emitter_send(EmitterX, messageX, strlen(messageX) + 1);
    wb_robot_battery_sensor_enable(CONTROL_STEP);
}
else {
    printf("%s DisConnected Front...\n",name);
    sprintf(messageX, "%s DisConnected Front...\n",name);
    wb_emitter_send(EmitterX, messageX, strlen(messageX) + 1);
    wb_robot_battery_sensor_disable();
}

if (wb_touch_sensor_get_value(BumperR) > 0) {
    printf("%s Connected Right...\n",name);
    sprintf(messageX, "%s Connected Right...\n",name);
    wb_emitter_send(EmitterX, messageX, strlen(messageX) + 1);
    wb_robot_battery_sensor_enable(CONTROL_STEP);
}
else {
    printf("%s DisConnected Right...\n",name);
    sprintf(messageX, "%s DisConnected Right...\n",name);
}

```

```
//Battery control
if (wb_robot_battery_sensor_get_value()) {
printf("%s Battery sensor value: %.3f J\n",name,wb_robot_battery_sensor_get_value());
}
```

```
[NDControl] ds_1 Connected Back...
[NDControl] ds_1 DisConnected Front...
[NDControl] ds_1 DisConnected Right...
[NDControl] ds_1 DisConnected Left...
[NDControl] Warning: wb_robot_battery_sensor_get_value() called for a disabled device !
[NDControl] ds_2 Connected Back...
[NDControl] ds_2 Connected Front...
[NDControl] ds_2 DisConnected Right...
[NDControl] ds_2 DisConnected Left...
[NDControl] Warning: wb_robot_battery_sensor_get_value() called for a disabled device !
[NDControl] ds_3 DisConnected Back...
[NDControl] ds_3 Connected Front...
[NDControl] ds_3 DisConnected Right...
[NDControl] ds_3 DisConnected Left...
[NDControl] Warning: wb_robot_battery_sensor_get_value() called for a disabled device !
```

Στα πλαίσια της σωστής λειτουργίας του docking station μπορούν να αναπτυχθούν και άλλοι αλγόριθμοι οι οποίοι είναι πιο σύνθετοι και περιγράφουν πιο εξειδικευμένες λειτουργίες του. Μπορεί να αναπτυχθεί αλγόριθμός ο οποίος να ελέγχει τα ενεργειακά αποθέματα των αρθρωτών μικρόρομπότ και ταυτόχρονα να μπορεί να προβλέπει τη μέγιστη δύναμη συγκράτησης που μπορούν να αντέξουν τα χειρουργικά εργαλεία. Επίσης αλγόριθμοι για την υλοποίηση πιο σύνθετων σχημάτων του σταθμού εργασίας είναι και αυτή δυνατή αν αυτό κριθεί απαραίτητο. Επειδή ο γενικότερος έλεγχος του σταθμού εργασίας θα μπορεί να γίνεται θεωρητικά υπό άμεση όραση (ενδοσκόπιο ή/και μικρο-ρομπότ καμερα) μπορούν να απλοποιηθούν αρκετές λειτουργίες χωρίς να είναι αναγκαίος ο έλεγχος από λογισμικό.

Οι υπομονάδες του σταθμού εργασίας διαθέτουν συστήματα σύνδεσης τύπου ηλεκτρομαγνήτη ελεγχόμενης σύνδεσης και αποσύνδεσης. Η λογική για τη λειτουργία του NOTDOCK είναι αρχικά η τοποθέτηση των υπομονάδων των αρθρωτών μικρόρομπότ με κατάλληλη σειρά τέτοια ώστε να μπορέσει να συντεθεί το κατάλληλο χειρουργικό αρθρωτό σύστημα διασύνδεσης. Αν υποθέσουμε ότι η προσέγγιση έχει γίνει με ενδοσκοπιο τότε σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να συναρμολογηθούν τα αρθρωτά μικρόρομπότ τα οποία θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε στην επέμβαση. Η σειρά με την οποία θα μπουν οι υπομονάδες στο ενδοσκοπιο πρέπει να είναι η ίδια με την οποία επιθυμούμε να ενωθούν στο εσωτερικό του οργανισμού. Ανάλογα με το σχήμα που επιθυμούμε να του δώσουμε αλλά και ανάλογα με το είδος της επέμβασης το οποίο πρόκειται να γίνει, επιλέγουμε τον αριθμό των υπομονάδων που θα εισάγουμε στο ενδοσκοπιο για να φτάσουν στο σημείο της επέμβασης. Η τελευταία υπομονάδα η οποία εισάγεται στο ενδοσκοπιο είναι αυτή η οποία φέρει στο ένα άκρο της την τροφοδοσία και ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να στηρίζεται στο άκρο του ενδοσκοπίου. Οι υπομονάδες τύπου dock οι οποίες εισάγονται όπως και οι άλλες που είναι για τα αρθρωτά μικρόρομπότ ενώνονται η μια με την άλλη όταν βρεθούν αρκετά κοντά ώστε να μπορούν να ασκηθούν οι μαγνητικές δυνάμεις από τις υποδοχές των υπομονάδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υπομονάδες δεν διαθέτουν ενεργητικό μηχανισμό κίνησης και άρα πρέπει να περιμένουμε μέχρι οι υπομονάδες να συνδεθούν η μια με την άλλη σωστά. Σίγουρα υπάρχει απώλεια χρόνου αλλά αυτό βοηθάει ώστε οι υπομονάδες να μπορούν να διατηρούν το μικρό τους μέγεθος. Ταυτόχρονα αν οι υπομονάδες διέθεταν δικό τους μηχανισμό κίνησης οι απαιτήσεις της υπομονάδας σε ενέργεια θα αυξάνονταν πολύ. Το υγρό περιβάλλον του στομάχου, αλλά και της περιτοναϊκής κοιλότητας, με την χαμηλή τριβή, καθώς και οι περισταλτικές κινήσεις των εντέρων βοηθούν σε αυτήν την παθητική κίνηση των υπομονάδων. Επίσης οι υπομονάδες μπορούν να υποβοηθηθούν ανά δύο από εξωτερικούς μαγνήτες ώστε να έρθουν σε σωστή απόσταση μεταξύ τους και να μπορέσουν να ενωθούν. Όταν όλα είναι στην επιθυμητή κατάσταση το docking station μαζί με τα αρθρωτά μικρόρομπότ είναι σε θέση να λειτουργήσουν. Σε ειδικές περιπτώσεις τα αρθρωτά μικρόρομπότ μπορεί να έχουν συναρμολογηθεί όπως πρέπει και πριν εισαχθούν στον οργανισμό.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι υπομονάδες, είτε αυτές των αρθρωτών μικρόρομπότ είτε αυτές του docking station, μπορεί να ενωθούν με λάθος τρόπο. Αυτό υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβεί όταν όλες οι υπομονάδες βρεθούν στο ίδιο πεδίο εξαρχής. Το πρόβλημα αυτό δεν είναι τόσο έντονο στην σύνθεση του docking station και αυτό διότι όλες οι υπομονάδες είναι ίδιου τύπου και το μόνο το οποίο μπορεί να αλλάζει είναι ο αριθμός τους.

Ο χειρισμός του docking station θα μπορούσε να είναι πολύ απλός και να γίνεται μέσω ενός εξωτερικού συστήματος φυσικής προσομοίωσης που διαθέτει το ίδιο ακριβώς μοντέλο που υπάρχει στο εσωτερικό του οργανισμού αλλά σε μεγαλύτερες διαστάσεις ούτως ώστε να μπορεί ο χειρουργός να το χειρίζεται με άνεση. Μπορούν να υπάρξουν 3 επιλογές για τον έλεγχο του NOTDOCK. Στη πρώτη, η θέση που δίνει ο χειρουργός σε κάθε υπομονάδα του χειριστηρίου μεταδίδεται άμεσα στο μικρο-ρομπότ το οποίο λαμβάνει ακριβώς τη ίδια. Σε άλλη περίπτωση ο χειρουργός δίνει μια επιθυμητή δομή στο ρομπότ χειρισμού και μετά με το πάτημα ενός κουμπιού μεταδίδονται ταυτόχρονα όλες οι θέσεις των επιμέρους υπομονάδων και έτσι το μικρο-ρομπότ λαμβάνει τελικά τη δομή του ρομπότ χειρισμού. Τέλος υπάρχουν έτοιμες αυτοματοποιημένες κινήσεις που μεταδίδονται στο μικρο-ρομπότ όταν ο χειρουργός τις ενεργοποιήσει πατώντας τα κατάλληλα κουμπιά (αριθμούς στο πληκτρολόγιο στην προκειμένη εξομοίωση).

Η χρήση του ρομπότ χειρισμού θα δίνει τη δυνατότητα στο χειρουργό να γνωρίζει κάθε στιγμή τη δομή που έχει ο σταθμός εργασίας μέσα στη περιτοναϊκή κοιλότητα χωρίς ο ίδιος να το βλέπει. Παρόλα αυτά δεν είναι εύκολο να γνωρίζει τη θέση του μόνο με την εικόνα που θα του προσφέρεται θεωρητικά από το σύστημα ενδοσκόπησης των μικρο-ρομπότ. Οι κάμερες του μικρο-ρομπότ δεν είναι δυνατό μπορούν να κάνουν λήψη σε όλο το πεδίο και στο σταθμό διασύνδεσης κάθε φορά που ο χειρουργός θα θέλει να αλλάξει τη δομή του. Πρέπει να υπάρχει για αυτό το λόγο κατάλληλο λογισμικό και hardware που να δίδει την ακριβή θέση των υπομονάδων εντός της περιτοναϊκής κοιλότητας. Ακόμα το ρομπότ χειρισμού βοηθά το χειρουργό να δοκιμάσει διάφορες δομές χωρίς να αλλάζει άμεσα τη δομή του σταθμού διασύνδεσης και να δίνει εντολή για την αλλαγή δομής μόνο όταν το επιθυμεί. Ο χειρισμός του NOTDOCK θα μπορεί θεωρητικά να γίνει και με τη βοήθεια εξωτερικών μαγνητών οι οποίοι θα συγκρατούν κάποιο τμήμα του και θα μπορούν να το καθοδηγήσουν άμεσα στο επιθυμητό σημείο της περιτοναϊκής κοιλότητας (σύστημα MAGS). Η ανάπτυξη του πρότυπου αυτού σταθμού συνιστάτε στον μορφολογικό σχεδιασμό του και στην εξομοίωση κυρίως της κίνησής του και των δυνατοτήτων χρήσης αισθητήρων, εκπομπής/λήψης μηνυμάτων και χειρισμού του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Β. Ε. Τ. ... ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΛΑΠΑΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΑΙΘΟΥΣΗΣ,
«www.exe1928.gr/static/media/2011/07/40.doc,» [Ηλεκτρονικό].
- [2] «<http://www.eats.fr/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [3] S. P. A. S. (SPA), «<http://laparoscopicsolutions.com/lspa.html>,» [Ηλεκτρονικό].
- [4] Π. χ. δ. μ. σπής,
«http://www.roboticsurgery.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=134:robotic-single-site-cholecystectomy-first-worldwide-operations-in-athens-medical-center&catid=44:2009-04-26-08-21-04&Itemid=27&lang=el,» [Ηλεκτρονικό].
- [5] A. endosurgery, «<http://www.apolloendo.com/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [6] F. t. p. a. n. a. t. d. a. t. i. i. t. p. cavity., «<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15229442>,» [Ηλεκτρονικό].
- [7] SAGES, «<http://www.sages.org/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [8] I. t. N. W. Paper, «<http://www.springerlink.com/content/y470666n02680253/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [9] I. R. B. Services, «<http://www.irbservices.com/irbservices/Home.html>,» [Ηλεκτρονικό].
- [10] O. A. A. w. f. i. n. s. surgery,
«http://www.websurg.com/event/20070402_OperationAnubis/Operation_Anubis.html,» [Ηλεκτρονικό].
- [11] O. Anubis, « www.eats.fr/doi-vd01en2128.htm,» [Ηλεκτρονικό].
- [12] D. D. Sphincterotome, «<http://www.cookmedical.com/esc/educationArticle.do?id=2073>,» [Ηλεκτρονικό].
- [13] Insufflators, «<http://www.lemkevision.com/products/insufflators/index.htm>,» [Ηλεκτρονικό].
- [14] «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01endunkin001&start=0&redim=1>,»

[Ηλεκτρονικό].

[15] T. cholecystectomy, «www.eats.fr,» [Ηλεκτρονικό].

[16] «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01enthompson001&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[17] T. exploration, «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01enthompson001&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[18] «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01enthompson001&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[19] c. a. a. i. N. p. Transvesical port: creation,
«<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01encorreiapinto004&start=0&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[20] T. port,
«<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01encorreiapinto004&start=0&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[21] «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01encorreiapinto004&start=0&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[22] E. M. f. G. C. i. NOTES, «<http://sri.sagepub.com/content/13/1/23.full.pdf>,» [Ηλεκτρονικό].

[23] N. -. w. paper, «http://www.noscar.org/wp-content/uploads/2011/01/NOTES_White_Paper_May06.pdf,» [Ηλεκτρονικό].

[24] «http://www.noscar.org/wp-content/uploads/2011/01/NOTES_White_Paper_May06.pdf,» [Ηλεκτρονικό].

[25] U. i. f. NOTES,
«<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01endunkin003&start=3&redim=1>,» [Ηλεκτρονικό].

[26] U.-T. Port, «http://www.usgimedical.com/eos/usgi_transport_description.pdf,» [Ηλεκτρονικό].

[27] D. m. r. f. a. m. i. surgery., «<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20549244#>,» [Ηλεκτρονικό].

[28] K. W. d. a. i. t. w. “. a. w. d. i. m. Capek, «<http://capek.misto.cz/english/robot.html>,»

[Ηλεκτρονικό].

- [29] I. A. 'r. o. dawn', «http://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Asimov's_Robot_Series,» [Ηλεκτρονικό].
- [30] «http://www.cme.hsc.usf.edu/gynlap/Solnik_RobotsUSF.pdf,» [Ηλεκτρονικό].
- [31] 1. 'P. Research: Mechatronics in medicine. Imperial College London, «<http://www3.imperial.ac.uk/mechatronicsinmedicine/research/theprobot>,» [Ηλεκτρονικό].
- [32] ROBODOC, «<http://www.robodoc.com>,» [Ηλεκτρονικό].
- [33] R. f. s. A. R. o. B. E. O.-2. A. 1. Howe R. and Matsuoka Y., «<http://biorobotics.harvard.edu/pubs/annurev99.pdf>,» [Ηλεκτρονικό].
- [34] K. F. R. H. M. J. S. H. I. ., ACROBOT - Using robots and surgeons synergistically in knee surgery. B.L. Davies, «<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=620179>,» [Ηλεκτρονικό].
- [35] R. T. F. o. M. I. H. Surgery., «http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2000_Groups/Heart_Surgery/Robotics.htm,» [Ηλεκτρονικό].
- [36] 'r. s. system', «http://en.wikipedia.org/wiki/ZEUS_robotic_surgical_system,» [Ηλεκτρονικό].
- [37] T. Z. S. Z. S. System., «<http://library.thinkquest.org/03oct/00760/Zeus%20System.htm>,» [Ηλεκτρονικό].
- [38] I. S. C. P. 2009., «<http://www.intuitivesurgical.com/corporate/companyprofile/index.aspx>,» [Ηλεκτρονικό].
- [39] G. Dr. Friedrich-Wilhelm Mohr "First robotically assisted heart bypass" Leipzig Heart Centre, «<http://www.ebme.co.uk/arts/robotic/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [40] J. M. M. F. 'Lindbergh operation', «http://www.websurg.com/event/Operation_Lindbergh/lindbergh_editorial_en.pdf,» [Ηλεκτρονικό].
- [41] Cyberknife, «<http://www.vantageoncology.com/centers2006/SanAntonio/sanantonio-services-cyberknife.php>,» [Ηλεκτρονικό].

- [42] G. K. Perfection, «<http://www.gknife.gr/page.asp?pid=42&lng=1>,» [Ηλεκτρονικό].
- [43] N. r. a. r. o. b. a. s. a. J. o. R. S. 1.-4. M. 2. Karas C. and Chiocca A.. [Ηλεκτρονικό].
- [44] 2. O. S. 2. Dec και 1.-5. D. r.-a. l. b. s. i. i. j. i. a. r. setting?. [Ηλεκτρονικό].
- [45] «<http://www.skrekas.net/paper7.htm>,» [Ηλεκτρονικό].
- [46] S. L. E. P. T. 2. Jun και 1.-4. L. c. o. r.-a. l. s. c. w. c. l. s. a. e. s. e. s. a. o. r.-a. l. t. co. [Ηλεκτρονικό].
- [47] R. Surgery, «Kim VB, Chapman WH, Albrecht RJ, et al. Early experience with telemanipulative robot-assisted laparoscopic cholecystectomy using Da Vinci. Surg Laparosc Endosc Percutan Tech. 2002; 12: 34-40.,» [Ηλεκτρονικό].
- [48] Π. P. Χειρουργική, «<http://www.kkonstantinidis.gr/el>,» [Ηλεκτρονικό].
- [49] «<http://www.intuitivesurgical.com/products/index.aspx>,» [Ηλεκτρονικό].
- [50] W. M. 2009, « <http://en.wikipedia.org/wiki/Microbotics>,» [Ηλεκτρονικό].
- [51] I. R. a. A. S. T. C. o. M. R. a. Automation., «<http://tab.ieee-ras.org/committeeinfo.php?tcid=13>,» [Ηλεκτρονικό].
- [52] i.-s. 2008., «<http://i-swarm.org/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [53] G. P. J. B. A. S. a. T. L. a. D. U. H. C. o. M. a. L. R. N. 2. Vijay Kumar, «<http://www.pages.drexel.edu/~mk489/research-c2.html>,» [Ηλεκτρονικό].
- [54] Z. A. ,. T. Π. ,. M. A. Σ. M. M. P. Σ. A. :. 3. Π. Ι. Σ. 2. ' X. N. K. P. Γ.. [Ηλεκτρονικό].
- [55] S. L. e. R. a. v. r. i. NOTES.2008, « <http://www.eats.fr/doi-lt01ensoler001.htm>. Jun,» [Ηλεκτρονικό].
- [56] J. H. U. S.-L. R. a. S.-H. S. C. A. S. 2009., «<http://www.jhu.edu/news/home06/dec06/taylor.html>,» [Ηλεκτρονικό].
- [57] C. M. U. T. R. I. 2009, «http://www.ri.cmu.edu/research_lab_group_detail.html?type=description&lab_id=30&menu_i

d=263.,» [Ηλεκτρονικό].

[58] E. Samurai, «<http://www.wjgnet.com/1948-9366/full/v2/i6/210.htm>,» [Ηλεκτρονικό].

[59] S. E. B. S. M. B. T. K. T. c. u. a. p. e. w. 2. d. w. c. (. v. G. E. 2. Astudillo JA και 69:297-302.. [Ηλεκτρονικό].

[60] R. M. S. N. H. E. R. R. S. L. E. o. a. m. d. m. p. f. c. e. a. n. o. t. e. s. a. (. v. G. E. 2. Thompson CC. [Ηλεκτρονικό].

[61] G. I. P. SB.2009, « <http://www.givenimaging.com>,» [Ηλεκτρονικό].

[62] S. R. A. M. T. f. p. c. t. c. w. c. e. w. p. e. i. c. g. b. C. Ell. [Ηλεκτρονικό].

[63] 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. [Ηλεκτρονικό].

[64] [Ηλεκτρονικό].

[65] P. B. P. R. S. a. e. o. t. M. p. c. f. d. o. c. i. p. r. o. a. p. c. t. R. Banerjee. [Ηλεκτρονικό].

[66] M. R. A. H. M. r. c. a. i. l. c. D. Oleynikov. [Ηλεκτρονικό].

[67] J. D. S. P. M. i. v. c. r. p. s. v. f. f. a. e. a. c. M. Rentschler. [Ηλεκτρονικό].

[68] M. R. S. F. E. m. f. t. p. A. Lehman. [Ηλεκτρονικό].

[69] L. R. T. a. i. v. w. m. r. f. s. a. E. Rentschler. [Ηλεκτρονικό].

[70] K. B. J. D. S. w. c. r. A. Lehman. [Ηλεκτρονικό].

[71] K. B. J. D. S. w. c. r. A. Lehman. [Ηλεκτρονικό].

[72] E. P. A. R. E. S. s. 2009., « <http://www.ares-nest.org/tiki-index.php>,» [Ηλεκτρονικό].

[73] O. R. „ A. J. J. a. N. B. J. E. I. o. M. S.-A. f. S. M. R. I. I. C. I. R. a. S. 2. p. 1.-1. 47. Nagy Z.. [Ηλεκτρονικό].

- [74] A. P. R.]. 2009., « <http://www.ares-nest.org/tiki-index.php?page=results>,» [Ηλεκτρονικό].
- [75] F. t. i. s. robotics, «http://www.gdr-robotique.org/Templates/journees_gdr/2010/j1/Arianna_Menciassi-SSSA-Pisa.pdf,» [Ηλεκτρονικό].
- [76] .. R. i. M. S. V.-N. A. s. f. n. o. t. e. s. 2. Suvranu De, «http://www.acor.rpi.edu/iMedSim_res.html,» [Ηλεκτρονικό].
- [77] R. a. v. r. i. NOTES, «<http://www.eats.fr/doi-lt01ensoler001.htm>,» [Ηλεκτρονικό].
- [78] N. F. Z. P. D. M. M. M. J. 2. I. E. i. M. a. B. C. ,. I. -. s. Comparison of Visual Tracking Algorithms on in Vivo Sequences for Robot-Assisted Flexible Endoscopic Surgery. Masson N.. [Ηλεκτρονικό].
- [79] N. B. J. M. i. M. J. N. d. I. R. e. R. 2007.. [Ηλεκτρονικό].
- [80] T. I. C. H. Anatomy, «<http://www.edu-technology.com/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [81] T. V. H. Project®, «http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html,» [Ηλεκτρονικό].
- [82] A. S. C. B. P.-s. a. m. f. t. d. m. i. d. f. c. a. i. s. a. e. J. D. I. 1. v. 1. S. 1. p. 3.-3. Robb RA. [Ηλεκτρονικό].
- [83] V. R. a. R. a. t. training, «http://www.ifip.asso.fr/fani/presenta_/FAnI%20D2/texte/texte-11a.pdf,» [Ηλεκτρονικό].
- [84] M. Capture, «<http://www.cyberglovesystems.com/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [85] u. r. f. Surgery, «<http://biocomp.stanford.edu/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [86] «Satava, RM. Virtual reality surgical simulator: the first steps. Surg Endosc, . 1993, vol. 7, pp. 203-205.,» [Ηλεκτρονικό].
- [87] V. r. s. f. t. o. r. p.-b. t. a. a. p. s. i. s. s. training., «<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15650649>,» [Ηλεκτρονικό].
- [88] R. E. C. H. H. G. F. M. M. G. S. C. S. R. V. r. s. f. t. o. r. p.-b. t. a. a. p. s. i. s. s. t. A. S. .. 2. ,. F.

Gallagher AG και 241(2):364-. [Ηλεκτρονικό].

- [89] Ζ. Καλούδη Ε. Τεχνολογίες Πληροφορικής και Τηλεματικής στην Χειρουργική. Τμήμα Ιατρικής - ΔΠΘ: σ. π.. [Ηλεκτρονικό].
- [90] F. A. W. R. A. -. A. R. A. S. S. D. V. R. C. T. R. .. Ζ. Splechtna R.. [Ηλεκτρονικό].
- [91] S. A. R. i. S. s. :. U. P. -. F. f. E. I. u. M. Ζ. Geisen. [Ηλεκτρονικό].
- [92] Η. I. T. L. V. R. D. (. G. 2009., « <http://www.hitl.washington.edu/research/vrd/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [93] S. A. R. i. S. s. :. U. P. -. F. f. E. I. u. M. Ζ. Geisen. [Ηλεκτρονικό].
- [94] A. M. M. D. S. L. A.-R. L. A. J. Ζ. Ζ.-Ζ. Rubino F.. [Ηλεκτρονικό].
- [95] P. I.-g. s. f. X.-r. t. v. r. .. C. M. B. B. E. .. Ζ. 4.-5. Peters TM. [Ηλεκτρονικό].
- [96] A. M. M. D. S. L. A.-R. L. A. J. Ζ. Ζ.-Ζ. Rubino F.. [Ηλεκτρονικό].
- [97] R. P. S. W. M. P. T. m. t. r. o. t. f. i. g. i. i. a. i. o. p. p. E. R. .. Ζ. 1.-9. Jacob AL. [Ηλεκτρονικό].
- [98] Ρ. χ. δ. μ. οπής,
«http://www.roboticsurgery.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=134%3Arobotic-single-site-cholecystectomy-first-worldwide-operations-in-athens-medical-center&catid=44%3A2009-04-26-08-21-04&Itemid=27&lang=en,» [Ηλεκτρονικό].
- [99] «<http://www.asge.org/>,» [Ηλεκτρονικό].
- [100] «<http://www.eats.fr/lectures/media.php?doi=lt01endunkin001>,» [Ηλεκτρονικό].
]
- [101] Δ. κολπου, «<http://www.eats.fr/videos/media.php?doi=vd01en2669>,» [Ηλεκτρονικό].
]
- [102] G-Prox, «- <http://www.usgime>,» [Ηλεκτρονικό].
]
- [103] T-tags, « <http://sri.sagepub.com/content/13/1/23.f>,» [Ηλεκτρονικό].

]

[104 «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01endunkin003&start=3&redim=1>,»
] [Ηλεκτρονικό].

[105 M. Systems, «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?d>,» [Ηλεκτρονικό].
]

[106 M. SYSTEMS, «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01ensoper004&redim=1>,»
] [Ηλεκτρονικό].

[107 R. s. Tools, «[http://www.medicalexpo.com/prod/heinen-und-lowenstein/anesthesia-
workstations-with-electronic-gas-mixers-70842-437934.html](http://www.medicalexpo.com/prod/heinen-und-lowenstein/anesthesia-workstations-with-electronic-gas-mixers-70842-437934.html),» [Ηλεκτρονικό].

[108 fMRI, «http://www.wired.com/medtech/health/news/2007/11/neurosci_guinea_pig2,»
] [Ηλεκτρονικό].

[109 «<http://www.eats.fr/lectures/viewer.php?doi=lt01ensoler001&start=0&redim=>,»
] [Ηλεκτρονικό].